

การจัดทำจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิว
โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร



นางสาวลลิตา นิต์ศนจารกุล

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0141-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LEAD REMOVAL FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY ADSORPTION PROCES USING
ACTIVATED CARBON FROM AGRICULTURAL WASTES



LALIDA NITHASANACHARUKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 971-17-0141-1

ลลิตา นิตศนจารกุล : การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. (LEAD REMOVAL FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY ADSORPTION PROCESS USING ACTIVATED CARBON FROM AGRICULTURAL WASTES) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์. 130 หน้า. ISBN 974-17-0141-1.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือเปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้เกลือแกง (NaCl) การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ชั้นแรกเป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์ ศึกษาลักษณะทางกายภาพ และประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นโดยการวัดค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์ ชั้นที่สองคือการทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบแบตช์เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่ว ได้แก่ ค่าพีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณถ่าน เพื่อทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช และชั้นตอนสุดท้ายคือการทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้ถ่านดูดติดผิวแบบแท่งเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่าน

ในขั้นตอนการทดลองเตรียมถ่านกัมมันต์พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านพร้อมกับการกระตุ้นคือ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ถ่านมีค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์สูงสุดคืออัตราส่วน 1:0 สำหรับถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด โดยถ่านเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ จะมีค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์สูงสุดเท่ากับ 567 และ 532 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ตามลำดับ และสามารถสรุปได้ว่า การเผาวัตถุดิบด้วยสารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปอบแห้ง แล้วนำมาทำการเผาและกระตุ้น ก็เพียงพอที่จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูง

การศึกษายจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่วพบว่า การดูดติดผิวตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้น ตั้งแต่พีเอช 2 ถึงพีเอช 9 และที่พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นตั้งแต่ 4 ขึ้นไป พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสูงกว่า 90% ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการดูดติดผิวบนถ่านกัมมันต์ร่วมกับการตกตะกอนของตะกั่ว ผลของเวลาสัมผัสพบว่า สมดุลของการดูดติดผิวสำหรับถ่านทั้งสองชนิดคือ 10 นาที ผลของการหาไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช แสดงให้เห็นว่าถ่านเปลือกทุเรียนมีความสามารถในการดูดติดผิวสูงกว่าถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

การทดลองแบบต่อเนื่องได้เลือกใช้ถ่านเปลือกทุเรียน บรรจุในชุดถังดูดติดผิวแบบแท่ง เมื่อทำการป้อนน้ำเสียแบบไหลลงอย่างต่อเนื่อง และทำการเก็บน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางปลายท่อ จนกระทั่งถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิว พบว่า ถ่านเปลือกทุเรียนที่ชั้นความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 94.01, 58.85, 50.98 และ 47.06 BV ตามลำดับ

จากการศึกษาเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรพบว่า ถ่านเปลือกทุเรียนมีศักยภาพที่จะพัฒนาไปใช้งานทั้งในระดับครัวเรือน และระดับอุตสาหกรรม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4289693020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: ACTIVATED CARBON / ADSORPTION / LEAD

LALIDA NITHASANACHARUKUL : LEAD REMOVAL FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY ADSORPTION PROCESS USING ACTIVATED CARBON FROM AGRICULTURAL WASTES.

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. THARES SRISATIT, Ph.D., 130 pp.
ISBN 974-17-0141-1.

The purpose of this research is to study the adsorption of lead from synthesis wastewater using activated carbon from agricultural wastes: durian rind and cashew nut shell. They were made by chemical activated process by using salt (NaCl). The experiments were carried out in three parts. The first one was preparation of activated carbon, studied of its physical properties and efficiency of this prepared activated carbon using iodine number value. The second one was a non-continuous system or batch system to study the various factors, which might effect on lead adsorption. These factors were pH, contact time and carbon dosage for Freundlich adsorption isotherm test. The last part was a continuous study using column to study the performance of activated carbon.

In the activated carbon preparation process, the results showed that the temperature suitable for carbonization and activation of the raw material was 800 degree Celsius. The appropriate ratio by weight of raw material to salt was 1:0 for both activated carbons, which gave the highest iodine number at 567 and 532 milligram of iodine per gram of activated carbon respectively. It could be concluded that by soaking the raw material in the saturated salt solution for a period of 24 hours, dried out, then carbonized and activated, was sufficient to produce high efficiency activated carbon.

From the studies of factors affect lead adsorption, lead adsorptive increased when pH of wastewater increased from pH 2 to pH 9. At pH 4 both activated carbons had efficiency of removal more than 90%, owing to the adsorption on activated carbon and lead precipitation. The result of contact time was established for both types of activated carbon at 10 minutes for equilibrium. From Freundlich adsorption isotherm, it was found that activated carbon from durian rind was more effective than activated carbon from cashew nut shell.

In continuous studies, activated carbon from durian rind was used for packing in the column. Wastewater was fed continuously downflow and collected at the end of the column until the breakthrough point of activated carbon. The result showed that activated carbon from durian rind when packed at the height level of 30, 60, 90 and 120 centimeters can treated the wastewater 94.01, 58.85, 50.98 and 47.06 BV respectively.

From the preparation of activated carbon from agriculture wastes studies, it was found that activated carbon from durian rind had the potential that could be developed for household as well as industrial use.

Inter-department Environmental Science . Student's signature

Field of study Environmental Science . Advisor's signature

Academic year 2001 . Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆ ฝ่าย ดังนั้นจึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่าน ดังมีรายนามต่อไปนี้

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธีเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้ทั้งความรู้ ความช่วยเหลือ คอยดูแล ชี้แนะ ส่งเสริม รวมทั้งให้หลักการและข้อคิดต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์ นับตั้งแต่แนวคิดในการทำงานวิจัย ตลอดมาจนกระทั่งจบโครงการ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ ผู้อำนวยการหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เลิศปรัชญา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่า มาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งยังได้ให้ข้อคิด ข้อเสนอแนะ รวมทั้งหลักการต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณบุญชัย ตระกูลมหชัย ผู้จัดการโรงงาน 25 อินดัสเตรียลโปรดักส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์มาใช้ในการศึกษา

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการมูลฝอย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อความสะดวกในการใช้สถานที่ วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีในการวิจัย และขอขอบคุณ คุณประพันธ์ ชื่นพระทัย ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพนิช ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนการวิจัย ในการศึกษาครั้งนี้

ขอบคุณ เพื่อนๆ และทุกคน ที่คอยช่วยเหลือในการทำการทดลองและคอยให้กำลังใจตลอดการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้กำลังใจตลอดมาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ลลิตา นิตศนจากรุกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 น้ำเสีย	5
2.1.1 ประเภทของน้ำเสีย	5
2.1.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย	5
2.1.3 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย	6
2.1.4 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก.....	7
2.2 ถ่านกัมมันต์.....	8
2.2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์.....	8
2.2.2 วัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์	8
2.2.3 ชนิดของถ่านกัมมันต์	10
2.2.4 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์.....	11
2.2.5 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	13
2.3 การดูดติดผิวด้วยถ่าน	19
2.3.1 การดูดติดผิวด้วยถ่าน	19
2.3.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล	20
2.3.3 กลไกการดูดติดผิว	21
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว	24
2.3.5 คุณสมบัติต่างๆ ของถ่านกัมมันต์	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.6 โครงสร้างทางเคมีของพีนฟีวถ่านกัมมันต์	28
2.3.7 การศึกษาและทดลองวิเคราะห์ระบบการดูดติดผิว	30
2.3.8 การฟื้นฟูสภาพของถ่านดูดติดผิว	34
2.4 ตะกั่ว	35
2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของตะกั่ว	35
2.4.2 แหล่งที่เกิด	35
2.4.3 พิษของตะกั่ว	35
2.4.4 ตะกั่วในน้ำ	36
2.4.5 การตรวจวิเคราะห์ตะกั่ว	38
2.5 ทูเรียน	39
2.6 มะม่วงหิมพานต์	40
2.7 เกลือ	43
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	45
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	49
3.1 รูปแบบการดำเนินการศึกษา	49
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	49
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	50
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการอภิปรายผล	62
4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ คุณสมบัติ	62
และการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์	
4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวแบบไม่ต่อเนื่อง	79
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์	95
โดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง	
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	105
รายการอ้างอิง	109

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (ASTM D 4607 - 94).....	115
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดของถ่านกัมมันต์ (ASTM C 819-77)	121
ภาคผนวก ค การคำนวณค่าคงที่ใน Adsorption isotherm	124
ภาคผนวก ง รูปภาพแสดงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย.....	128
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	130

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	วัตถุดิบต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์..... 9
ตารางที่ 2.2	สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี 16
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์บางชนิด..... 27
ตารางที่ 2.4	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ 28
ตารางที่ 2.5	รูปแบบของตะกั่วในน้ำ 37
ตารางที่ 3.1	อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแกง ที่ใช้ในการทดลอง 52
ตารางที่ 4.1	ค่าร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ 65
	และค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก
	เปลือกทุเรียนที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ตารางที่ 4.2	ค่าร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ และค่าไอโอดีน 68
	นมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อเกลือแกงต่างๆ
ตารางที่ 4.3	ค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม..... 71
	ในการศึกษาในขั้นต่อไป
ตารางที่ 4.4	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ 72
ตารางที่ 4.5	ลักษณะของวัตถุดิบ และถ่านที่ได้ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน 77
ตารางที่ 4.6	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ หลังจากปรับ 79
	ค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอชต่างๆ
ตารางที่ 4.7	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ 81
	หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300
ตารางที่ 4.8	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ 81
	หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียน
ตารางที่ 4.9	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ 82
	หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์
ตารางที่ 4.10	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วย 84
	ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่เวลาสัมผัสต่างๆ
ตารางที่ 4.11	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วย 84
	ถ่านเปลือกทุเรียน ที่เวลาสัมผัสต่างๆ
ตารางที่ 4.12	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วย 85
	ถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วย ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่ปริมาณต่าง ๆ	88
ตารางที่ 4.14 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วย ถ่านเปลือกทุเรียนที่ปริมาณต่าง ๆ	89
ตารางที่ 4.15 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วย ถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ปริมาณต่าง ๆ	90
ตารางที่ 4.16 ค่าคงที่ ของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด จากสมการของฟรุนดิช	94
ตารางที่ 4.17 ค่าปริมาตรของชั้นถ่านที่ความสูงต่าง ๆ.....	96
ตารางที่ 4.18 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านคอลัมน์..... ชั้นถ่านสูง 30 เซนติเมตร	97
ตารางที่ 4.19 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านคอลัมน์..... ชั้นถ่านสูง 60 เซนติเมตร	98
ตารางที่ 4.20 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านคอลัมน์..... ชั้นถ่านสูง 90 เซนติเมตร	99
ตารางที่ 4.21 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านคอลัมน์..... ชั้นถ่านสูง 120 เซนติเมตร	100
ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วในถังดูดติดผิวแบบแห้ง.....	103

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนผลิตถ่านกัมมันต์ 13
รูปที่ 2.2	ขั้นตอนผลิตถ่านกัมมันต์ โดยการใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น..... 18
รูปที่ 2.3	การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ 19
รูปที่ 2.4	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวมายังตัวดูดติดผิว.. 20
รูปที่ 2.5	การดูดติดผิวของสิ่งสกปรกบนถ่านกัมมันต์ 22
รูปที่ 2.6	การดูดติดผิวของโมเลกุลแบบหลายชั้นบนผิวของแข็ง..... 23
รูปที่ 2.7	กลุ่มฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์..... 29
รูปที่ 2.8	กราฟสำหรับสมการของฟรุนดลิช 31
รูปที่ 2.9	ระบบดูดซับแบบไหลต่อเนื่องในชั้นตรึง..... 33
รูปที่ 2.10	รูปแบบของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอชต่างๆ..... 37
รูปที่ 2.11	ผลของมะม่วงหิมพานต์ 41
รูปที่ 2.12	ความเข้มข้นตะกั่วหลังปรับพีเอช และผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่าน 48
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการเตรียมถ่าน และการคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม..... 53
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของพีเอชต่อการดูดติดผิว 55
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว 57
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักถ่านต่อการดูดติดผิว 59
รูปที่ 3.5	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่อง..... 60
รูปที่ 3.6	ขั้นตอนการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพถ่าน 61
	โดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง
รูปที่ 4.1	ตัวอย่างเปลือกทุเรียนเปรียบเทียบกับก่อน..... 63
	และหลังการเผาให้เป็นถ่านและการกระตุ้น
รูปที่ 4.2	ตัวอย่างเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เปรียบเทียบกับก่อน..... 63
	และหลังการเผาให้เป็นถ่านและการกระตุ้น
รูปที่ 4.3	ร้อยละของน้ำหนักถ่านเปลือกทุเรียนที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ 66
	ที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไอโอดีนนมเบอร์..... 66
	กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาวัตถุดิบ
รูปที่ 4.5	ร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ..... 69
	ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อเกลือแกงที่อัตราส่วนต่างๆ

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไอโอดีนนมเบอร์ กับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุติดต่อกลิโอ	69
รูปที่ 4.7	ลักษณะโครงสร้าง และพื้นผิวของเปลือกทุเรียน ก่อนทำการเผา และกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์	74
รูปที่ 4.8	ลักษณะโครงสร้าง พื้นผิว และรูพรุนของถ่านเปลือกทุเรียน..... เปรียบเทียบระหว่างถ่านที่ใช้และไม่ใช้สารกระตุ้นเกลือกแกง	75
รูปที่ 4.9	ลักษณะโครงสร้าง พื้นผิว และรูพรุนของเปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ เปรียบเทียบกับถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์	76
รูปที่ 4.10	เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่..... หลังจากปรับค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอชต่างๆ	80
รูปที่ 4.11	เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ..... หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด	82
รูปที่ 4.12	เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่..... หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ ที่เวลาสัมผัสต่างๆ	85
รูปที่ 4.13	ไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300	88
รูปที่ 4.14	ไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านเปลือกทุเรียน	89
รูปที่ 4.15	ไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์	90
รูปที่ 4.16	เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด	93
รูปที่ 4.17	เส้นโค้งเบรคทรูจ์ ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว..... กับปริมาณน้ำที่ความสูงชั้นถ่าน 30 เซนติเมตร	97
รูปที่ 4.18	เส้นโค้งเบรคทรูจ์ ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว..... กับปริมาณน้ำที่ความสูงชั้นถ่าน 60 เซนติเมตร	98
รูปที่ 4.19	เส้นโค้งเบรคทรูจ์ ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว..... กับปริมาณน้ำที่ความสูงชั้นถ่าน 90 เซนติเมตร	99
รูปที่ 4.20	เส้นโค้งเบรคทรูจ์ ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว..... กับปริมาณน้ำที่ความสูงชั้นถ่าน 120 เซนติเมตร	101

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.21	
โครงสร้าง และพื้นที่ผิว ของถ่านเปลือกทุเรียน.....	104
ที่ผ่านการดูดติดผิวตะกั่ว	



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางน้ำเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนในวงกว้าง และมีแนวโน้มของความรุนแรงมากยิ่งขึ้น อันเป็นผลจากการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในประเทศ การปนเปื้อนของแหล่งน้ำมีต้นกำเนิดที่สำคัญคือการปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดให้อยู่ในมาตรฐานลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ น้ำทิ้งเหล่านี้มีสารต่าง ๆ จากกระบวนการผลิตปนเปื้อนอยู่ ซึ่งสารที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษค่อนข้างสูง คือสารในกลุ่มโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และอาร์เซนิก เป็นต้น เนื่องจากสารโลหะหนักเหล่านี้มีความเป็นพิษสูง สามารถคงอยู่ในสภาพแวดล้อมได้นาน และสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ (Fergusson, 1990) การปนเปื้อนโลหะหนักเหล่านี้มีแหล่งกำเนิดที่สำคัญ เช่น โรงงานชุบโลหะ การทำเหมือง โรงงานหลอมโลหะ โรงงานผลิตวัสดุโลหะผสม และโรงงานแบตเตอรี่ เป็นต้น (Kadirvelu, Thamaraiselvi and Namasivayam, 2001)

วิธีการที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักนี้มีอยู่หลายวิธี เช่น การตกตะกอน การแลกเปลี่ยนประจุ การกรองผ่านเยื่อกรองแบบผกกลับ และการดูดซับ (Chen and Wang, 2000) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีประสิทธิภาพ และข้อจำกัดแตกต่างกันไป ทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจคือการใช้แอมัลกัมคาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) เนื่องจากใช้เทคโนโลยีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีต้นทุนต่ำ และสามารถนำแอมัลกัมคาร์บอนกัมมันต์ไปผ่านกระบวนการเพื่อให้สามารถนำมาใช้ได้

ในกระบวนการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแอมัลกัมคาร์บอนกัมมันต์นี้ โมเลกุลของสารโลหะหนักจะเข้ามาติดที่ผิวของแอมัลกัมคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งเป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษ ให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด (มีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อกรัม) ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้สามารถดูดโมเลกุลจำนวนมาก ๆ มาเกาะติด

ที่ผิวได้ พื้นที่ผิวจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมรรถนะของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงจะมีอำนาจหรือขีดความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) สูงตามไปด้วย การวัดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ จึงทำได้โดยการวัดความสามารถในการดูดซับของคาร์บอน โดยการวัดค่าไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number) ของคาร์บอน (มันลิน ตันทูลเวศม์, 2538) นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังสามารถใช้ในการกำจัดสี กลิ่น รส คลอรีนในน้ำ โลหะหนักชนิดต่างๆ ยาฆ่าแมลง ผงซักฟอก ฟีนอลและสารประกอบฟีนอล รวมถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารปนเปื้อนอื่นๆ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ได้อีกด้วย

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน เช่น ถ่าน แอนทราไซต์ บิทูมินัส ลิกไนต์ ถ่านพีท และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ไม้ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชานอ้อย ฟางข้าว กากถั่วเหลือง แกลบ ชี้อ้อย ใบยูคาลิปตัส เปลือกถั่ว เปลือกและเมล็ดผลไม้ต่างๆ (Ahmedna, Marshall and Rao, 2000) นำมาเผาทำให้เป็นถ่านที่ความร้อนสูง และผ่านกระบวนการกระตุ้นโดยวิธีทางกายภาพ เช่นการกระตุ้นโดยใช้พลังงานไมโครเวฟ (วราวุฒิ ประชาศิริสกุล, 2541) หรือวิธีทางเคมี โดยใช้สารเคมีเช่น โซเดียมคลอไรด์ และซิงค์คลอไรด์ (Ahmadpour and Do, 1997) เพอร์ริครอไรด์ (รัชนก แซ่เจน, 2541) หรือโซเดียมคลอไรด์ (ดำรง ชุมมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล, 2533) เพื่อให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่างๆ สูงขึ้น

ในปัจจุบันถ่านกัมมันต์ที่ใช้ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนของการบำบัดน้ำเพิ่มสูงขึ้น จึงมีความพยายามที่จะศึกษาหาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบและสารเคมีที่หาได้ง่าย ราคาถูก และมีความเป็นพิษต่ำ รวมถึงได้ถ่านกัมมันต์ที่ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้สารดูดซับชนิดอื่น ได้แก่ถ่านเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้เกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่ราคาถูก หาได้ง่าย ไม่เป็นอันตราย เป็นตัวกระตุ้น และทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยกระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้น เพื่อสามารถพัฒนาไปใช้ได้ทั้งในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรม เป็นการลดปริมาณการนำเข้าถ่านกัมมันต์ และนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เป็นประโยชน์อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกทุเรียน และเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ของถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายในตลาด เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกทุเรียน และเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์
- 1.2.3 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ ถ่านเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 เตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกทุเรียน และเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่รีดน้ำมันออกแล้ว โดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น
- 1.3.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ และประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่าย
- 1.3.3 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยศึกษาจากค่าไอโอดีนห่มเบอร์ เพื่อเลือกอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมระหว่างวัตถุดิบ ต่อสารกระตุ้น เพื่อทำการศึกษการดูดติดผิวต่อไป
- 1.3.4 ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่วดังนี้ อิทธิพลของพีเอช อิทธิพลของเวลาสัมผัส และอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ โดยทำการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test)
- 1.3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ ระหว่างถ่านกัมมันต์ ถ่านจากเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ จากการทำไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดิช (Freundlich adsorption isotherm)
- 1.3.6 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่าน โดยเก็บน้ำเสียที่ผ่านถังดูดติดผิวแบบแห้งที่ระยะความลึกต่างๆ เพื่อคำนวณหาชั้นความลึกของถ่าน และทำ

เส้นโค้งเบรคทวร์จ (Breakthrough curve) ของการกำจัดตะกั่วในการทดลองแบบต่อเนื่อง (Column test)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนำถ่านที่เตรียมขึ้นไปใช้ในการบำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว และสามารถพัฒนาไปใช้ในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรมได้
- 1.4.2 สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสีย

2.1.1 ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามแหล่งกำเนิด คือน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำเสียชุมชนหมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ที่เกิดในกิจกรรมประจำวัน น้ำเสียจะเกิดขึ้นตามปริมาณการใช้น้ำประปาเป็นสำคัญ สิ่งสกปรกในน้ำทิ้งประเภทนี้ส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร สบู่ ผงซักฟอก สิ่งขับถ่ายจากร่างกายมนุษย์ เป็นต้น

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม คือน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการหล่อเย็น น้ำทิ้งจากกระบวนการชะล้าง ได้แก่ น้ำทิ้งที่เกิดจากการล้างวัตถุดิบต่างๆ น้ำล้างเครื่องจักร น้ำล้างทำความสะอาดพื้นโรงงาน และน้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่นๆ สิ่งสกปรกในน้ำทิ้งประเภทนี้มีทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ กระบวนการผลิต และปัจจัยอื่นๆ อีกมากมาย

2.1.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย มีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กระบวนการใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

- 1) กระบวนการทางกายภาพ (Physical unit operations) คือวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง (Screening) การตัดย่อย (Comminution) การกวาด (Skimming) การกวน (Mixing) การทำให้ลอย (Flotation) การตกตะกอน (Sedimentation) การแยกตัว

ด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation) การกรอง (Filtration) การกำจัดตะกอนหนัก (Grit removal) เป็นต้น

- 2) กระบวนการทางเคมี (Chemical unit processes) คือวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อแยกเอาสารปนเปื้อนต่างๆ ออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอนผลึก (Precipitation), การทำให้เป็นกลางหรือการสะเทิน (Neutralization) และการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น
- 3) กระบวนการทางชีวภาพ (Biological unit processes) คือวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลินทรีย์ที่จะทำการย่อยสลายและเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่างๆ ไปเป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศ และจะได้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้น ได้แก่ Activated sludge, Trickling filter, Aerated lagoon, Anaerobic filter, Anaerobic pond และ Stabilization pond เป็นต้น
- 4) กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (Physicochemical unit processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพและเคมีมารวมกัน จะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange), การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon adsorption), ออสโมซิสผกกลับ (Reverse osmosis) และ การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (Electrodialysis) เป็นต้น

2.1.3 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ ได้ดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

- 1) ระบบบำบัดก่อนขั้นต้น (Preliminary treatment) เป็นระบบที่อยู่ในขั้นแรกๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การกำจัดตะกอนหนัก การทำให้ลอย การบดตัด เป็นต้น
- 2) ระบบบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) เป็นระบบที่อยู่ในขั้นที่ต้องการแยกสารตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย และกำจัดสารอินทรีย์บางส่วนออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การตกตะกอน เป็นต้น
- 3) ระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary treatment) เป็นระบบที่กำจัดสารอินทรีย์ และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ สำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้ง เช่น การเติมคลอรีน

- 4) ระบบบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary treatment) เป็นระบบที่แยกและกำจัดสารตะกอนแขวนลอยที่เหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง การกำจัดสารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย และการกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่หลงเหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพของน้ำทิ้งดีขนาดไหน โดยทั่วไประบบบำบัดขั้นที่สามมักจะใช้กับการบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่ต้องการนำกลับมาใช้อีก

2.1.4 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก

การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักในโรงงานอุตสาหกรรม นิยมใช้วิธีการตกตะกอนโลหะหนักในรูปโลหะไฮดรอกไซด์ โลหะซัลไฟด์ และโลหะคาร์บอเนต หรือการตกตะกอนร่วม นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นๆ อีก ได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุ การดูดซับด้วยตัวดูดซับ การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (Eckenfelder, 2000) แต่วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมีนั้นในบางครั้งยังไม่สามารถลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียให้ต่ำจนถึงค่ามาตรฐานที่ต้องการได้ การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าจะใช้ เนื่องจากมีราคาถูก และสามารถกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณเพียงน้อยนิดในน้ำเสียได้ (Petemele et al. 1999)

2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

2.2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

หมายถึง ผลิตภัณฑ์ถ่านที่อยู่ในรูปของคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous carbon) คือ มีรูปร่างไม่แน่นอน สันเคราะห์ขึ้นจากการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกระบวนการเผาในที่อับอากาศ และผ่านกระบวนการกระตุ้น ซึ่งจะทำให้พื้นผิวภายใน (Internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากสารเคมีหรือการกระตุ้นทางกายภาพจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึก (Elementary crystallites) เพิ่มมากขึ้น โดยถ่านกัมมันต์จะต้องมีพื้นที่ผิวอย่างน้อยที่สุด 5 ตารางเมตรต่อกรัม (Rouquerol et al., 1999) แต่โดยทั่วไปโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวสูงอยู่ระหว่าง 500–2,000 ตารางเมตรต่อกรัม โครงสร้างเป็นรูพรุนหรือโพรงมีขนาดตั้งแต่ 20°A – $20,000^{\circ}\text{A}$ และมีคุณสมบัติดูดซับพิษสารต่างๆ ได้ดี

2.2.2 วัตถุดิบที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จะพิจารณาจากอินทรีย์วัตถุ (องค์ประกอบของคาร์บอน และไฮโดรเจน) อินทรีย์วัตถุที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้ดังนี้ (เกศรา นุतालย์ และคณะ, 2531)

- 1) พวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ, กะลามะพร้าว, ชี้เลื่อย, ชานอ้อย, ชังข้าวโพด เมล็ดในของผลไม้ เปลือกหุ้มเมล็ดผลไม้บางชนิด เป็นต้น
- 2) พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนท์, ถ่านพีท (peat), บิทูมินัส (bituminous)
- 3) วัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดุก, เลือด

ถ่านที่ได้จากอินทรีย์วัตถุ (Artificial char) แบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่นำมาใช้ได้ 2 ประเภทคือ

- 1) Hard artificial char (ถ่านแข็ง) เช่น ถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้แข็ง (fruit pit char), ถ่านไม้เผาที่ความดันสูง
- 2) Soft artificial char (ถ่านอ่อน) เช่น ถ่านไม้, ถ่านชานอ้อย, ถ่านแกลบ, ถ่านหินน้ำมัน (oil shale char), ถ่านกากน้ำตาล

วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

โดยทฤษฎีแล้วอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาทำถ่านกัมมันต์ได้ แต่คุณสมบัติของถ่าน และความสามารถในการดูดซับของถ่านที่ได้จะแตกต่างกันไป นอกจากนี้อุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) รวมถึงวิธีการที่ใช้ในการกระตุ้น (Activation) มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 2.1 วัตถุดิบต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

ชานอ้อย (bagasse)	กากหนัง (leather waste)
กากน้ำตาล (beet-sugar sludges)	ลิกนิน (lignin)
เลือด (blood)	ถ่านลิกไนท์ (lignite)
กระดูก (bones)	กากน้ำตาล (molasses)
สารจำพวกแป้ง (carbohydrates)	เปลือกถั่ว (nut shells)
เมล็ดพืช (cereals)	หินน้ำมัน (oil shale)
ถ่านหิน (coal)	ถ่านพีท (peat)
กะลามะพร้าว (coconut shells)	กากกรดปิโตรเลียม (petroleum acid sludge)
กากกาแฟ (coffee beans)	ถ่านหินน้ำมัน (petroleum coke)
ซังข้าวโพด (corn cobs and corn stalks)	กากโปแตสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (potassium ferrocyanide residue)
เปลือกเมล็ดฝ้าย (cottonseed hulls)	ของเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ (pulp-mill waste)
ของเสียจากโรงกลั่นสุรา (distillery waste)	
ปลา (fish)	แกลบ (rice hull)
ฝุ่นจากปล่องไฟ (flue dust)	เศษยาง (rubber waste)
เมล็ดแข็งของผลไม้ (fruit pits)	ขี้เลื่อย (sawdust)
กราไฟต์ (graphite)	ไม้ (wood)
วัชพืชทะเล (kelp and seaweed)	
เขม่า (lampblack)	

ที่มา : Hassler (1974)

2.2.3 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์ซึ่งแบ่งตามเกณฑ์ต่างๆ คือ (เกศรา นุตาลัย, 2531)

1) แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- เคมี (Chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่
- กายภาพ (Physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

2) แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวคาร์บอน

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

3) แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้

- ความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการให้น้ำบริสุทธิ์ ฯลฯ
- ความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดซับก๊าซพิษหรือไอระเหย

4) แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

- ก๊าซ (Gas adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับก๊าซพิษและไอสารอินทรีย์ มักใช้ถ่านจากคาร์บอนแข็งและมีความแข็ง (Hard artificial char) เป็นวัตถุดิบในการผลิต
- สี (Color adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสี มักใช้ถ่านจากคาร์บอนอ่อนและไม่แข็ง (Soft artificial char)
- โลหะ (Metal adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการแยกโลหะต่างๆ เช่น แยก ทอง, เงิน ออกจากแร่ที่ขุดได้

5) แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder activated carbon) ทำได้โดยการเอาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มาบด รูปร่างจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการบด ซึ่งจะมีผลทำให้คุณสมบัติการดูดติดผิวแตกต่างกันไป ถ่านกัมมันต์ชนิดผงนี้นิยมใช้สำหรับการดูดสีในสภาวะที่เป็นของเหลวส่วนใหญ่ โดยทั่วไปมีขนาด 5-100 ไมโครเมตร
- ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon) ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ด หรือแบบผงทำให้เป็นเม็ดโดยการเติมตัวประสาน (Binding agent) ตัวอย่างเช่น ทาร์ (tar) แล้วนำมาอัดเป็นเม็ด วัตถุดิบที่นิยมทำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ได้แก่ วัตถุดิบที่ค่อนข้างแข็งและมีความหนาแน่นสูง เช่น กะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดกลิ่นก๊าซพิษ และไอของสารละลายอินทรีย์

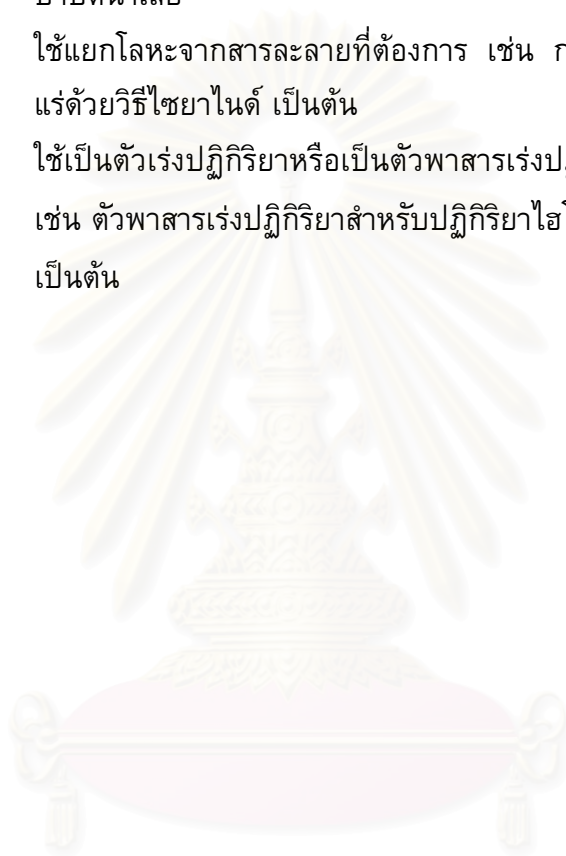
2.2.4 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละโรงงานจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

- 1) ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดติดผิวก๊าซหรือไอ
 - ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซพิษ ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดติดผิวก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
 - ใช้แยกก๊าซโซลีนออกจากก๊าซธรรมชาติ
 - ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดติดผิวไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำๆ
 - กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ เป็นต้น
 - กำจัดกลิ่นจากอากาศ ในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กลิ่นเหม็นลดน้อยลง
 - ใช้ดูดติดผิวกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์สำหรับหน่วยปฏิบัติการให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเบดของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon bed)

2) ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตอาหาร เครื่องดื่มแอลกอฮอล์
- ใช้ในทางการแพทย์ อุตสาหกรรมเคมีและยา
- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดรส สี และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้แยกโลหะจากสารละลายที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ เป็นต้น
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวพาสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst carrier) เช่น ตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.5 การผลิตถ่านกัมมันต์ (Processing of activated carbon)

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้ คือ ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ การเผาให้เป็นถ่าน หรือคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) และการกระตุ้น หรือแอกติเวชัน (Activation) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนผลิตถ่านกัมมันต์

2.2.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับ

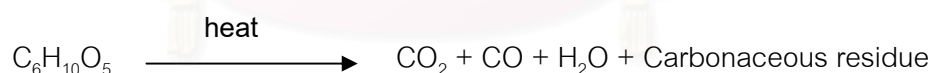
การผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอไนซ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาร์บอไนซ์ หลังจากนั้นทำการอบหรือตากวัตถุดิบให้แห้ง (Dehydration) แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็งและเหนียว ทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก ก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปคาร์บอไนซ์ก่อน แล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้

สำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง อาจนำมาทำให้เป็นเม็ดโดยใช้ตัวประสาน เช่น แป้ง น้ำมันเตา หรือทาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการคาร์บอไนซ์เซชันแล้วนำไปอัดเป็นเม็ดก่อนที่คาร์บอไนซ์เป็นขั้นตอนต่อไป

2.2.5.2 การทำให้เป็นถ่านคาร์บอน หรือคาร์บอไนเซชัน (Carbonization)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำวัตถุดิบมาเผาในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่น้อยที่อุณหภูมิ 200–500 องศาเซลเซียสหรือการเผาแบบไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งจะทำให้สารที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ถูกไล่ออกมาในรูปก๊าซ ส่วนคาร์บอนที่มีอยู่ในรูปของเซลล์ูลอส เฮมิเซลล์ูลอส และลิกนิน จะรวมตัวกันเป็นผลึก (Microcrystalline) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของถ่าน ขนาดของผลึกจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการเผา ระยะเวลาในการเผา องค์ประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบ

เมื่อมีการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอนที่มีอยู่ก็จะสลายไป ซึ่งการสลายจะเกิดขึ้นคือ วัตถุดิบที่มีโครงสร้างหลักเป็นเซลล์ูลอส ($C_6H_{10}O_5$) เมื่อถูกเผาในกระบวนการไพโรไลซิส จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



คาร์บอไนเซชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของก๊าซ คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่านชาร์ ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เซชัน ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

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

ถ่านชาร์ที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอนในเซชันนี้มีความสามารถในการดูดซับสูงต่ำมากเพราะว่าการทำให้เกิดถ่านชาร์จะใช้อุณหภูมิประมาณ 400–600 องศาเซลเซียส ซึ่งยังคงมีน้ำมันคาร์บอนตกค้างอยู่ภายในช่องว่าง (pore) หรือเกาะอยู่ตามผิว จึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

2.2.5.3 การกระตุ้น หรือแอคติเวชัน (Activation)

การกระตุ้น คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการกระตุ้นถ่านคาร์บอนเพื่อ

- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับผิวขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึง ทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
- เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (active centers)

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ วิธีกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี

1) วิธีกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น เนื่องจากรูพรุนจะกว้างมากขึ้น และมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น นิยมใช้ก๊าซออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ไอน้ำอิมตัวยิ่งยวด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซออกซิเจน เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวิธีการกระตุ้นทางเคมีคือ (Hassler, 1967)

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของก๊าซที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา

ข้อดีของการกระตุ้นแบบนี้ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง หลังจากกระตุ้นจนได้ถ่านกัมมันต์แล้วสามารถนำไปใช้งานได้ทันที เพราะไม่มีปัญหาในการล้างสารเคมีที่เหลือตกค้าง ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าแบบกระตุ้นด้วยสารเคมี (700–1,200 องศาเซลเซียส) จึงเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน

2) วิธีการกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการเติมสารเคมีให้เป็นสารกระตุ้น (Activation agent) ผสมคลุกเคล้าเข้ากับวัตถุดิบ และทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารที่นิยมใช้แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี

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

ที่มา: Yehaskel (1978)

วิธีการกระตุ้นทางเคมี แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 ผสมวัตถุดิบกับสารเคมีโดยตรงแล้วให้ความร้อนแบบไพโรไลซิส เพื่อให้เป็นผลึกถ่าน พร้อมๆ กับการกระตุ้น

แบบที่ 2 ทำให้วัตถุดิบเป็นถ่านก่อน เติมสารเคมี แล้วจึงให้ความร้อนเพื่อทำการกระตุ้นอีกครั้งหนึ่ง

การกระตุ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยทำให้ถ่านมีรูพรุนมากขึ้น และเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ประสิทธิภาพของการกระตุ้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของสารกระตุ้น รวมถึงวิธีการอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย

สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น นิยมใช้สารประกอบของโปแตสเซียมหรือโซเดียม เช่น โปแตสเซียมคาร์บอเนต โปแตสเซียมซัลไฟด์ และการกระตุ้นโดยใช้สารดูดน้ำ (Dehydrating agent) เช่น สารในกลุ่มเกลือโลหะคลอไรด์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก กรดซัลฟูริก เป็นต้น

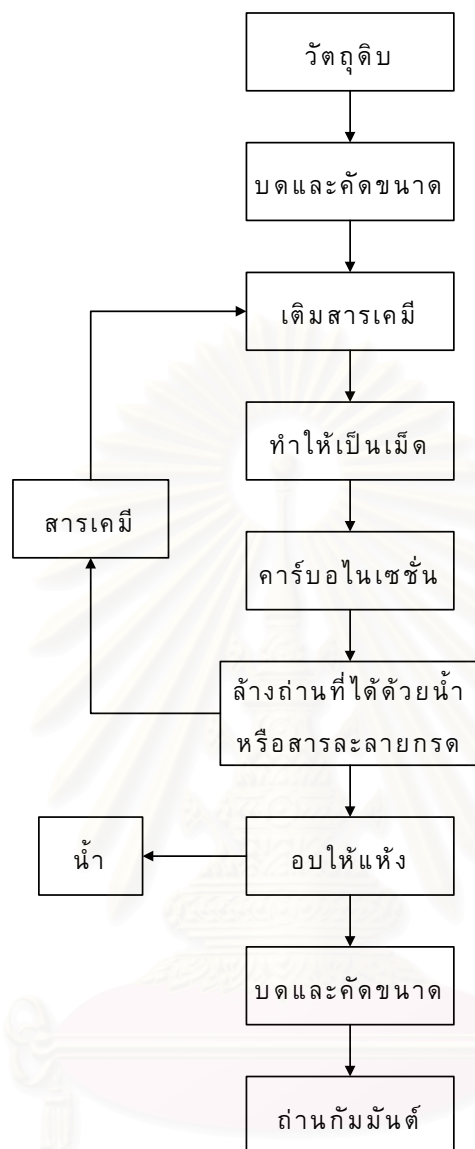
เมื่อนำเอาวัตถุดิบที่ต้องการทำเป็นถ่านกัมมันต์ มาผสมสารประกอบที่มีไอออนของโปแตสเซียมหรือไอออนของโซเดียม ไอออนเหล่านี้จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของผลึกแกรไฟต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส โมเลกุลของน้ำ ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะหลุดออก ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ

ปฏิกิริยาที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสารประกอบของโซเดียม มีดังนี้



โดยที่ X คือ ไอออนของโปแตสเซียม (K^+) หรือ ไอออนของโซเดียม (Na^+)

ข้อดีของการกระตุ้นทางเคมีคือใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นไม่สูงมาก (400–600 องศาเซลเซียส) สารเคมีแทรกซึมได้ทั่วถึง ได้รูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ค่อนข้างใหญ่ แต่มีข้อเสียคือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออกเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน แต่สำหรับเกลือแกง เป็นสารที่มีคุณสมบัติดูดน้ำได้ มีราคาถูก หาซื้อได้ตามท้องตลาด และไม่ก่อให้เกิดพิษตกค้างหลังผ่านการกระตุ้น (ตำราขุมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล, 2533) ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมี แสดงดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนผลิตถ่านกัมมันต์ โดยการใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น
(Derbyshire, Jagtoyen and Thwaites, 1995)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวิธีการกระตุ้นทางเคมี คือ

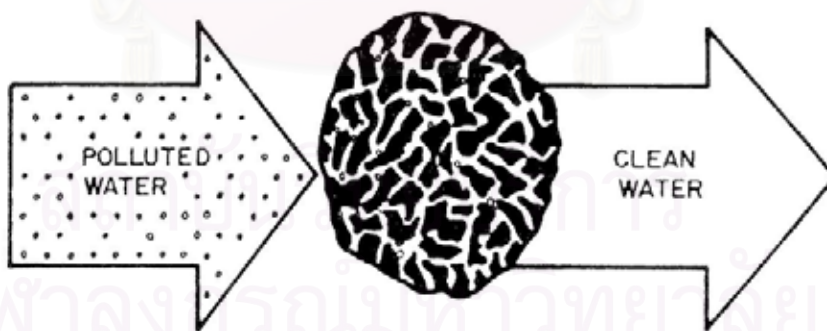
- ชนิดของวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีคุณภาพแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัตถุดิบ
- วิธีในการกระตุ้น เช่นชนิดและปริมาณของสารกระตุ้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น

2.3 การดูดติดผิวด้วยถ่าน (Carbon adsorption)

2.3.1 การดูดติดผิวด้วยถ่าน (Carbon adsorption)

การใช้ถ่านเป็นตัวดูดติดผิว เป็นกระบวนการกำจัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ-เคมี การดูดติดผิวเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิว กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่ระหว่างผิวหน้าของ 2 สภาวะใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ของสารที่ถูกดูดติด เรียกว่า สารถูกดูดติด (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีพื้นผิวเป็นที่เกาะจับของ สารถูกดูดติดเรียกว่า ตัวดูดติดผิว (adsorbent)

การดูดติดผิวบนถ่านถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำเสีย เพื่อใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่ละลายน้ำบางชนิด ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกจากน้ำเสีย เช่น บีโอดี, ซีโอดี, สี, กลิ่น, รส, โลหะหนัก และยาฆ่าแมลง เป็นต้น เนื่องจากการดูดติดผิวเป็น กระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพสูง และระบบมีความทนทานต่อสารพิษซึ่งเป็น ข้อจำกัดของระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังไม่มีผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอช อุณหภูมิ หรือปริมาณสารอินทรีย์ (Organic load) ในระบบ ใช้เงินลงทุนต่ำ และระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถเพิ่มหรือลดขนาดของระบบได้ง่าย การบำบัดน้ำโดยใช้การดูดติดผิวมีหลักการแสดงดัง รูปที่ 2.3



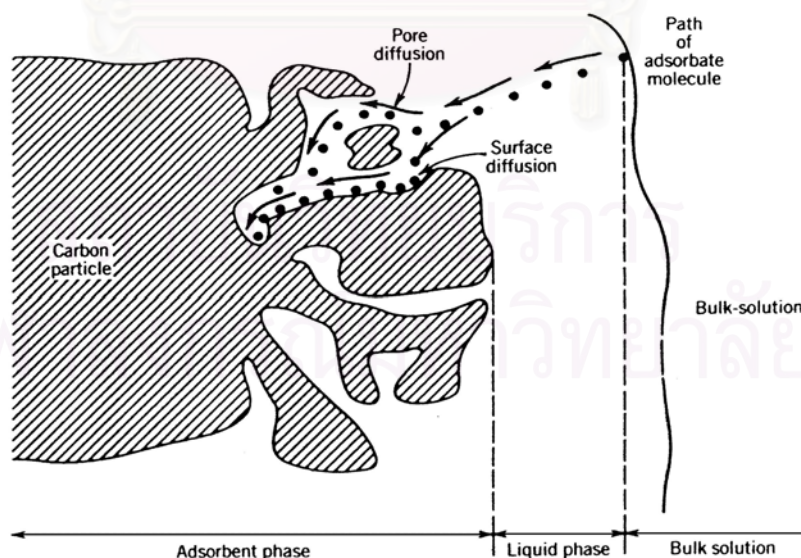
รูปที่ 2.3 การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์
(Cheremisinoff and Morresi, 1978)

2.3.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of molecule transfer)

อัตราการดูดติดผิวมีความสำคัญมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากอัตราการดูดติดผิวที่รวดเร็วจึงทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดติดผิวจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ขั้นตอนในการดูดติดผิวของสารละลายโดยตัวดูดติดผิวที่มีรูพรุน มี 3 ขั้นตอนคือ

1. การขนส่งทั้งก้อน (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของสารที่ละลายในของเหลว จะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ ที่ห่อหุ้มตัวดูดติดผิว
2. การขนส่งชั้นผิวหน้าของตัวดูดติดผิว (Surface transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ แทรกตัวเข้าสู่ตัวดูดติดผิว การขนส่งในขั้นนี้เป็นกระบวนการที่เกิดการแพร่ผ่านฟิล์มของเหลว (Surface diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิวขั้นตอนหนึ่ง
3. การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลสารที่ละลายในของเหลวเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของตัวดูดติดผิว (Pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดติดผิวขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิวเช่นเดียวกัน

ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวมายังตัวดูดติดผิว แสดงดังรูปที่ 2.4



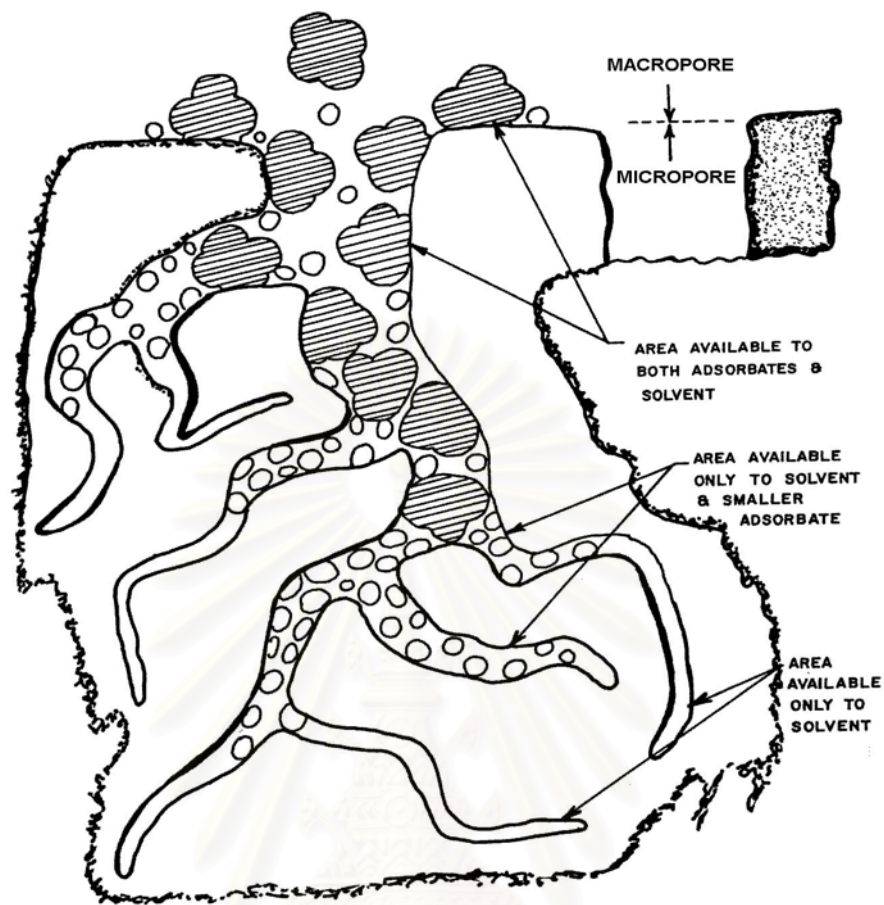
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวมายังตัวดูดติดผิว (Montgomery, 1985)

ภายใต้สภาวะการทำงานหนึ่งๆ การขนส่งชั้นผิวหน้าของตัวดูดติดผิวจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิว แต่ถ้าหากว่าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดติดผิว

2.3.3 กลไกการดูดติดผิว

การดูดติดผิวสิ่งสกปรกที่ละลายอยู่ในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ ในระยะแรกโมเลกุลของสิ่งสกปรกจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของเม็ดถ่าน ในระยะที่สองโมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจาย (diffusion) เข้าไปในรูของเม็ดถ่าน ดังรูปที่ 2.5 ดังนั้นอัตราการดูดติดนี้จึงถูกควบคุมด้วยอัตราการฟุ้งกระจายเข้าไปในตามรูพรุนของเม็ดถ่าน อัตราการดูดติดผิวนี้จะแปรผกผันกับกำลังสองของเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุล และจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำเสีย และจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโมเลกุล นอกจากนี้ยังแปรผันตามกำลังสองของเวลาสัมผัสระหว่างโมเลกุลของสิ่งสกปรกกับถ่าน และจะเพิ่มขึ้นถ้าค่าพีเอชของน้ำเสียลดลง (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2525)

ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของถ่าน และชนิดของสารที่จะถูกดูดติด ดังนั้นการใช้ถ่านดูดติดผิวจึงจำเป็นต้องศึกษาทดลองเพื่อหาถ่านที่เหมาะสมที่สุด สำหรับแต่ละการใช้งาน



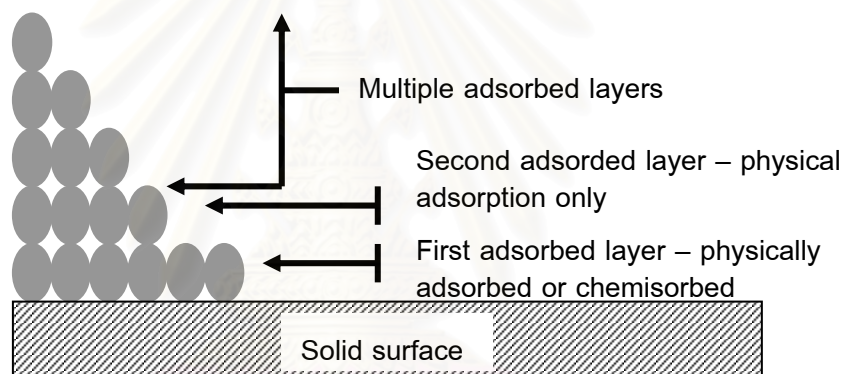
รูปที่ 2.5 การดูดซับของแข็งของสารประกอบน้ำมัน
(Cheremisinoff and Morresi, 1978)

การดูดซับ (Adsorption) ที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียอาจมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ ก) แบบแลกเปลี่ยนประจุ (Exchange adsorption) ข) แบบเคมี (Chemical adsorption) และ ค) แบบกายภาพ (Physical adsorption)

- ก) แบบแลกเปลี่ยนประจุ (Exchange adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการดูดซับด้วยแรงดึงดูดระหว่างไอออน (Ionic forces) หรือแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic forces) บริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับ (Myers, 1999)
- ข) แบบเคมี (Chemical adsorption หรือ Chemisorbed) การดูดซับแบบนี้อาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อกัน ทำให้โมเลกุลของสารเคมีที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่บริเวณผิว

ค) แบบกายภาพ (Physical adsorption) การดูดติดผิวแบบนี้อาศัยการเกิดดูดติดด้วยแรงประเภท Van der Waals ซึ่งไม่ยึดติดแน่นเหมือนกับสองแบบแรก และเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ มักจะเหมาะสมกับสภาวะอุณหภูมิต่ำๆ

ในกระบวนการดูดติดผิว โมเลกุลของสารที่ถูกดูดติดเข้ามาอยู่ในชั้นแรกจะสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับผิวของตัวดูดติดผิวได้ จึงเกิดการดูดติดผิวทั้งแบบกายภาพและเคมี ส่วนการดูดติดผิวของโมเลกุลในชั้นต่อไป จะเกิดการดูดติดผิวแบบกายภาพเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งรูปแบบของจำนวนชั้นของโมเลกุลที่ดูดติดผิวแบบกายภาพ จะมีความสำคัญต่อการเลือกใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการประเมินความสามารถในการดูดติดผิว หรือการคำนวณไอโซเทอมการดูดติดผิว



รูปที่ 2.6 การดูดติดผิวของโมเลกุลแบบหลายชั้นบนผิวของแข็ง (Myers, 1999)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ได้แก่

1) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ เช่น (Schuliger, 1987)

- ขนาดของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการดูดติดผิวเร็วกว่า ดังนั้นถ่านกัมมันต์ชนิดผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเม็ด
- พื้นที่ผิวความสำคัญโดยตรงกับความสามารถในการดูดติดผิว นั่นคือถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของสารไว้ได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวน้อย
- ปริมาณของถ่านของถ่านกัมมันต์ ถ้าใช้ถ่านกัมมันต์จำนวนมากขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดก็จะมากขึ้นด้วย แต่การนำถ่านมาใช้ในงาน จำเป็นจะต้องเลือกปริมาณที่เหมาะสม จึงควรมีการทำไอโซเทอมการดูดติดผิว เพื่อประเมินปริมาณถ่านที่จะนำมาใช้งาน
- นอกจากนี้ขนาดของรูพรุน และส่วนประกอบทางเคมี ก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดติดผิวเช่นกัน

2) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวถูกดูดติด เช่น

- ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะสามารถดูดติดผิวถ่านได้น้อย
- ขนาดของโมเลกุล การดูดติดผิวจะเกิดได้ดีที่สุด เมื่อขนาดของโมเลกุลตัวถูกดูดติดมีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุนเล็กน้อย และโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นกิ่ง (branched chain) จะถูกดูดติดผิวได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นโซ่ตรง
- นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ประจุไฟฟ้าของโมเลกุล และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น

3) ความเข้มข้นของตัวถูกดูดติดในสารละลาย

- ความเข้มข้นของตัวถูกดูดติดในสารละลาย จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของตัวถูกดูดติด โดยการดูดติดผิวในสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกดูดติดต่ำ จะมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกดูดติดสูง

4) คุณสมบัติของสารละลาย เช่น

- ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เนื่องจากความสามารถในการดูดติดผิวขึ้นกับสภาพความเป็นขี้ของพื้นผิวคาร์บอน
- อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดติดผิวลงไปยังรูปพรุนของถ่านได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดติดผิวกับพื้นผิวของถ่านลดลง

5) ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างถ่านกัมมันต์และตัวถูกดูดติดผิวในระบบ

- ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างถ่านกัมมันต์และตัวถูกดูดติดผิว เมื่อน้ำเสียสัมผัสกับถ่านเป็นเวลานาน โอกาสที่จะเกิดการดูดติดผิวก็จะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดติดผิวเพิ่มขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.5 คุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์

ในการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จำเป็นที่จะต้องมีการเลือกถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่าน ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง ตลอดจนความสะดวกในการควบคุมระบบบำบัด เป็นต้น

ลักษณะสมบัติของถ่านที่เป็นตัวกำหนดการใช้งาน ได้แก่ (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1987)

- 1) พื้นที่ผิว (Surface area) โดยทั่วไปถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับสูง
- 2) ความหนาแน่นประจักษ์ (Apparent density) ใช้ในการประเมินความสามารถในการฟื้นฟูสภาพของถ่าน (Carbon regeneration)
- 3) ความหนาแน่นก้อน (Bulk density) ใช้ในการประเมินปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน
- 4) ขนาดใช้งาน (Effective size), เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (Mean particle diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (Uniformity coefficient) ใช้ในการประเมินภาวะทางชลศาสตร์ (Hydraulic conditions) ของถังดูดซับ (Adsorption column)
- 5) ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) ใช้ในการประเมินการดูดซับโมเลกุลในน้ำเสีย
- 6) ซีฟแอนาไลซิส (Sieve analysis) เป็นตัวตรวจสอบ Plant-handling effects ของถ่าน
- 7) แอบริชัน นัมเบอร์ (Abrasion number) ใช้ในการประเมินความคงทนต่อการขัดสี
- 8) ปริมาณร้อยละของเถ้า (% Ash) บอกระดับปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์
- 9) ความชื้น (% Moisture) บอกระดับปริมาณน้ำในถ่านจากการผลิต
- 10) ไอโอดีน นัมเบอร์ (Iodine number) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการประเมินความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และความสามารถในการฟื้นฟูสภาพของถ่านดูดซับ (Carbon regeneration)
- 11) โมลาส นัมเบอร์ (Molasses number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- 12) ขนาดของรูพรุน (Pore size) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันทั่วไปในการบำบัดน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 2.3 และนอกจากนี้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศ ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900-2532) แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์บางชนิด

	NORIT (lignite)	Calgon Fitrasorb 300 (8 x 30) (bituminous)	Westvaco Nuchar WV-L (8 x 30) (bituminous)	Witco 517 (12 X 30) (bituminous)
Physical Properties				
Surface area, m ² /g (BET)	600-650	950-1050	1000	1050
Apparent density, g/cm ³	0.43	0.48	0.48	0.48
Density, backwashed and drained, lb/ft ³	22	26	26	30
Real density, g/cm ³	2.0	2.1	2.1	2.1
Particle density, g/cm ³	1.4-1.5	1.3-1.4	1.4	0.92
Effective size, mm	0.8-0.9	0.8-0.9	0.85-1.05	0.89
Uniform coefficient	1.7	1.9 or less	1.8 or less	1.44
Pore volume, cm ³ /g	0.95	0.85	0.85	0.60
Mean particle diameter, mm	1.6	1.5-1.7	1.5-1.7	1.2
Specifications				
Sieve size (U.S. standard series)				
Larger than No. 8 (max. %)	8	8	8	T
Larger than No. 12 (max. %)	T	T	T	5
Smaller than No. 30 (max. %)	5	5	5	5
Iodine number, mg/g:	650	900	950	1000
Abrasion number, minimum	=	70	70	85
Ash, %	=	8	7.5	0.5
Moisture as packed (max%)	=	2	2	1

T Not applicable to this size carbon.

= No available data from the manufacturer.

ที่มา: Hassler (1974)

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900-2532)

คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ผง

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

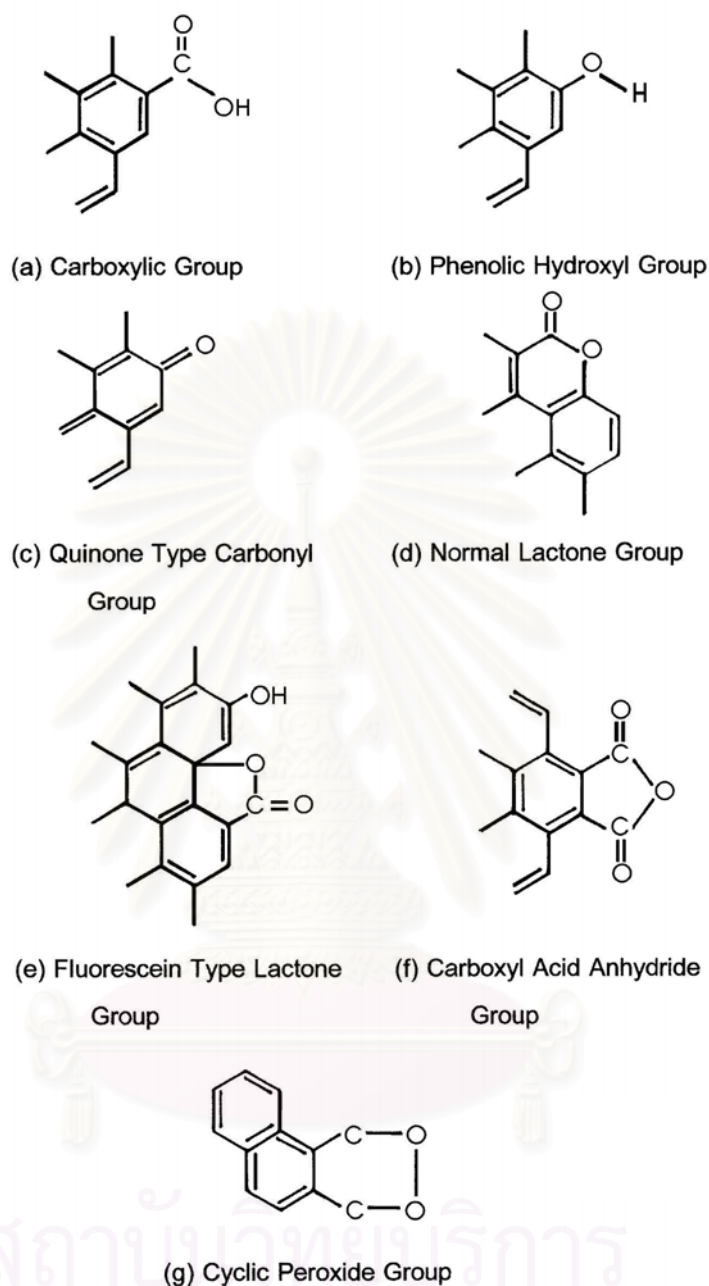
คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์เม็ด

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

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2532)

2.3.6 โครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (Surface functional groups)

พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่นๆ ได้ เช่น อะตอมของออกซิเจน และไฮโดรเจน ในกระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ จะทำให้ธาตุเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผลจากกระบวนการผลิต ทั้งในขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชัน และการเกิดพันธะเคมีบนพื้นผิวในขั้นตอนการกระตุ้น การที่มีอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้ ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากอะตอมเหล่านี้เมื่อเกิดการรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอนโดยเกิดพันธะเคมี จะเกิดเป็นกลุ่มฟังก์ชันนอล (Functional groups) บนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ กลุ่มฟังก์ชันนอลที่พบบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ที่พบได้บ่อยๆ ได้แก่ Carbonyl groups, Phenolic hydroxyl groups, Quinone type carbonyl groups, Normal lactones groups, Fluoresceintype groups, Carboxylic acid anhydrides groups และ Cyclic peroxide groups ดังแสดงในรูปที่ 2.7 นอกจากนี้ในขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ยังเกิดเถ้า (ash) ซึ่งเถ้าและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้า ยังมีหลากหลายอีกด้วย



รูปที่ 2.7 กลุ่มฟังก์ชันนอลบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (Cookson, 1978)

นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมถ่านกัมมันต์ลงในสารละลาย จะทำให้พีเอชของสารละลายเปลี่ยนแปลง คือสามารถแสดงความเป็นกรดหรือเป็นด่างได้ ถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณของอะตอมออกซิเจนบนพื้นผิวมาก ก็จะแสดงความเป็นกรด ซึ่งพื้นผิวที่เป็นกรดนี้ก็จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนน้อย ก็จะแสดงความเป็นด่าง ซึ่งก็จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ (Lahaye, 1998)

2.3.7 การศึกษาและทดลองวิเคราะห์ระบบการดูดติดผิว

ในการออกแบบระบบการดูดติดผิวด้วยถ่าน จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาดทดลองเพื่อให้ได้ถ่านที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด และเพื่อหาค่ากำหนดในการออกแบบระบบที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาดทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนปฏิบัติการ (Laboratory test) และขั้นตอนโรงงานทดลอง (Pilot column test)

2.3.7.1 ขั้นตอนปฏิบัติการ (Laboratory test)

คือ การทดลองเพื่อหาความสามารถในการดูดติดผิวของถ่าน (Adsorption capacity) ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การหาไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption isotherm test) การหาค่าไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number test) และ การหาค่าโมลาสนัมเบอร์ (Molasses number test) เป็นต้น แต่วิธีที่ใช้โดยทั่วไป คือ การหาไอโซเทอมการดูดติดผิว

ไอโซเทอมการดูดติดผิว คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดติดผิวกับความเข้มข้นของสารนั้นที่ยังเหลืออยู่ที่จุดสมดุลของการดูดติดผิว เช่น การทดสอบความสามารถในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำทิ้งด้วยถ่านดูดติดผิว เมื่อแสดงเป็นไอโซเทอมการดูดติดผิว จะได้แก่ เส้นโค้งซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทิ้งซึ่งพลอตค่าลงในแกนนอน และปริมาณของโลหะหนักที่ถูกดูดติดผิวไป ต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านพลอตค่าลงในแกนตั้ง ความสัมพันธ์นี้สามารถนำมาเขียนในรูปสมการได้

ระบบดูดติดผิวได้ถูกวิเคราะห์ด้วยทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้รูปของสมการอย่างง่าย แล้วนำสมการมาวาดกราฟเพื่อสามารถวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆ ได้ ซึ่งเป็นแนวทางที่นำมาใช้ในการคำนวณออกแบบระบบดูดติดผิว การวิเคราะห์ระบบดูดติดผิวได้มีผู้วิเคราะห์ไว้ อยู่สามกลุ่มคือ สมการแลงเมียร์ (Langmuir equation), สมการ BET (Brunauer-Emmett-Teller equation) และสมการฟรุนดิช (Freundlich equation) แต่ที่นิยมใช้กับมากในการดูดติดผิวสารปนเปื้อนในน้ำเสียคือสมการฟรุนดิช

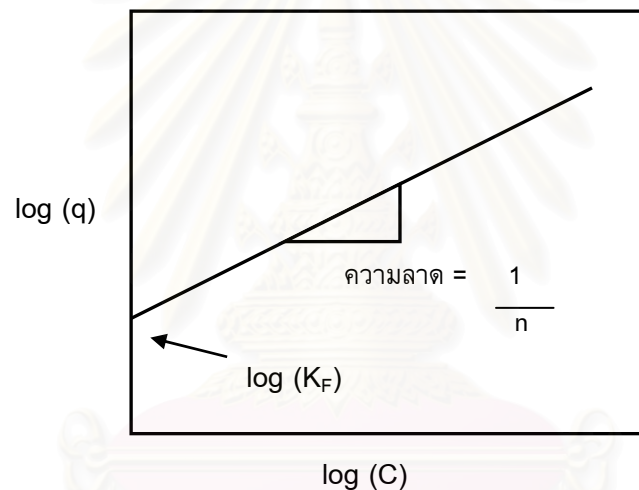
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการพรุนดิช แสดงดังสมการที่ 2-4 สำหรับระบบดูดติดผิว ซึ่งสมการนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจางและมีความเข้มข้นของตัวถูกดูดติดผิวก่อนข้างต่ำ

$$q = K_F C^{1/n} \quad (2-4)$$

โดยที่: $K_F =$ ค่าคงที่
 $n =$ ค่าคงที่

จากสมการ 2-4 สามารถวาดกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟสำหรับสมการของพรุนดิช

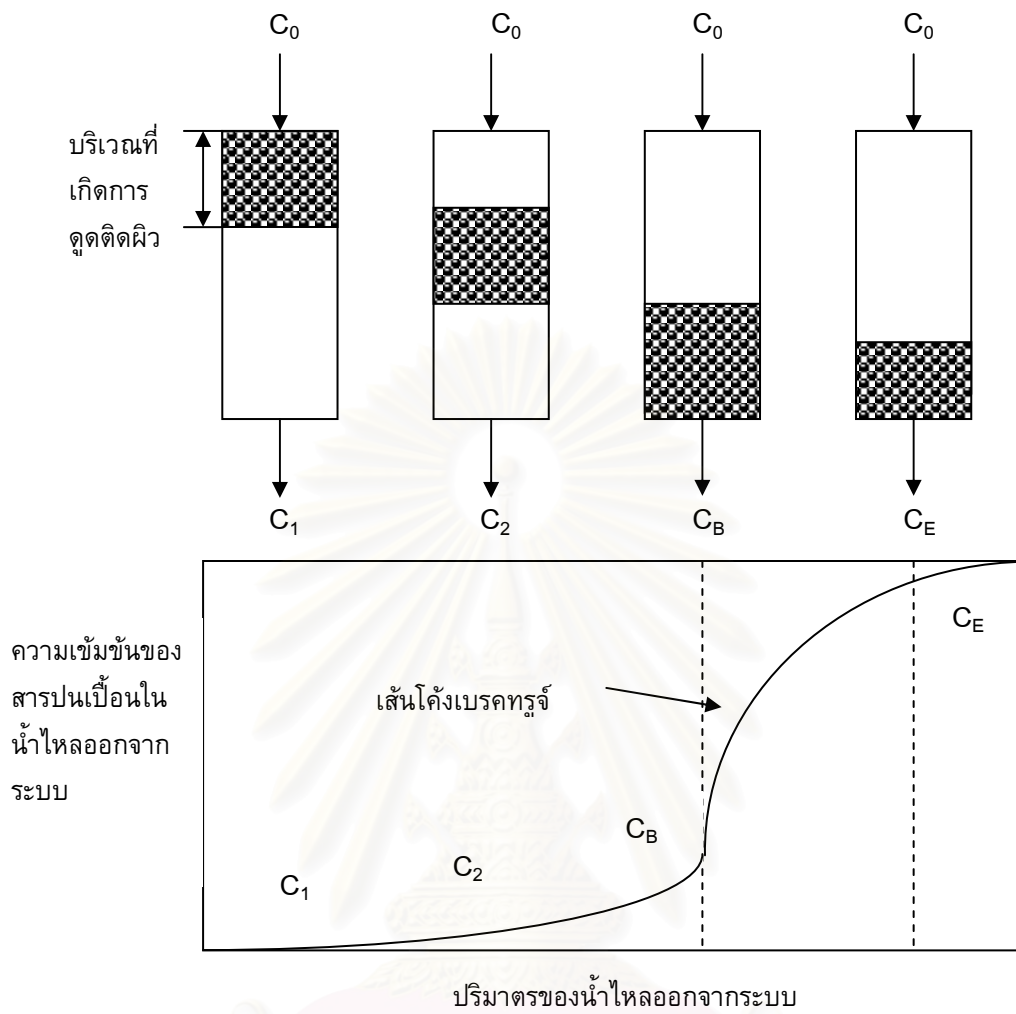
เมื่อเขียนสมการลงบนกระดาษกราฟลอการิทึม จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเป็น $1/n$ เส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวที่อยู่ในระดับที่สูงกว่าแสดงว่ามีความสามารถในการดูดติดผิวมากกว่าในช่วงความเข้มข้นที่ทำการทดสอบ และเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวที่มีความชันมากกว่าแสดงว่าการดูดติดผิวจะเกิดได้ดีที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่จะเกิดได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำๆ โดยทั่วไปถ่านที่มีเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวชันมาก จะมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสูงเมื่อนำไปใช้ในระบบสัมผัส ส่วนถ่านที่มีเส้นชันน้อยกว่าจะเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบบแบตช์

2.3.7.2 ชั้นโรงงานทดลอง (Pilot column test)

การหาไอโซเทอมการดูดติดผิวนั้น เป็นการทดลองแบบชั่วคราว ซึ่งบอกให้ทราบได้ว่าการดูดติดผิวด้วยถ่านนั้นจะใช้ได้ผลดีหรือไม่ ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นยังไม่เพียงพอสำหรับการออกแบบระบบบำบัดโดยใช้การดูดติดผิวด้วยถ่าน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้ท่อขนาดเล็กแทนถังบรรจุถ่าน ระบบดูดติดผิวแบบนี้ น้ำเสียไหลผ่านชั้นถ่านที่อยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ขึ้นลง ลักษณะการดูดติดผิวเริ่มเกิดขึ้นบริเวณส่วนบนๆ ของถังดูดติดผิวแบบแท่ง แล้วบริเวณการดูดติดผิวจะค่อยๆ เคลื่อนลง และจะเกิดการดูดติดผิวขึ้นที่ส่วนล่างของชั้นถ่าน จนกระทั่งหมดสภาพการดูดติดผิวที่ส่วนกันของชั้น ดังแสดงผลของการดูดติดผิวไว้ในรูปที่ 2.9 ดังนั้นความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่ผ่านการดูดติดผิวแล้วจะเพิ่มขึ้นตามเวลาหรือปริมาณน้ำเสีย จนในที่สุดความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่ผ่านถังดูดติดผิวแบบแท่งจะเท่ากับความเข้มข้นที่เข้าสู่ระบบ

กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำทิ้งที่ผ่านชั้นถ่านแล้ว ต่อความเข้มข้นเริ่มต้น เทียบกับปริมาณน้ำที่ผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ คือเส้นโค้งที่เรียกว่าเส้นโค้งเบรคทรูจ (Breakthrough curve) ณ จุดที่การดูดติดผิวถ่านเริ่มทำงานไม่ได้ประสิทธิภาพ นิยมเรียกว่าจุดเริ่มหมดสภาพ และหลังจากจุดนี้ต่อไปเป็นเส้นตรงยกขึ้นสูงคือประสิทธิภาพการดูดติดผิวน้อยๆ ลดลง จนถ่านหมดสภาพจนไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้อีก เส้นโค้งเบรคทรูจแสดงในรูปที่ 2.9 ที่จุด C_E ที่เรียกว่าจุดหมดสภาพ (Breakthrough point) ระยะเวลานับจากเริ่มต้นการดูดติดผิวจนถึง จุดเริ่มหมดสภาพ เรียกว่า Breakpoint time ซึ่งจะมีค่าลดลงถ้า

- ความสูงของชั้นถ่านลดลง
- เม็ดถ่านมีขนาดใหญ่ขึ้น
- อัตราการไหลของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น
- ความเข้มข้นของสารที่จะถูกดูดติดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.9 ระบบดูดติดผิวแบบไหลต่อเนื่องในชั้นตรึง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.8 การฟื้นฟูสภาพของถ่านดูดติดผิว (Carbon regeneration)

เมื่อถ่านดูดติดผิวถูกใช้งานไปเป็นเวลานานๆ รูพรุนของเม็ดถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรก ทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิว เนื่องจากถ่านดูดติดผิวมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อที่จะลดราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดจะต้องนำถ่านดูดติดผิวที่หมดประสิทธิภาพ (Exhausted carbon) มาฟื้นฟูเพื่อสามารถนำกลับมาใช้งานอีก การฟื้นฟูถ่านดูดติดผิวโดยการนำถ่านไปกำจัดโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่อุดอยู่ในรูของถ่านดูดติดผิวอาจทำได้หลายวิธี ได้แก่ (Lyman, 1987)

1) การใช้ความร้อนในการฟื้นฟูสภาพ (Thermal reactivation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก ถ่านดูดติดผิวที่หมดประสิทธิภาพแล้วจะรวมกับน้ำมีลักษณะขุ่น (slurry) นำเข้ามาในระบบฟื้นฟูคุณภาพ หลังจากนั้นทำการแยกน้ำ (dewater) ออกจากถ่านดูดติดผิว แล้วส่งเข้าเตาเผาที่เรียกว่า multiple hearth furnace หรือ rotary kiln ทำการเผาที่อุณหภูมิ 870–980 องศาเซลเซียส ระหว่างนี้ถ่านจะถูกทำให้แห้ง และการเผาไหม้ใหม่จะทำให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกที่เป็นสารอินทรีย์บนผิวหน้า และในรูพรุนของเม็ดถ่านระเหยเป็นไอและถูกเผาผลาญตัวไป ในขั้นตอนการเผาจะต้องควบคุมปริมาณออกซิเจนเพื่อให้ความร้อนทำลายโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่ติดผิวถ่าน แต่ไม่ทำลายเนื้อถ่าน (Cheremisinoff and Morresi, 1978) หลังจากนั้นถ่านดูดติดผิวที่ร้อนจัดจะถูกทำให้เย็นโดยจุ่มลงในน้ำ (Quenching) แล้วนำไปล้างแยกเศษผงถ่านออกแล้วจึงนำไปเก็บไว้หรือนำกลับไปใช้งาน การฟื้นฟูคุณภาพของถ่านดูดติดจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 4,000-5,000 บีทียูต่อถ่านหนึ่งปอนด์ ในแต่ละขั้นตอนถ่านจะสูญหายไปประมาณร้อยละ 4-9

2) การใช้ด่างในการฟื้นฟูสภาพ (Alkaline regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับตัวถุกดูดติดผิว หรือสภาวะที่ใช้ในการดูดติดผิวที่เป็นกรด

3) การใช้กรดในการฟื้นฟูสภาพ (Acid regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับตัวถุกดูดติดผิว หรือสภาวะที่ใช้ในการดูดติดผิวที่เป็นด่าง

4) การใช้ตัวทำละลายในการฟื้นฟูสภาพ (Solvent regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับตัวถุกดูดติดผิวกลุ่มสารอินทรีย์

5) การใช้ไอน้ำในการฟื้นฟูสภาพ (Steam regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับตัวถุกดูดติดผิวที่เป็นไอได้ง่าย

6) การฟื้นฟูสภาพโดยวิธีทางเคมี (Biological regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับตัวถุกดูดติดผิวที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ เช่นสารอินทรีย์

2.4 ตะกั่ว (Lead : Pb)

2.4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกั่ว

ตะกั่ว (Lead : Pb) เป็นธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.19 อยู่ในหมู่ IV A ของตารางธาตุ มีวาเลนซ์ได้หลายระบบ เช่น 1, 2 และ 4 แต่ตะกั่วส่วนมากจะอยู่ในสภาวะวาเลนซ์ 2 ซึ่งเสถียรมากที่สุด สมบัติทางกายภาพของตะกั่วประกอบด้วยรัศมีอะตอม (โควาเลนต์) 154 pm รัศมีไอออน M^{+2} เป็น 120 pm ความหนาแน่น 11.3 กรัม/ลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,744 องศาเซลเซียส

2.4.2 แหล่งที่เกิด

สารตะกั่วพบได้ทั้งในอากาศ ดิน น้ำ พืช และเครื่องอุปโภคบริโภคในครัวเรือน ในชีวิตประจำวัน เราใช้ตะกั่วทำแบตเตอรี่รถยนต์ เชื่อมโลหะ ทำท่อโลหะผสม ทำฉากรังสีเอกซ์ใช้ในอุตสาหกรรมสี และยาฆ่าแมลงบางชนิด ในน้ำธรรมชาติและน้ำประปา ก็พบว่ามีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในปริมาณน้อย ตะกั่วพบในน้ำเสียจากโรงงานหล่อ หลอม และชุบโลหะ โรงงานแบตเตอรี่ เหมืองแร่ สาเหตุการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการปล่อยน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัด สู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และจากน้ำฝนที่ชะล้างสารตะกั่วจากอากาศและพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ สำหรับน้ำประปาอาจมีตะกั่วเจือปนได้จากน้ำดิบที่ใช้ผลิต และจากท่อจ่ายน้ำที่บริเวณข้อต่อมีการกัดกร่อนด้วยตะกั่ว

ค่ามาตรฐานของตะกั่วในน้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ได้กำหนดความเข้มข้นตะกั่วในน้ำทั้งที่ระบายออกจากโรงงานจะต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ส่วนในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินกำหนดความเข้มข้นตะกั่วสูงสุดจะต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2.4.3 พิษของตะกั่ว

ตะกั่วมีพิษร้ายแรงต่อมนุษย์และสัตว์ ทั้งพิษเฉียบพลัน และพิษสะสม ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง ทั้งทางอาหาร น้ำดื่ม ลมหายใจ และทางผิวหนัง ร่างกายสามารถขับตะกั่วออกมาได้เพียงบางส่วน ส่วนที่เหลือจะสะสมอยู่ในร่างกายในตับ ไต และเซลล์ต่างๆ ซึ่งจะ

เป็นอันตรายได้ ในภายหลัง พิษจากตะกั่วทำให้ร่างกายมีความผิดปกติต่างๆ เช่น (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2534)

- ผลต่อระบบเลือด ตะกั่วจะมีผลต่อการสร้างเม็ดเลือด ทำให้เม็ดเลือดแดงแตก เกิดภาวะโลหิตจาง โลหิตเป็นพิษ
- ผลต่อการทำงานของไต การที่ร่างกายรับสารตะกั่วเข้าไปมากๆ จะก่อให้เกิดการทำลายเซลล์ของท่อเล็กๆ ของไต ทำให้เนื้อเยื่อไตแข็งกระด้าง และเกิดภาวะไตวายในที่สุด
- ผลต่อสมองและระบบประสาท ตะกั่วจะเข้าไปทำลายระบบประสาทส่วนที่มีหน้าที่จดจำ เรียนรู้ และเกี่ยวข้องกับความรู้สึก อารมณ์ทางสมองที่เกิดขึ้นได้แก่ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ซึม กระวนกระวาย ความจำเสื่อม ประสาทหลอน ชัก และเป็นอัมพาต
- นอกจากนี้ตะกั่วยังเป็นสารก่อการกลายพันธุ์ และเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง

2.4.4 ตะกั่วในน้ำ

พีเอชของน้ำมีความสำคัญอย่างมากต่อรูปแบบของโลหะหนัก รวมถึงตะกั่วที่พบในน้ำเสีย การเพิ่มพีเอชให้น้ำเสียโดยการเติมสารเคมีที่เป็นด่าง เช่นปูนขาว และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของตะกั่วลดลง ส่งผลให้ตะกั่วตกตะกอนอยู่ในรูปของตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) ซึ่งสามารถใช้หลักการของการตกตะกอนนี้ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียได้

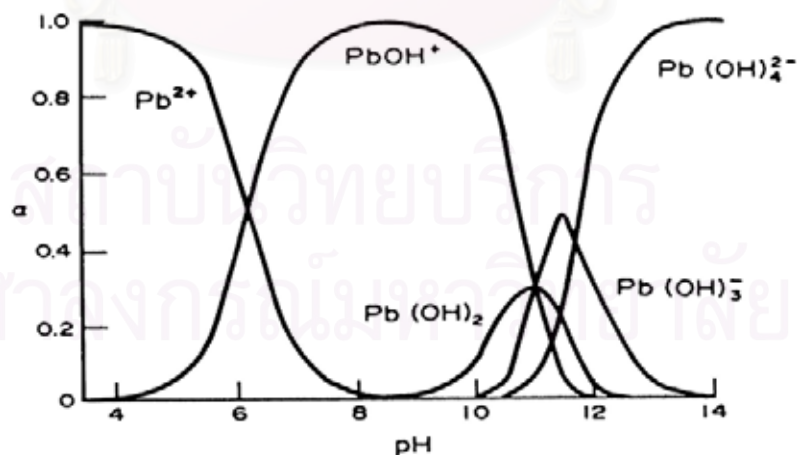
ในน้ำธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว ทั้งในแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่าตะกั่วสามารถพบได้ในหลายรูปแบบ เช่น $PbCO_3$, $Pb(CO_3)_2^{2-}$, $PbCl^+$, $PbOH^+$ และ $Pb(OH)_2$ (Fergusson, 1990) จากการศึกษารูปแบบทางกายภาพและเคมีของตะกั่วที่พบในน้ำ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รูปแบบของตะกั่วในน้ำ

Size	← 1nm — 10nm — 100nm — 1000nm						
	Soluble			Colloidal		Particulate	
Metal species	Free metal ions	Inorganic ion pairs: Organic chelates	Organic complexes	Metal species bound to high molecular weight organic material	Metal species absorbed on colloids	Metals incorporated with organic particles and remains of living organisms	Mineral solids: Metals adsorbed on solids: Precipitates and co-precipitates
Example	Pb^{2+}	$PbHCO_3^+$ Pb-EDTA	Pb-fulvic acid	Pb-humic acids	$Pb-Fe(OH)_3$ $Pb-MnO_2$	Pb-organic solids	Pb-clay $PbCO_3$ (s)

ที่มา: Harrison and Laxen (1981)

รูปแบบของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เตรียมจาก $Pb(NO_3)_2$ พบว่า ตะกั่วในสารละลาย สามารถอยู่ในรูปของ Pb^{2+} , $Pb(OH)^+$, $Pb(OH)_2$, $Pb(OH)_3^-$ และ $Pb(OH)_4^{2-}$ โดยจะมีอัตราส่วนแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย ถ้า $pH \leq 6$ ตะกั่วในสารละลายจะอยู่ในรูป Pb^{2+} (Xiu และ Li, 2000) กราฟแสดงอัตราส่วนรูปแบบของตะกั่วที่พบได้ในน้ำที่พีเอชต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแบบของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอชต่าง ๆ (Fergusson, 1990)

2.4.5 การตรวจวิเคราะห์ตะกั่ว

การตรวจวิเคราะห์ตะกั่วในน้ำเสียมีวิธีวิเคราะห์ดังนี้ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2540)

1. วิธี Atomic Adsorption Spectrometric (AAs)
2. วิธี Inductively Coupled Plasma (ICP)
3. วิธีไตโรโซน

วิธี Atomic Adsorption Spectrometric จะใช้พลังงานจากเปลวไฟที่เกิดจากเผาก๊าซอะเซทิลีนและอากาศ ทำให้ตะกั่วแตกตัวออกเป็นอะตอมเสรี (atomization) อะตอมของตะกั่วจะเปล่งแสงเมื่อได้รับความร้อนสูงๆ และเครื่องจะวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 217 นาโนเมตร ส่วนวิธี Inductively Coupled Plasma วัดได้เช่นเดียวกับเทคนิคที่ใช้เปลวไฟสำหรับวิธีไตโรโซน อาศัยหลักการการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อน และวัดสีที่เกิดขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 ทูเรียน

ทูเรียนเป็นไม้ผลยืนต้นในอันดับ Males วงศ์ Bombacaceae สกุล Durio ซึ่งประกอบด้วยทูเรียน 27 ชนิด (species) ชนิดที่ปลูกกันแพร่หลายเป็นการค้า คือทูเรียนบ้าน มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Durio zibethinus* ซึ่งมีมากกว่า 200 พันธุ์

แหล่งผลิตทูเรียน ทูเรียนเป็นไม้ผลเมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดทางเอเชียตอนใต้ แถบหมู่เกาะบอร์เนียว อินโดนีเซีย มาเลเซีย ต่อมาได้แพร่กระจายไปยังที่ต่างๆ รวมทั้งประเทศไทย คาดว่าได้นำมาปลูกตั้งแต่สมัยต้นกรุงรัตนโกสินทร์ และมีปลูกกันมากในบริเวณกรุงเทพฯ และนนทบุรี เป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนและฝนตกชุก ชอบสภาพดินร่วนปนทราย ระบายน้ำได้ดี จึงสามารถปลูกได้ดีทางภาคตะวันออก เช่น จันทบุรี ระยอง ตราด ปราจีนบุรี และทางภาคใต้ เช่น ชุมพร สุราษฎร์ธานี ปัจจุบันเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญ ซึ่งนอกจากบริโภคในประเทศแล้ว ยังสามารถส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศด้วย ซึ่งประเทศไทยเป็นแหล่งส่งออกทูเรียนที่สำคัญของโลกประเทศหนึ่ง (สมศักดิ์ วรรณศิริ และคณะ, 2530)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะม่วงหิมพานต์แยกได้เป็น

- 1) ลำต้น เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่มีความสูง 70-80 ฟุต อายุยืน 80-150 ปี มีเปลือกแข็งสีเทาแก่ เป็นไม้ประเภทเนื้ออ่อน มีกิ่งออกจากลำต้นโดยรอบ สลับทิศทางกัน
- 2) ใบ เป็นใบเลี้ยงคู่ชนิดใบกว้าง เป็นแบบใบเดี่ยว ขนาดกว้าง 2-3 นิ้ว ยาว 6-8 นิ้ว
- 3) ดอก มีลักษณะคล้ายระฆัง มีส่วนของดอกครบถ้วนและเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีรังไข่อยู่เหนือส่วนอื่นของดอก ในแต่ละดอกประกอบด้วย กลีบเลี้ยง กลีบรอง กลีบดอก เกสรตัวผู้
- 4) ผล ผลทูเรียนเป็นแบบแคปซูล มีเปลือกหนา มีหนามแข็งเป็นรูปปิรามิดตลอดผล ผลมีลักษณะผลกลมหรือกลมรี มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15-20 เซนติเมตร ยาว 25-35 เซนติเมตร เนื้อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน สีของเนื้อขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของทูเรียนนั้นๆ รสชาติหวาน มีกลิ่นเฉพาะตัว

ในการทดลองนี้จะนำเปลือกของทูเรียนพันธุ์หมอนทอง มาเป็นวัตถุดิบในการผลิต ถ่านกัมมันต์

2.6 มะม่วงหิมพานต์

มะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ผลยืนต้นในตระกูล Anacardiaceae ชื่อสามัญภาษาอังกฤษคือ Cashew หรือ Cashewnut มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Anacardium occidentale* L. สำหรับในประเทศไทย คำว่ามะม่วงหิมพานต์เป็นชื่อใช้เรียกกันอย่างเป็นทางการ ส่วนภาษาท้องถิ่นในจังหวัดต่างๆ จะเรียกแตกต่างกันตามความนิยมของพื้นที่ เช่น ยาร่วง, เล็ดล่อ, ทำยล่อ, หัวครก, ยาโหย, ยาห้อย, กระแตแหล และกาหยี่ เป็นต้น (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530)

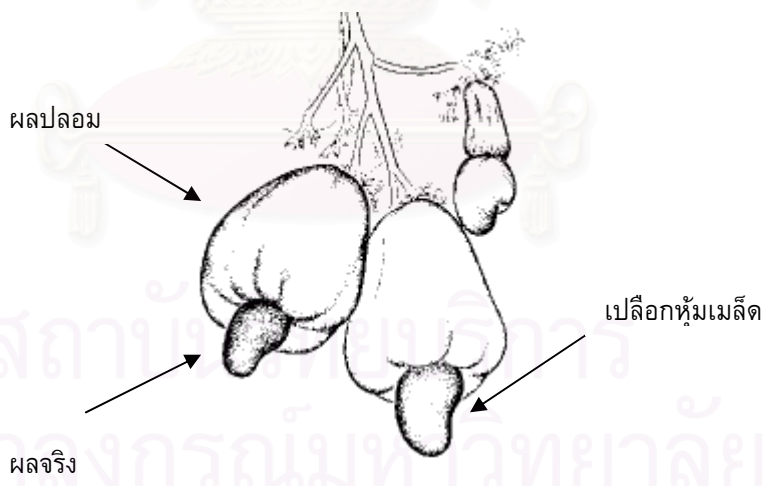
แหล่งผลิตมะม่วงหิมพานต์ มะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ผลเมืองร้อนที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในแถบซีกโลกบริเวณระหว่างเส้นรุ้ง 20 องศาเหนือและใต้ของเส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีอากาศร้อนและฝนตกชุก ได้แก่ บริเวณทวีปอเมริกากลางและใต้ในบางส่วน ทวีปแอฟริกา คาบสมุทรและเกาะต่างๆ ทางตอนใต้ของทวีปเอเชีย และดินแดนบางส่วนทางตอนเหนือของทวีปออสเตรเลีย

สำหรับประเทศไทย มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2444 สามารถปลูกได้ในแทบทุกภาค แต่จะปลูกกันมากทางจังหวัดภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไปถึงจังหวัดยะลาและนราธิวาส นอกจากนี้ยังมีปลูกกันบ้างเล็กน้อยทางภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลาง เนื่องจากมีโครงการปลูกมะม่วงหิมพานต์เพื่อช่วยฟื้นฟูเศรษฐกิจในเขตพื้นที่ที่เกิดการทรุดตัวของกิจการเหมืองแร่ในภาคใต้ และเพื่อทดแทนและลดพื้นที่การปลูกมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังมีการส่งเสริมการปลูกเพื่อทดแทนไม้ป่าที่ถูกทำลายและเสื่อมสภาพ เนื่องจากมะม่วงหิมพานต์เป็นพืชโตเร็ว ขึ้นได้ดีในสภาพดินแทบทุกชนิด และทนแล้งได้ดี ไม่ต้องการการดูแลรักษามาก รวมถึงยังสามารถเป็นสินค้าส่งออกที่จะทำรายได้ให้กับประเทศไทยได้อย่างมาก

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะม่วงหิมพานต์แยกได้เป็น

- 1) ลำต้น เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบมีความสูง 20-40 ฟุต มีกิ่งก้านแผ่เป็นพุ่มกว้างโดยรอบกว้างประมาณ 15-35 ฟุต ขนาดของลำต้นวัดโดยรอบเฉลี่ย 1-3 ฟุต เป็นไม้เนื้ออ่อนมีเปลือกหุ้มสีน้ำตาลเทา เนื้อไม้มีสีเทาถึงน้ำตาลแดง ภายในมียางสีเหลืองและเหนียว
- 2) ใบ ใบหนาเป็นมัน รูปไข่ ยาวประมาณ 4-8 นิ้ว กว้าง 2-4 นิ้ว

- 3) ดอก มีกลิ่นหอม ออกดอกเป็นช่อตามปลายกิ่งที่สมบูรณ์ ในแต่ละช่อจะมีทั้งดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย และดอกกระเทย ช่วงที่ออกดอกมากประมาณเดือนธันวาคม ถึงปลายเดือนมกราคม และลดลงเรื่อยๆ จนถึงกลางเดือนมีนาคม
- 4) ผล ผลของมะม่วงหิมพานต์จะมี 2 ส่วน คือผลปลอม กับผลจริง ซึ่งผลปลอมจะมีรูปร่างคล้ายชมพู จะเป็นส่วนของก้านดอกของดอกกระเทยหรือดอกสมบูรณ์เพศที่ได้รับการผสมเกสร เมื่อสุกจะมีสีเหลืองหรือแดง ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ผลของมะม่วงหิมพานต์ส่วนนี้เรียกว่า cashew apple ส่วนที่เป็นผลจริงคือส่วนเมล็ดที่มีลักษณะรูปร่างเหมือนไตติดอยู่ตรงปลายสุดของก้านผล
- 5) เมล็ด ในระยะแรกจะมีสีชมพูหรือม่วง ผิวค่อนข้างอ่อน แล้วเปลี่ยนเป็นสีเขียวเมื่อโตเต็มที่เปลือกจะแข็งและมีสีเข้ม ภายในเปลือกจะมีน้ำมัน (Caustic oil) ซึ่งประกอบด้วยยอนาคาร์ดิก (Anacardic) 90 เปอร์เซ็นต์ และคาร์ดอล (Cardol) 10 เปอร์เซ็นต์ ถัดจากเปลือกเป็นเยื่อหุ้มใน (testa) ซึ่งจะมีสีน้ำตาลแดง ส่วนในสุดของเมล็ดคือเมล็ดใน (kernel) มีสีขาว ซึ่งเป็นส่วนที่นำมารับประทาน



รูปที่ 2.11 ผลของมะม่วงหิมพานต์

สำหรับการใช้ประโยชน์จากมะม่วงหิมพานต์ มะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ยืนต้นที่มีอายุยืน และทุก ๆ ส่วนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ด้านการบริโภค ทางการแพทย์ และ อุตสาหกรรม แต่ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการค้าจะมีอยู่ 2 ส่วน คือ เมล็ดในของมะม่วงหิมพานต์ และ น้ำมันจากเปลือกของเมล็ด

การใช้ประโยชน์จากเมล็ดส่วนใหญ่นิยมมารับประทาน มีคุณค่าทางอาหารสูง พบว่า ในจำนวนเมล็ด 100 ส่วน จะประกอบด้วย โปรตีน 21 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 22 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 47 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.45 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.05 เปอร์เซ็นต์ เหล็ก 5 มิลลิกรัม และวิตามิน เอ บี และอี

การใช้ประโยชน์จากยางในเปลือกเมล็ด เปลือกของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หลังจากที่นำมาสกัด จะได้น้ำมันที่มีลักษณะสีคล้ำและเหนียวข้น เรียกกันในทางการค้าว่า น้ำมันเปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell liquid หรือ CNSL) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทาง การแพทย์ในการรักษาโรคเรื้อน โรคเท้าช้าง วัณโรค โรคผิวหนัง หูด ตาปลา และเท้าแตก และ ยังสามารถนำมาใช้ในการเสริมสวย ทางด้านอุตสาหกรรม นำมาใช้เป็นองค์ประกอบทำพลาสติก แล็กเกอร์ และสีต่าง ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติทนกรดและด่างได้ดี ทำฉนวนไฟฟ้า กระเบื้องยางปูพื้น ผ้าเบรค และแผ่นครัทช์ เป็นต้น (สรรเสริญ เจริญศรี และคณะ, 2520)

นอกจากการใช้ประโยชน์จากสองส่วนที่กล่าวมาแล้ว ยังมีส่วนอื่น ๆ อีก เช่น ผล สามารถนำมาทำอาหาร ทำยา ทำไวน์และเหล้า ส่วนราก และน้ำสกัดจากเปลือก ก็สามารถนำมาทำยาได้เช่นกัน

ในการทดลองนี้จะนำเปลือกของเมล็ดที่ผ่านการกระเทาะเปลือกและรีดน้ำมันออกจาก เมล็ดแล้ว มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์

ศูนย์บริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 เกลือ

มีชื่อทางเคมีว่าโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นสารประกอบที่มีประโยชน์ และใช้กันมากในครัวเรือน และในอุตสาหกรรม

โดยทั่วไปถ้าแบ่งเกลือออกตามแหล่งที่มา จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) เกลือทะเล หรือเกลือสมุทร

เป็นเกลือที่ผลิตจากน้ำทะเล โดยการทำนาเกลือ จะทำในพื้นที่บริเวณชายทะเล พื้นดินเป็นดินเหนียว สามารถเก็บกักน้ำได้ดี มีน้ำทะเลขึ้นลงในระดับที่เหมาะสม จังหวัดที่มีลักษณะภูมิประเทศเหมาะแก่การทำนาเกลือในประเทศไทยมีรวม 6 จังหวัด คือ สมุทรสาคร สมุทรปราการ เพชรบุรี สมุทรสงคราม ฉะเชิงเทรา และชลบุรี (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2521) วิธีการทำนาเกลือ จะทำการสูบน้ำหรือปล่อยน้ำเกลือเข้านา แล้วตากแดดให้น้ำเกลืออิมตัวจนกระทั่งตกผลึกกลายเป็นเกลือที่พื้นนาเกลือ แล้วจึงทำการเก็บผลึกเกลือที่ได้โดยใช้เวลารวมประมาณ 45 วัน

2) เกลือสินเธาว์

เป็นเกลือที่ได้จากเกลือที่มีอยู่ในดิน ผลิตกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ผลิตได้จากการตากแดดน้ำเกลือจากบ่อน้ำเกลือผิวดิน หรือบ่อน้ำเกลือใต้ดิน และการต้มเกลือที่ค้างอยู่กับดินด้วยน้ำ

นอกจากจะประกอบด้วยสารประกอบหลักคือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แต่ก็มีแร่ธาตุอื่นๆ เจือปนอยู่ เช่น แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl) (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2521)

เกลือมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 26.395 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าการละลายจะเพิ่มขึ้นบ้างที่อุณหภูมิสูง แต่เมื่อเย็นลงเกลือบางส่วนก็จะตกผลึก และจะเหลือเกลือละลายอยู่ในสารละลายอิมตัวประมาณร้อยละ 22.6 โดยน้ำหนัก (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2521)

การทำให้เกลือบริสุทธิ์ (Refinery)

วิธีทำให้เกลือบริสุทธิ์มีหลายวิธี แต่มีหลักการที่สำคัญดังนี้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2521)

- 1) นำเกลือมาละลายกับน้ำสะอาดใหม่
- 2) ใช้สารเคมีเพื่อตกตะกอน หรือแยกอนุมูลของสิ่งเจือปน เช่นพวกแคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟตออกเสียก่อน
- 3) ตกผลึกเกลือใหม่อีกครั้งโดยใช้ความร้อนที่ควบคุมได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดำรง ชุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล (2533) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้เกลือแกง หรือ NaCl เป็นตัวกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและขี้เลื่อย จากการทดลองพบว่า ทั้งอุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือต่อวัตถุดิบมีผลโดยตรงต่อคุณภาพถ่านกัมมันต์ที่ได้ เกลือแกงที่ใช้สามารถกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกะลามะพร้าวและขี้เลื่อย ได้ค่าไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number) สูงสุด มีค่าเท่ากับ 640 และ 542 mg/g ตามลำดับ ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือแกงต่อกะลามะพร้าว เท่ากับ 3 และอุณหภูมิเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยนั้นประมาณว่าจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือแกงต่อขี้เลื่อยสูงกว่า 5 และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นที่เหมาะสมที่สุดคือ 60 นาที

อริชัย นพแก้ว (2539) ได้ทำการศึกษาความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวโครเมียมและปรอทออกจากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำชะขยะมูลฝอย โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด คือ A, B และ C การทดลองแบ่งเป็น 2 ตอน คือ การทดลองแบบแบตช์เพื่อศึกษาปัจจัยของพีเอช เวลาสัมผัส และความเข้มข้นของโลหะหนัก ที่มีผลกระทบต่อการดูดติดผิว และหาความสามารถของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง จากการทดลองพบว่า ที่พีเอช 2-4 เป็นช่วงพีเอชที่กำจัดโครเมียมและปรอทออกจากน้ำเสียทั้ง 2 ชนิดได้ดีที่สุดในน้ำเสียสังเคราะห์การกำจัดโครเมียมของถ่านทั้งสามชนิดมีค่าประมาณ 72%, 64% และ 39% ส่วนการกำจัดปรอทมีค่าประมาณ 66%, 61% และ 55% ตามลำดับ ส่วนในน้ำชะขยะมูลฝอยการกำจัดโครเมียมมีค่าประมาณ 86%, 78% และ 62% ส่วนปรอทมีค่าประมาณ 88%, 83% และ 67% ตามลำดับ ส่วนผลของเวลาสัมผัสพบว่า การดูดติดผิวปรอทและโครเมียมจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (>50%) ภายในเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที และเมื่อความเข้มข้นของโลหะเพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดโครเมียมและปรอทจะลดลง สภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิวโลหะทั้ง 2 ชนิด คือพีเอชเท่ากับ 4 เวลาสัมผัสเท่ากับ 15 นาที สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ และสำหรับน้ำชะขยะมูลฝอย คือพีเอชเดิมของน้ำชะขยะมูลฝอยมีค่าอยู่ระหว่าง 7-8 เวลาสัมผัส 15 นาที จากการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช พบว่าถ่านกัมมันต์ A มีความสามารถในการกำจัดโครเมียมและปรอทจากน้ำเสียทั้ง 2 ชนิดได้ดีที่สุด ตอนที่สองเป็นการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแห้ง พบว่าการกำจัดโลหะหนักในน้ำชะขยะมูลฝอยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีประสิทธิภาพรวมประมาณ 90% และ 70% ตามลำดับ

พงศ์ศักดิ์ โอซารส (2539) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น ทำการทดลองโดยการเผาซังข้าวโพดและทำการกระตุ้นด้วยเกลือแกงให้เป็นถ่านกัมมันต์ไปพร้อมๆ กัน กำหนดตัวแปรในการทดลอง 3 ตัวแปร คือ อัตราส่วนของโดยน้ำหนักของซังข้าวโพดต่อเกลือแกง อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเผา โดยใช้ค่าไอโอดีนห่มเบอร์เป็นตัวชี้วัดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ จากการทดลองพบว่าสภาวะที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้นที่เหมาะสมที่สุดคือ ใช้อัตราส่วนซังข้าวโพดต่อเกลือแกงเท่ากับ 1:2 อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส เวลาเผานาน 60 นาที ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาในสภาวะนี้มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.900-2532) คือ มีค่าไอโอดีนห่มเบอร์ 621.37 มิลลิกรัมต่อกรัม ความชื้นร้อยละ 3.38 และความแข็งร้อยละ 68

รัชนก แซ่เจิน (2541) ทำการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวสารหนูวาเลนซ์ 3 และสารหนูวาเลนซ์ 5 ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและแกลบ ซึ่งผ่านการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารกระตุ้น 2 ชนิด คือ เกลือแกง (NaCl) และเฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) ในขั้นเตรียมถ่านกัมมันต์จะคัดเลือกหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัตถุดิบและสารกระตุ้นโดยทำการทดลองที่อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:4 และใช้ค่าไอโอดีนห่มเบอร์เป็นตัวตัดสิน เมื่อทำการเผาและกระตุ้นวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างวัตถุดิบและสารกระตุ้นที่เหมาะสมสำหรับผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเท่ากับ 1:3 และแกลบเท่ากับ 1:1 ในการทดลองแบบแบดซ์เพื่อประเมินความสามารถในการดูดติดผิวสารหนูในถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิดที่ได้จาก กะลามะพร้าวต่อ NaCl (1:3), กะลามะพร้าวต่อ $FeCl_3$ (1:3), แกลบต่อ NaCl (1:1) และแกลบต่อ $FeCl_3$ (1:1) พบว่าความสามารถในการดูดติดผิวสารหนูวาเลนซ์ 3 เป็น 0.01, 0.44, 0.03 และ 0.21 มิลลิกรัมสารหนุต่อกรัมถ่านกัมมันต์ตามลำดับ และให้ความสามารถในการดูดติดผิวสารหนูวาเลนซ์ 5 เป็น 0.01, 3.26, 0.01 และ 2.92 มิลลิกรัมสารหนุต่อกรัมถ่านกัมมันต์ ตามลำดับ ซึ่งการคำนวณได้จากค่าคงที่ในสมการของฟรุนดิช ผลของการหาค่าไอโซเทอมการดูดติดผิว แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ชนิดที่กระตุ้นด้วยเฟอริกคลอไรด์มีความเหมาะสมต่อการดูดติดผิวสารหนูได้ดีกว่าชนิดที่ใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น และในการทดสอบแบบต่อเนื่องได้เลือกใช้ถ่านกัมมันต์ชนิด แกลบต่อ $FeCl_3$ ในอัตราส่วน 1:1 พบว่าให้ค่าการดูดติดผิวสารหนูวาเลนซ์ 3 และ 5 เท่ากับ 0.48 และ 0.82-1.02 มิลลิกรัมสารหนุต่อกรัมถ่านกัมมันต์ ตามลำดับ

Reed, Jamil และ Thomas (1996) ได้ทำการศึกษาการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียทั้งแบบแบดซ์และแบบคอลัมน์ โดยศึกษาอิทธิพลของพีเอช เวลาสัมผัส และอัตราการไหลของน้ำเสียในคอลัมน์ถ่านกัมมันต์แบบเม็ด ผลการทดลองพบว่า พีเอชของคอลัมน์มีความสำคัญต่อ

การกำจัดตะกั่ว โดยการกำจัดตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรผ่านคอลัมน์จนถึงจุดเสื่อมสภาพของถ่าน พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้ มีค่าคงที่การดูดติดผิว (X/M_{exh}) เท่ากับ 8 มิลลิกรัมต่อกรัม และการฟื้นฟูสภาพถ่านโดยใช้กรดและด่างพบว่า มีประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วหลุดออกจากพื้นผิว และละลายกลับได้สู่สารละลาย

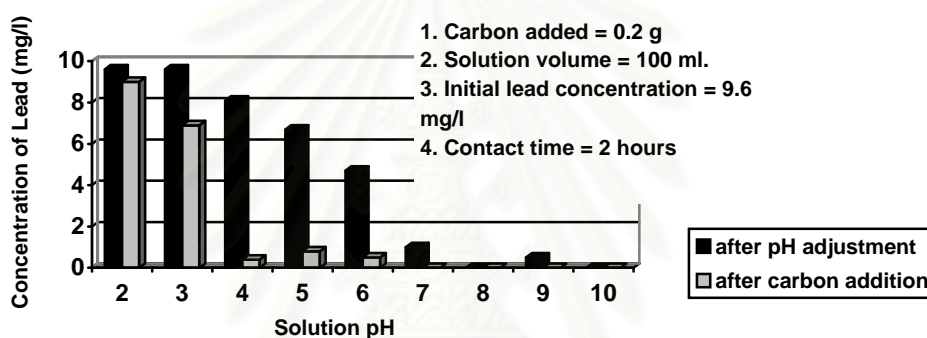
Chen และ Wang (2000) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด Filtrasorb 200 โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง เมื่อทำการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนัก 3 ชนิดคือ ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว ผ่านถังดูดติดผิวแบบแท่งพบว่าค่าพีเอชเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย จากการทดลองพบว่าค่า Breakthrough time ของถ่านในถังดูดติดผิวแบบแท่งจะเพิ่มขึ้น เมื่อพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นที่เข้าสู่ระบบมีค่าสูงขึ้น และประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะ 3 ชนิดจะแตกต่างกัน โดยประสิทธิภาพการกำจัดเรียงจากมากไปน้อย คือทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ตามลำดับ เมื่อมีการปรับสภาพของถ่านโดยใช้สารละลายกรดไนตริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนผ่านน้ำเสียสู่ชั้นถ่าน จะทำให้ถ่านมีประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น

Namasivayam และ Kadirvelu (1999) ศึกษาการดูดติดผิวโลหะปรอท (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกาบมะพร้าว (coirpith) ที่เตรียมโดยวิธีทางเคมี โดยใช้เวลาสัมผัส ความเข้มข้นของสารละลายปรอท ปริมาณสารดูดติดผิว และพีเอชต่างๆ พบว่าค่าสมมูลของการดูดติดผิวอยู่ที่ 10, 25, 30 และ 40 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายปรอท 10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่า การดูดติดผิวเป็นไปตาม Langmuir และ Freundlich isotherms โดยมีค่าความสามารถในการดูดติดผิวของถ่าน เท่ากับ 154 มิลลิกรัมของปรอทต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ การดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 2 ถึง 5 และจะคงที่จนถึงพีเอช 11

Kadirvelu, Thamaraiselvi และ Namasivayam (2001) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดติดผิวโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกาบมะพร้าว โดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี พบว่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นจากพีเอช 2 ถึง 6 และจะคงที่จนถึงพีเอช 10 และจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของการดูดติดผิว ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโลหะ และค่าพีเอชโดยสามารถกำจัดได้สูงสุดดังนี้ Cu(II) ได้ 73%, Hg(II), Pb(II) และ Cd(II) ได้ 100% และ Ni(II) ได้ 92% สำหรับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก Cu(II), Pb(II), Ni(II), Hg(II) และ Cd(II) เท่ากับ 5.0, 4.0, 3.5, 3.5 และ 4.0 ตามลำดับ

Netzer และ Hughes (1984) ได้ทำการศึกษาการดูดติดผิวตะกั่ว ทองแดง และ โคบอลต์ จากน้ำเสีย โดยศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดติดผิวโลหะ เช่น ชนิดของถ่านกัมมันต์ ค่าพีเอชของสารละลาย เวลาเกิดสมดุล และปริมาณถ่านกัมมันต์ จากผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดติดผิวโลหะหนักทั้งสามแตกต่างกัน และค่าพีเอชมีผลอย่างมากต่อการดูดติดผิวโลหะหนัก เนื่องจากพบว่าที่พีเอชสูง โลหะหนักจะตกตะกอน ผลของเวลาสัมผัสพบว่า สมดุลของการดูดติดผิวเกิดขึ้นใน 30 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.12

Lead concentration after pH adjustment and carbon adsorption vs solution pH



pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lead concentration after pH adjustment (mg/l)	9.6	9.6	8.1	6.7	4.7	1.0	0	0.5	0
Lead concentration after carbon addition (mg/l)	9.0	6.9	0.4	0.8	0.5	0	0	0	0

รูปที่ 2.12 ความเข้มข้นตะกั่วหลังปรับพีเอช และผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่าน (Netzer and Hughes, 1984)

บทที่ 3

การดำเนินการศึกษา

3.1 รูปแบบการดำเนินการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง (Experimental research) ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale)

สถานที่ปฏิบัติงาน ห้องปฏิบัติการมูลฝอย (Solid waste laboratory) ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการทำถ่านกัมมันต์

- ตู้อบความร้อน : WTB Binder. Germany
- เตาเผา : Valcan box furnace, Model 3-1750. USA.
- ภาชนะดินเผา พร้อมฝาปิด
- ชุดกรองสูญญากาศ
- เครื่องบดละเอียด : Herzog, Model HSM 100H. Germany.
- ตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 8, 30, 100 และ 325 เมช

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการ

- เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง : AND HM-300 Japan.
- เครื่องเขย่า (shaker)
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง : Desktop pH meter PHL-20, DKK Corporation. Japan.
- กระดาษกรอง Whatman No. 42
- ชุดเครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอื่นๆ

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

- Scanning Electron Microscope (SEM): JEOL, JSM-5800LV Scanning Microscope. Japan.
- เครื่องวัดพื้นที่ผิว Micromeritics, ASAP 2000. Germany.
- ครุชีเบลพอร์ซเลน

3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่ว

- เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ : Perkin Elmer Instruments, Analyst 300 Atomic Adsorption Spectrometer. USA.

3.2.5 อุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่อง (Column test)

- คอลัมน์อะคลีริกใส เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.9 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 4 คอลัมน์ ปลายท่อต่อกับชุดก๊อกลควบคุมการไหล
- สายยางพลาสติก
- ถังน้ำพลาสติก

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้ง และทำการคัดเลือกอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง ที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์สูงสุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอนแรก และศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว โดยทำการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test) และขั้นตอนที่ 3 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์ในถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Column test) โดยทำการป้อนน้ำเสียเข้าถังอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ การคัดเลือกถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนตัวกระตุ้นที่เหมาะสม และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ และปัจจัยที่มีต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ คือผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา โดยจะทำการเผาให้เป็นถ่านพร้อมกับการกระตุ้น และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงซึ่งเป็นตัวกระตุ้น

3.3.1.1 ผลของอุณหภูมิในการเผา ต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

- 1) นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้แก่ เปลือกทุเรียนที่คัดขนาดและผ่านการอบแห้งแล้ว มาแช่สารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2) นำวัตถุดิบที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงอิ่มตัว มาอบให้แห้ง
- 3) ทำการบรรจุวัตถุดิบในภาชนะดินเผา ปิดฝา แล้วนำเข้าสู่กระบวนการเผา และกระตุ้นในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 4) หลังจากการเผา นำถ่านกัมมันต์มาล้างสารกระตุ้นที่เหลือจากการเผาโดยการแช่น้ำค้างคืนไว้หนึ่งคืน หลังจากนั้นล้างถ่านด้วยน้ำเดือด เพื่อล้างเกลือแกงออก นำไปอบแห้ง แล้วบดละเอียด จนสามารถร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 100 เมชได้ 95% และผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 325 เมชได้ 60%
- 5) นำถ่านที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ไปวิเคราะห์ค่าไอโอดีนัมเบอร์ ตามวิธีการของ American Society for Testing and Material (Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated carbon, ASTM D 4607) วิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านที่ทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน และเลือกอุณหภูมิการเผาที่ให้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.3.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง ต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

- 1) นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้แก่ เปลือกทุเรียน และเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่คัดขนาดและผ่านการอบแห้งแล้ว มาแช่สารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2) นำวัตถุดิบที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงอิ่มตัว มาอบให้แห้ง
- 3) นำวัตถุดิบที่ได้มาผสมกับเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:0 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง บรรจุวัตถุดิบและเกลือแกงในภาชนะดินเผา ปิดฝา แล้วนำเข้าสู่กระบวนการเผาและกระตุ้นในเตาเผาที่อุณหภูมิ

ที่เหมาะสม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนของวัตถุติดต่อสารกระตุ้นเกลือแกง (NaCl) ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

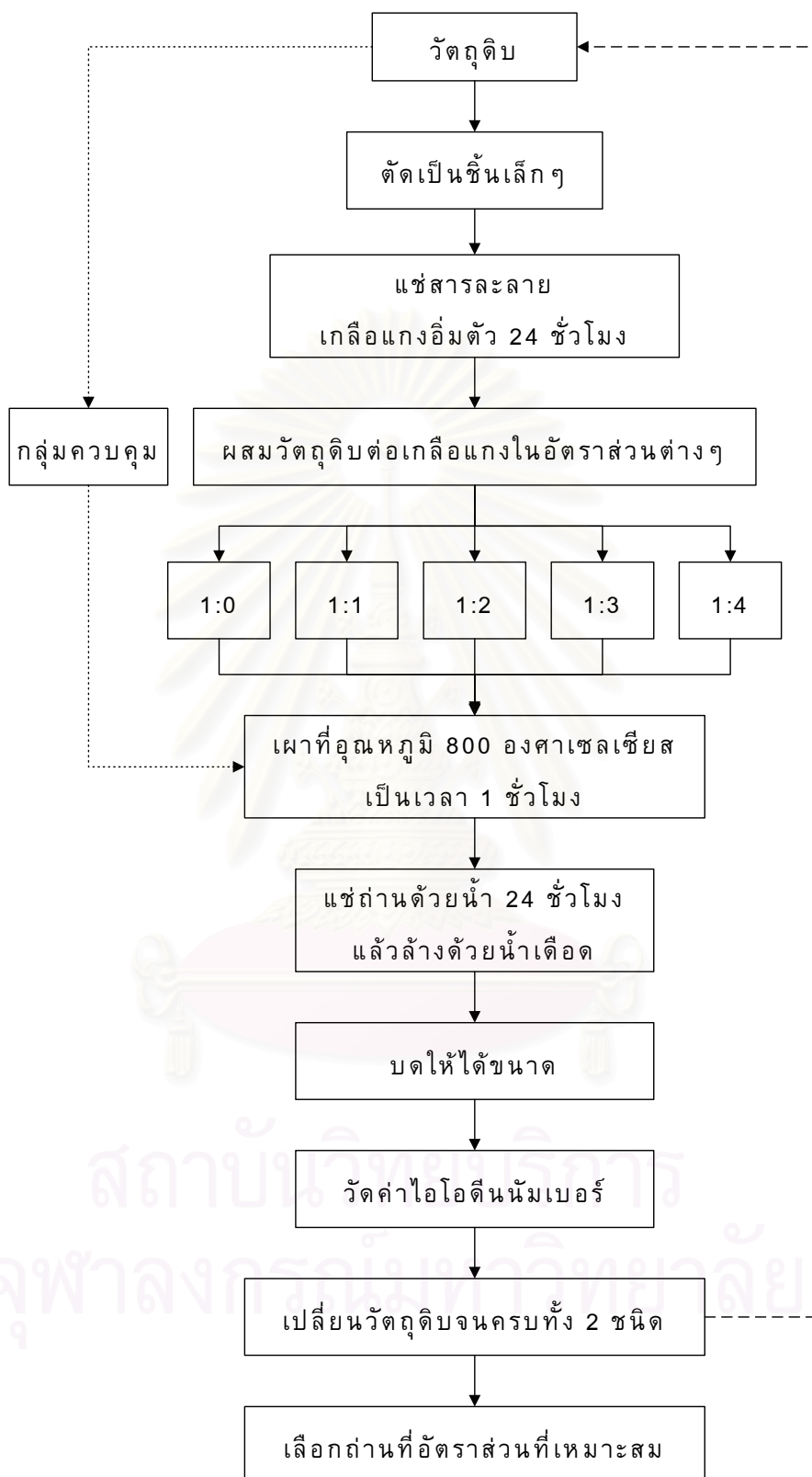
- 4) นำวัตถุติดที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงมาบรรจุในภาชนะดินเผา ปิดฝา แล้วนำเข้าสู่กระบวนการเผาและกระตุ้นในเตาเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของตัวกระตุ้น

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของวัตถุติดต่อสารกระตุ้นเกลือแกง ที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของวัตถุติด	อัตราส่วนของวัตถุติดต่อเกลือแกง	จำนวนวัตถุติดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกง (ส่วน)	จำนวนวัตถุติดที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกง(ส่วน)*	จำนวนเกลือแกงที่เติมลงในวัตถุติดในขั้นตอนการเผาและกระตุ้น (ส่วน)
เปลือกทุเรียน และ เปลือกเม็ด มะม่วงหิมพานต์	control	1	-	-
	1:0	-	1	-
	1:1	-	1	1
	1:2	-	1	2
	1:3	-	1	3
1:4	-	1	1	4

หมายเหตุ * จำนวนวัตถุติดที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกง คำนวณจากน้ำหนักของวัตถุติดเริ่มต้น ไม่รวมน้ำหนักของเกลือแกงที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านการแช่สารละลาย

- 5) หลังจากการเผา นำถ่านกัมมันต์มาล้างสารกระตุ้นที่เหลือจากการเผาโดยการแช่น้ำค้างคืนไว้ หนึ่งคืน หลังจากนั้นล้างถ่านด้วยน้ำเดือด เพื่อล้างเกลือแกงออก นำไปอบแห้ง แล้วบดละเอียด จนสามารถร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 100 เมชได้ 95% และผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 325 เมชได้ 60%
- 6) นำถ่านที่ผ่านการเผาที่อัตราส่วนต่างๆ และถ่าน Filtrasorb 300 ซึ่งเป็นถ่านที่นิยมใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ที่ร่อนผ่านตะแกรงแล้ว มาวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านที่ทำการเผาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุติดและตัวกระตุ้นเกลือแกงต่างๆ กัน และเลือกอัตราส่วนที่ให้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่ว ขั้นตอนการทดลองแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมถ่าน และการคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

- 7) ศึกษาสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของถ่านกัมมันต์ที่ได้ ดังต่อไปนี้
- ค่าการดูดติดผิวไอโอดีนตาม ASTM D 4607 – 94
(วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก)
 - ค่าพีเอชตาม ASTM D 3838 - 80
 - ค่าพื้นที่ผิวตาม ASTM C 819 – 77 (วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข)
 - ปริมาณร้อยละความชื้นตาม ASTM D 2867-95
 - ปริมาณร้อยละเถ้าตาม ASTM D 2866 - 94
- 8) ศึกษาลักษณะโครงสร้าง พื้นผิว และความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM)

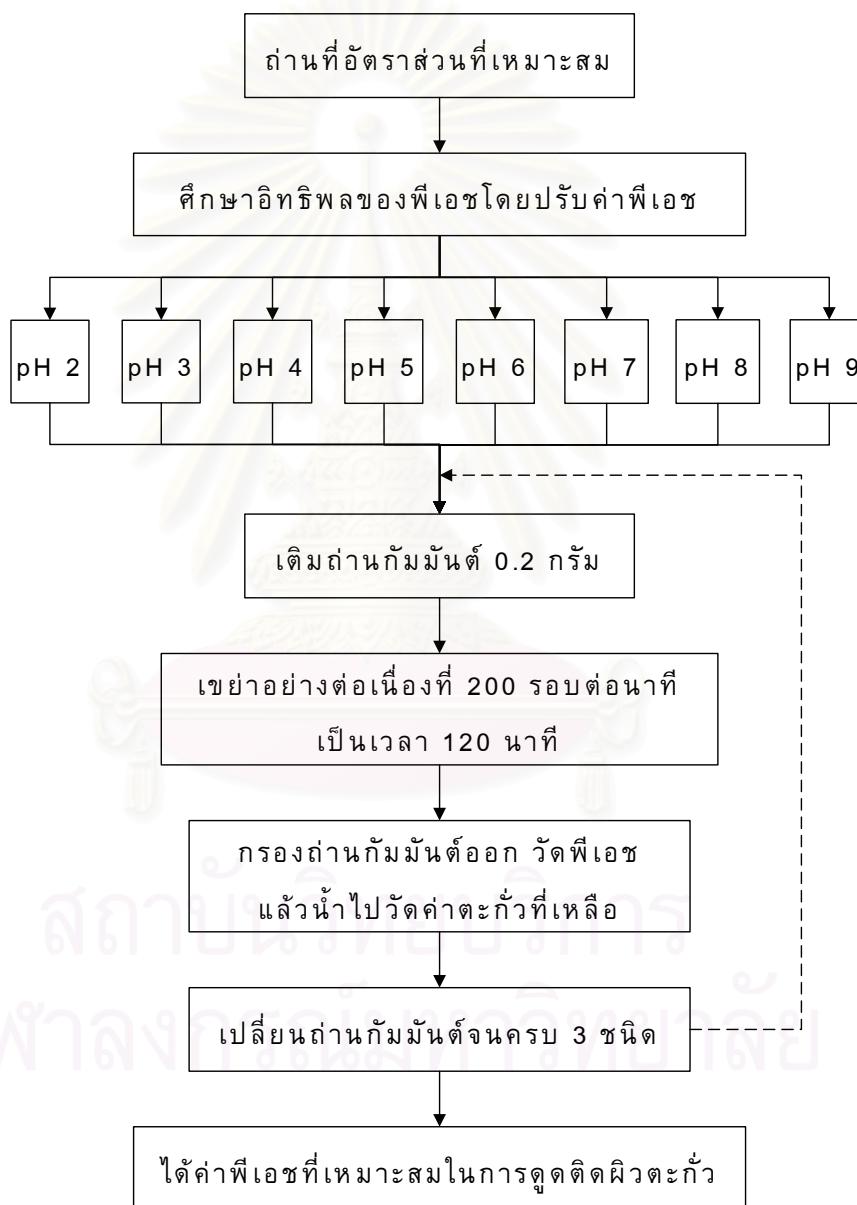
3.3.2 การศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่ว

ศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ของถ่านกัมมันต์ ถ่านเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้การทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test) และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวดังนี้ อิทธิพลของพีเอช อิทธิพลของเวลาสัมผัส และอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ นำผลที่ได้มาเขียนไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพุนดิช

3.3.2.1 อิทธิพลของพีเอชต่อการดูดติดผิว

- 1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ที่ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 แล้ว ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วกรองตะกอนออกโดยใช้กระดาษกรอง แล้วนำน้ำเสียไปวัดปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่
- 2) นำน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ที่ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลบ.ซม. เติมน้ำถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.2 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า เป็นเวลา 120 นาที
- 3) แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอชของน้ำเสียหลังเขย่า แล้วนำน้ำเสียไปวัดปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

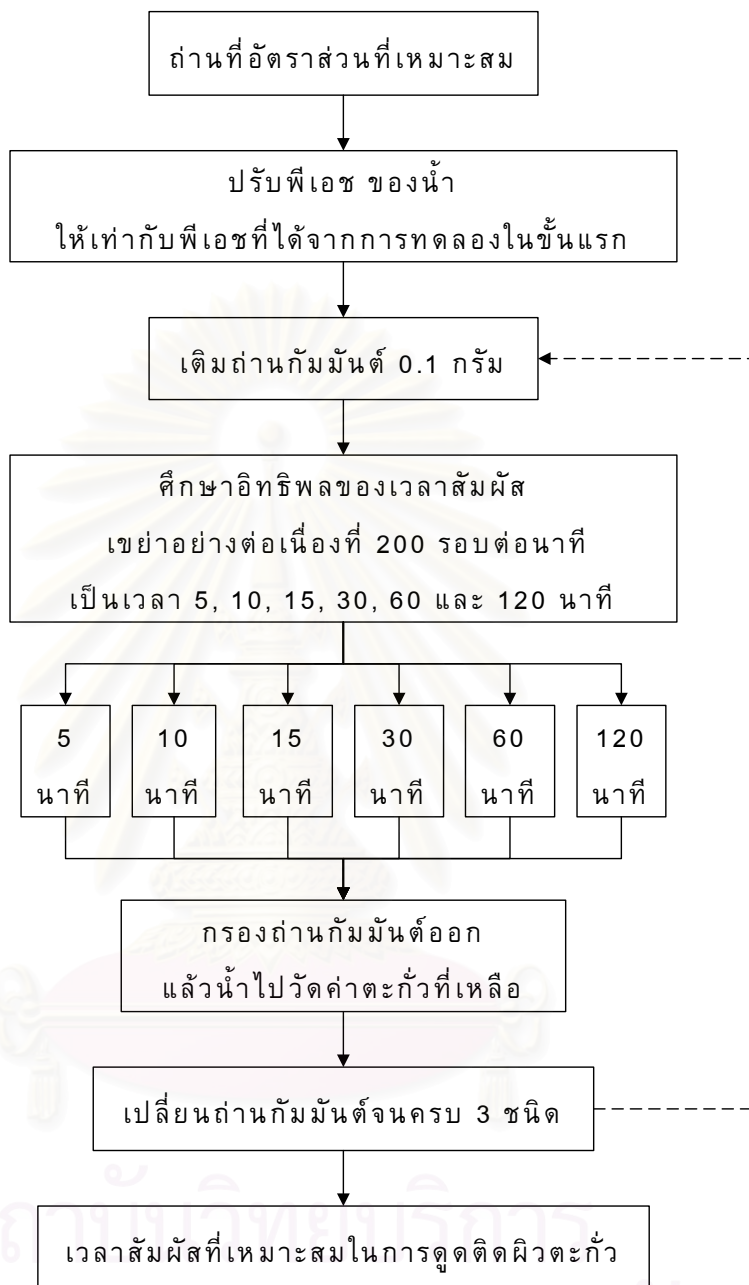
- 4) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรก โดยเปลี่ยนถ่านจนครบทั้ง 3 ชนิด คือ ถ่านเปลือกทุเรียน ถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ และถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 แล้วเปรียบเทียบเลือกพีเอชที่ดีที่สุด ขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของพีเอช ต่อการดูดติดผิว

3.3.2.2 อิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว

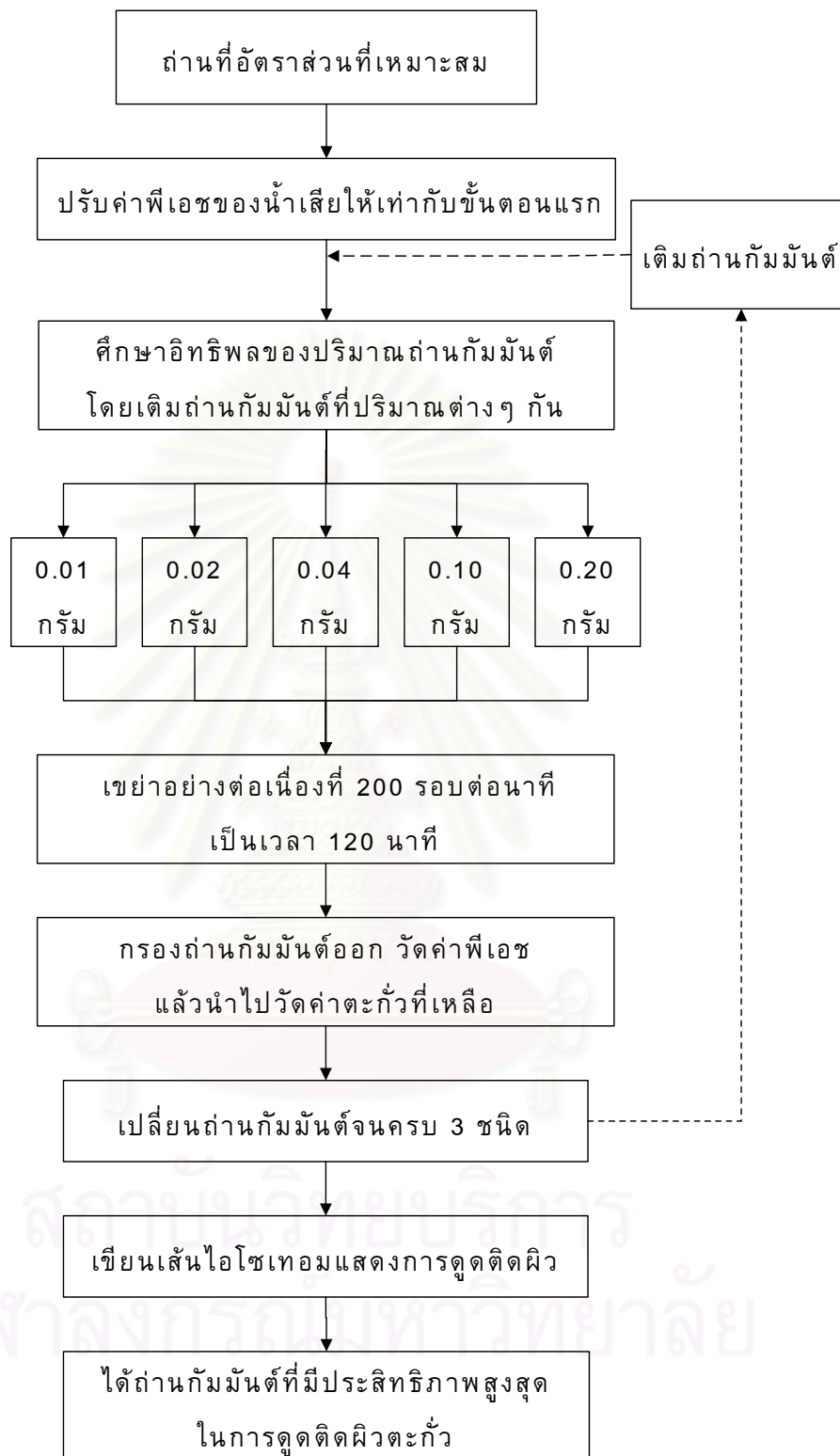
- 1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้เท่ากับค่าพีเอชที่ได้จากขั้นตอนแรก ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลบ.ซม. เติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.1 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ
- 2) นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที
- 3) แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดพีเอชของน้ำเสียหลังเขย่า แล้วนำน้ำเสียไปวัดปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
- 4) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรก โดยเปลี่ยนถ่านจนครบทั้ง 3 ชนิด คือ ถ่านเปลือกทุเรียน ถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ และถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 แล้วเปรียบเทียบเลือกเวลาสัมผัสที่ดีที่สุด ตามขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว

3.3.2.3 อิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์

- 1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปชมพูนขนาด 250 ลบ.ซม.
- 2) เติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.01, 0.02, 0.04, 0.1 และ 0.2 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ ตามลำดับ นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า เป็นเวลา 120 นาที
- 3) แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอชของน้ำเสีย แล้วนำน้ำเสียไปวัดปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
- 4) นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช
- 5) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรก โดยเปลี่ยนถ่านจนครบทั้ง 3 ชนิด คือ ถ่านเปลือกทุเรียน ถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ และถ่านกัมมันต์ ตามขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของน้ำหนัถ่านต่อการดูดติดผิว

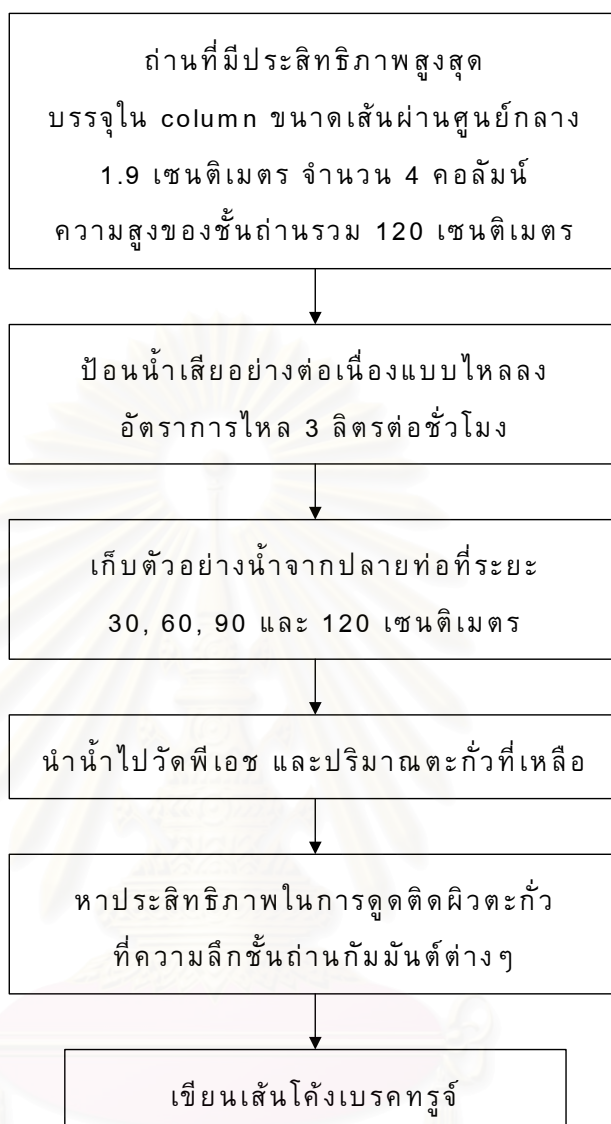
3.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์โดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง (Column test)

ทดสอบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์โดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง (Column test) โดยนำถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพการดูดติดผิวสูงสุดจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนดิชมาบรรจุในถังดูดติดผิวแบบแท่งแบบชุดต่อเนื่องจำนวน 4 คอลัมน์

- 1) นำถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการดูดติดผิวตะกั่วมาทำการคัดขนาดให้อยู่ในช่วง 8×30 เมช คือสามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 8 เมช และค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานขนาด 30 เมช
- 2) บรรจุถ่านกัมมันต์ลงในคอลัมน์ โดยให้ชั้นถ่านกัมมันต์สูง 30 เซนติเมตร
- 3) ทำการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องแบบไหลลง เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ปลายคอลัมน์ทั้ง 4 คอลัมน์ ทุกๆ 1 ลิตร โดยการกรองผ่านกระดาษกรอง นำน้ำที่ได้มาวัดค่าพีเอช และวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 3.5
- 4) คำนวณชั้นความลึกของถ่านที่เหมาะสม แล้วสร้าง Breakthrough curve ของถ่านกัมมันต์ ตามขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพถ่านโดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

จากการดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ แยกเป็นการทดลองย่อยๆ ตามลำดับในรูปแบบของภาพประกอบ ตาราง และกราฟ ดังนี้

4.1 การเตรียม และการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

การศึกษาในขั้นตอนที่ 1 นี้ จะเป็นการศึกษาลักษณะของวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้ และศึกษาประสิทธิภาพของถ่านโดยวัดค่าไอโอดีนนมเบอร์ เพื่อเลือกถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.1.1 ลักษณะทั่วไปของเปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

วัตถุดิบเปลือกทุเรียนที่นำมาใช้ในการทดลอง จะทำการตัดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1×1 เซนติเมตร และนำมาอบจนแห้ง ลักษณะเปลือกทุเรียนที่ได้จะมีเนื้อแข็ง สีน้ำตาลอ่อน เห็นเส้นใยชัดเจน หลังผ่านการเผาและกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์แล้ว จะมีลักษณะเป็นถ่าน สีดำ เนื้อเปราะแตกหักง่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.1

วัตถุดิบเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่นำมาใช้ในการทดลอง จะเป็นเปลือกหุ้มเมล็ด ที่ผ่านการรีดน้ำมันออกจากเปลือกแล้ว วัตถุดิบจะมีเนื้อแข็ง เหนียว สีน้ำตาลเข้ม หลังผ่านการเผาและกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์แล้ว จะมีลักษณะเป็นถ่าน สีดำ เนื้อแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างเปลือกทุเรียนเปรียบเทียบก่อน และหลังการเผาให้เป็นถ่านและการกระตุ้น



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เปรียบเทียบก่อน และหลังการเผาให้เป็นถ่านและการกระตุ้น

เปลือกทุเรียนที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาอบจนแห้ง พบว่ามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 40 ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นน้ำหนักของเกลือที่อยู่บนผิว และแทรกอยู่ในเนื้อของเปลือกทุเรียน หรือมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกทุเรียนต่อเกลือแกงเป็นอัตราส่วน 1:0.4

เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาอบจนแห้ง พบว่ามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นน้ำหนักของเกลือที่อยู่บนผิว และแทรกอยู่ในเนื้อของเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ หรือมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อเกลือแกงเป็นอัตราส่วน 1:0.3

จะเห็นได้ว่าเปลือกทุเรียนจะมีเกลืออยู่มากกว่าเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ เมื่อทำการแช่สารละลายเกลือแกงเปลือกทุเรียนจะอ่อนตัวและอมน้ำไว้ได้มากกว่า ซึ่งจะช่วยให้สารละลายเกลือแกงสามารถซึมเข้าสู่เนื้อของเปลือกทุเรียน และแทรกอยู่ในเนื้อได้มากกว่าเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

4.1.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต

4.1.2.1 ผลของอุณหภูมิในการเผา ต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และอบจนแห้งแล้ว โดยทำการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านพร้อมกับการกระตุ้นที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ประสิทธิภาพของถ่านจะพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (วิธีการคำนวณน้ำหนักถ่านที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาคผนวก ก)

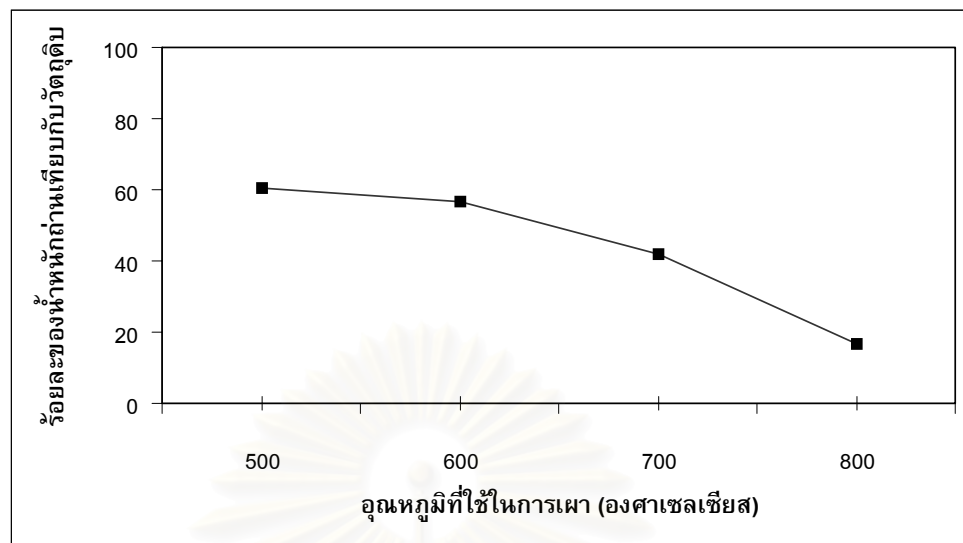
การวัดความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือจากการดูดติดผิวโดยถ่านกัมมันต์ จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการดูดติดผิว เมื่อพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่วัดได้ ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูง ถ่านกัมมันต์นั้นก็จะมีความสามารถในการดูดติดผิวสูง จากการวิเคราะห์ร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ (%yield) และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.1 และจากข้อมูลที่ได้นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้ดังรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 ค่าร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ และค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

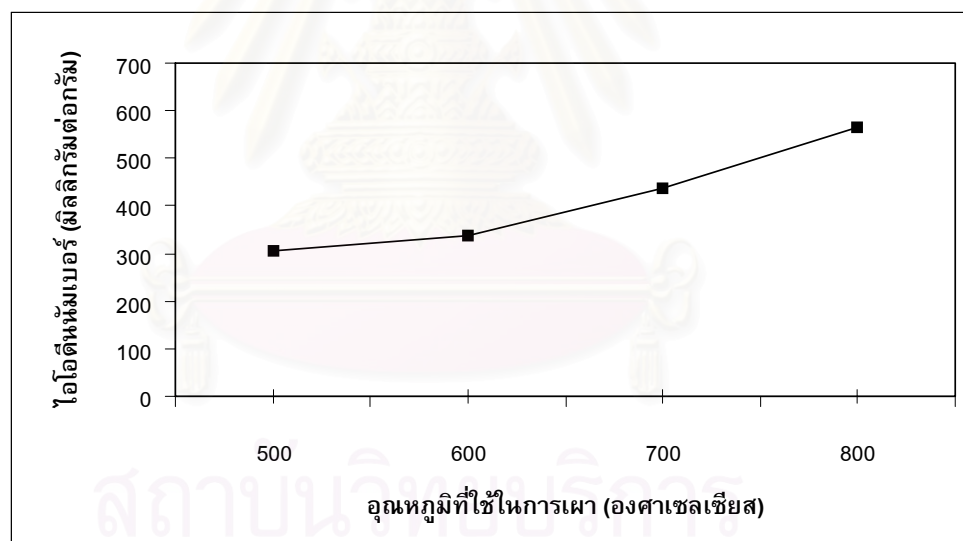
อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของน้ำหนักถ่าน ที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ	ไอโอดีนนมเบอร์ (มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมถ่านกัมมันต์)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
500	60.51	315	304	295	305
600	56.88	356	337	325	339
700	41.78	448	435	432	438
800	16.52	586	564	550	567

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาต่อร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้ พบว่า ร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุดิบจะลดลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสูงขึ้น เนื่องจากในวัตถุดิบนอกจากจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว ยังมีสารประกอบอื่นๆ อีกมากมาย เช่น เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน สารที่สามารถสกัดได้ (Extractives) เช่น เทอร์พีน (terpenes), แทนนิน (tannins), กรดไขมัน (fatty acids) และเรซิน (resins) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะมีอุณหภูมิในการสลายตัวแตกต่างกัน (Orfaó, Antunes and Figueiredo, 1999) เมื่อเผาวัตถุดิบ สารประกอบต่างๆ เหล่านี้ก็จะเริ่มสลายตัว เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น สารที่สลายตัวก็มีจำนวนมากขึ้น จึงทำให้ถ่านที่เผาที่อุณหภูมิสูง มีร้อยละของน้ำหนักวัตถุดิบต่อน้ำหนักถ่านลดลง

ส่วนประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียน ที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ กันคือ 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาค่าไอโอดีนนมเบอร์พบว่า ค่าไอโอดีนนมเบอร์จะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสูงขึ้น เนื่องจากการที่ใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น สารประกอบต่างๆ ในวัตถุดิบก็จะเริ่มสลายตัวมากขึ้น ส่วนที่เหลืออยู่ก็จะเป็นถ่านคาร์บอนคงตัว หรือโครงสร้างหลักของถ่านกัมมันต์ เมื่อสารที่ระเหยได้ต่างๆ สลายไปพื้นที่ว่างในโครงสร้างถ่านก็จะมีมากขึ้น พื้นที่ผิวจะมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับผิวของถ่านเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจากการทดลองนี้พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 800 องศาเซลเซียส จะให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนที่มีค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงสุด คือ 567 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ซึ่งแสดงว่าเป็นถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเลือกอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มาเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป



รูปที่ 4.3 ร้อยละของน้ำหนักถ่านเปลือกทุเรียนที่ได้เทียบกับวัตุดิบ ที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไอโอดีนนมเบอร์ กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาวัตุดิบ

4.1.2.2 ผลของอัตราส่วนสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ ต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแกง ที่อัตราส่วนต่างๆ กันคือ 1:0, 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ทำการเผาและกระตุ้นวัตถุดิบให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ประสิทธิภาพของถ่านจะพิจารณาจากค่าไอโอดีนหัมเบอร์

จากการวิเคราะห์ ร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ (%yield) และค่าไอโอดีนหัมเบอร์ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.2 และจากข้อมูลที่ได้นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของผลของอัตราส่วนของสารกระตุ้นเกลือแกง ต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้ดังรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าร้อยละของน้ำหนักร่างที่ได้เทียบกับวัตถุติด และค่าไอโอดีนนมเบอร์ของ ถ่านกัมมันต์ ที่อัตราส่วนวัตถุติดต่อเกลือแกงต่างๆ

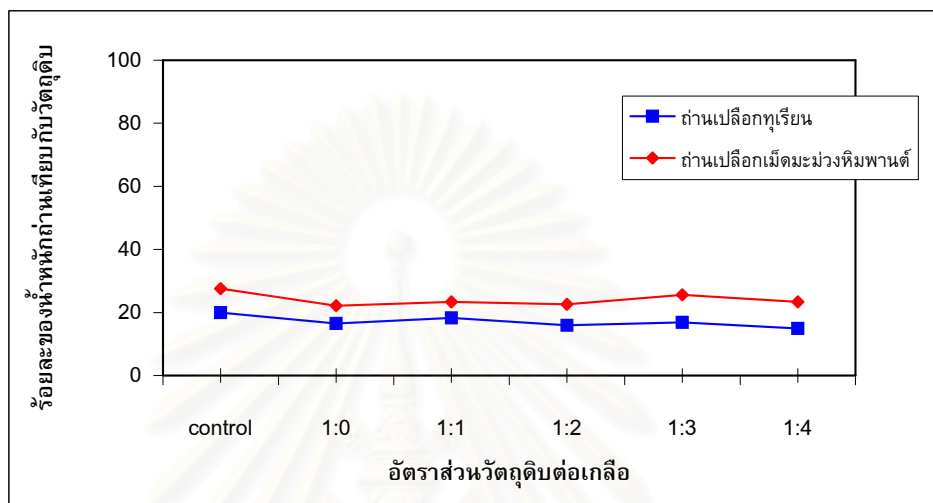
ถ่านกัมมันต์			ค่าไอโอดีนนมเบอร์ (มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์)			
วัตถุติด	อัตราส่วนวัตถุติด ต่อเกลือแกง	ร้อยละของถ่าน ต่อวัตถุติด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
เปลือกทุเรียน	กลุ่มควบคุม	19.93	497	463	446	469
	1:0	16.52	586	564	550	567
	1:1	18.30	470	464	455	463
	1:2	15.94	471	462	453	462
	1:3	16.88	496	482	474	484
	1:4	14.94	518	494	485	499
เปลือก เม็ดมะม่วง หิมพานต์	กลุ่มควบคุม	27.52	383	392	403	393
	1:0	22.17	544	533	518	532
	1:1	23.37	475	475	418	456
	1:2	22.59	456	440	440	445
	1:3	25.64	440	430	435	435
	1:4	23.33	481	467	467	471
ถ่าน F300*			878	809	732	806

หมายเหตุ * ถ่าน F300 คือถ่าน Filtrasorb 300 ที่มีขายในท้องตลาดที่นำมาเปรียบเทียบ

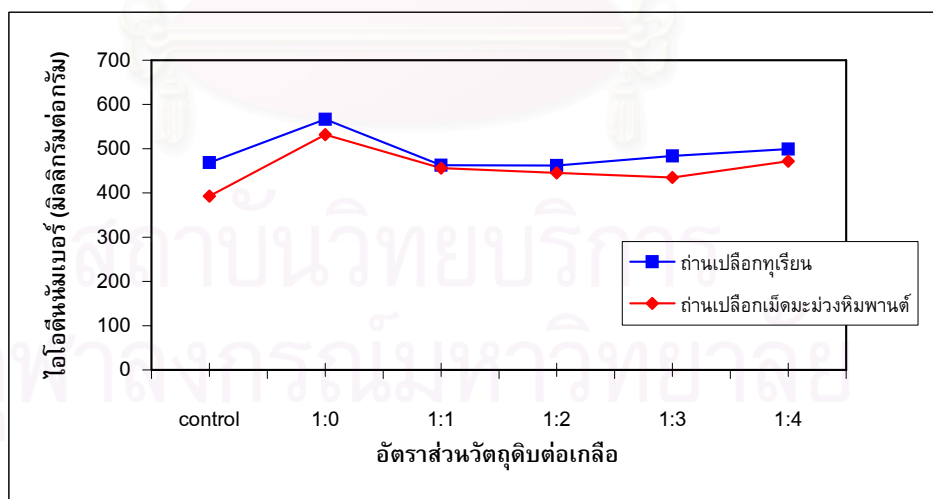
จากการศึกษาผลของอัตราส่วนของวัตถุติดต่อเกลือแกง ที่มีต่อร้อยละของ น้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุติด พบว่าร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุติด ที่ อัตราส่วนวัตถุติดเปลือกทุเรียนต่อเกลือต่างๆ กัน จะให้ผลใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วงร้อยละ 15–18 เช่นเดียวกับถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 22–25 แสดงว่า อัตราส่วนของวัตถุติดต่อเกลือแกงไม่มีผลต่อร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้ และจากการทดลอง พบว่าร้อยละของน้ำหนักถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้เทียบกับวัตถุติด จะสูงกว่าเปลือก ทุเรียน ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์มีเนื้อแน่น และแข็งกว่าเปลือกทุเรียน

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้ ระหว่างถ่านที่ไม่ได้ผสมและถ่านที่ ผสมตัวกระตุ้นเกลือแกง พบว่า ร้อยละของถ่านที่ไม่ได้ผสมเกลือแกงนั้นจะสูงกว่า ทั้งนี้จากการ สังเกตในขั้นตอนการทดลองพบว่า ถ่านที่เผาโดยไม่ได้ผสมเกลือแกง จะมีเนื้อแข็งกว่า ไม่มีส่วน ที่แตกหักเป็นชิ้นเล็กๆ ส่วนถ่านที่ผสมเกลือแกงในการเผานั้น จะมีเนื้อเปราะกว่า และมีถ่าน ส่วนที่แตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ อยู่มากกว่า แสดงว่าเกลือแกงที่เติมลงไปนั้น จะมีผลต่อโครงสร้าง

ของถ่าน นอกจากนี้การที่ถ่านแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ อาจทำให้มีถ่านบางส่วนหลุดหายไปในช่วงขั้นตอนการล้าง ทำให้น้ำหนักของถ่านน้อยกว่าค่าที่ได้จริงอยู่เล็กน้อย



รูปที่ 4.5 ร้อยละของน้ำหนักถ่านเปลือกทุเรียนที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อเกลือแกงที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไอโอดีนห้มเบอร์ กับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านเปลือกทุเรียนกลุ่มควบคุม (control) ซึ่งไม่มีการผสมตัวกระตุ้นเกลือแกงเลย กับถ่านเปลือกทุเรียนที่อัตราส่วนวัตถุดิบเปลือกทุเรียนต่อเกลือแกงเท่ากับ 1:0 จะเห็นว่าค่าไอโอดีนนมเบอร์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน คือจาก 469 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 567 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงว่าสารกระตุ้นเกลือแกงทำให้ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์สูงขึ้น แต่เมื่อมีการเติมเกลือแกงเพิ่มลงไปในช่วงขั้นตอนการเผาและกระตุ้นโดยเพิ่มปริมาณของเกลือแกง 1, 2, 3 และ 4 เท่าของน้ำหนักวัตถุดิบ พบว่า ค่าไอโอดีนนมเบอร์มีค่าลดลงจากค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านที่เตรียมที่อัตราส่วน 1:0 และมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง 462-499 มิลลิกรัมต่อกรัม

สำหรับถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์กลุ่มควบคุม (control) กับถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อเกลือแกงเท่ากับ 1:0 จะเห็นว่าค่าไอโอดีนนมเบอร์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน คือจาก 393 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 532 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงว่าสารกระตุ้นเกลือแกงทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่เมื่อมีการเติมเกลือแกงเพิ่มลงไปในช่วงขั้นตอนการเผาและกระตุ้น พบว่า ค่าไอโอดีนนมเบอร์มีค่าลดลงจากเดิม และมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง 435-471 มิลลิกรัมต่อกรัม

การที่ค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านที่เตรียมขึ้นโดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแกงเท่ากับ 1:0 มีค่ามากกว่าค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านที่เตรียมโดยไม่ใช้สารกระตุ้นเกลือแกงเลยนั้น เกิดจากการที่มีผลึกเกลือไปแทรกอยู่ในเนื้อของวัตถุดิบ เมื่อทำการเผาและกระตุ้นวัตถุดิบให้เป็นถ่าน ผลึกเกลือที่อยู่ในโครงสร้างของวัตถุดิบ ก็จะอยู่ในเนื้อของถ่าน เมื่อล้างสารกระตุ้นออกด้วยน้ำร้อน ผลึกเกลือที่อยู่ในโครงสร้างถ่านก็จะหลุดออกทำให้เกิดรูพรุนและพื้นที่สำหรับการดูดติดผิวได้

แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเป็น 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 พบว่าค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านที่เตรียมได้น้อยลงกว่าเดิม และมีค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกๆ อัตราส่วน แสดงว่าการเพิ่มสารกระตุ้นไม่สามารถช่วยให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่การใช้สารกระตุ้นมากเกินไปจะทำให้รูพรุนของถ่านมีขนาดใหญ่มาก ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ในการดูดติดผิวลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ รัชนก แซ่เจิน (2541) ก็พบว่าค่าไอโอดีนนมเบอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสารกระตุ้นในช่วงขั้นตอนผลิตถ่านกัมมันต์ แต่เมื่อมีการเติมสารกระตุ้นมากเกินไปถึงอัตราส่วนหนึ่ง ค่าไอโอดีนนมเบอร์ที่ได้จะลดลง เนื่องจากพบว่าปริมาณสารกระตุ้นที่มากเกินไป จะทำให้รูพรุนของถ่านมีขนาดใหญ่ และพื้นที่สำหรับการดูดติดผิวจะลดลง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการนำวัตถุดิบไปแช่สารละลายเกลือแกง อิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาอบให้แห้ง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก็เพียงพอแก่การกระตุ้นให้เปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เป็น ถ่านกัมมันต์ที่ดีแล้ว หากมีการเติมสารกระตุ้นมากเกินไป จะทำให้รูพรุนที่ได้มีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านก็ลดลง ด้วย

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของถ่านสองชนิด คือถ่านเปลือกทุเรียนและถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนมีค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์ สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ แสดงว่าถ่านเปลือกทุเรียนมี ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวดีกว่าถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

จากการทดลองจึงได้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อตัวกระตุ้นเกลือแกง ที่ดีที่สุด คือ 1:0 สำหรับถ่านเปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ ทำให้ถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์สูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จึงนำถ่านทั้งสองชนิดนี้ไป ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพต่างๆ และทำการทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการศึกษาในขั้นต่อไป

ชนิดถ่านกัมมันต์	อัตราส่วนวัตถุดิบ ต่อเกลือแกง	ค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
เปลือกทุเรียน	1:0	567
เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์	1:0	532

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

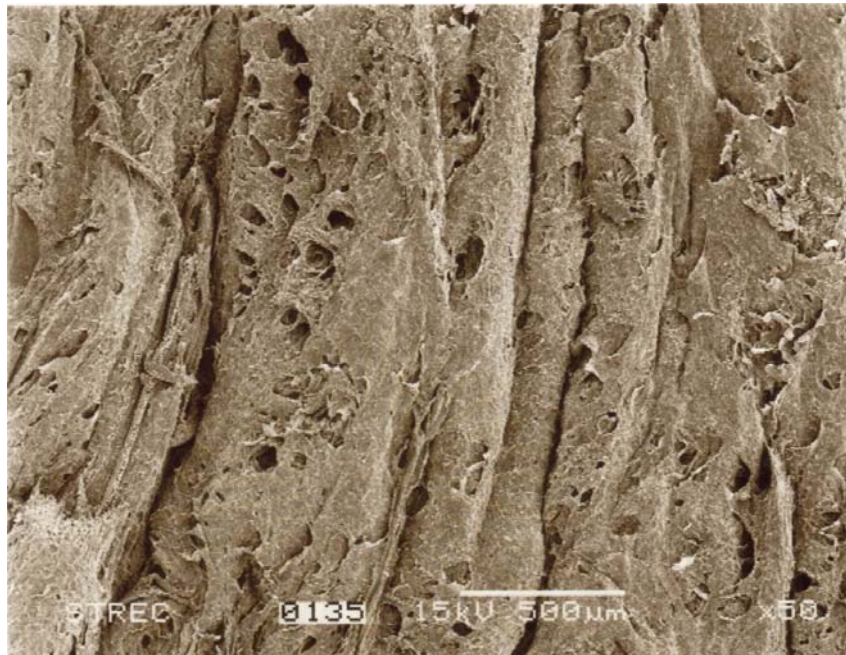
จากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุด คือที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแกงเท่ากับ 1:0 จึงนำมาศึกษาลักษณะทางกายภาพ อันได้แก่ พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดของรูพรุน เปรียบถ่านกับถ่าน Filtrasorb 300 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET) วัดค่าพีเอช และร้อยละปริมาณเถ้า ผลการศึกษาที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4 และทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิว และรูพรุนของวัตถุดิบ ที่เปลี่ยนแปลงไป เปรียบเทียบก่อนและหลังการเผาวัตถุดิบ และการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) ลักษณะของเปลือกทุเรียน และเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ก่อนและหลังการเผา แสดงในรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

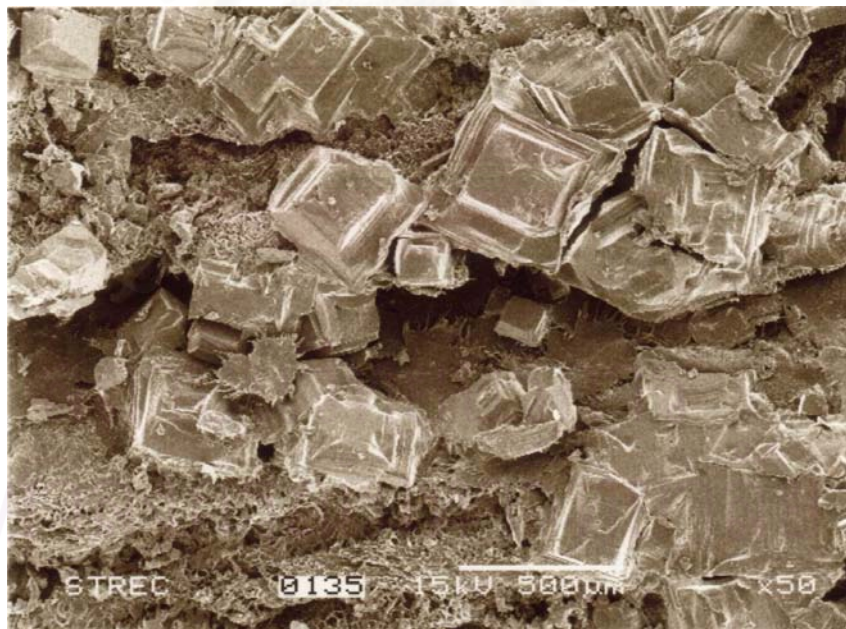
พารามิเตอร์	ชนิดของถ่านกัมมันต์		
	ถ่านเปลือกทุเรียน	ถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์	ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300
ไอโอดีนนัมเบอร์ (มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์)	567	532	806 (900-950)*
พีเอชของถ่านกัมมันต์ (pH of activated carbon)	9.49	9.19	8.09
พื้นที่ผิว BET (ตารางเมตรต่อกรัม)	387	489	929 (950-1050)*
ปริมาตรรูพรุน ^{<} (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)	0.205	0.248	0.511 (0.75-0.85)*
ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย ^{<} (อังสตรอม)	15.94	15.25	16.51
ร้อยละปริมาณเถ้า (Total ash content, %)	9.85%	2.64%	-

หมายเหตุ * ตัวเลขในวงเล็บคือค่าที่ทางบริษัทผู้ผลิตแจ้งมาในคู่มือของผลิตภัณฑ์

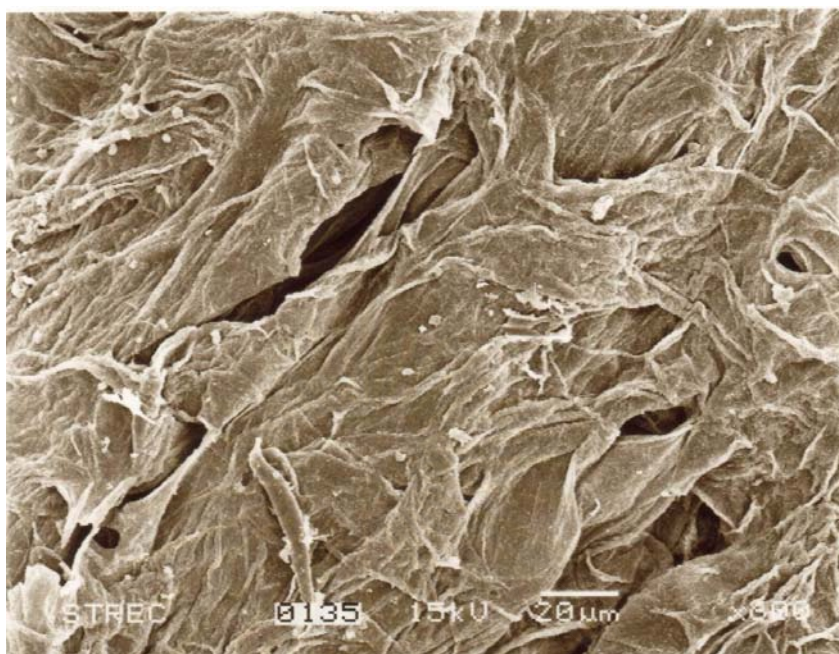
[<] ปริมาตรรูพรุน และขนาดของรูพรุนเฉลี่ย ได้จากเครื่องวัดพื้นที่ผิว BET



ก. แสดงโครงสร้าง และพื้นผิว ของเปลือกทุเรียนก่อนเผา เมื่อใช้กำลังขยาย 50 เท่า



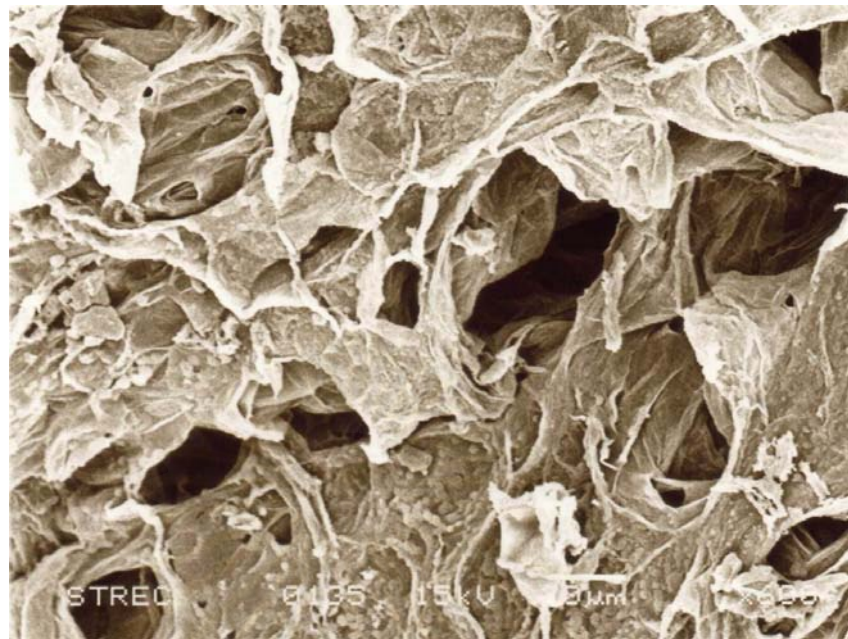
ข. แสดงโครงสร้าง และพื้นผิว ของเปลือกทุเรียน ที่ผ่านการแช่สารละลายเกลืออิ่มตัว 24 ชั่วโมง และอบจนแห้งแล้ว เมื่อใช้กำลังขยาย 50 เท่า



ค. แสดงโครงสร้าง และพื้นผิว ของเปลือกทุเรียนก่อนเผา เมื่อใช้กำลังขยาย 600 เท่า

รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะโครงสร้าง และพื้นผิวของเปลือกทุเรียนก่อนทำการเผา และกระตุ้นให้
เป็นถ่านกัมมันต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

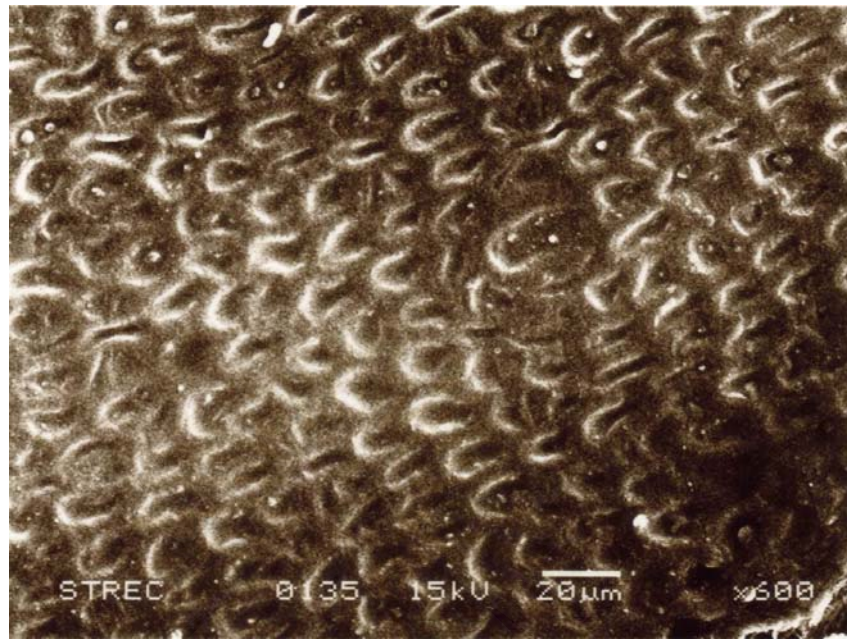


ก. แสดงโครงสร้าง และพื้นผิว ของถ่านเปลือกทุเรียนที่ไม่ได้ใช้สารกระตุ้นเกลือแกง เมื่อใช้กำลังขยาย 600 เท่า

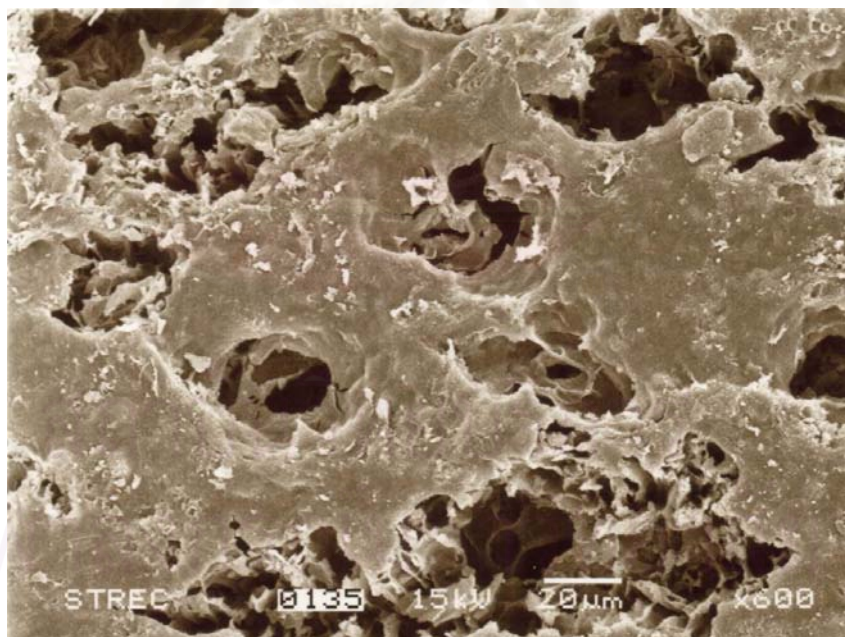


ข. แสดงโครงสร้าง และพื้นผิว ของถ่านเปลือกทุเรียนที่ใช้สารกระตุ้นเกลือแกงอัตราส่วนวัตถุดิบ ต่อเกลือ 1:0 เมื่อใช้กำลังขยาย 600 เท่า

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะโครงสร้าง พื้นผิว และรูพรุนของถ่านเปลือกทุเรียน เปรียบเทียบระหว่าง ถ่านที่ใช้และไม่ใช้สารกระตุ้นเกลือแกง



ก. แสดงลักษณะโครงสร้าง และพื้นผิว ของเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เมื่อใช้กำลังขยาย 600 เท่า



ข. แสดงลักษณะโครงสร้าง พื้นผิว และรูพรุนของถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เมื่อใช้กำลังขยาย 600 เท่า

รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะโครงสร้าง พื้นผิว และรูพรุนของเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เปรียบเทียบกับถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

จากการศึกษาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเปลือกทุเรียน เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ และถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด โดยใช้กำลังขยาย 600 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.9 และจากการเปรียบเทียบกับค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของวัตถุดิบ และถ่านที่ได้ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

วัตถุดิบ	สภาวะ	ค่าไอโอดีน	ลักษณะที่เห็น
เปลือกทุเรียน	วัตถุดิบ	-	มีรูพรุนขนาดเล็กเกิดตามธรรมชาติจำนวนน้อย
	แช่เกลือ	-	เห็นผลึกเกลือเกาะอยู่ที่ผิวหน้าและในรูพรุนของวัตถุดิบ
	ถ่านกลุ่มควบคุม	469	มีรูพรุนมากขึ้น ขนาดของรูพรุนค่อนข้างใหญ่ จนเป็นโพรง รูพรุนเกิดขึ้นเฉพาะบางพื้นที่ ประมาณ 30% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ส่วนที่เหลือยังไม่รูพรุนปรากฏ
	ถ่านที่อัตราส่วน 1:0	567	มีรูพรุนจำนวนมาก กระจายสม่ำเสมอ เรียงตัวเป็นระเบียบ มีทั้งโพรง และรูพรุนทั้งขนาดใหญ่และเล็ก
เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์	วัตถุดิบ	-	เนื้อแน่น ไม่มีรูพรุนที่สามารถมองเห็นได้
	ถ่านที่อัตราส่วน 1:0	532	เกิดรูพรุนขนาดใหญ่จนเป็นโพรงลึกลงไปในวัตถุดิบ รูพรุนกระจายตัวอยู่ประมาณ 50% ของพื้นที่

จากตารางที่ 4.5 และในรูปที่ 4.7 พบว่าก่อนทำการเผา เปลือกทุเรียนจะมีรูพรุนขนาดเล็กและมีจำนวนน้อยมาก และเมื่อผ่านการแช่สารละลายเกลือและอบให้แห้ง ก็จะปรากฏผลึกเกลือเกาะอยู่ที่ผิวนอกของวัตถุดิบ รวมถึงผิวในรูพรุนของวัตถุดิบอย่างชัดเจน ส่วนในรูปที่ 4.8 จะพบว่าเมื่อทำการเผาเปลือกทุเรียน จะเกิดรูพรุนของถ่านจะเห็นได้อย่างชัดเจน และมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.8 ก ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวของถ่านที่ไม่มีสารกระตุ้นเกลือแกงในขั้นตอนการผลิต และ 4.8 ข ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวของถ่านที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกง จะพบว่าผิวของถ่านที่ใช้สารกระตุ้นเกลือแกง มีรูพรุนเกิดขึ้นกระจายอย่างสม่ำเสมอ และมีจำนวนมากกว่าทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก และรูพรุนจะเป็นระเบียบกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์ของถ่านที่ได้

สำหรับเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ก พบว่า ก่อนทำการเผาเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์จะมีเนื้อแน่น ไม่สามารถมองเห็นรูพรุนได้เมื่อเทียบกับเปลือกทุเรียนที่กำลังขยายที่เท่ากันดังในรูป 4.7 ค แต่เมื่อทำการเผา จะเกิดรูพรุนขนาดใหญ่จนเป็นโพรงกระจายตัวอยู่ประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่ ซึ่งรูพรุนของถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มี

ขนาดใหญ่มากนี้ จะทำให้สูญเสียพื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดติดผิวได้ ซึ่งผลจากการพิจารณาพื้นที่ผิวก็จะสอดคล้องกับทฤษฎีและค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่ได้ คือ เมื่อถ่านมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก พื้นที่ในการดูดติดผิวก็จะมาก ส่งผลให้ถ่านมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสูง และจะเห็นได้ว่า วัสดุดิบที่ต่างกัน คือเปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพ โครงสร้าง ความหนาบาง ความอ่อนแข็ง และปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ทำให้ลักษณะโครงสร้าง ลักษณะพื้นผิว และรูพรุนของถ่านที่ผลิตได้มีความแตกต่างกันด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test)

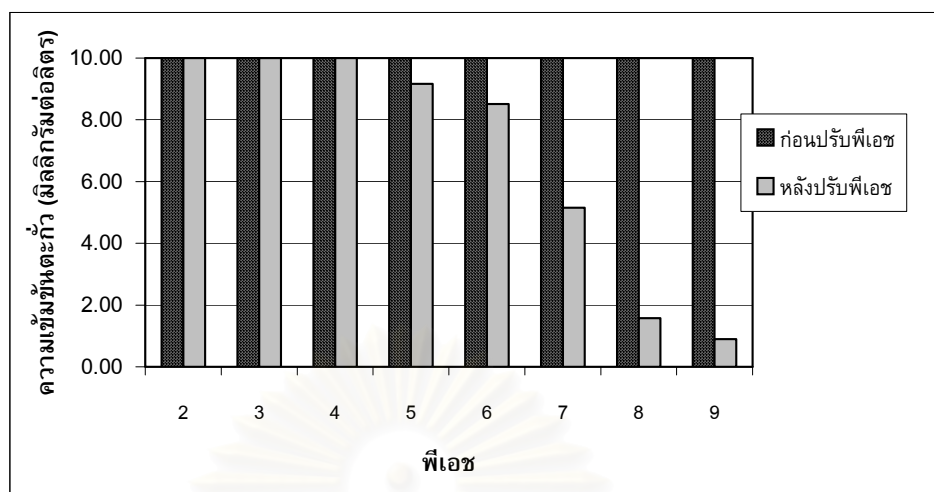
ในขั้นตอนที่ 2 นี้ เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอนแรก และศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว โดยทำการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test)

4.2.1 อิทธิพลของค่าความเป็นกรดต่าง (พีเอช: pH) ต่อการดูดติดผิว

จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชต่อการดูดติดผิว พบว่าค่าพีเอชมีอิทธิพลอย่างมากต่อการศึกษาการดูดติดผิว เนื่องจากพบว่าที่ค่าพีเอช 5 ถึง 9 ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการทดลอง จะตกตะกอนในรูปของตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) จึงไม่สามารถหาปริมาณตะกั่วที่ลดลงเนื่องจากการดูดติดผิวได้ จึงทำการทดลองปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชต่างๆ ตั้งแต่ 2 ถึง 9 ด้วยสารละลายกรดไนตริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการกรองตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่เกิดขึ้นออก หลังจากนั้นจึงนำไปวัดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่เหลืออยู่หลังการตกตะกอน เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมที่จะทำการศึกษาการดูดติดผิว ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.6 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ หลังจากปรับค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอชต่างๆ

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียหลังปรับพีเอช (มิลลิกรัมต่อลิตร)
2	10.00	10.00
3	10.00	10.00
4	10.00	10.00
5	10.00	9.618
6	10.00	8.507
7	10.00	5.158
8	10.00	1.571
9	10.00	0.899



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ หลังจากปรับค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอชต่างๆ

จากการทดลองจะเห็นว่า ที่พีเอช 5 ตะกั่วจะเริ่มตกตะกอนเล็กน้อย และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงพีเอช 9 ตะกั่วจะเหลืออยู่ในสารละลายเพียงร้อยละ 9 จากความเข้มข้นเริ่มต้น จากการศึกษาของ Reed, Robertson และ Jamil (1995) พบว่า ตะกอนของ $Pb(OH)_2$ จะเริ่มตกที่พีเอช 5.5 และจะกลับละลายใหม่ที่พีเอช 12-12.5 ซึ่งจากการทดลองพบว่า การตกตะกอนของ $Pb(OH)_2$ ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากทฤษฎี

ในการทดลองพบว่าเมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ที่ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 6, 7, 8 และ 9 ซึ่งเป็นพีเอชของมาตรฐานน้ำทิ้ง ด้วยสารละลายกรดไนตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้ว เติมน้ำมันกัมมันต์ปริมาณ 1.0 กรัม นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง แล้วนำน้ำเสียไปวัดค่าพีเอช และปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ พบว่าไม่สามารถวัดปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ เนื่องจากตะกั่วที่อยู่ในสารละลายนั้นตกตะกอนและค้างอยู่บนกระดาษกรอง เมื่อนำน้ำเสียหลังจากการเขย่าและกรองแยกถ่านออก มาวัดค่าความเป็นกรดต่าง พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียอยู่ในช่วง 7.2-8.0 ซึ่งเป็นพีเอชในช่วงการตกตะกอนของตะกั่วอีกด้วย

ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยการปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ตั้งแต่ 2-9 และทำการเติมถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ถ่านเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์จำนวน 0.2 กรัม นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า แยกผงถ่านกัมมันต์ออก แล้วนำน้ำเสียไปวัดปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ เพื่อหาค่าพีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสมที่จะทำการศึกษาคูตกตะกอน ผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 4.7 ถึง ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300

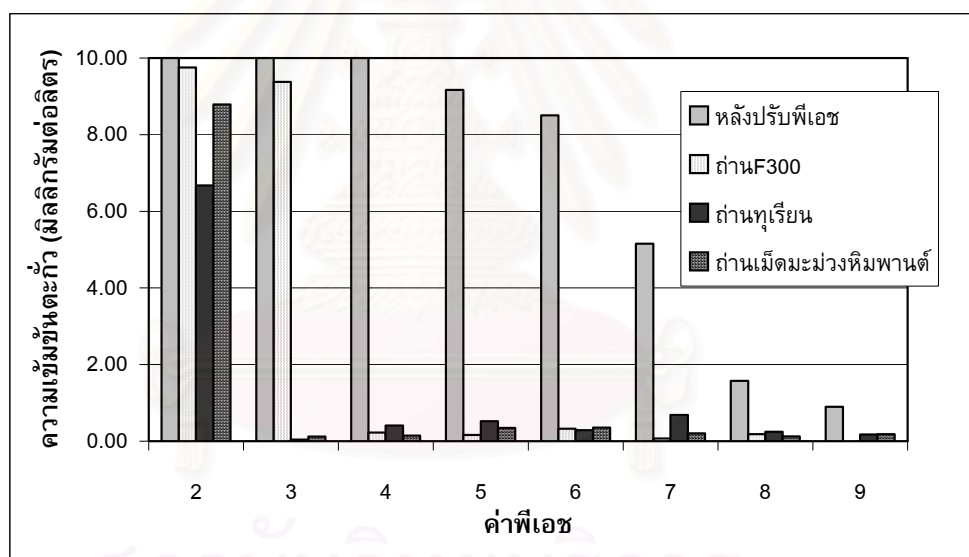
ค่า pH เริ่มต้น	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	% removal
2	2.10	9.753	2.47%
3	3.64	9.373	6.27%
4	7.19	0.228	97.72%
5	7.33	0.162	98.38%
6	7.54	0.324	96.76%
7	7.50	0.071	99.29%
8	7.37	0.186	98.14%
9	7.50	0	100.00%

ตารางที่ 4.8 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียน

ค่า pH เริ่มต้น	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	%removal
2	2.28	6.673	33.27%
3	7.40	0.043	99.57%
4	7.93	0.409	95.91%
5	8.03	0.528	94.72%
6	7.96	0.290	97.10%
7	7.93	0.686	93.14%
8	7.97	0.249	97.51%
9	7.99	0.180	98.20%

ตารางที่ 4.9 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ หลังผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

ค่า pH เริ่มต้น	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	%removal
2	2.10	8.788	12.12%
3	6.49	0.124	98.76%
4	7.51	0.146	98.54%
5	7.73	0.350	96.50%
6	7.65	0.354	96.46%
7	7.70	0.203	97.97%
8	7.77	0.126	98.74%
9	7.81	0.184	98.16%



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ หลังผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียก็จะเพิ่มสูงขึ้น สำหรับถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 พบว่าค่าความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียจะลดลงอย่างมากเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเพิ่มขึ้นจากพีเอช 3 เป็นพีเอช 4 โดยที่พีเอช 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วอยู่ที่ 6.27% และพีเอชหลังการเขย่าอยู่ที่ 3.64 ส่วนที่พีเอช 4 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วอยู่ที่ 97.72% และพีเอชหลังการเขย่าของน้ำเสียคือพีเอช 7.19 ซึ่งอยู่ในช่วงการตกตะกอนของตะกั่ว และเมื่อทำการทดลองโดยใช้พีเอช

ของน้ำเสียเริ่มต้นตั้งแต่พีเอช 5 จนถึงพีเอช 9 ก็พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะมีค่าใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับค่าที่พีเอช 4 คืออยู่ในช่วง 96-100% และพีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าก็ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากได้รับผลกระทบจากพีเอชของถ่าน โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 7.3-7.5 แสดงว่าเมื่อทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียเริ่มต้นตั้งแต่พีเอช 5 จนถึง 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากการดูดติดผิวตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการตกตะกอนของตะกั่ว

สำหรับถ่านเปลือกทุเรียนและถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน ค่าความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือจะลดลงอย่างมากเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเพิ่มขึ้นจากพีเอช 2 เป็นพีเอช 3 สำหรับถ่านเปลือกทุเรียนพบว่าที่พีเอช 2 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วอยู่ที่ 33.27% และพีเอชหลังการเขย่าอยู่ที่ 2.28 ส่วนที่พีเอช 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วอยู่ที่ 99.57% และพีเอชหลังการเขย่าของน้ำเสียคือพีเอช 7.40 ซึ่งอยู่ในช่วงการตกตะกอนของตะกั่ว และเมื่อทำการทดลองโดยใช้พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นตั้งแต่พีเอช 4 จนถึง 9 ก็พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะมีค่าใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับค่าที่พีเอช 3 คืออยู่ในช่วง 93-99% และพีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่ามีค่าอยู่ในช่วง 7.4-8.3

สำหรับถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ค่าความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือจะลดลงอย่างมากเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเพิ่มขึ้นจากพีเอช 2 เป็นพีเอช 3 ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วอยู่ที่ 12.12% และพีเอชหลังการเขย่าอยู่ที่ 2.10 ส่วนที่พีเอช 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วอยู่ที่ 98.76% และพีเอชหลังการเขย่าของน้ำเสียคือพีเอช 6.49 และเมื่อใช้พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นตั้งแต่พีเอช 4 จนถึง 9 ก็พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะมีค่าใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับค่าที่พีเอช 3 คืออยู่ในช่วง 96-99% ซึ่งแสดงว่าเมื่อทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียเริ่มต้นตั้งแต่พีเอช 4 จนถึง 9 ประสิทธิภาพของการกำจัดตะกั่ว เกิดจากการดูดติดผิวตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการตกตะกอนของตะกั่วเช่นกัน

ดังนั้นค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสม ที่จะทำการศึกษาการดูดติดผิวตะกั่วสำหรับถ่าน Filtrasorb 300 คือค่าพีเอช 4 สำหรับถ่านเปลือกทุเรียนและถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์คือค่าพีเอช 3 เนื่องจากเป็นค่าพีเอชที่ถ่านนั้นสามารถดูดติดผิวได้ดีที่สุด และพีเอชหลังการเขย่าไม่อยู่ในช่วงพีเอชการตกตะกอนของตะกั่ว โดยจะลดปริมาณถ่านที่ใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไปลงเหลือ 0.1 กรัม เพื่อไม่ให้พีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าลดลงจนถึงช่วงพีเอชของการตกตะกอน เนื่องจากถ่านมีความเป็นด่างสูง

4.2.2 อิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว

จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิวตะกั่ว โดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ปรับพีเอชให้เท่ากับค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับถ่านแต่ละชนิด เติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.1 กรัม นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที แยกผงถ่านกัมมันต์ออก นำน้ำเสียไปวัดค่าพีเอช และปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 ถึง ตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ

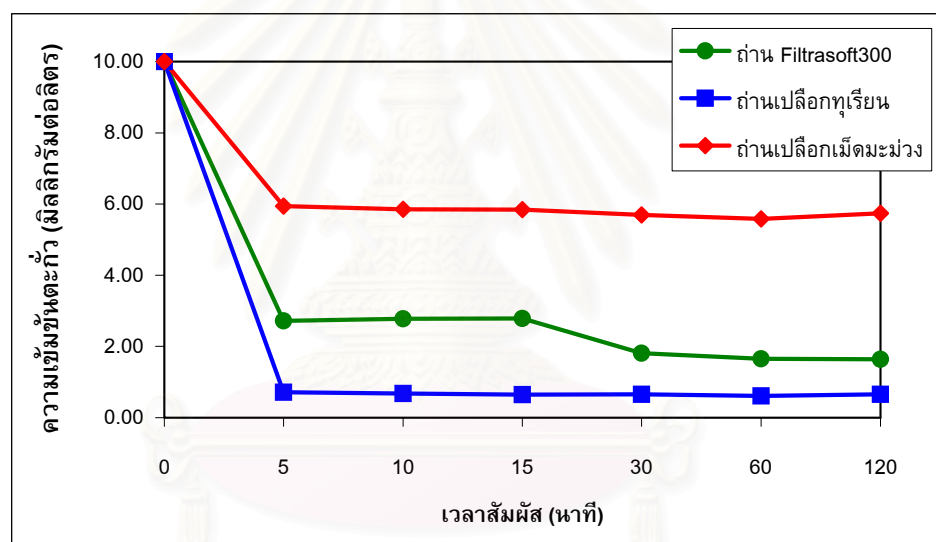
เวลาสัมผัส (นาที)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	%removal
0	4.00	10.00	0.00%
5	6.01	2.717	72.83%
10	6.13	2.775	72.25%
15	6.14	2.787	72.13%
30	6.20	1.809	81.91%
60	6.21	1.651	83.49%
120	6.24	1.641	83.59%

ตารางที่ 4.11 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านเปลือกทุเรียน ที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลาสัมผัส (นาที)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	%removal
0	3.00	10.00	0.00%
5	5.24	0.712	92.88%
10	5.36	0.675	93.25%
15	5.40	0.645	93.55%
30	5.50	0.652	93.48%
60	5.51	0.611	93.89%
120	5.48	0.656	93.44%

ตารางที่ 4.12 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดซับด้วยถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลาสัมผัส (นาที)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	%removal
0	3.00	10.00	0.00%
5	3.44	5.943	40.57%
10	3.48	5.855	41.45%
15	3.50	5.848	41.52%
30	3.50	5.698	43.02%
60	3.53	5.583	44.17%
120	4.25	5.742	42.58%



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ หลังผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 ถึงตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.12 พบว่าอัตราการดูดซับตะกั่วเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที สังเกตได้จากความชันของกราฟ และลักษณะของกราฟมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันสำหรับถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด โดยที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 10 นาที จะมีอัตราการดูดซับตะกั่วค่อนข้างคงที่ สำหรับถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 พบว่าอัตราการดูดซับตะกั่วเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่เวลาสัมผัส 5 นาที โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 72.83% ซึ่งใกล้เคียงกับที่เวลาสัมผัส 10 และ 15 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 72.25% และ 72.13% ตามลำดับ ส่วนที่เวลาสัมผัส 30, 60

และ 120 นาที พบว่าประสิทธิภาพในการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือเพิ่มขึ้นเป็น 81.91%, 83.49% และ 83.59% ตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชของน้ำเสียหลังเขย่าก็พบว่า พีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นจากพีเอช 4 เป็นพีเอช 6 และเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสต่างๆ กัน พีเอชของน้ำเสียมีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วงพีเอช 6-6.2 แสดงว่า เวลาสัมผัสที่แตกต่างกัน ไม่มีผลกระทบต่อพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านการเขย่า

สำหรับถ่านเปลือกทุเรียนพบว่า อัตราการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวเท่ากับ 92.88% ที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 10 นาที จนถึง 120 นาที จะมีอัตราการดูดติดผิวต่ำกว่าค่อนข้างคงที่ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วอยู่ในช่วง 93% ส่วนค่าพีเอชของน้ำเสียหลังเขย่าก็พบว่า พีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นจากพีเอช 3 เป็นพีเอช 5 และเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสต่างๆ กัน พีเอชของน้ำเสียหลังเขย่ามีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วงพีเอช 5.2-5.5

สำหรับถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์พบว่า อัตราการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาทีเช่นกัน โดยประสิทธิภาพในการดูดติดผิวเท่ากับ 40.57% และที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 10 นาที จนถึง 120 นาที จะมีอัตราการดูดติดผิวต่ำกว่าค่อนข้างคงที่ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วอยู่ในช่วง 41-44% ส่วนค่าพีเอชของน้ำเสียหลังเขย่าก็พบว่า พีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากพีเอช 3 และเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสต่างๆ กัน พีเอชของน้ำเสียหลังเขย่ามีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วงพีเอช 3.4-4.2

ดังนั้นเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าประมาณ 10 นาที และเวลาสัมผัสที่มากกว่า 2 ชั่วโมงที่ใช้ในการทดลองก็เพียงพอสำหรับการเข้าสู่จุดสมดุลของการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 อิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดติดผิว

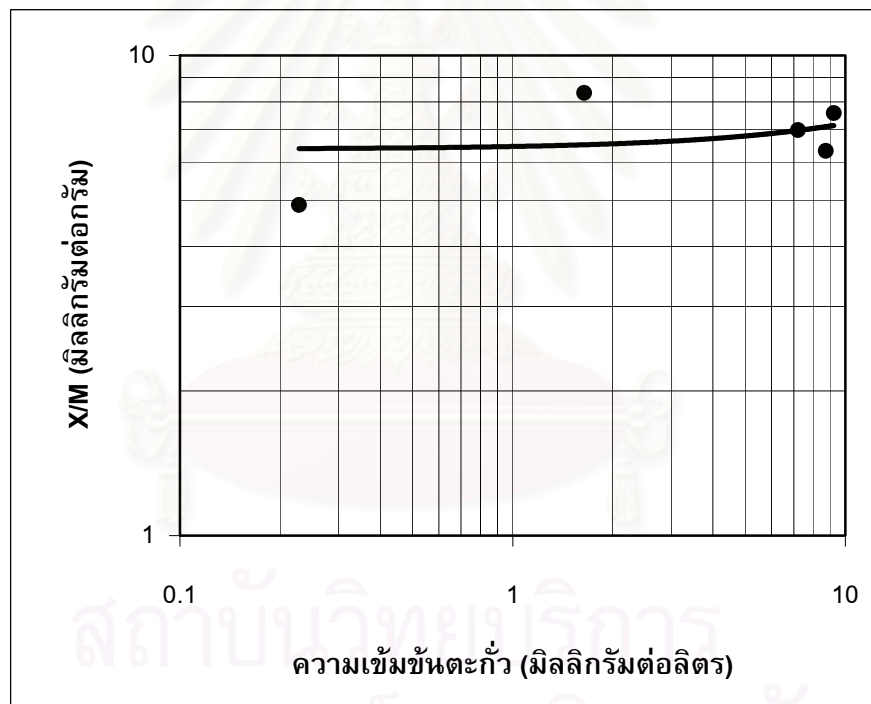
การศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดติดผิวตะกั่ว จากถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนที่ได้เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 1 นำน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ปรับพีเอชให้เท่ากับค่าพีเอชที่ได้ เติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.01, 0.02, 0.04, 0.1 และ 0.2 กรัม นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า เป็นเวลา 120 นาที แยกผงถ่านกัมมันต์ออก นำน้ำเสียไปวัดค่าพีเอช และปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 ถึงตารางที่ 4.15 และสามารถนำข้อมูลไปเขียนเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดิช (Freundlich) ได้ดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.16



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่ปริมาณต่าง ๆ

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	% removal
0.00	4.00	10.000	0.00%
0.01	4.12	9.241	7.59%
0.02	4.34	8.735	12.65%
0.04	4.72	7.204	27.96%
0.10	6.24	1.641	83.59%
0.20	7.17	0.228	97.72%

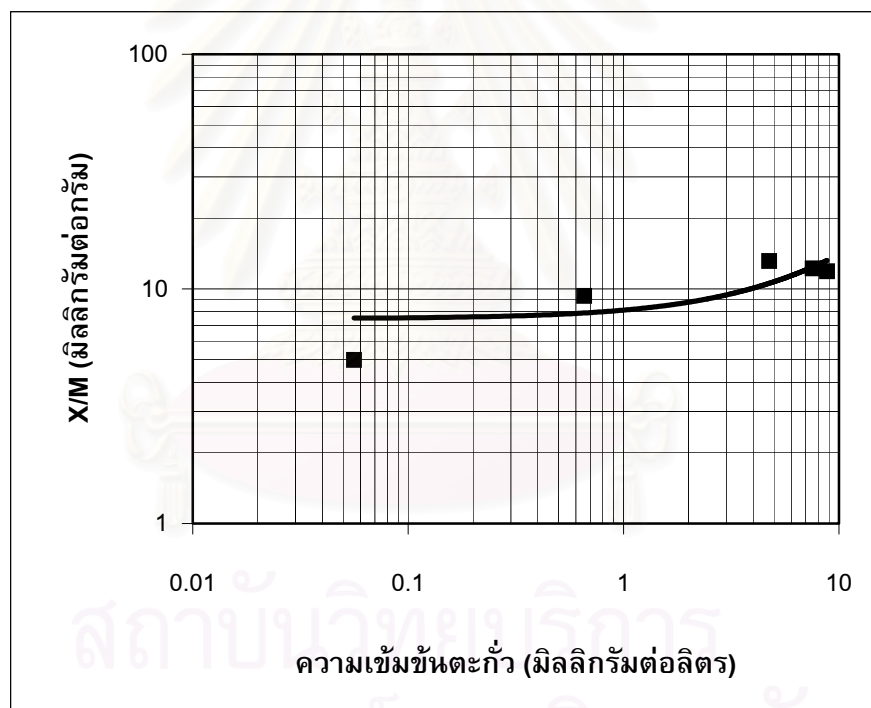


รูปที่ 4.13 ไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300

จากกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดิชของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่ได้ในรูปที่ 4.13 สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้เท่ากับ $y = 0.0833x + 6.3795$ และค่า $R^2 = 0.0696$

ตารางที่ 4.14 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านเปลือกทุเรียนที่ปริมาณต่าง ๆ

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	% removal
0.00	3.00	10.000	0.00%
0.01	3.08	8.813	11.87%
0.02	3.14	7.551	24.49%
0.04	3.25	4.740	52.60%
0.10	5.18	0.656	93.44%
0.20	7.40	0.056	99.44%

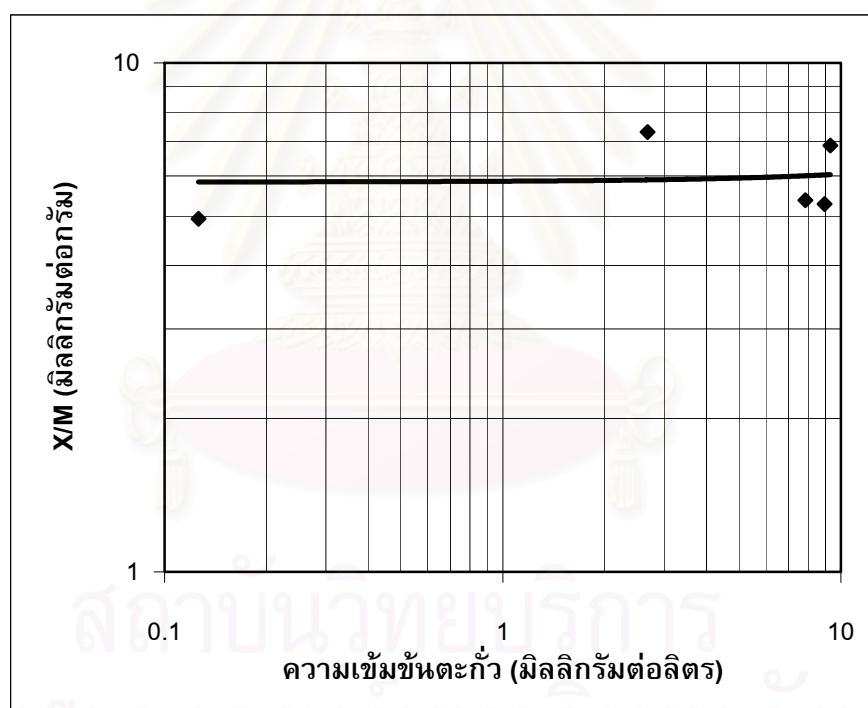


รูปที่ 4.14 ไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านเปลือกทุเรียน

จากกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดิชของถ่านเปลือกทุเรียน ที่ได้ในรูปที่ 4.14 สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้เท่ากับ $y = 0.6531x + 7.4666$ และค่า $R^2 = 0.6095$

ตารางที่ 4.15 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ปริมาณต่าง ๆ

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	% removal
0.00	3.00	10.000	0.00%
0.01	3.04	9.312	6.88%
0.02	3.17	8.944	10.56%
0.04	3.24	7.852	21.48%
0.10	4.39	2.683	73.17%
0.20	6.49	0.126	98.74%



รูปที่ 4.15 ไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

จากกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดิชของถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ได้ในรูปที่ 4.15 สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้เท่ากับ $y = 0.0213x + 5.8335$ และค่า $R^2 = 0.0068$

ในการทดลองหาไอโซเทอมการดูดติดผิว ขั้นแรกได้กำหนดน้ำหนักของถ่านที่จะใช้ในการทดลองเป็น 10 ค่าน้ำหนัก คือ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม ตาม ASTM D3860 - 89a (Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique) แต่เมื่อทำการทดลองพบว่า เมื่อใช้น้ำหนักถ่านในการทดลองตั้งแต่ 0.4–4.0 กรัม จะไม่สามารถวัดค่าตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียโดยใช้เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์หลังการเขย่าได้ ทั้งนี้เกิดจากการดูดติดผิว ตะกั่วร่วมกับการตกตะกอน เนื่องจากเมื่อวัดค่าพีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าพบว่าพีเอชสูงมาก และอยู่ในช่วงการตกตะกอนของตะกั่ว เนื่องจากใช้ถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นต่างจำนวนมาก ทำให้ตะกั่วตกตะกอน และตกค้างอยู่บนกระดาดกรองในขั้นตอนของการแยกถ่านกัมมันต์ออกจากน้ำเสีย ดังนั้นจึงทำการลดปริมาณถ่านที่ใช้ในการทดลองลงเหลือเพียง 6 ค่า คือ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1 และ 0.2 กรัม

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 ถึงตารางที่ 4.15 พบว่า เมื่อปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใช้เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียก็จะมากขึ้น ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการเขย่าจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณถ่านมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันในถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด และสำหรับทั้ง 3 ชนิด พบว่า ค่าพีเอชยังเป็นอิทธิพลที่สำคัญต่อการวัดค่าการดูดติดผิวของตะกั่ว เนื่องจากเมื่อใช้ถ่าน Filtrasorb 300 จำนวน 0.01, 0.02 และ 0.04 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับ 7.59%, 12.65% และ 27.96% ตามลำดับ และพีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าไม่อยู่ในช่วงพีเอชการตกตะกอนของตะกั่ว แต่เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม และ 0.2 กรัม พบว่าพีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าอยู่ในช่วงพีเอชของการตกตะกอน คือ พีเอช 6.24 และ 7.17 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพการกำจัดที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก คือ 83.59% และ 97.72% ตามลำดับ

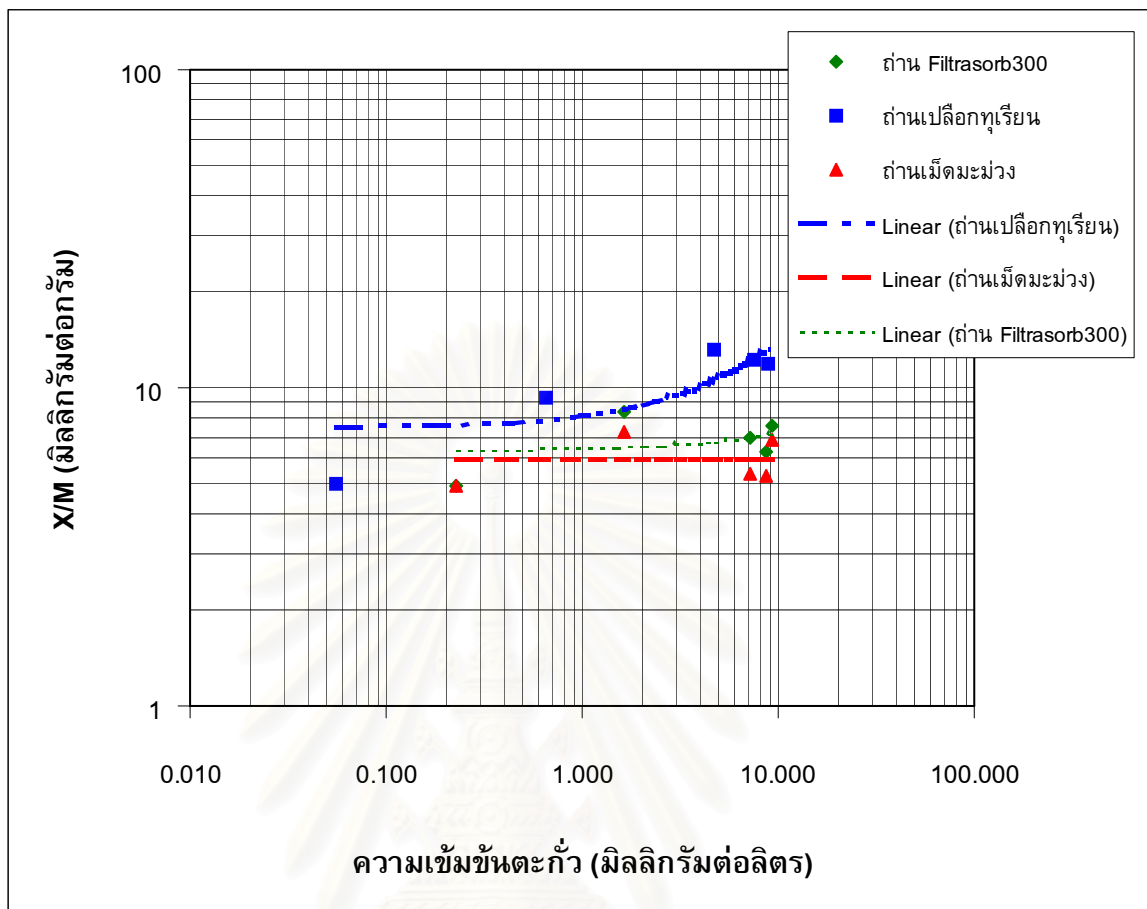
สำหรับถ่านเปลือกทุเรียนพบว่า เมื่อใช้ถ่านจำนวน 0.01, 0.02 และ 0.04 กรัม ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับ 11.87%, 24.49% และ 52.60% ตามลำดับ และพีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าไม่อยู่ในช่วงพีเอชการตกตะกอนของตะกั่ว แต่เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม และ 0.2 กรัม พบว่าพีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าอยู่ในช่วงพีเอชของการตกตะกอน คือ พีเอช 5.18 และ 7.40 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพการกำจัดที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก คือ 93.44% และ 99.44% ตามลำดับ

สำหรับถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์พบว่า เมื่อใช้ถ่านจำนวน 0.01, 0.02, 0.04 และ 0.1 กรัม ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับ 6.88%, 10.56%, 21.48 และ 73.17% ตามลำดับ และพีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าไม่อยู่ในช่วงพีเอชการตกตะกอนของตะกั่ว แต่เมื่อใช้ถ่าน

กัมมันต์ 0.2 กรัม พบว่าพีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าอยู่ในช่วงพีเอชของการตกตะกอน คือ พีเอช 6.49 ซึ่งจะเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพการกำจัดที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก คือ 98.74%

สำหรับเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด ที่แสดงในรูปที่ 4.13 ถึง รูปที่ 4.16 สามารถอธิบายได้จากสมการฟรุนดลิช คือ $X/M = KC^{1/n}$ หรือ $\log X/M + (1/n) \log C$ เมื่อนำค่า X/M และค่า C ไปวาดลงบนกราฟ \log เส้นกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด สามารถพิจารณาจากค่าของ X/M ซึ่งเป็นปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดติดผิว ต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด สามารถใช้ค่าคงที่ K และ $1/n$ ที่ได้จากสมการของฟรุนดลิช โดยพิจารณาที่ $\log C$ มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ $\log K$ เป็นจุดตัดแกน Y และ $1/n$ เป็นความชันของสมการเส้นตรง ค่าคงที่ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.16 (การคำนวณไอโซเทอมการดูดติดผิวและค่าคงที่ต่างๆ ดูได้ในภาคผนวก ค)

จากความสัมพันธ์ของค่าคงที่ K และ $1/n$ ที่ได้ สามารถอธิบายประสิทธิภาพของการดูดติดผิวได้ โดยค่าความชัน $1/n$ ที่มากจะแสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของการดูดติดผิวที่ความเข้มข้นตะกั่วสูงจะมีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้นตะกั่วต่ำ ส่วนค่าคงที่ K แสดงถึงความหนาแน่นของการดูดติดผิวเมื่อค่า C มีค่าเท่ากับ 1 โดยที่ถ้าค่า K ยิ่งมากขึ้นเท่าไร ก็จะส่งผลให้ความหนาแน่นในการดูดติดผิวมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 4.16 ค่าคงที่ ของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด จากสมการของฟรุนดิช

ชนิดถ่านกัมมันต์	K (มิลลิกรัมต่อกรัม)	1/n (1/กรัม)
ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300	2.40×10^6	0.0833
ถ่านเปลือกทุเรียน	2.93×10^7	0.6531
ถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์	6.82×10^5	0.0213

จากค่าคงที่ในตารางที่ 4.16 พบว่า ค่าที่คำนวณได้จากกราฟ เป็นค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ควรจะเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เกิดเนื่องจาก เมื่อใช้ถ่านปริมาณสูงขึ้น พีเอชของน้ำเสียหลังการเขย่าจะอยู่ในช่วงพีเอชการตกตะกอนของตะกั่วตั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น จึงไม่สามารถเขียนกราฟการดูดติดผิวแบบฟรุนดิช และคำนวณค่าคงที่ที่ถูกต้องได้ เนื่องจากค่าที่วัดได้ที่เขียนลงในกราฟ ไม่ใช่ค่าที่มาจากการกำจัดตะกั่วด้วยการดูดติดผิวเพียงอย่างเดียว แต่มีการตกตะกอนร่วมด้วย

การที่มีการตกตะกอนของตะกั่วรวมกับการดูดติดผิวเมื่อใช้ปริมาณถ่านมากขึ้นเรื่อยๆ ในการทดลองนี้ ส่งผลให้ค่าที่พลอตลงในกราฟ \log ในตำแหน่งที่ใกล้กับแกนตั้งหรือแกน y อยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่าค่าที่เป็นจริง หรือค่าคงที่ของการดูดติดผิวตะกั่วต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (X/M) มีค่าสูง เนื่องจากมีการตกตะกอน ส่งผลให้กราฟมีความชันน้อย หรือค่า $1/n$ ที่ได้ค่อนข้างต่ำ การที่กราฟมีความชันน้อยนี้ เมื่อลากกราฟตัดแกนตั้ง จะตัดแกนในตำแหน่งที่สูง ทำให้ค่า K ที่คำนวณได้ เป็นค่าที่สูงกว่าความเป็นจริง

แต่จากการทดลองหาไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดิชของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าถ่านเปลือกทุเรียนมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาจากค่าคงที่คำนวณได้ และแนวโน้มของกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิว ซึ่งจะพบว่าเส้นกราฟของถ่านเปลือกทุเรียนจะอยู่สูงกว่า และมีความชันมากกว่ากราฟของถ่าน Filtrasorb 300 และถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ดังนั้นจึงเลือกถ่านเปลือกทุเรียนเพื่อนำไปใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่องต่อไป

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์โดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง (Column test)

ในขั้นตอนที่ 3 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพ หรือความสามารถในการใช้งานของถ่านกัมมันต์ ในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการทดสอบแบบต่อเนื่อง (Column test) จากการทดลองในขั้นตอนที่ 2 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสูงที่สุดคือถ่านเปลือกทุเรียน ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุติดต่อเกลือเท่ากับ 1:0 จึงนำมาทำการทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์

บรรจุถ่านเปลือกทุเรียนที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุติดต่อตัวกระตุ้นเกลือแกงเท่ากับ 1:0 ขนาดของถ่าน 8 x 30 เมช ลงในคอลัมน์แบบชุดต่อเนื่องจำนวน 4 คอลัมน์ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในคอลัมน์ 1.9 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร บรรจุชั้นถ่านสูง 30 เซนติเมตร มีความสูงของชั้นถ่านรวม 4 คอลัมน์ 120 เซนติเมตร น้ำหนักของถ่านในแต่ละคอลัมน์หนักประมาณ 8 กรัม โดยขั้นตอนการบรรจุถ่านกัมมันต์ลงในคอลัมน์ หลังจากชั่งน้ำหนักของถ่านที่จะใช้แล้ว จะต้องนำถ่านมาไล่อากาศที่ค้างอยู่ในถ่าน โดยการเติมน้ำกลั่นให้ท่วมถ่าน นำมาต้มจนเดือด ต้มต่อให้เดือดจัดเป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงบรรจุถ่านพร้อมๆ กับน้ำที่ต้มลงในคอลัมน์ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่แล้วประมาณหนึ่งในสามของคอลัมน์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศในคอลัมน์

ทำการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 3 โดยมีทิศทางการไหลของจากด้านบนลงล่าง (down flow) อัตราการไหลของน้ำ 3 ลิตรต่อชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์แต่ละคอลัมน์ทุกๆ 1 ลิตร เพื่อวิเคราะห์ค่าพีเอช และปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างเส้นโค้งเบรคทูล์จ (Breakthrough curve) ระหว่างปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย กับค่า Bed Volume : (BV)

การคำนวณ Bed Volume ของถ่านกัมมันต์จะใช้สูตร

$$\text{Bed volume (BV)} = \frac{\text{ปริมาตรของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ลิตร)}}{\text{ปริมาตรของชั้นถ่านกัมมันต์ (ลิตร)}}$$

ปริมาตรของชั้นถ่านกัมมันต์สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาตรของชั้นถ่านกัมมันต์ (ลิตร)} = \frac{\pi r^2 h}{1000}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } r &= \text{รัศมีภายในของคอลัมน์ (เซนติเมตร)} \\ h &= \text{ความสูงของชั้นถ่านในคอลัมน์ (เซนติเมตร)} \end{aligned}$$

ค่าปริมาตรของชั้นถ่านกัมมันต์ที่ความสูงต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าปริมาตรของชั้นถ่านที่ความสูงต่างๆ

คอลัมน์	ชั้นความสูงถ่าน (เซนติเมตร)	ปริมาตรของชั้นถ่าน (ลิตร)	น้ำหนักถ่าน (กรัม)
คอลัมน์ที่ 1	30	0.085	8
คอลัมน์ที่ 2	60	0.170	16
คอลัมน์ที่ 3	90	0.255	24
คอลัมน์ที่ 4	120	0.340	32

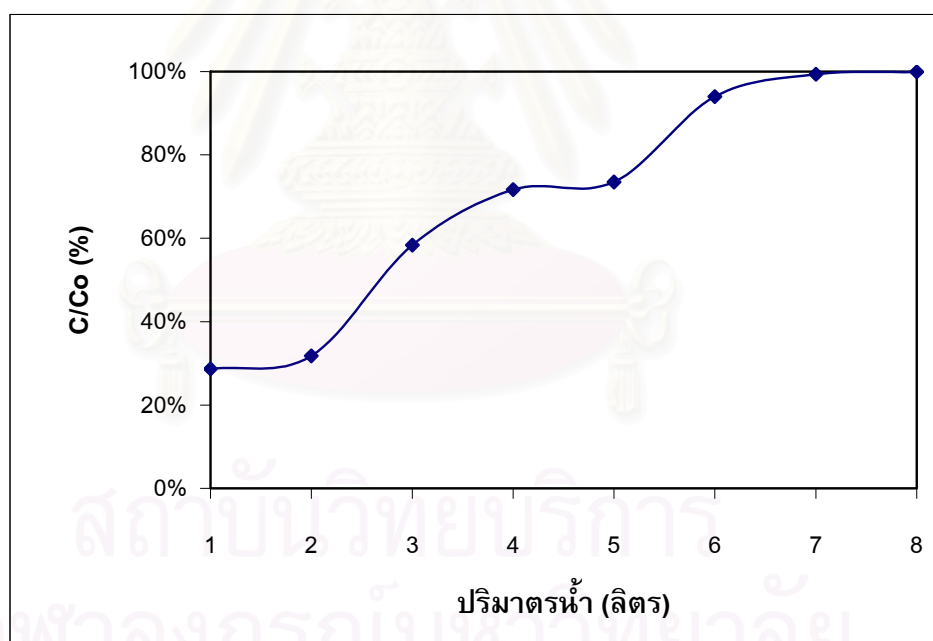
ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.18 ถึงตารางที่ 4.21 และนำไปเขียนเส้นโค้ง
เบรคทรูจีได้ดังรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 30 เซนติเมตร

ปริมาตรน้ำ (ลิตร)	ปริมาตรน้ำ (BV)	pH	ความเข้มข้นตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C/Co (%)
1	11.76	5.28	2.870	28.70%
2	23.53	3.97	3.178	31.78%
3	35.29	3.74	5.835	58.35%
4	47.05	3.94	7.170	71.70%
5	58.81	3.84	7.349	73.49%
6	70.58	3.08	9.401	94.01%
7	82.34	3.00	9.937	99.37%
8	94.10	3.00	9.996	99.96%

หมายเหตุ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
 ปริมาตรของชั้นถ่าน = 0.085 ลิตร

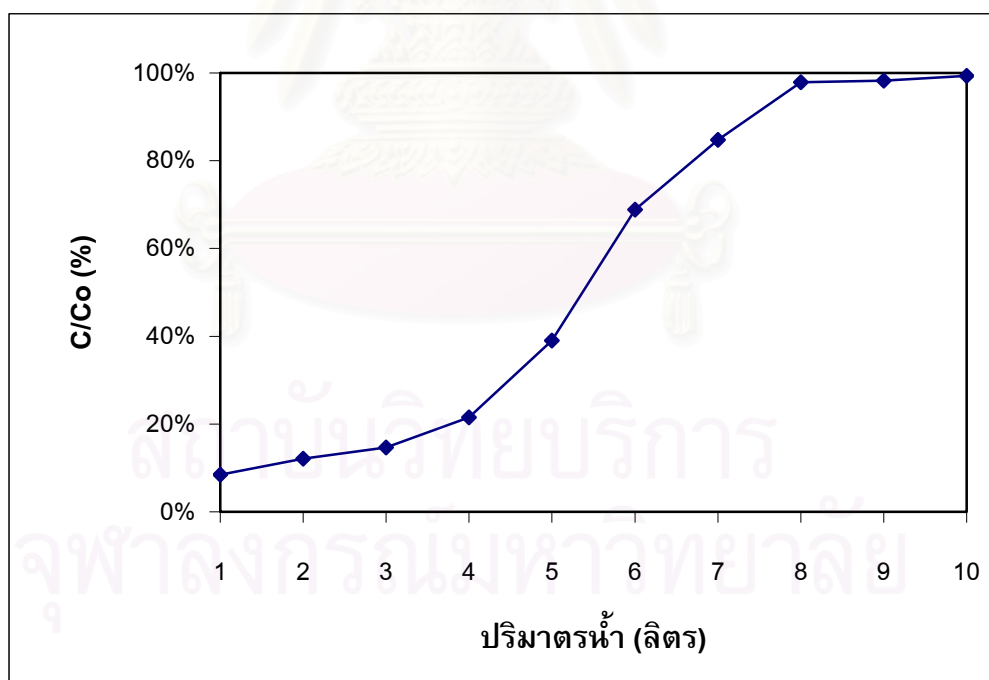


รูปที่ 4.17 แสดงเส้นโค้งเบรคทูล์จ ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว กับปริมาตรน้ำที่ความสูงชั้นถ่าน 30 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.19 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 60 เซนติเมตร

ปริมาตรน้ำ (ลิตร)	ปริมาตรน้ำ (BV)	pH	ความเข้มข้นตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C/Co (%)
1	5.88	5.92	0.846	8.46%
2	11.76	5.87	1.214	12.14%
3	17.65	5.55	1.469	14.69%
4	23.53	5.12	2.154	21.54%
5	29.41	4.55	3.902	39.02%
6	35.29	3.62	6.887	68.87%
7	41.18	3.08	8.477	84.77%
8	47.06	3.18	9.785	97.85%
9	52.94	2.98	9.822	98.22%
10	58.82	3.96	9.931	99.31%

หมายเหตุ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาตรของชั้นถ่าน = 0.17 ลิตร

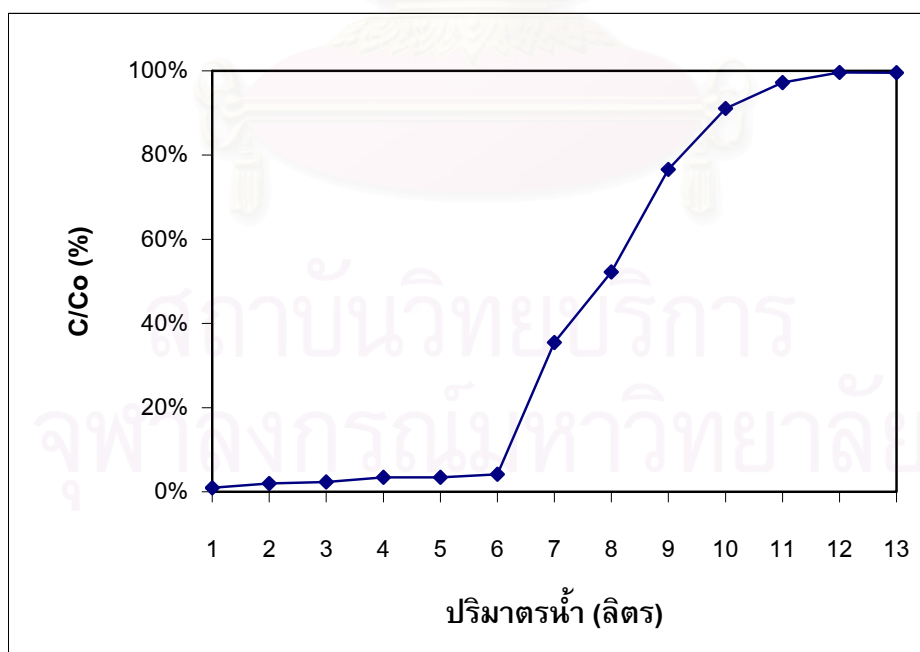


รูปที่ 4.18 แสดงเส้นโค้งเบรคทรูจ์ ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว กับปริมาตรน้ำที่ความสูงชั้นถ่าน 60 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.20 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 90 เซนติเมตร

ปริมาตรน้ำ (ลิตร)	ปริมาตรน้ำ (BV)	pH	ความเข้มข้นตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C/Co (%)
1	3.92	6.93	0.098	0.98%
2	7.84	6.71	0.196	1.96%
3	11.76	6.58	0.231	2.31%
4	15.69	6.38	0.342	3.42%
5	19.61	6.48	0.345	3.45%
6	23.53	5.09	0.418	4.18%
7	27.45	3.56	3.547	35.47%
8	31.37	3.28	5.222	52.22%
9	35.29	3.19	7.658	76.58%
10	39.22	3.16	9.109	91.09%
11	43.14	3.14	9.723	97.23%
12	47.06	3.58	9.963	99.63%
13	50.98	3.32	9.959	99.59%

หมายเหตุ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
 ความสูงชั้นถ่าน = 0.255 ลิตร



รูปที่ 4.19 แสดงเส้นโค้งเบรคทอร์จ ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว กับปริมาตรน้ำที่ความสูงชั้นถ่าน 90 เซนติเมตร

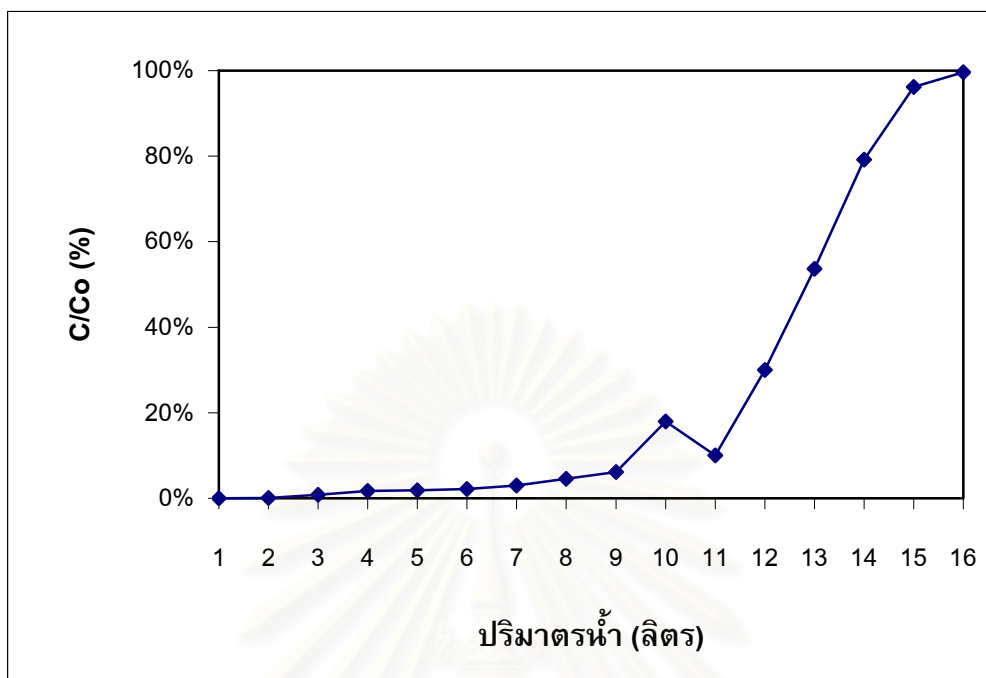
ตารางที่ 4.21 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังผ่านคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 120 เซนติเมตร

ปริมาตรน้ำ (ลิตร)	ปริมาตรน้ำ (BV)	pH	ความเข้มข้นตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C/Co (%)
1	2.94	7.07	0.000	0.00%
2	5.88	7.00	0.005	0.05%
3	8.82	6.97	0.085	0.85%
4	11.76	6.93	0.169	1.69%
5	14.71	6.90	0.190	1.90%
6	17.65	6.80	0.216	2.16%
7	20.59	6.39	0.300	3.00%
8	23.53	5.55	0.458	4.58%
9	26.47	5.32	0.613	6.13%
10	29.41	5.99	1.797	17.97%
11	32.35	4.79	1.006	10.06%
12	35.29	4.75	3.002	30.02%
13	38.24	3.19	5.369	53.69%
14	41.18	3.79	7.920	79.20%
15	44.12	3.18	9.615	96.15%
16	47.06	3.06	9.962	99.62%

หมายเหตุ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความสูงชั้นถ่าน = 0.340 ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.20 แสดงเส้นโค้งเบรคทรูจ์ ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว กับปริมาตรน้ำที่ความสูงชั้น ถ่าน 120 เซนติเมตร

จากตารางที่ 4.18 ถึงตารางที่ 4.21 จะพบว่าเมื่อป้อนน้ำเสียพีเอช 3 เข้าสู่คอลัมน์ น้ำเสียที่ไหลผ่านท่อจะมีค่าพีเอชสูง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียผ่านชั้นถ่านที่เป็นต่าง และจะค่อยๆ ลดลงจนมีพีเอชเท่ากับน้ำเสียที่เข้าสู่คอลัมน์

สำหรับความเข้มข้นของตะกั่วที่ผ่านออกจากคอลัมน์พบว่า เมื่อทำการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องแบบไหลลง พบว่า ในช่วงแรกของการผ่านน้ำลงในคอลัมน์ น้ำที่ออกจากคอลัมน์จะมี ปริมาณตะกั่วอยู่น้อย แต่เมื่อปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์มากขึ้นเรื่อยๆ ความเข้มข้นของตะกั่ว ในน้ำก็จะค่อยๆ สูงขึ้น และมีแนวโน้มการลดลงของประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในทุกคอลัมน์ แสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์เริ่มหมดประสิทธิภาพของการดูดซับพิษ จนถึงปริมาตร หนึ่งที่ความเข้มข้นของน้ำที่ผ่านคอลัมน์มีความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับน้ำที่เข้าสู่คอลัมน์ ณ จุด นี้เรียกว่า จุดหมดสภาพ ซึ่งเป็นจุดที่ถ่านกัมมันต์หมดประสิทธิภาพในการดูดซับพิษแล้ว

จากการทดลองในคอลัมน์ที่ 1 ซึ่งมีชั้นถ่านกัมมันต์สูง 30 เซนติเมตร น้ำหนักถ่าน เท่ากับ 8 กรัม และปริมาตรของชั้นถ่านเท่ากับ 0.085 ลิตร ผลการทดลองพบว่า ในช่วงแรกของการ ผ่านน้ำลงในคอลัมน์ น้ำที่ออกจากคอลัมน์จะมีปริมาณตะกั่วอยู่น้อย แต่เมื่อปริมาณน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์มากขึ้นเรื่อยๆ ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำก็จะค่อยๆ สูงขึ้น จนถึงจุดที่ถ่าน

เสื่อมสภาพคือ ความเข้มข้นของน้ำที่ผ่านคอลัมน์ มีความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเท่ากับความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำที่เข้าสู่คอลัมน์ ผลการทดลองพบว่า เมื่อป้อนน้ำเสียผ่านชั้นถ่านกัมมันต์สูง 30 เซนติเมตร จนถึงจุดเสื่อมสภาพของถ่าน ถ่านสามารถบำบัดน้ำที่มีตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้จำนวน 8 ลิตร คิดเป็น 94.10 BV เมื่อคิดความสามารถในการกำจัดตะกั่วต่อน้ำหนักถ่าน 1 กรัม พบว่า ในคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 30 เซนติเมตร ถ่าน 1 กรัม สามารถกำจัดตะกั่วได้ 10 มิลลิกรัม

จากการทดลองในคอลัมน์ที่ 2 ซึ่งมีชั้นถ่านกัมมันต์สูง 60 เซนติเมตร น้ำหนักถ่านเท่ากับ 16 กรัม และปริมาตรของชั้นถ่านเท่ากับ 0.170 ลิตร ผลการทดลองพบว่า ในช่วงแรกของการผ่านน้ำลงในคอลัมน์ น้ำที่ออกจากคอลัมน์จะมีปริมาณตะกั่วอยู่น้อย แต่เมื่อปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์มากขึ้นเรื่อยๆ ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำก็จะค่อยๆ สูงขึ้นเช่นกัน จนถึงจุดที่ถ่านเสื่อมสภาพ ผลการทดลองพบว่า เมื่อป้อนน้ำเสียผ่านชั้นถ่านกัมมันต์สูงรวม 60 เซนติเมตร จนถึงจุดเสื่อมสภาพของถ่าน ถ่านสามารถบำบัดน้ำที่มีตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้จำนวน 10 ลิตร คิดเป็น 58.82 BV เมื่อคิดความสามารถในการกำจัดตะกั่วต่อน้ำหนักถ่าน 1 กรัม พบว่า ในคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 60 เซนติเมตร ถ่าน 1 กรัม สามารถกำจัดตะกั่วได้ 6.25 มิลลิกรัม

จากการทดลองในคอลัมน์ที่ 3 ซึ่งมีชั้นถ่านกัมมันต์สูง 90 เซนติเมตร น้ำหนักถ่านเท่ากับ 24 กรัม และปริมาตรของชั้นถ่านเท่ากับ 0.255 ลิตร ผลการทดลองพบว่า เมื่อป้อนน้ำเสียผ่านชั้นถ่านกัมมันต์สูงที่มีรวม 90 เซนติเมตร จนถึงจุดเสื่อมสภาพของถ่าน ถ่านสามารถบำบัดน้ำที่มีตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้จำนวน 13 ลิตร คิดเป็น 50.98 BV เมื่อคิดความสามารถในการกำจัดตะกั่วต่อน้ำหนักถ่าน 1 กรัม พบว่า ในคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 90 เซนติเมตร ถ่าน 1 กรัม สามารถกำจัดตะกั่วได้ 5.42 มิลลิกรัม

จากการทดลองในคอลัมน์ที่ 4 ซึ่งมีชั้นถ่านกัมมันต์สูง 120 เซนติเมตร น้ำหนักถ่านเท่ากับ 24 กรัม และปริมาตรของชั้นถ่านเท่ากับ 0.340 ลิตร ผลการทดลองพบว่า เมื่อป้อนน้ำเสียผ่านชั้นถ่านกัมมันต์สูงที่มีรวม 120 เซนติเมตร จนถึงจุดเสื่อมสภาพของถ่าน ถ่านสามารถบำบัดน้ำที่มีตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้จำนวน 16 ลิตร คิดเป็น 47.06 BV เมื่อคิดความสามารถในการกำจัดตะกั่วต่อน้ำหนักถ่าน 1 กรัม พบว่า ในคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 120 เซนติเมตร ถ่าน 1 กรัม สามารถกำจัดตะกั่วได้ 5 มิลลิกรัม

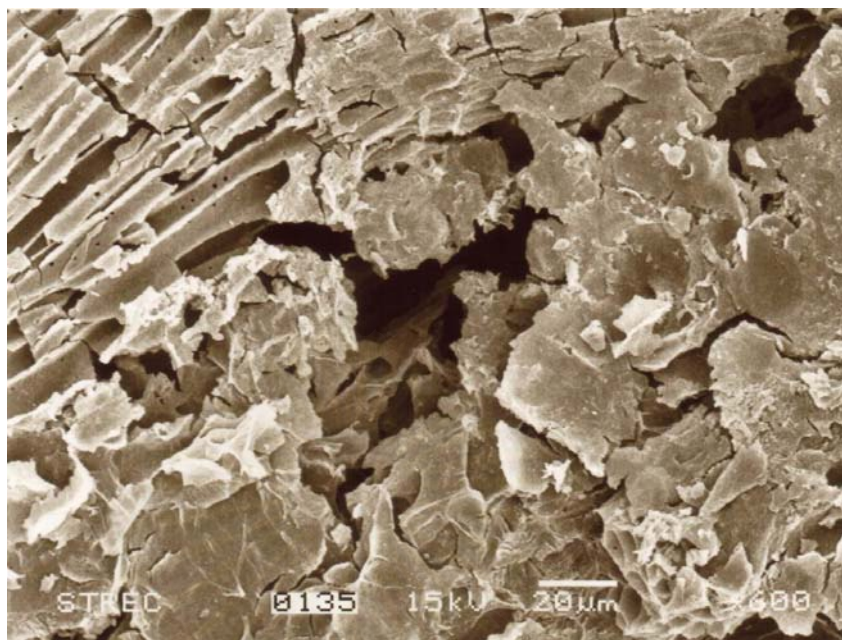
จากรูปแสดงเส้นโค้งเบอร์คทอร์รูปที่ 4.17 พบว่า ค่า C/Co ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 30 เซนติเมตร ที่ปริมาตรน้ำ 3 และ 4 ลิตรมีค่าสูงขึ้น เช่นเดียวกับค่า C/Co ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 120 เซนติเมตรที่ปริมาตรน้ำ 10 ลิตร ในรูปแสดงเส้นโค้งเบอร์คทอร์รูปที่ 4.20 ทั้งนี้เกิดเนื่องจากในขั้นตอนของการทดลองมีการปิดปลายคอลัมน์ในตอนกลางคืน ทำให้น้ำขังอยู่ในคอลัมน์เป็นเวลานาน ส่งผลให้น้ำเสียสัมผัสชั้นถ่านเป็นเวลานาน และมีโอกาสเกิดการดูดติดผิวได้มาก ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจึงลดลงมาก เมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชของน้ำเสียที่ปริมาตร 3 และ 4 ลิตร ที่ผ่านคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 30 เซนติเมตร และพีเอชของน้ำเสียที่ปริมาตรน้ำ 10 ลิตร ที่ผ่านคอลัมน์ชั้นถ่านสูง 120 เซนติเมตร ก็จะพบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการสัมผัสชั้นถ่านที่เป็นต่างเป็นเวลานาน เช่นเดียวกัน

จากการทดสอบประสิทธิภาพของการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านเปลือกทุเรียนในถังดูดติดผิวแบบแท่ง สามารถสรุปปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดของถังดูดติดผิวแบบแท่งทั้ง 4 ได้ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วในถังดูดติดผิวแบบแท่ง

ชั้นความสูงถ่าน (เซนติเมตร)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านการ บำบัด (ลิตร)	คิดเป็นปริมาณ Bed Volume	น้ำหนักตะกั่วที่ถูกกำจัด ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
30	8	94.01	10
60	10	58.85	6.25
90	13	50.98	5.42
120	16	47.06	5

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ผ่านการดูดติดผิวตะกั่วจากคอลัมน์ไปทำการตรวจดูพื้นผิวด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope เพื่อเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านก่อนและหลังการดูดติดผิวตะกั่ว พบว่าผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงโครงสร้าง และพื้นผิว ของถ่านเปลือกทุเรียนที่ผ่านการดูดติดผิวตะกั่วที่กำลังขยาย 600 เท่า

จากรูปจะเห็นว่า พื้นผิวของถ่านหลังผ่านการดูดติดผิวตะกั่วจะเปลี่ยนแปลงไป โดยพื้นที่ผิวของถ่านถูกปิด จากที่เห็นในภาพ คาดว่าน่าจะเป็นตะกอนของตะกั่ว ซึ่งตกอยู่บนผิวของถ่าน เนื่องจากพื้นผิวที่เป็นต่างของถ่าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือเปลือกทุเรียน และเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ผ่านกระบวนการเผาให้เป็นถ่าน และกระบวนการกระตุ้นโดยใช้เกลือแกง และทดสอบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ได้ และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดติดผิว โดยการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง และการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านโดยการทดสอบแบบต่อเนื่อง ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์ การคัดเลือกถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนตัวกระตุ้นที่เหมาะสมโดยใช้ค่าไอโอดีนนมเบอร์เป็นตัวตัดสิน และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียน และเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ จะให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 567 และ 532 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ตามลำดับ เมื่อเตรียมถ่านที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบที่ผ่านการแช่เกลือแกงอ้อมตัวแล้ว ต่อเกลือที่เติมลงไปเป็นตัวกระตุ้น เท่ากับ 1:0 นั่นคือ การแช่วัตถุดิบในสารละลายเกลือแกงอ้อมตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อบให้แห้ง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก็เพียงพอที่จะทำให้วัตถุดิบเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดติดผิว แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าไอโอดีนนมเบอร์ที่ได้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) คือค่าไอโอดีนนมเบอร์ต้องไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ พบว่าค่าที่ได้ยังน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

จากนั้นจึงนำวัตถุดิบที่คัดเลือกได้ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ และศึกษาลักษณะโครงสร้าง พื้นผิว ความเป็นรูพรุนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เปรียบเทียบพื้นผิวของวัตถุดิบก่อนและหลังทำการเผา พบว่า หลังจากเผาแล้วโครงสร้างและพื้นผิวของวัตถุดิบจะเปลี่ยนไป โดยจะมีรูพรุนมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบพื้นผิวของถ่านเปลือกทุเรียนที่ใช้และไม่

ใช้ตัวกระตุ้น พบว่า ถ่านที่ใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น รูปพรุนของถ่านจะเกิดขึ้นมากกว่า และเป็นระเบียบกว่า

2) ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ถ่านเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เทียบกับถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่นิยมใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว อิทธิพลของพีเอช พบว่าค่าพีเอชมีผลอย่างมากต่อการศึกษาการดูดติดผิวตะกั่ว เนื่องจากเมื่อทำการปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้อยู่ในช่วง 6-9 ตะกั่วในน้ำเสียจะตกตะกอน และนอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นยังมีพีเอชที่เป็นต่าง ทำให้น้ำเสียหลังเขย่ามีความเป็นต่างสูง ตะกั่วในน้ำเสียจึงตกตะกอนค้างอยู่บนกระดาษกรองในขั้นตอนการแยกถ่านออก จึงไม่สามารถวัดตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำเสียได้ จึงต้องทำการทดลองในช่วงที่พีเอชของน้ำเสียไม่อยู่ในช่วงที่ตะกั่วตกตะกอน เพื่อให้สามารถวัดประสิทธิภาพการดูดติดผิวได้ โดยพีเอชที่เหมาะสมในการทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวของถ่านเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ คือพีเอช 3 ส่วนถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 พีเอชที่เหมาะสมคือพีเอช 4

ส่วนอิทธิพลของเวลาสัมผัส พบว่าอัตราการดูดติดผิวตะกั่วเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที โดยที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 10 นาที จะมีอัตราการดูดติดผิวตะกั่วค่อนข้างคงที่ ซึ่งเมื่อเวลาสัมผัสมากกว่านี้ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วก็จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันสำหรับถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

สำหรับการทดสอบหาไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพรุนดิช พบว่า ไม่สามารถเขียนกราฟการดูดติดผิว และหาค่าการดูดติดผิวแบบพรุนดิชที่ถูกต้องได้ เนื่องจากในการทดลองพบว่า เมื่อใช้ถ่านปริมาณมาก พีเอชของน้ำเสียหลังเขย่าจะอยู่ในช่วงการตกตะกอนของตะกั่ว ทำให้ค่าที่วัดได้เป็นไม่ใช่ค่าที่มาจากการกำจัดตะกั่วด้วยการดูดติดผิวเพียงอย่างเดียว แต่มีการตกตะกอนร่วมด้วย แต่เมื่อพิจารณาจากค่าที่วัดได้ และแนวโน้มของเส้นกราฟการดูดติดผิว ถ่านเปลือกทุเรียนมีความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วออกจากน้ำเสียได้ดีที่สุด

3) ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์โดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง โดยนำถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพการดูดติดผิวสูงสุดจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพรุนดิช คือถ่านเปลือกทุเรียนอัตราส่วนวัตุถุคิบต่อเกลือเท่ากับ 1:0 มาบรรจุในถังดูดติดผิวแบบแท่งแบบชุดต่อเนื่อง ทำการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างต่อเนื่องแบบไหลลง พบว่าผลการทดลองการกำจัดตะกั่วในถังดูดติด

ผิวแบบแห้งที่ความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 94.01, 58.85, 50.98 และ 47.06 BV และสามารถดูดติดผิวตะกั่วได้ 10, 6.25, 5.42 และ 5 มิลลิกรัมของตะกั่วต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ตามลำดับ

จากการทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น โดยการวัดค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์พบว่าถ่านที่ได้ยังมีคุณสมบัติต่ำกว่าข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วพบว่า ถ่านทุเรียนที่เตรียมขึ้นโดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้นสามารถดูดติดผิวตะกั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น และในการนำถ่านเปลือกทุเรียนมาพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานจริงต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีศึกษาเพิ่มเติมถึงความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีอยู่มากในประเทศไทย มาทดลองผลิตเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น เช่น เปลือกถั่วลิสง เมล็ดลำไย เป็นต้น
- 2) จากการทดลองพบว่าถ่านเปลือกทุเรียนที่ได้ แม้จะมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสูง แต่ก็พบว่าถ่านมีความแข็งค่อนข้างต่ำ เนื้อถ่านเปราะ และแตกหักง่าย จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในการพัฒนาถ่านเพื่อที่จะนำไปใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น เช่น บดให้ถ่านมีขนาดเล็ก ผสมตัวประสาน (binder) แล้วทำให้เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด เป็นต้น
- 3) ควรมีการทดลองนำถ่านที่เตรียมขึ้นไปทดลองใช้ประโยชน์ในการดูดติดผิวทางด้านอื่นๆ เช่น การใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอาหารและยา ใช้ในเครื่องกรองน้ำ หรือใช้กรองอากาศ เป็นต้น
- 4) จากขั้นตอนการทดลองในการล้างถ่านกัมมันต์หลังจากการเผา พบว่า ถ้าทำการล้างถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง จะช่วยให้ค่าไอโอดีนหุ้มเบอร์ของถ่านสูงขึ้น จึงควรมีการศึกษาเปรียบเทียบเพิ่มเติม
- 5) ควรมีการศึกษาการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดติดผิวโลหะหนัก เพื่อจะสามารถนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่ และเป็นการลดต้นทุนการใช้ถ่านกัมมันต์

- 6) ควรศึกษาสภาวะต่างๆ ที่อาจส่งผลต่อความสามารถในการละลายของตะกั่วออกจากถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดติดผิวแล้ว เนื่องจากอาจมีการละลายของตะกั่วกลับสู่สิ่งแวดล้อมได้ หากเกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการละลายขึ้น
- 7) จากขั้นตอนการทดลองแบบต่อเนื่องพบว่า เมื่อมีการป้อนน้ำเสียที่พีเอชต่ำผ่านชั้นถ่านหลายๆ ครั้ง น้ำที่ออกจากถังดูดติดผิวแบบแห้งในช่วงแรกจะมีความเป็นด่างสูงเนื่องจากถ่านมีความเป็นด่าง แต่เมื่อป้อนน้ำเสียมากขึ้นน้ำที่ออกจากถังดูดติดผิวแบบแห้งจะค่อยๆ มีความเป็นด่างน้อยลงจนกระทั่งมีพีเอชเท่ากับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จึงควรทดลองทำการล้างถ่านด้วยสารละลายกรดหลายๆ ครั้ง เพื่อลดพีเอชที่เป็นด่างของถ่าน และลดปัญหาการตกตะกอนของตะกั่วในขั้นตอนการศึกษาการดูดติดผิว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2543. มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย :

Water quality standards & criteria in Thailand. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2522. เกลือ : คุณสมบัติและการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2

กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กลุ่มเกษตรสัญจร. 2530. มะม่วงหิมพานต์. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สมมิตร

เกศรา นุตาลัย และคณะ. 2531. รายงานการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ. รายงานฉบับที่ 1 โครงการวิจัยที่ ภ30 – 14 โครงการวิจัยและพัฒนาดินพรุเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สยามสเตชันเนอรีซ์พลาซา.

ดำรง ขุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล. 2533. การผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น. วิศวกรรมสาร 43 (6): 96-99.

พงศ์ศักดิ์ โอซารส. 2539. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

มันสิน ตันทุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตันทุลเวศม์. 2540. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไมตรี สุทธจิตต์. 2534. สารพิษรอบตัวเรา. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ดาวคอมพิวกราฟิค.

- รัชนก แซ่เจิน. 2541. การลดปริมาณสารหนูในน้ำ ด้วยกระบวนการดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วราวุฒิ ประชาศิริสกุล. 2541. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเคมีวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- เศรษฐกิจการพาณิชย์, กรม. 2521. รายงานผลการศึกษาวิจัย เกลือทะเล. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ข่าวพาณิชย์.
- สมศักดิ์ วรรณศิริ และคณะ. 2530. ทฤษฎี. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม.
- สรรเสริญ เจริญศรี, วินัย ปัญญาธิคุณ และ ปรีชา ภูจีบ. 2520. การทดลองบีบน้ำมันและวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันจากเมล็ดไม้ 9 ชนิด. กรุงเทพมหานคร: กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อริชัย นพแก้ว. 2539. การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับผิวโลหะหนักจากน้ำชะขยะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2532 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ : Standard for activated carbon. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Ahmadpour, A. and Do, D. D. 1997. The preparation of activated carbon from Macadamia nutshell by chemical activation. Carbon 35 (12):1723-1732.

Ahmedna, M., Marshall, W. E. and Rao R. M. 2000. Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. Bioresource Technology 71 (2): 113-123.

American Society for Testing and Materials. 1996. Standard practice for : Determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique, D 3860 – 89a. Annual book of ASTM standards Vol. 15.01. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for: Determination of iodine number of activated carbon, D 4607 - 94. Annual book of ASTM standards Vol. 15.01. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for: Moisture in activated carbon, D 2867 - 95. Annual book of ASTM standards Vol. 15.01. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for: pH of activated carbon, D 3838 - 80. Annual book of ASTM standards Vol. 15.01. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. 1977. Standard test method for: Specific surface area of carbon or graphite, C 819 -77. Annual book of ASTM standards. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for: Total ash content of activated carbon, D 2866 - 94. Annual book of ASTM standards Vol. 15.01. Philadelphia: ASTM.

- Cheremisinoff, P.N. and Morresi, A. C. 1978. Carbon adsorption applications. In P. N. Cheremisinoff and F. Ellerbusch (eds.), Carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor Science.
- Chen, J. P. and Wang, X. 2000. Removing copper, zinc and lead ion by granular activated carbon in pretreated fixed-bed columns. Separation and Purification Technology 19: 157-167.
- Cookson, J. T. Jr. 1978. Adsorption mechanisms: the chemistry of organic adsorption on activated carbon. In P. N. Cheremisinoff and F. Ellerbusch (eds.), Carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor Science.
- Derbyshire, F., Jagtoyen, M. and Thwaites, M. 1995. Activated carbons-production and applications. In J. W. Patrick (ed.), Porosity in carbons: Characterization and applications. London: Edward Arnold.
- Eckenfelder, W. W., 2000. Industrial water pollution control. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill book.
- Fergusson, J. E. 1990. The heavy elements: Chemistry, environment impact and health effects. Great Britain: BPCC Wheatons.
- Harrison, R. M. and Laxen, D. P. H. 1981. Lead pollution : causes and control. London: Chapman and Hall.
- Hassler, J. W. 1974. Purification with activated carbon. 3rd ed. New York: Chemical Publishing.
- Kadirvelu, K., Thamaraiselvi, K. and Namasivayam C. 2001. Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste. Bioresource Technology 76 (1): 63-65.
- Lahaye, J. 1998. The chemistry of carbon surfaces. Fuel 77(6): 543-547.
- Lyman, W. J. 1978. Applicability of carbon adsorption to the treatment of hazardous industrial wastes. In P. N. Cheremisinoff and F. Ellerbusch (eds.), Carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor Science.

- Montgomery, J. M. 1985. Water treatment principles and design. New York: John Wiley & Sons.
- Myer, D. 1999. Surface, interface and colloids: principal and applications. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Namasivayam, C. and Kadirvelu, K. 1999. Uptake of mercury (II) from wastewater by activated carbon from an unwanted agricultural solid by-product: coirpith. Carbon 37 (1): 79-84.
- Netzer, A. and Hughes, D. E. 1984. Adsorption of copper, lead and cobalt by activated carbon. Water Research 18(8): 927-933.
- Orfao, J. J. M., Antunes, F. J. A. and Figueiredo, J. L. 1999. Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials – three independent reactions model. Fuel 78: 349-358.
- Peternele, W. S., Winkler-Hechenleitner A. A. and Pineda, E. A. G. 1999. Adsorption of Cd(II) and Pb(II) onto functionalized formic lignin from sugar cane bagasse. Bioresource Technology 68 (1): 95-100.
- Reed, B. E., Jamil, M. and Thomas, B. 1996. Effect of pH, empty bed contact time and hydraulic loading rate on lead removal by granular activated carbon columns. Water Environment Research 68(5): 877-882.
- Reed, B. E., Robertson, J. and Jamil, M. 1995. Regeneration of granular activated carbon (GAC) columns used for removal of lead. Journal of Environmental Engineering. 121: 653-662.
- Rouquerol, F., Rouquerol, J. and Sing, K. 1999. Adsorption by powders and porous solids Adsorption by powders & porous solids : principles, methodology and applications. San Diego, California.: Academic Press.
- Schuliger, W. G. 1978. Purification of industrial liquids with granular activated carbon: Techniques for obtaining and interpreting data and selecting the type of commercial system. In P. N. Cheremisinoff and F. Ellerbusch (eds.), Carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor Science.

Xiu, G. and Li, P. 2000. Prediction of breakthrough curves for adsorption of lead(II) on activated carbon fibers in a fixed bed. Carbon 38(7): 975-981.

Yehaskel, A. 1978. Activated carbon: Manufacture and regeneration. New Jersey: Noyes Data Corporation.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

วิธีการหาค่าไอโอดีนนมเบอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการหาค่าไอโอดีนในัมเบอร์ (Standard test method for determination of iodine number of activated carbon, ASTM D 4607)

1. เครื่องมือ

- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- เตาอบอุณหภูมิ 110-150 องศาเซลเซียส
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- กระดาษกรองเบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร
- เครื่องแก้ว: บิวเรตต์, ปิเปต, กรวยกรอง, บีกเกอร์, ขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร
- โถดูดความชื้น (Desiccator)

2. สารเคมี และวิธีเตรียม

2.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

- ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.2 สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไอโอเดต 0.1000 นอร์มัล (normal, N)

- ชั่งโปแตสเซียมไอโอเดต (primary standard grade potassium iodate, KIO_3) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จำนวน 3.5667 ± 0.1 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 ลิตรทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

2.3 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 ± 0.001 นอร์มัล (normal, N)

- ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (sodium thiosulfate, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) 24.820 กรัม ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75 ± 25 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.10 ± 0.01 กรัม ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 ลิตรทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

2.4 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.1 ± 0.001 นอร์มัล (normal, N)

- ชั่งไอโอดีน 12.7 กรัม และโปแตสเซียมไอโอดีน (KI) 19.1 กรัม ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 มิลลิลิตร คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆ เติมน้ำที่ละน้อย

(ครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร) จนกระทั่งได้สารละลายประมาณ 40 มิลลิลิตร ที่สารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะ เพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด ถ่ายสารละลายลงในขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 1 ลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ตรวจสอบความเข้มข้นกับสารละลายโซเดียมโคริออกซ์เฟต 0.1 N

2.5 สารละลายแป้ง

- ละลายแป้ง (soluble starch) 1.0 ± 0.5 กรัม ในน้ำเย็น 5-10 มิลลิลิตร คนสารละลายพร้อมกับเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 มิลลิลิตร เทสารละลายลงในน้ำเดือด 1 ลิตร แล้วต้มต่อให้เดือดอีก 4-5 นาที

3. การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย

3.1 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโคริออกซ์เฟต

ใช้ปิเปตดูดสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 2.0 ± 0.01 กรัม เขย่าจนละลาย ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมโคริออกซ์เฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด end point) หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมโคริออกซ์เฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมโคริออกซ์เฟตโดยใช้สูตร

$$N_1 = (P.R)/S$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโคริออกซ์เฟต, นอร์มอล
 P = ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, มิลลิลิตร
 R = ความเข้มข้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, นอร์มอล และ
 S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมโคริออกซ์เฟตที่ใช้, มิลลิลิตร

3.2 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

ใช้ปิเปตดูดสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ แล้วไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมโคริออกซ์เฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด end point) หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะ

เป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไตเตรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีนโดยใช้สูตร

$$N_2 = (S \cdot N_1) / I$$

เมื่อ	N_2	= ความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน, นอร์มอล
	S	= ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้, มิลลิลิตร
	N_1	= ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต, นอร์มอล
	I	= ปริมาตรสารละลายไอโอดีน, มิลลิลิตร

4. วิธีการวิเคราะห์

- 4.1 บดถ่านกัมมันต์ที่จะทำการวิเคราะห์ให้ละเอียด จนถ่านสามารถร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 100 เมช ได้ 95% และสามารถร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 325 เมช ได้ 60%
- 4.2 นำถ่านกัมมันต์ที่บดแล้ว มาอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 145 ถึง 155 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (ตามวิธีของ Standard test methods for moisture in activated carbon, ASTM D 2867)
- 4.3 ประมาณค่า iodine number ของถ่านตัวอย่าง เพื่อนำไปคำนวณหา carbon dosages หรือค่าน้ำหนักของถ่านที่จะใช้ในการทดลอง 3 ค่าน้ำหนัก โดยใช้สูตรในข้อที่ 5.2 (หรือตามค่าประมาณน้ำหนักตัวอย่างในตารางที่ ก. 1) ซึ่งถ่านที่อบแห้งแล้วตามน้ำหนักที่คำนวณได้ ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 4.4 ปิเปต 5% สารละลายกรดไฮโดรคลอริก จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ ปิดจุก เขย่าเบาๆ เพื่อให้ตัวอย่างเปียกทั่ว เปิดฝา แล้วนำไปตั้งบน hot plate ในตู้ดูดควัน ให้ความร้อนของเหลวในภาชนะเดือด ทิ้งให้เดือดต่อประมาณ 30 ± 2 วินาที เพื่อไล่ซัลเฟอร์ในตัวอย่าง หลังจากนั้นนำตัวอย่างออก แล้วทิ้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง
- 4.5 ปิเปตสารละลายไอโอดีน 0.1 N จำนวน 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกขวดทันที แล้วเขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 30 ± 1 วินาที เปิดจุก แล้วกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองพับจีบหมายเลข 42
- 4.6 ปิเปตสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ไตเตรตสารละลายด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 N จนกระทั่งสารละลายเป็นสีเหลือง

อ่อน เติมสารละลายน้ำแบ่งลงไป 2 มิลลิลิตรแล้วไตเตรดต่อ จนกระทั่งสารละลายในขวดชมพูไม่มีสี บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

5. การคำนวณ

5.1 การคำนวณหาค่า Iodine number ใช้สูตร

$$X/M = [A - (DF) (B) (S)] / M$$

โดยที่

$$X/M = \text{iodine adsorption per gram of carbon (mg/g)}$$

$$A = (N_2) (12693.0) \quad \text{--- } N_2 = \text{ความเข้มข้นไอโอดีน (N)}$$

$$B = (N_1) (126.93) \quad \text{--- } N_1 = \text{ความเข้มข้น } Na_2S_2O_3 \text{ (N)}$$

$$DF = \text{dilution factor} = (100+10)/50 = 2.2$$

$$S = \text{ปริมาตรของ } Na_2S_2O_3 \text{ ที่ใช้ (มิลลิลิตร)}$$

$$M = \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}$$

5.2 การคำนวณหา carbon dosages ใช้สูตร

$$M = [A - (DF) (C) (126.93) (50)] / E$$

โดยที่

$$M = \text{น้ำหนักของถ่าน (กรัม)}$$

$$A = (N_2) (12693.0)$$

$$DF = \text{dilution factor}$$

$$C = \text{residue iodine}$$

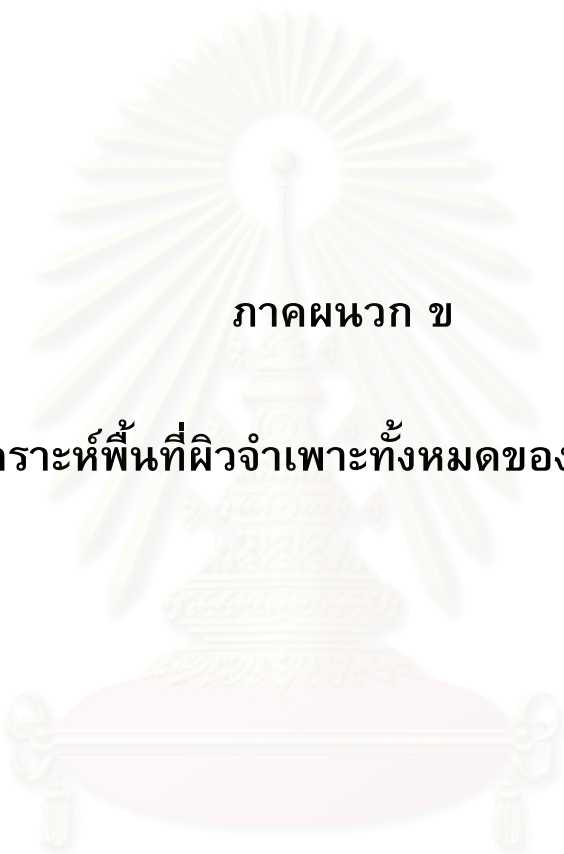
$$E = \text{ค่า iodine number โดยประมาณ}$$

ค่า carbon dosages 3 ค่า จะคำนวณโดยใช้ค่า C ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ 0.01, 0.02 และ 0.03

ตารางที่ ก. 1 น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ค่าไอโอดีน

FIND M FOR CALCULATE IODINE NUMBER BY USING ASTM D4607

M				M			
E	C=0.01	C=0.02	C=0.03	E	C=0.01	C=0.02	C=0.03
300	3.766	3.300	2.835	1550	0.729	0.639	0.549
350	3.228	2.829	2.430	1600	0.706	0.619	0.531
400	2.824	2.475	2.126	1650	0.684	0.600	0.515
450	2.510	2.200	1.890	1700	0.664	0.582	0.500
500	2.259	1.980	1.701	1750	0.645	0.566	0.486
550	2.054	1.800	1.546	1800	0.628	0.550	0.472
600	1.883	1.650	1.417	1850	0.610	0.535	0.460
650	1.738	1.523	1.308	1900	0.594	0.521	0.447
700	1.614	1.414	1.215	1950	0.579	0.508	0.436
750	1.506	1.320	1.134	2000	0.565	0.495	0.425
800	1.412	1.237	1.063	2050	0.551	0.483	0.415
850	1.329	1.164	1.000	2100	0.538	0.471	0.405
900	1.255	1.100	0.945	2150	0.525	0.460	0.396
950	1.189	1.042	0.895	2200	0.513	0.450	0.388
1000	1.130	0.990	0.850	2250	0.502	0.440	0.378
1050	1.076	0.943	0.810	2300	0.491	0.430	0.370
1100	1.027	0.900	0.773	2350	0.481	0.421	0.362
1150	0.982	0.861	0.739	2400	0.471	0.412	0.354
1200	0.941	0.825	0.709	2450	0.461	0.404	0.347
1250	0.904	0.792	0.680	2500	0.452	0.396	0.340
1300	0.869	0.761	0.654	2550	0.443	0.388	0.333
1350	0.837	0.733	0.630	2600	0.434	0.381	0.327
1400	0.807	0.707	0.607	2650	0.426	0.374	0.321
1450	0.799	0.683	0.586	2700	0.418	0.367	0.315
1500	0.753	0.666	0.567	2750	0.411	0.360	0.309



ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดของถ่านกัมมันต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดของถ่านกัมมันต์ (Standard test method for specific surface area of carbon or graphite, ASTM C 819 – 77)

วิธีวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดของถ่านกัมมันต์นี้ เป็นวิธีของ Brunauer, Emmett and Teller method หรือ BET method ซึ่งวิธีนี้อาศัยหลักการของการดูดติดผิวแบบชั้นเดียว (monolayer) ที่อุณหภูมิจุดเดือดปกติ (-195.8 องศาเซลเซียส) บนผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ วิธีวิเคราะห์มีดังนี้

1. เครื่องมือ

- เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวรุ่น ASAP 2000 ของบริษัท Micromeritics
- เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมคำนวณ
- หลอดใส่ตัวอย่าง

2. การเตรียมตัวอย่าง

- ใช้ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ขนาด 8 x 30 เมช
- อบตัวอย่างให้แห้งที่ 150 องศาเซลเซียส
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักของหลอดใส่ตัวอย่าง ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4
- ใส่ตัวอย่างลงในหลอด ให้มีน้ำหนักประมาณ 0.3-0.5 กรัม
- นำไปล้างโมเลกุลปนเปื้อนที่อยู่บนผิวถ่านกัมมันต์ (Outgas) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันสุญญากาศ
- ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างและหลอดใส่ตัวอย่าง เพื่อให้ทราบน้ำหนักของตัวอย่างหลัง Outgas เพื่อให้ทราบน้ำหนักของตัวอย่าง (W)

3. การวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิว

- กำหนดความดันสัมพัทธ์ที่สมดุล (P/Po) ทั้งหมด 10 จุด
- ผ่านไนโตรเจนที่ปราศจากออกซิเจน ซึ่งมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 จนกระทั่งความดันสัมพัทธ์ที่ภาวะสมดุลเท่ากับที่กำหนด บันทึกปริมาตรของก๊าซไนโตรเจนที่ใช้

4. การคำนวณ

การหาพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

- นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกนราบคือ ความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) แกนตั้งฉากคือปริมาณของก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ในเทอมของ $[W (P/P_0) - 1] - 1$ จะได้เส้นความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ S จุดตัดบนแกนตั้งฉากคือ I สามารถคำนวณพื้นที่ผิว (S_{BET}) ได้ดังนี้


$$S_{BET} \text{ (ตารางเมตรต่อกรัม)} = \frac{N A_{CS}}{[(S+I) \cdot (MW)]}$$

โดย $N =$ เลขอาโวกาโดร (6.02×10^{23} โมเลกุลต่อโมล)

$A_{CS} =$ พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลไนโตรเจน
(16.2 ตารางอังสตรอม)

$MW =$ น้ำหนักโมเลกุลของไนโตรเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าคงที่ใน Adsorption isotherm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าคงที่ใน Adsorption isotherm

ตารางแสดงผลการคำนวณค่า X/M ของการดูดติดผิวตะกั่วของถ่าน Filtrasorb 300

น้ำหนักถ่าน M (กรัม)	ค่าที่วัดได้ (ppm)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0.00	10.000	1.000	-	-
0.01	9.241	0.924	0.076	7.590
0.02	8.735	0.874	0.127	6.325
0.04	7.204	0.720	0.280	6.990
0.10	1.641	0.164	0.836	8.359
0.20	0.228	0.023	0.977	4.886

ตารางแสดงข้อมูลการหา Linear Regression ระหว่าง $\log(C)$ กับ $\log(X/M)$

จุดที่	ค่าที่วัดได้ (ppm)	$\log(C)$	X/M (mg)	$\log(X/M)$
1	9.241	0.9657	7.590	0.8802
2	8.735	0.9413	6.325	0.8011
3	7.204	0.8576	6.990	0.8445
4	1.641	0.2151	8.359	0.9222
5	0.228	-0.6421	4.886	0.6890

สมการเส้นตรงคือ $y = a + bx$ $\Rightarrow y = 0.0833x + 6.3795$

จะได้ $a = 6.3795$ และ $b = 0.0833$

ค่า R^2 ของสมการ = 0.0696

จากสมการฟรอนดิช คือ $\log X/M = \log K + (1/n) \log C$

เมื่อ $\log C = 1$ มิลลิกรัมต่อลิตร

จะได้ $a = \log K$

ดังนั้น $K = 10^a$

เมื่อนำค่า a และ b มาแทนในสมการจะได้

$K = 2.40 \times 10^6$ mg/g

และ $b = 1/n = 0.0833$

ตารางแสดงผลการคำนวณค่า X/M ของการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านเปลือกทุเรียน

น้ำหนักถ่าน M (กรัม)	ค่าที่วัดได้ (ppm)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0.00	10.000	1.000	-	-
0.01	8.813	0.881	0.119	11.870
0.02	7.551	0.755	0.245	12.245
0.04	4.740	0.474	0.526	13.150
0.10	0.656	0.066	0.934	9.344
0.20	0.056	0.006	0.994	4.972

ตารางแสดงข้อมูลการหา Linear Regression ระหว่าง $\log(C)$ กับ $\log(X/M)$

จุดที่	ค่าที่วัดได้ (ppm)	$\log(C)$	X/M (mg)	$\log(X/M)$
1	8.813	0.945	11.870	1.074
2	7.551	0.878	12.245	1.088
3	4.740	0.676	13.150	1.119
4	0.656	-0.183	9.344	0.971
5	0.056	-1.252	4.972	0.697

สมการเส้นตรงคือ $y = a + bx \Rightarrow y = 0.6531x + 7.4666$

จะได้ $a = 7.4666$ และ $b = 0.6531$

ค่า R^2 ของสมการ = 0.6095

จากสมการพหุนามคือ $\log X/M = \log K + (1/n) \log C$

เมื่อ $\log C = 1$ มิลลิกรัมต่อลิตร

จะได้ $a = \log K$

ดังนั้น $K = 10^a$

เมื่อนำค่า a และ b มาแทนในสมการจะได้

$K = 2.93 \times 10^7 \text{ mg/g}$

และ $b = 1/n = 0.6531$

ตารางแสดงผลการคำนวณค่า X/M ของการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

น้ำหนักถ่าน M (กรัม)	ค่าที่วัดได้ (ppm)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0.00	10.000	1.000	-	-
0.01	9.312	0.931	0.069	6.880
0.02	8.944	0.894	0.106	5.280
0.04	7.852	0.785	0.215	5.370
0.10	2.683	0.268	0.732	7.317
0.20	0.126	0.013	0.987	4.937

ตารางแสดงข้อมูลการหา Linear Regression ระหว่าง $\log(C)$ กับ $\log(X/M)$

จุดที่	ค่าที่วัดได้ (ppm)	$\log(C)$	X/M (mg)	$\log(X/M)$
1	9.312	-0.0310	6.880	0.8376
2	8.944	-0.0485	5.280	0.7226
3	7.852	-0.1050	5.370	0.7300
4	2.683	-0.5714	7.317	0.8643
5	0.126	-1.8996	4.937	0.6935

สมการเส้นตรงคือ $y = a + bx \Rightarrow y = 0.0213x + 5.8335$

จะได้ $a = 5.8335$ และ $b = 0.0213$

ค่า R^2 ของสมการ = 0.0068

จากสมการพหุนามคือ $\log X/M = \log K + (1/n) \log C$

เมื่อ $\log C = 1$ มิลลิกรัมต่อลิตร

จะได้ $a = \log K$

ดังนั้น $K = 10^a$

เมื่อนำค่า a และ b มาแทนในสมการจะได้

$K = 6.82 \times 10^5 \text{ mg/g}$

และ $b = 1/n = 0.0213$



ภาคผนวก ง

รูปภาพแสดงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

รูปภาพแสดงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 1 หม้อดินเผาที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์



รูปที่ 2 เตาเผาที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์



รูปที่ 3 เครื่องเขย่าที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวลลิตา นัทศนจารกุล

เกิดเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2519

ที่อยู่ถาวร 287/50-51 ถนนสุรวงศ์ แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก กรุงเทพฯ

ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีที่สำเร็จการศึกษา
- การศึกษาระดับประถมศึกษา ถึงมัธยมศึกษาตอนปลาย	: โรงเรียนเซนต์โยเซฟคอนเวนต์	2537
- การศึกษาระดับอนุปริญญา	: สถาบันศึกษาเคมีปฏิบัติ กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม	2540
- การศึกษาระดับปริญญาตรี	: ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2542
- การศึกษาระดับปริญญาโท	: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2545