

การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ
โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว



นางสาว สุจรรย์ คุษเสงี่ยม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1140-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LEAD AND MERCURY REMOVAL FROM TEXTILE WASTEWATER
BY ACTIVATED CARBON FROM PALM SHELL AND COCONUT SHELL



Miss Sujanee Khuysangaim

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-03-1140-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว
โดย	นางสาว สุজনีย์ ค่อยเสงี่ยม
สหสาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนาผลไพบุลย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์)

สุเจนิย์ คู่ยเสงี่ยม : การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่าน
กัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว (LEAD AND MERCURY REMOVAL
FROM TEXTILE WASTEWATER BY ACTIVATED CARBON FROM PALM
SHELL AND COCONUT SHELL). อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ ; 160 หน้า.
ISBN 974-03-1140-7

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทจาก
น้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวโดยใช้
โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งได้ทำการทดสอบค่า
ไอโอดีนนัมเบอร์ ศึกษาลักษณะทางกายภาพ การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟลูนดิลิซและการ
ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ทำการ
ป้อนน้ำเสียแบบไหลลง ด้วยอัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงของสารดูดซับ
0.30, 0.60, 0.90 และ 1.20 เมตร

ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว มีค่าไอโอดีน 532.29
มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิว 492.4200 ตารางเมตรต่อกรัม การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบ
ฟลูนดิลิซโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 8.37 และ 5.52 มิลลิกรัมต่อ
กรัม ส่วนการทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ สามารถดูดซับ
ตะกั่วได้ 2.45, 2.57, 2.69 และ 2.81 มิลลิกรัม/กรัม และดูดซับปรอทได้ 2.21, 2.45, 2.45 และ 2.70
มิลลิกรัม/กรัม ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทเริ่มต้น
9.824 และ 9.830 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม มีค่าไอโอดีน เท่ากับ
486.45 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิว 385.9073 ตารางเมตรต่อกรัม การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว
แบบฟลูนดิลิซโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 2.53 และ 1.63 มิลลิกรัม
ต่อกรัม ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัม
มันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟลูนดิลิซพบว่า สามารถ
ดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 50.18 และ 19.95 มิลลิกรัมต่อกรัม การทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบ
แท่งดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ สามารถดูดซับตะกั่วได้ 3.83, 3.83, 3.75 และ 3.88 มิลลิกรัม/กรัม และ
ดูดซับปรอทได้ 3.61, 3.83, 3.61 และ 3.72 มิลลิกรัม/กรัม ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร
ที่ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทเริ่มต้น 9.853 และ 9.865 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

สหสาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2544.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4289707120: MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: ACTIVATED CARBON / PALM SHELL / COCONUT SHELL / TEXTILE MILL
WASTEWATER / HEAVY METAL REMOVAL
SUJANEE KHUYSANGAIM : LEAD AND MERCURY REMOVAL FROM
TEXTILE WASTEWATER BY ACTIVATED CARBON FROM PALM SHELL
AND COCONUT SHELL. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. THARES
SRISATIT, Ph.D. 160 pp. ISBN 974-03-1140-7

The objective of this research was to compare the lead and mercury removal efficiency from textile wastewater by activated carbon from palm shell and coconut shell with commercial activated carbon. Palm shell and coconut shell were activated by sodium chlorid. In this research, the iodine number, physical characteristics, Freundlich adsorption isotherm and column adsorption test were studied. In column adsorption test, a down-flow 2 cm. diameter column with flow 3 l/h were used and samples at depth of adsorbent 0.30, 0.60, 0.90 and 1.20 m. were observed.

The results that shown the activated carbon from coconut shell had iodine number 532.29 mg/g, surface area 492.4200 m²/g. Freundlich adsorption isotherm test with synthetic wastewater, can adsorbed lead and mercury 8.37 and 5.52 mg/g. The column test with textile wastewater, it could adsorbed lead 2.45, 2.57, 2.69 and 2.81 mg/g, and 2.21, 2.45, 2.45 and 2.70 mg/g of mercury at 30, 60, 90, 120 cm. depth with 9.824 and 9.830 mg/l of lead and mercury influent concentration. The activated carbon from palm shell, iodine number was 486.45 mg/g, surface area was 385.9073 m²/g. Freundlich adsorption isotherm test with synthetic wastewater, can adsorbed lead and mercury 2.53 and 1.63 mg/g. It shown the activated carbon prepared by coconut shell was better than activated carbon prepared by palm shell. To compared with the commercial activated carbon, Freundlich adsorption isotherm test, can adsorped lead and mercury 50.18 and 19.95 mg/g. The column test with textile wastewater, it can adsorped lead 3.83, 3.83, 3.75 and 3.88 mg/g, and 3.61, 3.83, 3.61 and 3.72 mg/g of mercury at 30, 60, 90, 120 cm. depth with 9.853 and 9.865 mg/l of lead and mercury influent concentration.

Inter – department.....Environmental Science.....Student’s signature.....

Field of study.....Environmental Science.....Advisor’s signature.....

Academic year.....2001.....Co-advisor’s signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องมาจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ รวมทั้งยังได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไข ข้อผิดพลาดตลอดในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โนมิตานนท์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อ เป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคุณสำอางค์ ใช้บางยาง และเจ้าหน้าที่ฝ่ายสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย โรงงานไทยโทรเทคซ์ไทม์ลิสต์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการนำน้ำทิ้งจากโรงงาน มาทำการทดลอง

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือของห้องปฏิบัติการมูลฝอยในการทำวิจัยทดลองงานวิจัย รวมทั้งคุณประพันธ์ ชื่นพระทัย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมวัตถุดิบ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว และวิเคราะห์ ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้ง

ทุนในการทำวิจัยบางส่วน ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพนิช จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนและคอยช่วยเหลือ รวมทั้งเป็นกำลังใจในการศึกษามาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สารดูดติดผิว	4
2.2 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)	5
2.3 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (adsorption isotherm)	30
2.4 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ	34
2.5 น้ำเสียและของเสียต่างๆ ที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ	39
2.6 บริษัท ไทยโทเรเท็กซ์ไทล์มิลลส์ จำกัด (มหาชน)	43
2.7 ตะกั่วและปรอท	44
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	52
3. แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย	60
3.1 แผนการทดลอง	60
3.2 วิธีการทดลอง	60
3.3 การเตรียมสารดูดซับและการเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	69
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	70
3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียและการวิเคราะห์	70

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	71
4.1 ผลการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวและการหาค่า ไอโอดีนนัมเบอร์	72
4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับ	79
4.3 การศึกษาความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด โดยการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Frundlich isotherm)	81
4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง	102
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	116
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต	118
รายการอ้างอิง	119
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	124
ภาคผนวก ข.....	137
ภาคผนวก ค.....	142
ภาคผนวก ง.....	146
ภาคผนวก จ.....	149
ภาคผนวก ฉ.....	153
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	160

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่		
2.1	สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการกระตุ้นด้วยวิธีการเคมี	17
2.2	คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์บางชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	22
2.3	ค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียจากโรงงานประเภทต่างๆ	41
2.4	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง ตั้งแต่เดือน มกราคม 2544 – ธันวาคม 2544 ของโรงงานไทยโพรเท็กซ์ไทมิลลส์ จำกัด (มหาชน)	45
2.5	ผลการทดลองของ Johnson et al.	56
2.6	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองของ Kirubakaran, C.J.	57
4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์	75
4.2	ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับ	79
4.3	การหา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านชนิดต่างๆ	81
4.4	การหา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านชนิดต่างๆ	82
4.5	การหา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ ของถ่านชนิดต่างๆ	83
4.6	ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนัก เพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสมของถ่านแต่ละประเภทที่ pH ต่างๆ กัน	86
4.7	การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่าน แต่ละประเภท	91
4.8	การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่าน แต่ละประเภท	92
4.9	ร้อยละของการดูดซับตะกั่วเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ กัน	95
4.10	ร้อยละของการดูดซับปรอทเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ	96
4.11	ร้อยละของการดูดซับตะกั่วเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวปริมาณต่างๆ	97
4.12	ร้อยละของการดูดซับปรอทเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวปริมาณต่างๆ	98
4.13	ร้อยละของการดูดซับตะกั่วเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มปริมาณต่างๆ	99

ตารางที่		
4.14	ร้อยละของการดูดซับปรอทเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มปริมาณต่างๆ	100
4.15	ค่าคงที่ของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดจากสมการของ Freundlich	101
4.16	การคำนวณ Bed Volume ที่ระดับความสูงต่างๆ	103
4.17	ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ความสูง 30 ซม.	104
4.18	ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ความสูง 60 ซม.	104
4.19	ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ความสูง 90 ซม.	105
4.20	ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ความสูง 120 ซม.	106
4.21	ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกะลามะพร้าว ที่ความสูง 30 ซม.	110
4.22	ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกะลามะพร้าว ที่ความสูง 60 ซม.	110
4.23	ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกะลามะพร้าว ที่ความสูง 90 ซม.	111
4.24	ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกะลามะพร้าว ที่ความสูง 120 ซม.	111

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่		
2.1	กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	9
2.2	การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล	10
2.3	การเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา	13
2.4	ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี	16
2.5	ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซออกซิไดซ์	18
2.6	โครงสร้างของถ่านกัมมันต์	21
2.7	แผนภาพอธิบายโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่เป็นกราฟิตง่ายกับโครงสร้าง ที่มีลักษณะเป็นกราฟิตเล็กน้อย	21
2.8	เปรียบเทียบการกระจายขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีผลิตต่างๆ.....	25
2.9	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์	31
2.10	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบบีอีที	32
2.11	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช	34
2.12	แผนผังการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอ	35
3.1	การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว	61
3.2	การศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์	64
3.3	การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช	64
3.4	การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง	66
3.5	แผนภาพการทำงานของถังดูดซับแบบแท่ง	67
3.6	ถังดูดซับแบบแท่งที่ใช้ในการทดลอง	68
4.1	กะลาปาล์ม	72
4.2	กะลามะพร้าว (หลังจากไปบดให้มีขนาดเล็กลง).....	72
4.3	ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว	73
4.4	ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว เมื่ออบและร้อนผ่านตะแกรง 325 เมช	73

รูปที่		หน้า
4.5	ผลการหาค่าไอโอดีนนมเบอร์	76
4.6	พื้นที่ผิวของกะลาปาล์มก่อนการกระตุ้น.....	77
4.7	พื้นที่ผิวของกะลาปาล์มหลังการกระตุ้น.....	77
4.8	พื้นที่ผิวของกะลามะพร้าวก่อนการกระตุ้น.....	78
4.9	พื้นที่ผิวของกะลามะพร้าวหลังการกระตุ้น.....	78
4.10	ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทที่ pH ต่างๆ กัน	84
4.11	ประสิทธิภาพในการดูดซับปรอทของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทที่ pH ต่างๆ กัน	84
4.12	ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภท ที่ pH ต่างๆ กัน	84
4.13	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ pH ต่างๆ ของน้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม	87
4.14	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วของถ่านกะลามะพร้าวที่ pH ต่างๆ ของน้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม	87
4.15	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วของถ่านกะลาปาล์มที่ pH ต่างๆ ของน้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม	87
4.16	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับปรอทของถ่านกัมมันต์ที่ pH ต่างๆ ของน้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม	88
4.17	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับปรอทของถ่านกะลามะพร้าวที่ pH ต่างๆ ของน้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม	88
4.18	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับปรอทของถ่านกะลาปาล์มที่ pH ต่างๆ ของน้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม	88
4.19	ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ...	93
4.20	ประสิทธิภาพในการดูดซับปรอทของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ...	93
4.21	ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับตะกั่วและปรอท ...	96
4.22	ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชของถ่านกะลามะพร้าว ในการดูดซับตะกั่วและปรอท	98

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่		
4.23	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุคติลของถ่านกะลาปาล์ม ในการดูดซับตะกั่วและปรอท	100
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์กับปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูง 30 ซม.	107
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์กับปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูง 60 ซม.	107
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์กับปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูง 90 ซม.	107
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์กับปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูง 120 ซม.	107
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์กับ Bed Volume ที่ระดับความสูง 30 ซม.	108
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์กับ Bed Volume ที่ระดับความสูง 60 ซม.	108
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์กับ Bed Volume ที่ระดับความสูง 90 ซม.	108
4.31	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์กับ Bed Volume ที่ระดับความสูง 120 ซม.	108
4.32	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกะลามะพร้าวกับปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูง 30 ซม.	112
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกะลามะพร้าวกับปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูง 60 ซม.	112
4.34	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกะลามะพร้าวกับปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูง 90 ซม.	112
4.35	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกะลามะพร้าวกับปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูง 120 ซม.	112

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่		
4.36	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกะลามะพร้าว กับ Bed Volume ที่ระดับความสูง 30 ซม.	113
4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกะลามะพร้าว กับ Bed Volume ที่ระดับความสูง 60 ซม.	113
4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกะลามะพร้าว กับ Bed Volume ที่ระดับความสูง 90 ซม.	113
4.39	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกะลามะพร้าว กับ Bed Volume ที่ระดับความสูง 120 ซม.	113



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียและถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ถือเป็นมลสารที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์รวมทั้งการสะสมในแหล่งน้ำ ดินตะกอน และห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์กินพืชหรือสัตว์ที่มีโลหะหนักปนเปื้อน โลหะหนักเหล่านั้นก็จะเข้าสู่ร่างกายและสะสมเพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อยๆ จนถึงในระดับหนึ่งมนุษย์ก็จะป่วยเป็นโรครันเนื่องมาจากพิษของโลหะหนักเหล่านั้น เช่น โรคมินามาตะ โรคอิไต-อิไต เป็นต้น แต่ปัจจุบันอุตสาหกรรมหลายประเภทจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบที่มีโลหะหนักเป็นส่วนผสมอยู่ และท้ายสุดโลหะหนักเหล่านั้นก็จะปนออกมากับของเสียจากอุตสาหกรรมเหล่านั้น ไม่ว่าจะป็นน้ำเสีย มูลฝอย หรือกากตะกอนต่างๆ จึงทำให้น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่ใช้โลหะหนักเป็นวัตถุดิบมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ต้องมีการย้อมผ้าด้วยสีที่มีโลหะหนักเป็นส่วนผสม โลหะหนักซึ่งมักพบในเม็ดสีของสีย้อมผ้าในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี นิกเกิล โคบอลต์ โครเมียม แคดเมียม และปรอท เป็นต้น ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้จะปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิต หากไม่มีการกำจัดที่ดีพอโลหะหนักเหล่านี้ก็จะปนไปกับน้ำทิ้งซึ่งปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะในขั้นสุดท้าย

การใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ในการบำบัดหรือกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียโดยใช้หลักการดูดซับ แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้เป็น Adsorbent เป็นวัสดุที่มีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศเพราะถึงแม้ประเทศไทยจะสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้ แต่ก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ จากข้อมูลของกรมอุตสาหกรรมในปี พ.ศ.2543 ประเทศไทย นำเข้าถ่านกัมมันต์ถึง 3,007,743 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 125,290,083 บาท และเพิ่มขึ้นเป็น 3,120,594 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 156,116,707 บาท ในปี พ.ศ.2544 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ กะลาปาล์มและกะลามะพร้าว กับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวในการดูดซับโลหะหนัก ซึ่งจะเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เป็นประโยชน์

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว
2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป
3. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ pH , BOD₅, COD, Pb, Hg ของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ
2. จัดเตรียมถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว
3. ศึกษาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญและประสิทธิภาพของสารดูดซับที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุให้อยู่ในรูปถ่านซึ่งในที่นี้ใช้วัตถุดิบ คือ กะลาปาล์มและกะลามะพร้าว
4. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอของสารดูดซับ
5. ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำทิ้งก่อนที่จะปล่อยไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ของโรงงานไทยโพรเท็กซ์ไทมิลลิส จำกัด (มหาชน) อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม
6. การทดสอบค่าไอไอได้นัมเบอร์และการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Frundlich isotherm) จะใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองแบบถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column) จะใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon)
7. ถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ใช้ถ่าน Calgon Filtrasorb 300

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียได้
2. สามารถทราบข้อมูลพื้นฐานและประสิทธิภาพของตัวดูดซับในการกำจัดโลหะหนักของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมในการเลือกวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบกำจัดโลหะหนักของโรงงานโดยสามารถลดค่าใช้จ่ายได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารดูดติดผิว

สารดูดติดผิวหรือสารดูดซับ (absorbent) คือสารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่างๆ มาติดผิวได้มีหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

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

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

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

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

2.2 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

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

โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้า และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซโกนัล (hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า (เพียรพรรค ทศกร, 2535)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากเท่าที่จะทำได้ รูพรุนหรือโพรงนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 \AA ถึง $20,000 \text{ \AA}$ การที่คาร์บอนต้องมีพื้นที่ผิวสูงก็เพื่อให้สามารถดูดโมเลกุลจำนวนมากๆ มาเกาะติดที่ผิวได้ ดังนั้นพื้นที่ผิวสูงจึงมีความสามารถในการดูดซับ (adsorptive capacity) สูงตามไปด้วย การวัดพื้นที่ผิวของคาร์บอนกระทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกคาร์บอนดูดเก็บไว้ วิธีวัดสมรรถนะของคาร์บอนอาจกระทำได้โดยการวัด Iodine Number ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของคาร์บอน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) ลักษณะของสารที่ถูกดูดซับ (nature of adsorbate) พีเอช (pH) อุณหภูมิ (temperature) และเวลาในการสัมผัส (contact time)

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

ทางอุตสาหกรรมสูง ทั้งอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ กำจัดสารออร์แกนิกซัลเฟอร์จากโรงงานอุตสาหกรรม หรือกำจัดกลิ่นในอากาศ เป็นต้น

2.2.1 วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติในการดูดสีในของเหลวของถ่านเป็นที่ทราบกันมาตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 15 แต่คุณสมบัติในการดูดก๊าซเพิ่งจะมีผู้บันทึกไว้ในปี พ.ศ. 2328 แต่ก็ไม่มีผู้สนใจในคุณสมบัติเหล่านี้จนกระทั่งปี พ.ศ. 2354 มีนักวิทยาศาสตร์ผู้หนึ่งพบว่าถ่านจากกระดูกสามารถดูดสีได้มากกว่าถ่านซึ่งได้มาจากไม้ จึงนิยมนำถ่านกระดูกมาใช้ในการฟอกสีน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาดบริสุทธิ์กันมาก และได้มีการค้นคว้าพัฒนาต่อมาจนกระทั่งปี พ.ศ.2365 มีผู้พบว่าถ่านที่ได้จากการเผาเลือดกับค่างจืด (potash) มีคุณสมบัติในการดูดสีมากกว่าถ่านกระดูกถึง 20 – 50 เท่า แต่ไม่สามารถจะผลิตได้ปริมาณมากเพียงพอที่จะนำไปใช้ในโรงงานได้ ต่อมาประมาณ พ.ศ. 2443 มีนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Mr. Ostreyko ชาวโปแลนด์ คิดค้นวิธีผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นใหม่โดยเผาถ่านในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ และอีกวิธีหนึ่งใช้คลอไรด์ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผา ซึ่งนับเป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ชื่อต่างๆ เช่น ชื่อ “เอพโพนิท (Epomit)” ผลิตขึ้นในยุโรปในปี พ.ศ. 2452, “นอริท (Norit)” ผลิตในปี พ.ศ. 2454 และ “คาร์โบราฟฟิน (Carboraffin)” ผลิตในปี พ.ศ. 2458 และในอเมริกาได้ผลิต “ฟิลท์ชาร์ (Filtchart)” ขึ้นในปี พ.ศ. 2456 และได้มีการปรับปรุงและเปลี่ยนชื่อเรียกใหม่ๆ ไปเรื่อยๆ ถ่านที่ผลิตขึ้นเหล่านี้ได้มีการศึกษาถึงการนำไปใช้ในการดูดสี ฟอกสี ในโรงงานผลิตน้ำตาลทรายเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งใช้ได้ผลดีกว่าถ่านกระดูกมาก

คุณสมบัติในการดูดกลิ่นและก๊าซของถ่านกัมมันต์ เริ่มเป็นที่สนใจกันในระหว่างสงครามโลก ครั้งที่ 1 ซึ่งมีการนำไปใช้ในการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ จากจุดนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในคุณสมบัติการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ของถ่าน ซึ่งจากการทดลองโดยวิธีต่างๆ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตใช้ในการฟอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทำหน้ากากป้องกันไอพิษ เพราะมีลักษณะพองและเบาและจำเป็นต้องใช้เป็นจำนวนมาก ทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านชนิดใหม่ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น สำหรับใช้ในการดูดก๊าซโดยเฉพาะ ซึ่งต่อมาเมื่อสงครามสิ้นสุดลง การค้นคว้าก็บรรลุผลสำเร็จและมีผู้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การดูดไอของสารละลาย (solvent) ดูดไอเบนซิน (benzene) จากก๊าซอื่นๆ โดยถ่านที่ผลิตจากไม้จืดเลื่อย ฟิท ลิกไนท์ และถ่านที่เหลือจากการทำเยื่อกระดาษจากใยเซลลูโลส จะได้ถ่านซึ่งมีลักษณะพองและเบา เหมาะสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์ใช้ฟอกของเหลว ส่วนกะลามะพร้าวจะได้ถ่านที่ใช้ในการดูดก๊าซได้ดี

2.2.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์ซึ่งแบ่งตามเกณฑ์ต่างๆ คือ (เกศรา นุตาลัย, 2531)

1) แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- เคมี (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่

- ฟิสิกส์ (physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

2) แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวคาร์บอน

- ขนาดเล็ก (micropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

- ขนาดกลาง (transitional pores or mesopores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15 - 100 นาโนเมตร มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reaction)

- ขนาดใหญ่ (macropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกสีและการผลิตยา

3) แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้

- ความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้ น้ำบริสุทธิ์ ฯลฯ

- ความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดซับก๊าซพิษหรือไอระเหย

4) แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

- ก๊าซ (gas adsorbents) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับก๊าซพิษและไอสารอินทรีย์ มักใช้ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์และมีความแข็ง (hard artificial char) เป็นวัตถุดิบในการผลิต

- สี (colour adsorbents) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสี มักใช้ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์และไม่แข็ง (Soft artificial char)

- โลหะ (metal adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการแยกโลหะต่างๆ เช่น แยก ทอง, เงิน ออกจากแร่ที่ขุดได้

5) แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon) ทำได้โดยการเอาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มาบด รูปร่างจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการบด ซึ่งจะมีผลทำให้คุณสมบัติการดูดซับแตกต่างกันไป ถ่านกัมมันต์ชนิดผงนี้นิยมใช้สำหรับการดูดสีในสถานะที่เป็นของเหลว โดยทั่วไปมีขนาด 5 – 100 ไมโครเมตร

- ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon) ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ด หรือแบบผงทำให้เป็นเม็ดโดยการเติมตัวประสาน (binding agent) ตัวอย่างเช่น ทาร์ (tar) แล้วนำมาอัดเป็นเม็ด วัตถุดิบที่นิยมทำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ได้แก่ วัตถุดิบที่ค่อนข้างแข็งและมีความหนาแน่นสูง เช่น กะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดกลิ่น กำจัดพิษ และไอของสารละลายอินทรีย์

2.2.3 การผลิตถ่านกัมมันต์ (processing of activated carbon)

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ลักษณะ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้ คือ ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ คาร์บอนไนซ์เซชัน และแอกติเวชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

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

สำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง อาจนำมาทำให้เป็นเม็ดโดยใช้ตัวประสาน เช่น แป้ง น้ำมันเตา หรือทาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชันแล้วนำไปอัดเป็นเม็ดก่อนที่คาร์บอนไนซ์เป็นขั้นตอนต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

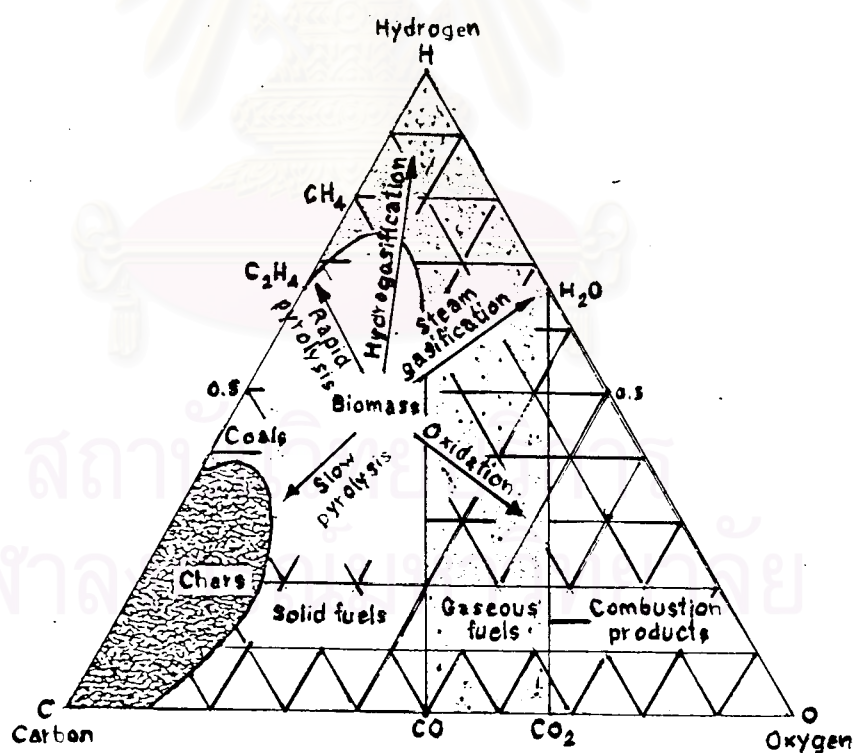
2.2.3.2 การคาร์บอนไนซ์เซชัน (carbonization)

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

ปฏิกิริยาไพโรไลซิสต้องการความร้อนทั้งตรงและทางอ้อม ที่ได้จากการออกซิเดชันเพียงบางส่วน หรือจากปฏิกิริยาอื่นๆ ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการสลายตัวทางความร้อนในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย หรือในที่มีการถ่ายเทความร้อนให้เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์และก๊าซ เรียกได้ว่าเป็น “กระบวนการไพโรไลซิส” (Kohaan and Barkordor, 1979)

กระบวนการแปรรูปโดยความร้อน ได้แก่ ไพโรไลซิส แก๊สซิฟิเคชัน (gasification) และการเผาไหม้ โดยแผนภาพอธิบายกระบวนการเหล่านี้ไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะแสดงดังรูปที่

2.2



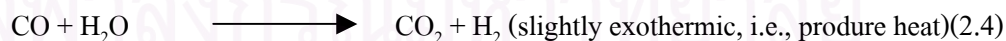
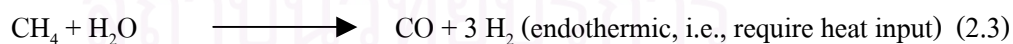
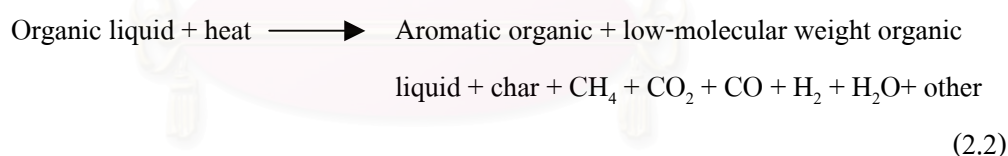
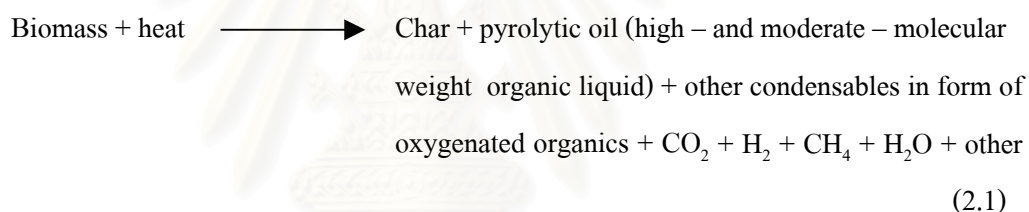
ที่มา : Probstien และ Hick (1985)

รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล

Kohoan และ Barkodor ได้ให้คำนิยามกว้างๆ ของกระบวนการไพโรไลซิส กล่าวคือเป็นเทคโนโลยีที่วัตถุดิบประกอบด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เกิดการสลายตัวทางความร้อนโดยมีอาณาเขตอย่างน้อยหนึ่งอาณาเขตที่เกิดการสลายตัวทางความร้อนในที่ที่ไม่มีออกซิเจน และได้อธิบายถึงความแตกต่างของวิธีการไพโรไลซิส แก๊สซิฟิเคชันและการเผาไหม้ว่าพื้นฐานของกระบวนการเหล่านั้น คือ ปริมาณอากาศที่ใช้มีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อเพลิง

ไพโรไลซิสโซน เป็นส่วนที่มีอากาศน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของอากาศที่ใช้ทางทฤษฎีการเผาไหม้ อากาศระหว่าง 25 – 50 เปอร์เซ็นต์เป็นส่วนแก๊สซิฟิเคชัน และส่วนของการเผาไหม้มีอากาศตั้งแต่ 100 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

เมื่อชีวมวลเกิดการสลายตัวทางความร้อน จะเกิดอนุกรมของปฏิกิริยาต่างๆ ได้ แก๊สที่มีพลังงานปานกลาง น้ำมันที่มีองค์ประกอบซับซ้อน และชาร์ ซึ่งปฏิกิริยาของกระบวนการไพโรไลซิส พวกชีวมวลสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1 ถึง 2.4



การไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การไพโรไลซิสแบบช้า และแบบรวดเร็ว การไพโรไลซิสแบบช้าจะเกิดสมดุลในบริเวณช่วงแคบ (local equilibrium) โดยอัตราการให้ความร้อนจะช้าพอที่จะทำให้เกิดความสมดุลตามอุณหภูมิ ในกรณีนี้ปริมาณและการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับแนวของอุณหภูมิเดิม (temperature history) ส่วนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็ว

จะไม่คำนึงถึงปฏิกิริยาที่เกิดในช่วงการให้ความร้อนแต่การไพโรไลซิสจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ของช่วงอุณหภูมิสุดท้าย

คาร์บอนไนซ์เซชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของก๊าซ คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่านชาร์ ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์เซชัน ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

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

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

วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยเฉพาะวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้น ต้องการคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

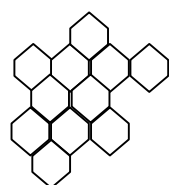
- สารระเหยต่ำ
- ค่าคาร์บอนคงตัวสูง
- มีความพรุนสูง
- มีความแข็งแรงต่อการขัดสี

ซึ่งในธรรมชาติไม่พบคุณสมบัติที่ต้องการทั้งหมด ดังนั้นต้องทำการคาร์บอนไนซ์ให้เกิดการสลายตัวด้วยความร้อนเป็นการไล่ทาร์ แล้วเป็นโค้ก การคาร์บอนไนซ์ให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติทำได้โดยปรับสภาวะในการไพโรไลซิสให้เหมาะสม โดยมีตัวแปรคือ

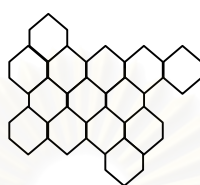
1) อุณหภูมิของการคาร์บอนไนซ์

กระบวนการคาร์บอนไนซ์ เป็นการกลั่นสลายของสารอินทรีย์เพื่อเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตก๊าซที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมาด้วย โดยจะเกิดการหักออกตรงบริเวณที่มีพันธะอ่อนหรือหมู่ที่หลุดออกง่าย ทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่มๆ จำนวนมาก โครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครง

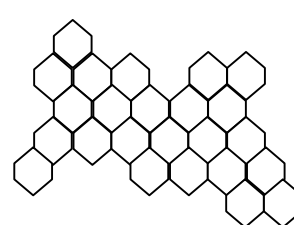
สร้างของถ่านชาร์ โดยการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ดังรูปที่ 2.3 ส่วนโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่า จะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ และก๊าซต่างๆ



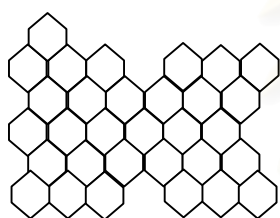
(a) 400 °C



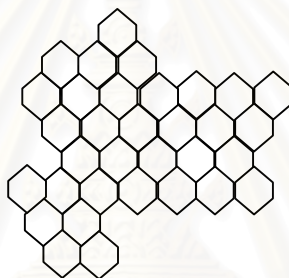
(b) 510 °C



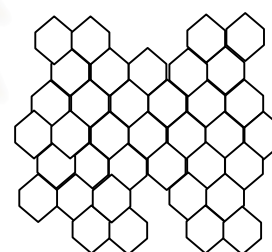
(c) 610 °C



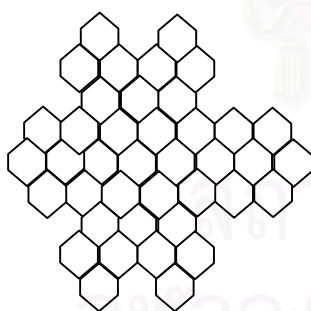
(d) 700 °C



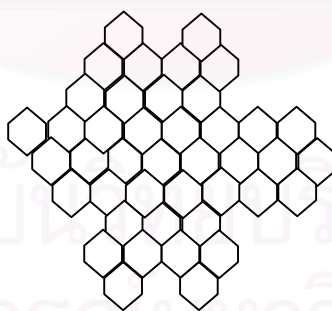
(e) 800 °C



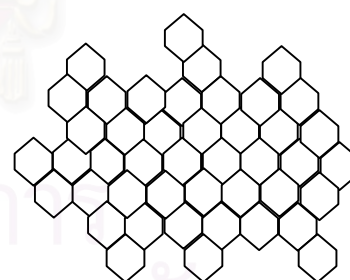
(f) 900 °C



(g) 1,000 – 1,100 °C



(h) 1,200 °C



(i) 1,300 °C

ที่มา : Hassle, 1974

รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา

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

2) อัตราการให้ความร้อน

ผลกระทบของอัตราการให้ความร้อน เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้จากการไพโรไลซิส แต่เดิมสภาวะการให้ความร้อนถูกแบ่งด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อวินาที อันเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยออกอย่างรวดเร็ว

ถ้าอัตราการให้ความร้อนสูง ปริมาณสารระเหยจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ผลก็คือจะได้ถ่านที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เนื่องจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อย ทำให้เกิดช่องว่างมากเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำปฏิกิริยา แอคติเวชันตัวกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

3) ตัวกลางของปฏิกิริยา (medium of reaction)

ตัวกลางของปฏิกิริยาจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา ถ้าก๊าซและไอที่เกิดขึ้นระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยก๊าซที่เป็นตัวกลาง เช่น ก๊าซไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเผาไหม้ของคาร์บอน) และก๊าซจากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณที่เป็นถ่านจะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า พบว่าการคาร์บอนไนซ์โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดจะใช้พลังงานต่ำเพราะความร้อนจากการเผาไหม้ของสารระเหยจะให้ความร้อนกับเตาฟลูอิดไคซ์เบด จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชันก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุน และการจัดเรียงของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบ ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีผลต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้น

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

2.2.3.3 การกระตุ้น (activation)

การกระตุ้น (activation) คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น

Mukherjee and et al. (1947) ได้พิจารณาความหมายของการกระตุ้นไว้เป็น 3 ความหมาย คือ

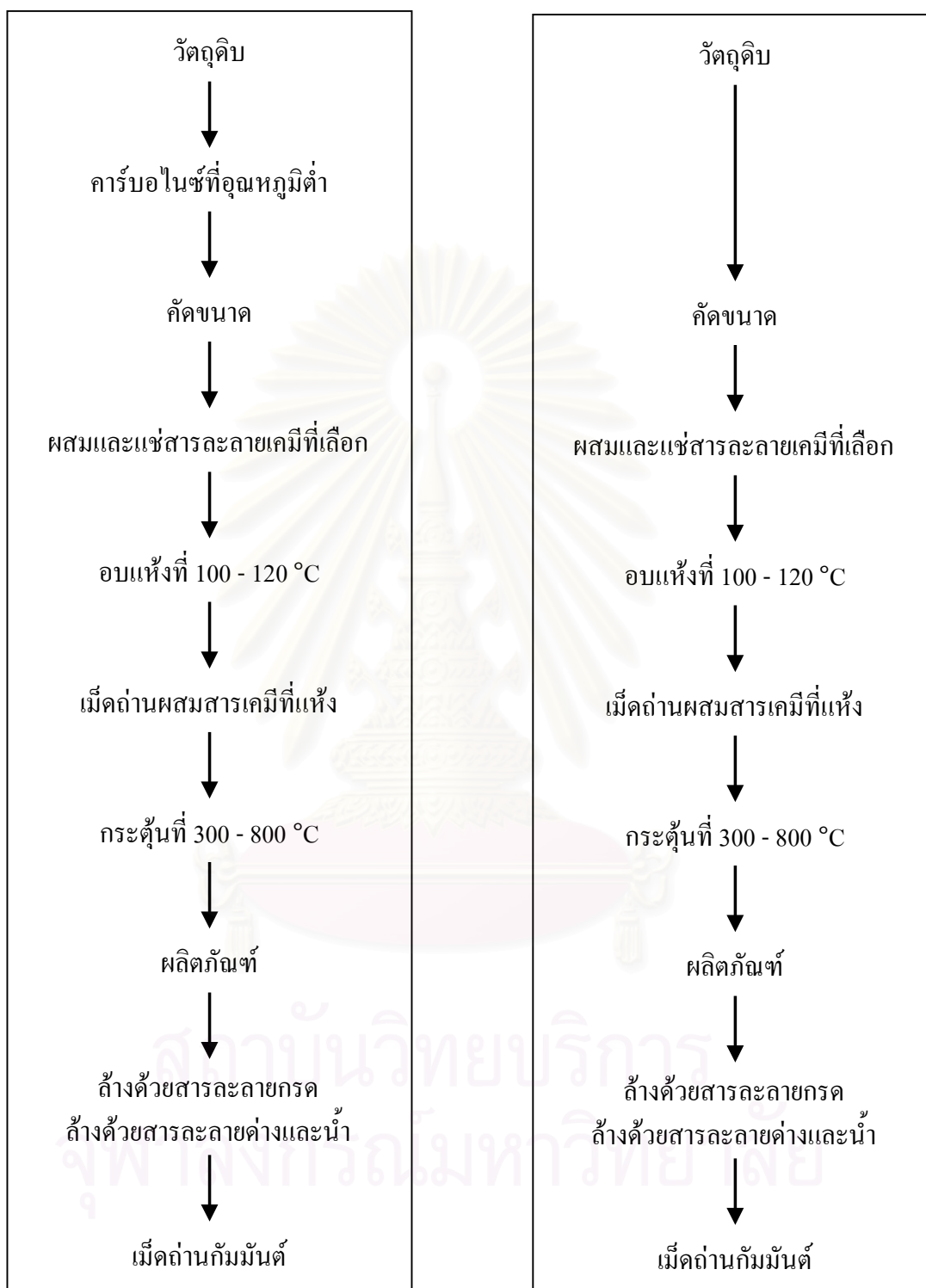
- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งเนื่องจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงวิธีการอื่นๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ

1) วิธีกระตุ้นทางเคมี (chemical activation)

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



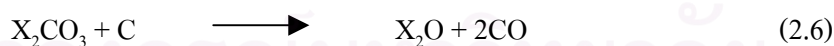
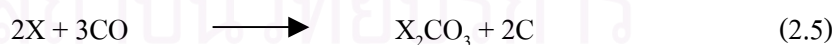
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

ตารางที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการกระตุ้นด้วยวิธีการเคมี

สารเคมี	สูตรเคมี
Cyanided	CN ⁻
Zinc chloride	ZnCl ₂
Ferric chloride	FeCl ₃
Phosphoric acid	H ₃ PO ₄
Potassium sulfide	K ₂ S
Potassium thiocyanate	KSCN
Calcium chloride	CaCl ₂
Calcium hydroxide	Ca(OH) ₂
Nitric acid	HNO ₃
Sodium hydroxide	NaOH
Sodium sulfate	Na ₂ SO ₄
Sulfuric acid	H ₂ SO ₄

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

ปฏิกิริยาที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสารประกอบของโซเดียม มีดังนี้



โดยที่ X คือ Na⁺

2) วิธีกระตุ้นทางฟิสิกส์ (physical activation)

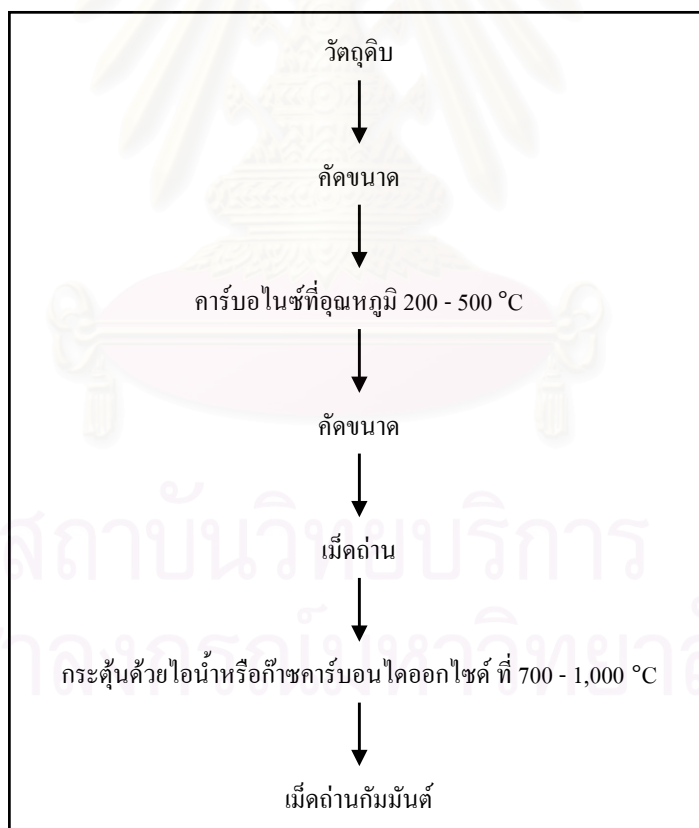
เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ฯลฯ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้ก๊าซออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ใช้น้ำอิมตัวยิ่งยวด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซออกซิเจน

เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้ อุณหภูมิสูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ (Hassler, 1967)

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของก๊าซที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา

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



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซออกซิไดซ์

กระบวนการกระตุ้น คาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็น คาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน เกิดก๊าซซีพีเคชั้นบางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุน ขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กๆ จำนวนมากเกิด จากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกรรจู่ไว้ด้วยทาร์ที่ เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางด้วยอะมอฟสคาร์บอน การกระตุ้นจึงเป็นการเปิดรูที่ ถูกปิดและสร้างรูใหม่ขึ้นมาด้วย

การกระตุ้นในหลายตัวอย่างของซาร์ พบว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำให้ผลดี กว่ากระตุ้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่ากระตุ้น ด้วยอากาศ การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะต้องใช้อุณหภูมิสูงพอที่จะให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว แต่ ไม่ควรเกิน 1,000 องศาเซลเซียสเพราะจะลดคุณสมบัติการดูดซับ การกระตุ้นด้วยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ใช้อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส ส่วนการกระตุ้นด้วยอากาศ ใช้อุณหภูมิ ต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ตัวทำ ปฏิกิริยาจะถูกส่งเข้ามาอบผิวของอนุภาคและแพร่เข้าไปในรู ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นกับ ความเข้มข้นของตัวออกซิไดซ์ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิก็เป็นปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการ ออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิต่ำอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอนกับตัวออกซิไดซ์จะต่ำ เป็นผล ให้ได้รูพรุนที่ต้องการช้า ที่อุณหภูมิสูงเกินกว่าอัตราการแพร่ของตัวออกซิไดซ์เข้าไปในอนุภาค ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดที่ผิวนอกของอนุภาคทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนโดยไม่ทำให้เกิดรู พรุน

อัตราเร็วของกระบวนการออกซิเดชัน ถูกกำหนดโดยความว่องไวในการ ทำปฏิกิริยาของถ่านกับตัวออกซิไดซ์ ถ้าความว่องไวสูงก็จะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่ำ พบว่าถ่าน ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ถ่านหินบิทูมินัส ใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำกว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอน ไนซ์แอนทราไซต์ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการออกซิไดซ์ของคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และออกซิเจน พบว่าออกซิเจนจะมีความสามารถสูงที่สุด โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์มีความ สามารถต่ำที่สุด

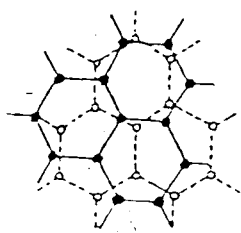
2.2.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.2.4.1 ลักษณะและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

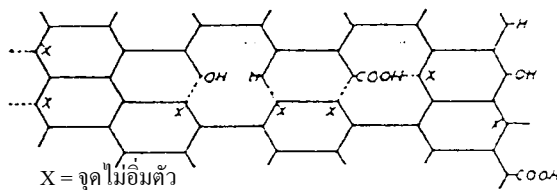
ถ่านกัมมันต์นั้นมีโครงสร้างเช่นเดียวกันกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ผลึกแกรไฟต์ประกอบไปด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของเบนซีนริง (benzene ring) หรือกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม นั่นคือแต่ละอะตอมจะเกิดพันธะเดียวกับอีก 3 อะตอมในแผ่นราบ (plane) ในลักษณะสมมาตรกัน อิเล็กตรอนที่ใช้ในการเกิดพันธะนี้เป็นซิกมาอิเล็กตรอน ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 1.42 อังสตรอม อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์ (resonance) เพื่อให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาล (Van der Waals) แต่ละแผ่นราบห่างกัน 3.354 อังสตรอม ดิสเพลสเมนต์ (displacement) ในทิศทางขนานกับแผ่น (layer) จะเกิดง่ายเพราะแรงยึดเหนี่ยวแวนเดอร์วาลอ่อน ดังนั้นจะเกิดข้อบกพร่อง (defect) ในโครงสร้าง ณ จุดนี้ได้ง่าย

เมื่อศึกษาด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกชันพบว่า ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็กๆ ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดการเบี่ยงเบนในแนวฉากและซ้อนเหลื่อมกันในแนวระนาบ เรียกว่า “เทอร์โบสแตติกสแตคเจอร์ (turbostatic structure)” การจัดเรียงตัวของผลึกเล็กๆ จะมีทิศทางไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการคาร์บอนไนซ์ ผลึกเล็กๆ นี้มักมีความสูง 9 – 12 อังสตรอม กว้าง(เส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัด) ประมาณ 20 – 30 อังสตรอม ประกอบด้วย 3 แผ่นระนาบของชั้นแกรไฟต์ และมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 9 เท่า ของความกว้างของอะตอมคาร์บอนรูป 6 เหลี่ยม (รูปที่ 2.6)

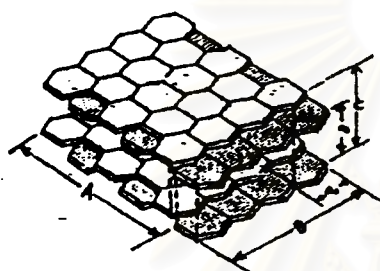
โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะขึ้นอยู่กับสถานะในการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อน ได้มีการพยายามแบ่งประเภทของถ่านกัมมันต์ตามโครงสร้างของผลึก ตัวอย่างเช่น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ โครงสร้างที่เป็นแกรไฟต์ง่ายที่อุณหภูมิสูง และโครงสร้างที่มีลักษณะแกรไฟต์เพียงเล็กน้อย (ที่สถานะเดียวกัน) ดังรูปที่ 2.7 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันทั่วไป แสดงดังตารางที่ 2.2



ที่มา : Suzuki (1990)



ที่มา : Berl (1938)

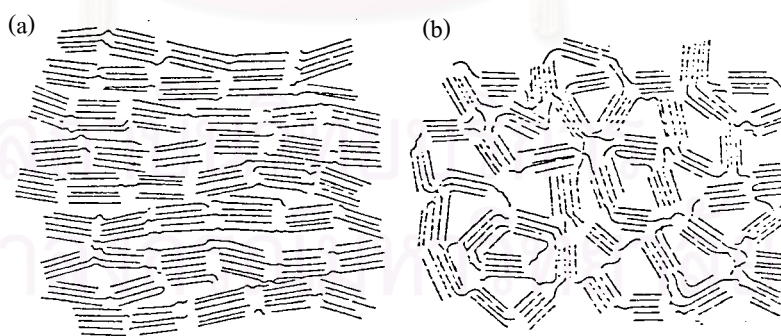


ที่มา : Terskol (1969)



ที่มา : Mattson et al. (1971)

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์



Schematic illustration of the structure of active carbon

(a) early undergoing graphitization (b) undergoing graphitization to a small degree

ที่มา : Jankowsa (1991)

รูปที่ 2.7 แผนภาพอธิบายโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์ง่ายกับโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นกราฟต์เล็กน้อย

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์บางชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ลักษณะสมบัติ	ชื่อการค้า			
	ICI America Hydrodarco 3000	Calgon Filtrisorb 300 (8 x 30)	Westbaco Nuchar WV-L (8 x 30)	Witco 517 (12 x 30)
พื้นที่ผิว, m ² /g (BET)	600 - 650	950 - 1050	1000	1050
ความหนาแน่นปรากฏ, g/cc	0.43	0.48	0.48	0.48
ความหนาแน่นของการไหลย้อนกลับ, lb/cu.ft.	0.22	26	26	30
ความหนาแน่นจริง, g/cc	2.0	2.1	2.1	2.1
ความหนาแน่นของอนุภาค, g/cc	1.4 - 1.5	1.3 - 1.4	1.4	0.92
ขนาดประสิทธิภาพ, mm	0.8 - 0.9	0.8 - 0.9	0.85 - 1.05	0.89
สัมประสิทธิ์ความคงตัว	1.7	< 1.9	< 1.8	1.44
ปริมาตรโพรง, cc/g	0.95	0.85	0.85	0.60
เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย, mm	1.6	1.5 - 1.7	1.5 - 1.7	1.2
ร้อยละสูงสุดเมื่อผ่านตะแกรงร่อน				
ใหญ่กว่าเบอร์ 8 (%)	8	8	8	-
ใหญ่กว่าเบอร์ 12 (%)	-	-	-	5
เล็กกว่าเบอร์ 30 (%)	5		5	5
เล็กกว่าเบอร์ 40 (%)	-	-	-	-
ไอโอดีนนัมเบอร์ (mg/g)	650	900	950	1000
แอมบราชันนัมเบอร์	**	70	70	85
เถ้า (%)	**	8	7.5	0.5
ความชื้นสูงสุด (%)	**	2	2	1

** = ไม่มีข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต - = ไม่มีถ่านที่ผ่านตะแกรงร่อน

ที่มา : เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2514)

2.2.4.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์มีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องระหว่างผลึกของคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่นขนาดของรูใหญ่

เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี Dubinin (1996) ได้ทำการทดลองเตรียมถ่านกัมมันต์จากพีทและซีลื้อด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่า ลักษณะของรูที่เกิดขึ้นเป็นรูคอแคบคล้ายคอขวด หรือที่เรียกว่า “อิงค์บอทเทิล (ink-bottle)” ในขณะที่กระตุ้นซีลื้อด้วยไอน้ำแล้วได้ลักษณะรูที่เกิดขึ้นอยู่วิธีการเตรียมและวัตถุดิบที่ใช้

Dubinin (1966) ได้จำแนกชนิดของรูพรุนตามขนาดรัศมีของรูพรุนออกเป็น

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

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

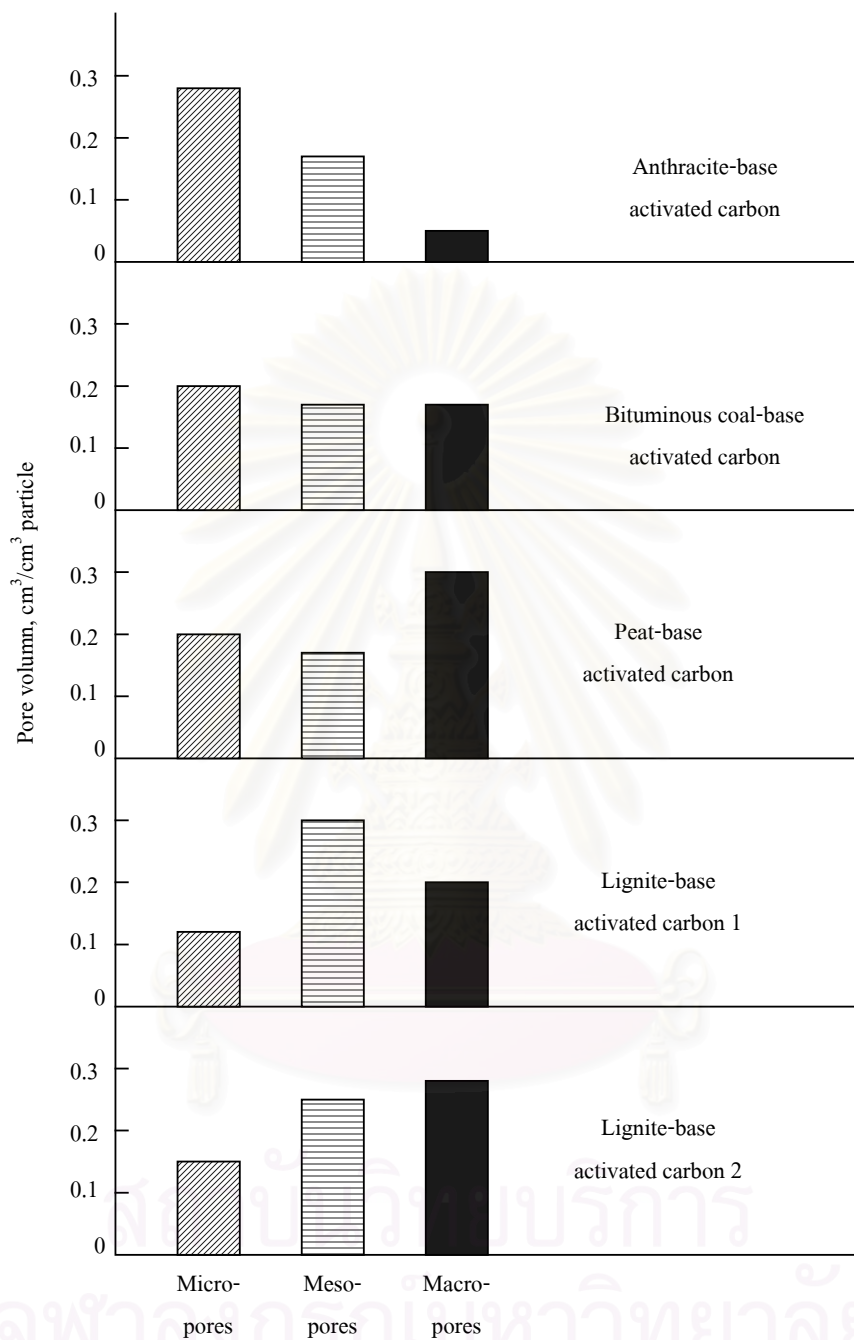
3) ไมโครพอร์ (micropores) ขนาดรัศมีรูน้อยกว่า 15 – 16 อังสตรอม ปริมาตร 0.2 – 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (adsorption energy) มากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นมากที่ความดันต่ำๆ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

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจาย โครงสร้างที่มีทั้งแมคโครพอร์ มีโซพอร์ และไมโครพอร์ เรียกว่า “โครงสร้างผสม (mixed structure type) ดังรูปที่ 2.8 พบว่าแมคโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอก มีโซพอร์เป็นกิ่งออกมาจากไมโครพอร์อีกทีหนึ่ง

โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 – 300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับ จะมีประมาณร้อยละ 90 – 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือ ถ้าบริเวณผิวของถ่านเป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (basalplanes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดอื่นๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ หรืออาจเกิดจากไฟอิเล็กตรอน แรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้แต่ก็มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิด การดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง โอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า หมู่ฟังก์ชันชนิดบริเวณผิวถ่านกัมมันต์ มี 2 ชนิด คือ พวกออกไซด์ของกรด ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400 – 500 องศาเซลเซียส และพวกออกไซด์ของด่าง ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิประมาณ 800 – 1,000 องศาเซลเซียส

2.2.4.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ มักเตรียมจากถ่านที่ได้จากการเผาผลาญสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า “การคาร์บอนไนซ์เซชัน” ในระหว่างการเผาผลาญอะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน, ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกไปในรูปก๊าซ อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงแหวนหกเหลี่ยม (aromatic ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญ ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า “การกระตุ้น” โดยการล้างพวกทาร์และสารต่างๆ ที่ได้จากการเผาผลาญ ออกจากช่องว่างหรือโพรงและสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทนความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย



ที่มา : Bansal et al (1998)

รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบการกระจายขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ใช้
และวิธีผลิตต่างๆ

ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร คือ วาเลนซ์ไม่อิ่มตัว (unsaturated valencies) จึงพยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมต่างๆ ที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะทางเคมีที่แข็งแรง มักจะเกิดกับอะตอมคาร์บอนที่อยู่ที่ขอบของวงแหวนเหลี่ยม ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแบบเคมี (chemisorption) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 – 500 องศาเซลเซียส และกลายเป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่ายังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งจะไม่หลุดออกมาแม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส และสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนียและซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจน (halogen) ออกจากโมเลกุลฮาโลเจน ทั้งที่อยู่ในสภาพก๊าซหรือของเหลวก็ได้ จึงเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์ แต่ที่สำคัญคือผิวที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจน หรือที่เรียกว่า “ผิวออกไซด์”

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

- 1) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 2) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวถูกดูดซับ ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล ประจุไฟฟ้าของโมเลกุล และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 3) ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย
- 4) ลักษณะของสารละลาย เช่น พีเอช อุณหภูมิ เป็นต้น
- 5) ระยะเวลาในการดูดซับ

2.2.6 การประเมินและการเลือกใช้ถ่าน

ในการนำแอคติเวทเต็ดคาร์บอนไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จำเป็นที่จะต้องมีการเลือกถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่าน ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง ตลอดจนความสะดวกในการควบคุมระบบบำบัด ฯลฯ

ลักษณะสมบัติของถ่านที่เป็นตัวกำหนดการใช้งาน ได้แก่

- 1) พื้นที่ผิว (surface area) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับ โดยถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับมาก
- 2) ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการปรับคืนสภาพของถ่าน
- 3) ความหนาแน่นหลวม (bulk density) เป็นตัวกำหนดปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน
- 4) ขนาดใช้งาน (effective size), เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (mean particle diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (uniformity coefficient) เป็นตัวกำหนดภาวะทางชลศาสตร์ (hydraulic conditions) ของถังดูดซับ (adsorption column)
- 5) ปริมาตรรูพรุน (pore volume) เป็นตัวกำหนดการดูดซับโมเลกุลของน้ำเสีย
- 6) การวิเคราะห์ขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน (sieve analysis) เป็นตัวตรวจสอบ Plant – Handling Effect ของถ่าน
- 7) แอบริชัน นัมเบอร์ (abrasion number) ใช้ในการประเมินความคงทนต่อการขัดสี
- 8) ปริมาณร้อยละของเถ้า (% ash) แสดงถึงกากของถ่าน
- 9) ความชื้น (moisture) แสดงปริมาณน้ำในถ่านจากการผลิต
- 10) ไอโอดีนนัมเบอร์ (iodine number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- 11) โมลาสนัมเบอร์ (molass number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- 12) ขนาดของรูพรุน (pore size) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

2.2.7 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละโรงงานจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

- 1) ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซหรือไอ
- ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหาร และที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
 - ใช้แยกก๊าซโซลินออกจากก๊าซธรรมชาติ
 - ใช้แยกเบนซอล (benzol) ออกจากก๊าซอุตสาหกรรม
 - ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำๆ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การหมัก อุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น
 - กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น
 - กำจัดสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ (organic sulfur) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสิ่งเจือปนอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม
 - กำจัดกลิ่นจากอากาศ ในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กลิ่นเหม็นลดน้อยลง
 - ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์สำหรับหน่วยปฏิบัติการให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเบดของถ่านกัมมันต์ (activated carbon bed)
- 2) ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น
- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
 - ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร้อออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
 - แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจลาติน น้ำส้ม เพ็คติน ซ็อคโกแลต น้ำผลไม้ เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
 - ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ ทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น
 - ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและยา เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในยาและเคมีภัณฑ์อื่นๆ เช่น สเตรปโตมัยซิน (streptomycin) คาเฟอีน (cafein) โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate) รวมทั้งกรดต่างๆ

- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดคราบ สี และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวพาสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst carrier) เช่น ตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) เป็นตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst support) สำหรับซิงค์อะซิเตทในโรงงานผลิตไวนิลอะซิเตท
- ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ให้อาถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ ยาจะค่อยๆ ออกฤทธิ์โดยมีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ตัวอย่างคือ ไฮดรอกซีอะมิโนฟีนิลาโซนิคแอซิด (hydroxyl aminophenylarsonic acid) สำหรับรักษาโรคที่เกิดจากการติดเชื้ออะมิบา และพาราไซต์ และยังใช้ดูดสารพิษจากผู้ที่ได้รับยาเกินขนาด หรือกินยาพิษ นอกจากนี้ยังใช้รักษาอาการมีแก๊สมากในกระเพาะอีกด้วย

2.2.8 การปรับคืนสภาพของถ่านดูดติด (carbon regenerate)

เมื่อถ่านถูกใช้งานไปนานๆ รูพรุนของเม็ดถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรก ทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดซึม เนื่องจากถ่านดูดซึมมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อที่จะลดราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดจะต้องนำถ่านดูดซึมที่หมดประสิทธิภาพ (exhausted carbon) มาฟื้นฟูคุณภาพเพื่อนำกลับไปใช้งานอีก การฟื้นฟูคุณภาพทำได้โดยการนำถ่านไปกำจัดโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่อุดอยู่ในรูของถ่านดูดซึมอาจทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางเคมี โดยใช้สาร อนินทรีย์เคมีทำการออกซิไดซ์สิ่งสกปรก แต่วิธีนี้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า วิธีที่ดีที่สุดได้แก่การนำถ่านดูดซึมไปเผาในเตาแบบ Multiple Hearth โดยควบคุมภาวะการเผาไหม้โมเลกุลของสิ่งสกปรกให้ระเหยออกมาและถูกเผาไหม้ไป ระบบการฟื้นฟูคุณภาพของถ่านดูดซึม ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ถ่านดูดซึมที่หมดประสิทธิภาพแล้วจะรวมกับน้ำเป็นน้ำขุ่น (slurry) ถูกสูบเข้ามาในระบบฟื้นฟูคุณภาพ
- 2) ถ่านดูดซึมจะถูกแยกออกจากน้ำแล้วจึงส่งเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1,500 – 1,700 °F ควบคุมการเผาไหม้ให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกในรูของเม็ดถ่านระเหยเป็นไอและถูกเผาทำลายตัวไป
- 3) ถ่านดูดซึมที่ร้อนจัดจะถูกทำให้เย็น โดยจุ่มลงในน้ำ (quenching)
- 4) ถ่านที่เย็นแล้วถูกนำไปล้างแยกเศษผงถ่านออกแล้วจึงสูบไปเก็บไว้หรือนำกลับไปใช้งาน

การฟื้นฟูคุณภาพของถ่านดูดติดจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 4,250 บีทียูต่อถ่านหนึ่งปอนด์ ในแต่ละขั้นตอนนี้ถ่านจะสูญหายไปประมาณร้อยละ 2 – 10 (เสริมพล รัตสุขและไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2514)

2.3 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิว เป็นการแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยของสารดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมการดูดติดผิวมีหลายรูปแบบ ดังต่อไปนี้

2.3.1 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ (Langmuir adsorption isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ คือ

- โมเลกุลถูกดูดติดอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดซับ
- มีโมเลกุลเดียวในบริเวณถูกดูดติด
- พื้นที่ของบริเวณดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
- พลังงานการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดซับจากสารละลายโดยสารดูดซับ แสดงได้ดังสมการ

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

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

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

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

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ

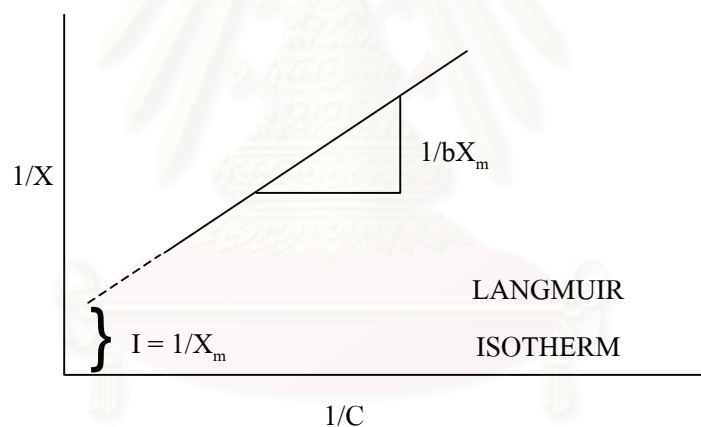
เมื่อ X เข้าสู่ X_m และ C_e เข้าสู่ ∞ จะเขียนสมการได้เป็น

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

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

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

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



รูปที่ 2.9 ไอโซเทอมการดูดซับผิวแบบแลงมัวร์

2.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับผิวแบบบีอีที (BET : Brunauer – Emmett – Teller adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับผิวแบบบีอีทีที่พัฒนามาจากไอโซเทอมการดูดซับผิวแบบแลงมัวร์ โดยจากการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayers) ซึ่งแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดซับชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่ซึ่งมีโมเลกุลชั้นที่ 2 ดูดซับ เช่นเดียวกันกับชั้นอื่นๆ ต่อไป โดยแสดงได้ดังสมการ

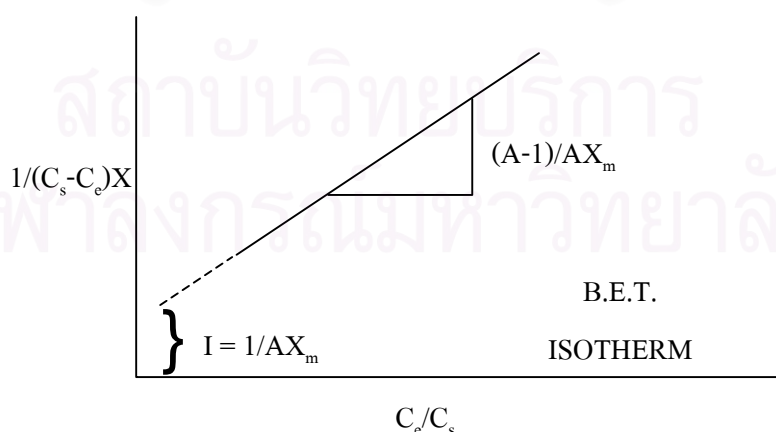
$$X = (X_m b C_e) / (C_s - C_e)(1 + (b - 1)C_e / C_s) \quad (2.11)$$

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

จากสมการที่ 2.11 สามารถเปลี่ยนได้เป็น

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

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e / X(C_s - C_e)$ กับ C_e / C_s ซึ่งเป็นเส้นตรงที่มีความชัน $(b-1)/X_m b$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m b$ จากสมการ 2.11 และ 2.12 แสดงได้ดังรูป 2.10



รูปที่ 2.10 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบบีอีที

2.3.3 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm)

สมการการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชใช้กันแพร่หลายที่สุดในการอธิบายการดูดซับในระบบของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้ คือ

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

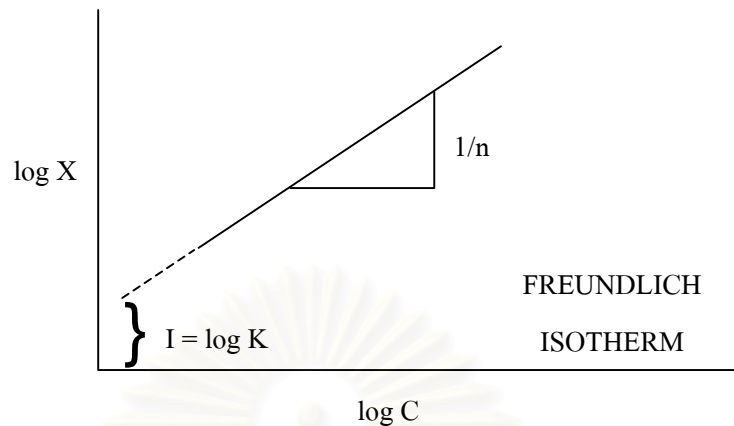
- โดย X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
 C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)
 K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของคาร์บอน
 $1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ
 m = น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม)

จากสมการที่ 2.13 สามารถเขียนสมการในรูป logarithmic ได้ดังนี้ คือ

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

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(X/m)$ กับ $\log C_e$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชัน $1/n$ และ $\log K$ จุดตัดแกน y ของ $\log(X/m)$ ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) จากสมการที่ 2.13 และ 2.14 แสดงได้ดังรูปที่ 2.11

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



รูปที่ 2.11 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

2.4 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

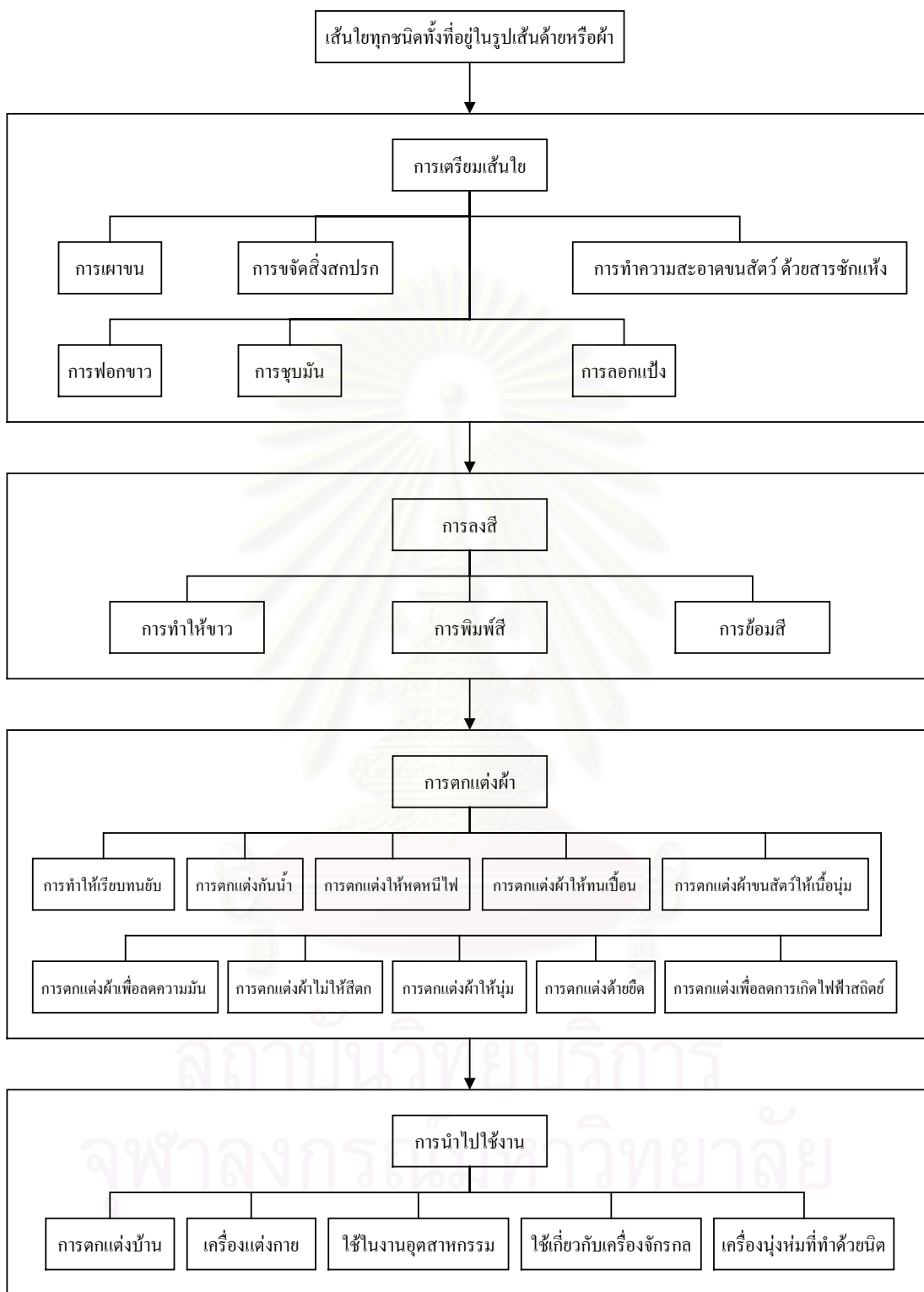
อุตสาหกรรมสิ่งทอมีกระบวนการผลิตดังรูปที่ 2.12 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 การเตรียมวัสดุสิ่งทอสำหรับการย้อม

เส้นด้ายหรือผ้าที่ผลิตออกจากโรงทอ นั้นยังมีสิ่งเจือปนต่างๆ อยู่มาก เช่น แป้งที่ใช้ลงเส้นยืน จี๊ฟี่ง กาว สีธรรมชาติ ฯลฯ สารพวกนี้จะเป็นอุปสรรคในการย้อมสี ทำให้น้ำย้อมไม่สามารถซึมเข้าเส้นใยได้อย่างทั่วถึง ทำให้ผลที่ได้จากการย้อมนั้นต่าง ดังนั้นก่อนที่จะนำด้ายหรือผ้าไปทำการย้อมจึงต้องมีกระบวนการกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ เหล่านี้ออกเสียก่อน

การเอาสิ่งเจือปนซึ่งเป็นอุปสรรคในการย้อมเส้นใยออกนี้ เรียกว่า “การเตรียมวัสดุสิ่งทอ” ไม่ว่าจะเป็นการย้อมหรือการพิมพ์ก็ต้องการด้ายหรือผ้าที่สะอาดเพื่อให้น้ำซึมเข้าได้ง่ายที่สุด

การเอาสิ่งเจือปนออกจากวัสดุสิ่งทอหรือการทำความสะอาดสิ่งทอนี้ อาจจะทำในขั้นตอนที่เป็นด้ายหรือเป็นผ้าก็ได้แล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งาน กรรมวิธีในการทำความสะอาดสิ่งทอที่สำคัญได้แก่ การลอกแป้ง (desizing) การขจัดสิ่งสกปรกจำพวกไขมัน น้ำมัน จี๊ฟี่ง (scouring) และการฟอกขาว (bleaching) เป็นต้น



ที่มา : ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527

รูปที่ 2.12 แผนผังการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2.4.1.1 การลอกแป้ง (desizing)

ผ้าบางประเภท เช่น ผ้าฝ้าย เมื่อทอเสร็จแล้วจะมีเส้นใยโพลีขึ้นมาบนผิวผ้ามาก ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการย้อมสี เพราะจะทำให้สีที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องนำเอาผ้าไปเผาปลายขนออกเสียก่อนที่จะนำเข้าสู่ขบวนการลอกแป้ง

แป้งที่ติดอยู่บนเนื้อผ้ามาจากการลงแป้งบนด้ายในขบวนการทอผ้าเพื่อทำให้เส้นด้ายแข็งตัวพอที่จะทนทานต่อการเสียดสีของเครื่องทอ ดังนั้นเมื่อทอเป็นผ้าแล้วก่อนที่จะนำไปย้อมต้องนำไปลอกแป้งออกให้หมดเสียก่อนเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการย้อมสีภายหลัง

การลอกแป้ง คือ ขบวนการที่ทำให้แป้งสลายตัวเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ซึ่งทำได้ 4 วิธี คือ

- แห้และหมักด้วยกรด (acid – stuning)
- แห้และหมักโดยอาศัยเชื้อต่างๆ (rot – stuning)
- ต้มด้วยสารช่วยย้อม (enzyme desizing)
- ใช้สารออกซิไดส์ (oxidizing agent)

ซึ่งจะใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความสะดวกของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในแต่ละโรงงาน แต่โดยทั่วไปแล้วโรงงานอุตสาหกรรมมักจะใช้วิธีใช้สารออกซิไดส์ ซึ่งสารที่นิยมใช้กัน คือ โซเดียมโบรมิเต (sodium bromite) โดยการอัดผ้าด้วยน้ำยาที่มีแอกทีฟโบรมิเตและโซดาไฟ ทำการหมักผ้าไว้ 15 – 20 นาที แล้วจึงทำการล้างเอาน้ำยาออก

2.4.1.2 การขจัดสิ่งสกปรก (scouring)

วิธีขจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยอาจกระทำได้ 2 วิธี คือ ใช้หม้ออัดความดันที่เรียกว่าหม้อเคียร์ (Kier) หรืออาจใช้ขบวนการแบบต่อเนื่องโดยใส่ น้ำยาต่าง (นิยมใช้โซดาไฟ) ผสมกับสารลดความตึงผิว (surfactant) เช่น สบู่ หรือผงซักฟอกลงในหม้อต้มต่างและสารลดความตึงผิว จะทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนที่ติดอยู่กับเส้นใยให้ละลายออกมาอยู่น้ำ และเมื่อทำการซักล้างเอาน้ำยาออกก็จะได้เส้นใยที่ปราศจากสิ่งสกปรก

2.4.1.3 การฟอกขาว (bleaching)

สิ่งสกปรกต่างๆ ในเส้นใยจะถูกกำจัดออกไปในขบวนการลอกแป้งและการขจัดสิ่งเจือปน แต่เส้นใยที่ได้จะยังคงเป็นสีธรรมชาติอยู่ซึ่งจะมีผลต่อการย้อม ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดสีธรรมชาตินี้ออกด้วยวิธีการที่เรียกว่า การฟอกขาว ซึ่งถือว่าเป็นขบวนการทำความสะอาดขั้นสุดท้ายก่อนนำเส้นใยไปย้อมหรือพิมพ์สี

การฟอกขาวทำได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ วิธีรีดักชัน (reduction method) และวิธีออกซิเดชัน (oxidation method) แต่วิธีรีดักชันไม่นิยมใช้กันแล้วในปัจจุบัน

วิธีออกซิเดชันกระทำได้โดยใช้สารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดส์ สารเคมีที่นิยมใช้กัน คือ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite, NaClO) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide, H₂O₂) และสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์อื่นๆ การที่จะเลือกใช้สารเคมีตัวใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย เครื่องมือที่ใช้ในการฟอก และความต้องการในการนำสิ่งทอที่ฟอกขาวแล้วไปใช้งาน เช่น ถ้านำเส้นใยไปย้อมสีเข้มก็ไม่จำเป็นที่จะต้องฟอกเส้นใยให้ขาวมากนัก แต่ถ้าต้องการนำเส้นใยไปย้อมสีอ่อน ก็ต้องจำเป็นที่จะต้องฟอกเส้นใยให้ขาวสะอาด ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกสารเคมีและขบวนการที่ใช้ฟอก เส้นใยที่ผ่านการฟอกด้วยสารเคมีเมื่อนำไปซักล้างแล้วจะได้เส้นใยที่สะอาดพร้อมที่จะนำไปย้อมสีหรือพิมพ์สีต่อไป

2.4.1.4 การชุบมัน (mercerizing)

การชุบมันไม่ได้อยู่ในขบวนการทำความสะอาดสิ่งทอหรือเส้นใย แต่อยู่ในขั้นตอนการเตรียมวัสดุสิ่งทอ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการชุบมันก็เพื่อที่เพิ่มความมันของวัสดุสิ่งทอ ทำให้วัสดุสิ่งทอดูดซึมสีย้อมได้มากขึ้นและทำให้เส้นใยอ่อนนุ่มขึ้น

การชุบมันจะทำกับผืนผ้า โดยจะนำผ้าไปชุบน้ำยาโซดาคาไฟ ผ้าจะหดตัวลง จากนั้นจึงใช้เครื่องมือดึงผ้าให้ขยายเท่าเดิม และล้างโซดาคาไฟออกโดยเร็วด้วยน้ำ

2.4.2 การย้อมสี

วัตถุประสงค์ของการย้อมสีเส้นด้ายหรือผ้านั้นจะต้องให้ได้สีที่สม่ำเสมอทั่วตลอด สีย้อมที่ใช้จะต้องติดถึงภายใน และสีย้อมเมื่อติดลงบนเส้นใยหรือผ้าแล้วจะต้องทนทานต่อการซักล้างได้ดี ไม่หลุดลอกออกได้โดยง่าย

ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการย้อมสีมีดังนี้ คือ

2.4.2.1 เส้นใย (fibre)

เส้นใยที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันอาจแบ่งได้เป็น 2 หมู่ใหญ่ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์

เส้นใยธรรมชาติอาจจะผลิตมาจากพืชหรือสัตว์ก็ได้ เส้นใยธรรมชาติที่ผลิตจากพืช ได้แก่ฝ้ายและปอ ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส ส่วนเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ ขนสัตว์และไหม ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นพวกโปรตีน

เส้นใยสังเคราะห์ผลิตขึ้นจากสารประกอบเคมีโดยตรงมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กัน คือ โพลีเอสเตอร์และโพลีอะคริลิก

เส้นใยทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์จะมีลักษณะที่เหมือนกัน คือ ประกอบด้วยโมเลกุลเล็กๆ ต่อกันเป็นเส้นยาวเหมือนเชือก เมื่อนำเส้นใยไปดึงจะทำให้เส้นใยเรียงตัวกันได้ดีขึ้น การเรียงตัวภายในเส้นใยจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เรียงตัวกันเป็นระเบียบแน่น และส่วนที่เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบอยู่อย่างหลวมๆ

ส่วนที่เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ ของเส้นใยหรือที่เรียกว่าเป็นช่องว่าง (Pore) จะมีความสัมพันธ์กับการเลือกขนาดโมเลกุลของสีย้อมหรือชนิดของสีย้อม เมื่อนำเส้นใยไปแช่น้ำจะเกิดการพองตัวเฉพาะส่วนที่เป็นเส้นใยซึ่งเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ เส้นใยแต่ละชนิดจะพองตัวไม่เท่ากัน ดังนั้นขนาดโมเลกุลของสีย้อมจะแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างจึงไม่เท่ากันด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งนอกเหนือจากคุณสมบัติทางเคมีโดยตรงระหว่างสีย้อมกับเส้นใยที่ทำให้เส้นใยบางชนิดไม่ติดสีย้อมหรือติดสีย้อมเพียงอ่อนๆ

2.4.2.2 สีย้อม (dye)

สีย้อมที่จะใช้ย้อมเส้นใยนี้นั้นมีอยู่หลายชนิด การใช้สีย้อมชนิดใดกับเส้นใยชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับอำนาจในการรวมตัวของสีกับเส้นใยที่ต้องมีมากกว่าอำนาจในการรวมตัวของสีกับน้ำ ซึ่งสภาวะเช่นนี้จะเกิดได้ เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการติดกับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (bond) ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ประเภทด้วยกัน คือ

- พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)
- แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals' forces)
- แรงไอออนิก (ionic forces)
- พันธะโควาเลนต์ (covalent bond)

การติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยจะต้องประกอบไปด้วยแรงอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป แรงดูดติดทางเคมีที่จะทำให้การยึดติดดีที่สุด คือ พันธะโควาเลนต์ (covalent bond)

นอกจากนี้รูปร่างและขนาดของโมเลกุลของสีก็มีผลกระทบต่อการใช้ย้อมด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมยิ่งเล็กและยาวเท่าไรก็จะยิ่งผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นทำให้เส้นใย

ติดสีย้อมได้ดียิ่งขึ้น หรือถ้าโมเลกุลของสีย้อมแบนและมีความกว้างมากกว่าความยาว จะทำให้การติดสีย้อมมีความคงทนสูงมากขึ้น เป็นต้น

การที่โมเลกุลของสีย้อมยึดติดกับเส้นใยเป็นผลเนื่องมาจากแรงทางเคมีและผลทางฟิสิกส์ร่วมกัน โดยมีสารบางอย่างช่วยในการย้อมด้วย เพื่อที่จะให้โมเลกุลของสีย้อมและโมเลกุลของเส้นใยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันได้ดีขึ้น สารที่ช่วยนี้เรียกว่า “สารช่วยย้อม”

2.4.3 สารช่วยย้อม (additives)

สารช่วยย้อมเป็นสารเคมีที่เติมลงไปในช่วงการย้อมสี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้เส้นใยคอนสีย้อมได้สม่ำเสมอขึ้นและทำให้สีย้อมมีความคงทนมากขึ้น สารช่วยย้อมแบ่งออกเป็น 7 ชนิด คือ

- กรด ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอนเมื่อใช้สีย้อมแอซิด
- ด่าง ใช้สำหรับย้อมเส้นใยเซลลูโลสเมื่อย้อมด้วยสีย้อมอะโซอิก แวต และกำมะถัน
- เกลือ ใช้ในการย้อมสีด้วยสีย้อมแอซิดและการย้อมเส้นใยเซลลูโลส
- สารช่วยให้สีย้อมสม่ำเสมอใช้กับสีแวต สีดิสเพอร์ส และสีแอซิดบางชนิด
- สารนำ (carriers) ใช้ในการย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
- สารละลายอินทรีย์ ใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
- สารละลายอินทรีย์

2.5 น้ำเสียและของเสียต่างๆ ที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ถูกใช้โดยกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ที่เกิดในกิจกรรมประจำวัน อาทิ การอาบน้ำ การใช้ในห้องน้ำ การประกอบอาหาร การประกอบกิจกรรมประกอบอาชีพ เป็นต้น น้ำเสียจะเกิดขึ้นตามปริมาณการใช้น้ำประปาเป็นสำคัญ ซึ่งในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียมักจะพิจารณาอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยของกิจกรรมที่เกิดขึ้น อาทิ การใช้น้ำของบ้านเรือน สถานประกอบการ โดยเทียบกับหน่วยการใช้น้ำ เป็นต้น สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมจะมีการใช้น้ำที่แตกต่างกันสำหรับประเภท หรือชนิดของโรงงาน บางโรงงานอาจต้องการน้ำใช้เพียงเพื่ออุปโภค บริโภคของพนักงานและเจ้าหน้าที่ของโรงงานเท่านั้น แต่บางโรงงานอาจต้องการน้ำในการผลิตสินค้า โดย

สามารถแบ่งประเภทของการใช้น้ำในกระบวนการต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

- 1) ใช้น้ำเป็นตัวประกอบของผลิตภัณฑ์
- 2) ใช้น้ำเป็นตัวทำความสะอาดล้างวัตถุดิบ
- 3) ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายวัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
- 4) ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก็คือน้ำเสียของโรงงานนั้นๆ ซึ่งต้องทำการบำบัดให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพได้มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1) น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการหล่อเย็น (cooling water) เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ โดยปกติน้ำประเภทนี้ไม่ค่อยจะมีสิ่งปนเปื้อนมากนัก นอกจากโรงงานบางประเภทที่มีน้ำสกปรกมาก น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิประมาณ 40 - 60 °C ซึ่งถือว่าเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม

2) น้ำทิ้งจากกระบวนการชะล้าง (wash water) เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบต่างๆ น้ำล้างเครื่องจักร น้ำล้างทำความสะอาดพื้นโรงงาน น้ำทิ้งจากกระบวนการเหล่านี้จะมีสิ่งเจือปนมาก เช่น พวกสารอินทรีย์ สารเคมี สารตะกอนสกปรก และสารที่ละลายน้ำได้

3) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (process wastewater) เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิต เช่น จากโรงงานกระดาษ จากโรงงานน้ำตาล เป็นต้น น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตโดยมากจะมีความสกปรกมากกว่าน้ำทิ้งประเภทอื่นๆ ของโรงงานนั้นๆ

4) น้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่นๆ เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการอาบน้ำของคนงาน น้ำทิ้งจากห้องน้ำ น้ำทิ้งจากหม้อน้ำ น้ำทิ้งจากเครื่องคอนเดนเซอร์ และอื่นๆ

ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ กระบวนการผลิต และปัจจัยอื่นๆ อีกมากมาย ตารางที่ 2.3 แสดงค่า BOD และของแข็งแขวนลอยน้ำเสียจากโรงงานต่างๆ ในประเทศ ซึ่งน้ำเสียเหล่านั้นจะต้องถูกบำบัดให้ได้ตามมาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ ที่กำหนด ดังภาคผนวก ก. ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป

ตารางที่ 2.3 ค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียจากโรงงานประเภทต่างๆ

โรงงาน	บีโอดี (BOD) (mg/l)		ของแข็งแขวนลอย (SS) (mg/l)	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
กระดาษ	100 – 1,000	530	100 – 1,300	830
สบู่	200 – 3,000	1,180	100 – 3,000	560
ผงชูรส	200 – 2,000	890	-	-
สุรา + แอลกอฮอล์	5,000 – 60,000	29,000	1,000 – 10,000	7,800
น้ำอัดลม	150 – 2,400	740	50 – 400	190
นม	200 – 3,600	1,125	100 – 1,100	450
น้ำตาล	200 – 3,900	1,320	100 – 600	320
สิ่งทอ	60 – 900	230	0 – 500	160
ห้องเย็น	250 – 4,000	1,560	100 – 700	410
เครื่องกระป๋อง	500 – 12,270	3,560	100 – 3,000	760
วุ้นเส้น	600 – 4,500	1,840	-	-
เส้นหมี่	1,000 – 14,000	3,620	1,000 – 30,000	8,400
โม้แป้ง, เบะแซ	1,000 – 11,000	5,235	500 – 5,000	1,700

ที่มา : คู่มือเจ้าพนักงานควบคุมมลพิษ, 2542

2.5.1 แหล่งที่มาของน้ำทิ้ง

น้ำเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ 4 แหล่ง คือ

1) น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม พิมพ์ และการตกแต่ง น้ำใช้ในส่วนนี้จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต กระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดน้ำเสียนั้น ได้แก่กระบวนการต่อไปนี้ คือ

- ขบวนการต้มแป้ง
- ขบวนการทำความสะอาด
- ขบวนการฟอกขาว
- ขบวนการชุบมัน
- ขบวนการย้อมสีและการตกแต่ง
- ขบวนการพิมพ์ผ้า

น้ำที่ใช้ในขบวนการผลิตจะมีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกค่อนข้างสูง มีลักษณะที่แตกต่างกันตามลักษณะของเส้นใยและขบวนการฟอกย้อมที่ใช้ ส่วนน้ำที่ใช้ซักล้างภายหลังการฟอกย้อมหรือพิมพ์ น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกโดยรวมน้อยกว่าน้ำเสียจากขบวนการฟอกย้อม

2) น้ำที่ใช้ในหม้อน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมหรือพิมพ์นั้น มักจะมีการใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อน้ำ ก็จะได้น้ำที่ใสสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรง ก็จะเป็นการไปเพิ่มปริมาณน้ำย้อมและจะเป็นน้ำเสียในที่สุด

3) น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการฟอกย้อม จำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในระยะเวลาที่รวดเร็ว ซึ่งจะใช้น้ำหล่อเย็นและสามารถนำน้ำนี้กลับมาใช้ใหม่ได้

4) น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องและทำความสะอาดโรงงาน น้ำส่วนนี้ในบางครั้งก็เป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง เช่น น้ำล้างถังเตรียมสี เป็นต้น

5) น้ำจากแหล่งอื่นๆ เช่น น้ำใช้จากการอุปโภคบริโภคของคณงาน เป็นต้น

2.5.2 ประเภทของสิ่งสกปรกในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น จำแนกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

1) สีย้อม การย้อมสี เส้นใยจะดูดซึมสีเพียงบางส่วนเท่านั้น ที่เหลือจะยังคงอยู่ในน้ำย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียของโรงงานในที่สุด สำหรับการพิมพ์ก็เช่นเดียวกัน สีที่พิมพ์ไปบนผ้าจะไม่ถูกดูดซึมหมด และส่วนที่ไม่ถูกดูดซึมก็จะถูกชะล้างออกภายหลังการพิมพ์

2) สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีอยู่มากมายหลายชนิด สารเคมีเหล่านี้จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมหรือน้ำซักล้าง ซึ่งจะถูปล่อยออกมากับน้ำเสียของโรงงาน

3) สิ่งสกปรกที่มากับเส้นใย โดยเฉพาะเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ สิ่งสกปรกเหล่านี้มีทั้งที่เป็นไขมัน สารขี้ผึ้ง โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ในการผลิตยังมีการเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น สารหล่อลื่น แป้งที่ใช้ในการลงด้าย สิ่งสกปรกเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากเส้นใยในขบวนการเตรียมก่อนการย้อมหรือพิมพ์ และจะหลุดออกมากับน้ำเสียของโรงงานในขั้นตอนการเตรียมการฟอกย้อมหรือพิมพ์

2.5.3 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมมีลักษณะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ คือ (จารุทัศน์ มิลินทะ เลข, 2537)

- 1) มีปริมาณสารอินทรีย์สูง คือ มีค่าบีโอดีประมาณ 100 – 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าซีโอดีประมาณ 500 – 1,200 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย้อม ได้แก่ แป้ง สีย้อม กรดอะซิดิก เส้นใย สบู่ ไขมัน ตัวทำละลายต่างๆ เป็นต้น
- 2) มีค่าพีเอชและค่าความเป็นด่าง (alkalinity) สูง คือ ค่าพีเอชประมาณ 9 – 12 และค่าความเป็นด่างประมาณ 300 – 900 พีพีเอ็ม ซึ่งเกิดจาก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต เป็นต้น
- 3) มีอุณหภูมิสูงประมาณ 50 องศาเซลเซียส
- 4) มีปริมาณของแข็งละลายน้ำ (dissolved solids) สูง ซึ่งเกิดจากเกลือโซเดียมและกรดต่างๆ
- 5) มีความขุ่นของสีมาก ซึ่งเกิดจากกระบวนการย้อมสี
- 6) มีโลหะหนักเจือปน โดยโลหะหนักเหล่านี้มาจากสีย้อมผ้า เช่น ทองแดง (Cu), ตะกั่ว (Pb), โครเมียม (Cr), และสังกะสี (Zn) เป็นต้น
- 7) มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solids) สูง

2.6 บริษัท ไทยโทเรติกส์ ไทล์มิลล์ จำกัด (มหาชน)

บริษัท ไทยโทเรติกส์ ไทล์มิลล์ จำกัด (มหาชน) (THAI TORAY TEXTILE MILLS PUBLIC CO.,LTD.) เป็นโรงงานอุตสาหกรรมทางด้านทอผ้าและฟอกย้อม โดยโรงงานตั้งอยู่ที่ 33/3 หมู่ 3 อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม บนเนื้อที่ 136 ไร่ อุตสาหกรรมหลักของโรงงานมี 3 ประเภท ได้แก่

- ทอผ้า
- ปั่นด้าย
- ย้อมผ้า

โรงงานมีพนักงานประมาณ 700 คน และได้จัดมีให้บ้านพักให้กับพนักงานอยู่ด้านฝั่งตรงข้ามโรงงาน

จากการที่โรงงานดำเนินการเกี่ยวกับอุตสาหกรรมฟอกย้อม ดังนั้นของเสียที่เกิดจากขบวนการผลิตและจากกิจกรรมต่างๆ ในโรงงาน จึงแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่

- น้ำเสียจากการฟอกย้อมและน้ำใช้ในโรงงาน ประมาณ 3,000 ลบ.เมตร/วัน
- น้ำเสียจากหอพักและโรงอาหาร ประมาณ 400 ลบ.เมตร/วัน
- ของเสียจากหอพัก (มูลฝอย) ประมาณ 80 กก./วัน
- กากของเสียจากจากบำบัด ประมาณ 10 ตัน/เดือน
- มลภาวะทางอากาศที่ปล่อยออกจากปล่องควันของโรงงาน

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียของโรงงานในเดือนมกราคม – ธันวาคม พ.ศ.2544 แสดงดังตารางที่ 2.4

2.7 ตะกั่วและปรอท

ตะกั่วและปรอท จัดเป็นธาตุที่เป็นโลหะหนัก โดยโลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 – 92 ภายในคาบที่ 4 – 7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ นำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถตีเป็นแผ่นได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชัน (oxidation number) ได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) ได้รูปที่เสถียรกว่า โลหะหนักอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (organic compound) ซึ่งจะสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (เกศสุชา พูลคำ, 2537)

โดยทั่วไป สามารถแบ่งโลหะต่างๆ ออกตามคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้เป็น 4 ประเภท คือ (ประภคต เลิศจรสอร่ามดี, 2539)

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

ตารางที่ 2.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง ตั้งแต่เดือน มกราคม 2544 - ธันวาคม 2544 ของโรงงานไทยโพรเท็กซ์ไทล์มิลลส์ จำกัด(มหาชน)

เดือน	น้ำเข้า					น้ำทิ้ง				
	pH	DS (mg/l)	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	pH	DS (mg/l)	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)
มกราคม 2544	7.51	2,080.00	39.82	508.80	112.20	7.24	1,445.40	18.42	159.00	17.00
กุมภาพันธ์ 2544	7.48	1,991.25	49.76	548.50	133.50	7.28	1,523.35	15.19	136.75	14.25
มีนาคม 2544	7.03	1,744.55	37.85	435.00	114.50	7.31	1,451.90	7.25	144.00	19.75
เมษายน 2544	7.09	1,978.25	42.95	514.25	106.25	7.47	1,230.35	37.63	132.00	23.75
พฤษภาคม 2544	6.94	1,847.80	51.15	448.50	128.50	7.05	1,052.60	28.50	140.50	19.00
มิถุนายน 2544	7.00	1,975.15	54.93	527.75	157.00	7.18	1,085.95	29.70	120.50	19.50
กรกฎาคม 2544	7.06	1,870.84	48.82	536.20	133.00	7.28	1,151.32	39.50	137.60	26.20
สิงหาคม 2544	7.12	1,962.52	66.82	551.20	122.80	6.93	1,238.00	32.66	160.80	30.20
กันยายน 2544	7.10	2,000.24	49.30	576.40	139.80	7.29	1,665.12	26.08	195.40	28.20
ตุลาคม 2544	6.71	1,870.00	70.52	384.80	84.40	7.37	1,283.32	10.24	93.20	12.40
พฤศจิกายน 2544	7.42	1,992.64	43.46	459.20	115.00	7.28	1,183.48	17.67	134.00	23.80
ธันวาคม 2544	7.34	2,005.40	54.10	466.25	105.00	7.50	1,324.55	15.08	116.25	10.00
ค่าเฉลี่ย	7.15	1,943.22	50.79	496.40	121.00	7.27	1,302.95	23.16	139.17	20.34

2.7.1 ตะกั่ว (Lead : Pb)

ตะกั่ว (Lead : Pb) เป็นธาตุหมู่ 4 A ทุกธาตุในหมู่นี้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว ตะกั่วมีสถานะออกซิเดชัน +2 ที่เสถียร สมบัติทางกายภาพของตะกั่วประกอบด้วยรัศมีอะตอม (โคเวเลนต์) 154 pm รัศมีไอออน M^{+2} เป็น 120 pm ความหนาแน่น 11.3 กรัม/ลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,744 องศาเซลเซียส พลังงานการแตกตัวเป็นไอออนขั้นที่ 1+2 เป็น 2,167 กิโลจูล/โมล ขั้นที่ 1+2+3+4 เป็น 9,330 กิโลจูล/โมล สภาพไฟฟ้าลบเท่ากับ 1.55 การนำไฟฟ้าคือออกไซด์ของตะกั่วอยู่ในรูป PbO PbO_2 และ Pb_3O_4 ซึ่ง Pb^{2+} จะเสถียรกว่า Pb^{4+} เดคมอนออกไซด์หรือลิทาร์จได้จากการเผาตะกั่วในอากาศเป็นผงสีเหลือง ถ้าเผา PbO จะให้ Pb_3O_4 ($2PbO \cdot PbO_2$) หรือตะกั่วแดงใช้เป็นสารสีทาถนนนิม เลดไดออกไซด์สารสีน้ำตาลแก่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีสลายด้วยความร้อนให้ PbO และ O_2 ใช้ PbO_2 ในการทำแบตเตอรี่ และทำแก้วโดยใช้ PbO แทน CaO จะได้แก้วฟลินต์ มีดัชนีหักเหสูง ใช้ทำแก้วเจียรไน แก้วของตะกั่ว $2+$ โดยทั่วไปจะไม่ละลายน้ำ ยกเว้นแอสซิเตด และไนเตรท เมื่อละลายน้ำก็จะให้ไอออน Pb^{2+} ที่ถูกไฮเดรต Pb^{2+}_{aq} แก้วของตะกั่ว $2+$ ทุกชนิดละลายได้ในเบสจำนวนมากให้พลัมไบต์ $Pb(OH)_4^{2-}$

แร่ตะกั่ว เป็นแร่หนึ่งซึ่งได้มีการพบและนำมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศตั้งแต่สมัยโบราณ แหล่งแร่ตะกั่วที่เป็นแหล่งใหญ่ มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน ได้แก่ แหล่งแร่ตะกั่วในบริเวณอำเภอทองผาภูมิ สังขละบุรี และศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ถือได้ว่าเป็นแหล่งผลิตตะกั่วใหญ่ที่สุดของประเทศ แร่ตะกั่วที่พบเป็นแหล่งแร่ใหญ่ คือ แร่กาลินา (galena, PbS) มีสีและสีผงละเอียด เป็นสีเทาตะกั่ว มีความวาวแบบโลหะ มักพบเป็นรูปลูกบาศก์หรือลูกเต๋า อาจพบเห็นเป็นเม็ดเล็กๆ เกาะกันเป็นก้อนๆ มีความแข็ง 2.5 มีความถ่วงจำเพาะ 7.5

2.7.1.1 ประโยชน์ของตะกั่ว

- 1) ตะกั่วประมาณหนึ่งในสามของผลผลิตนำไปใช้ในรูปของตะกั่วออกไซด์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมสี เช่น สีแดง (red lead) สีเหลืองส้ม (litharge) และสีขาว (lead carbonate) ตะกั่วขาวและแดงใช้ในการทำสี ตะกั่วสีส้มเป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมกระจก เครื่องเคลือบบางชนิด
- 2) ใช้ทำหม้อแบตเตอรี่ และโลหะหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าต่างๆ ประมาณร้อยละ 25 ของผลผลิต
- 3) สารเตตระเอทิลเลด (tetraethyllead $Pb(C_2H_5)_4$) ซึ่งเป็นตัวเติมในน้ำมันเบนซินพลังสูง ในอัตรา 3 กรัมต่อแกลลอน และเพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบขึ้น (antiknock) ส่วนนี้

ใช้ประมาณหนึ่งในสาม นอกจากนี้เป็นการใช้ที่สูญเสียไปเลยไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เพราะเผาแล้วกลายเป็นไอ เป็นมลพิษ (pollution) ต่อสิ่งแวดล้อม แต่ปัจจุบันเลิกใช้แล้วในประเทศไทยและอีกหลายประเทศทั่วโลก

4) ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมทำท่อต่างๆ ตลอดจนทำพีวีซี

5) ใช้ในการผลิตกระสุนปืนต่างๆ

6) ใช้ในอุตสาหกรรมผสมโลหะผสมต่างๆ เช่น

- ตะกั่วผสมดีบุก เป็นโลหะบัดกรี (solder)
- ตะกั่วผสมพลวง เป็นโลหะตัวพิมพ์ (type metal)
- ตะกั่วผสมดีบุกและทองแดง เป็นโลหะพิวเตอร์ (pewter)
- ตะกั่วผสมบิสมัท ดีบุก และแคดเมียม เป็นโลหะผสมที่เรียกว่า Wood's alloy
- ใช้ในระบบสัญญาณไฟไหม้อัตโนมัติซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 70 องศาเซลเซียส (สุจิตร์ พิตรากุล, 2530)

นอกจากประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ตะกั่วยังมีประโยชน์ในแง่เป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์สำหรับเครื่องพิมพ์งานหรือนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์อีกด้วย

2.7.1.2 พิษของตะกั่ว

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

2.7.1.3 การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมและผลต่อมนุษย์ของตะกั่ว

ตะกั่วสามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมและมีผลต่อมนุษย์ได้หลายทางดังนี้

1) ในอดีตการผลิตสีจะผลิตจากสารประกอบตะกั่ว ดังนั้นที่มาที่สำคัญของโรคตะกั่วที่เป็นพิษน่าจะมาจากสีเก่าที่ผลิตไว้ เด็กรุ่นใหม่บางคนมีแนวโน้มที่จะกัดเคี้ยวสิ่งของ นิสัยชอบกินอาหารแปลกๆ ทำให้สีที่ประกอบด้วยตะกั่วถูกนำเข้าสู่ระบบย่อยอาหารโดยบังเอิญ

2) ท่อน้ำประปา ท่อประปาในบ้านส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมของสารตะกั่ว เนื่องจากตะกั่วเป็นโลหะที่หลอมง่ายทนต่อการกัดกร่อนสูง

3) ตะกั่วที่ใช้บัดกรี เช่น การใช้สารบัดกรีที่มีส่วนผสมของตะกั่ว ในกรณีที่มีการนำระบบทำน้ำร้อนมาใช้ในการบริโภค น้ำร้อนจะกัดเซาะตะกั่วจากสารบัดกรีที่ท่อได้ง่ายกว่าน้ำเย็น นอกจากนี้ตะกั่วที่ใช้บัดกรีอาหารกระป๋องโดยเฉพาะถ้าหากว่าอาหารถูกปล่อยไว้ในกระป๋องหลังจากเปิดกระป๋องแล้ว กระบวนการกัดเซาะจะละลายตะกั่วจากสารบัดกรีลงในอาหารได้

4) แบตเตอรี่รถยนต์ : แบตเตอรี่รถยนต์เก็บไฟแบบกรดตะกั่ว

5) เครื่องสำอางค์บางประเภทที่มีปริมาณตะกั่วสูง

6) ตะกั่วถ่วงเบ็ดของนักตกปลา ในประเทศอังกฤษ ตะกั่วถ่วงเบ็ดประมาณ 250 ตัน ถูกนักตกปลาปล่อยทิ้งลงในแม่น้ำสายต่างๆ ทุกปี ซึ่งจะมีผลต่อห่วงโซ่จะกลืนกินตะกั่วเหล่านี้เข้าไปและตายเพราะตะกั่วเป็นพิษ ซึ่งเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้หงส์ต้องตายไปเกือบ 3,000 ตัวต่อปี เมื่อปี ค.ศ. 1964 นายแพทย์มอนครีฟ (Moncrieff) และผู้ร่วมงานประจำโรงพยาบาลเกรท ออร์มอนด์ สตรีท ได้ตรวจสอบตัวอย่างเด็ก ๆ จำนวน 122 รายที่เป็นโรคปัญญาอ่อนขั้นรุนแรง และมีอาการผิดปกติทางจิตพบว่าเกือบครึ่งหนึ่งของเด็กเหล่านี้ระดับตะกั่วในเลือดค่าสูงกว่าปกติ หมายความว่า มีระดับตะกั่วอยู่เกิน 36 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตัวเลขนี้เป็นขีดสูงสุดที่พบในกลุ่มเด็กปกติที่นำมาใช้เปรียบเทียบ 86 คน

ผลกระทบของตะกั่วต่อทารกในครรภ์ได้ถูกชี้ให้เห็นชัดเจนจากรายงานการศึกษาตีพิมพ์เมื่อปี 1978 โดยแสดงให้เห็นว่าเด็กที่คลอดตายโดยเฉลี่ยจะมีปริมาณของตะกั่วในกระดูกสูงกว่าเด็กปกติ ตะกั่วมีผลต่อการทำให้แท้งบุตร ไบร-สมิทและผู้ร่วมงานในมหาวิทยาลัยริคคิงได้พบปริมาณสะสมของตะกั่วในเด็กที่คลอดตายมีค่าสูงกว่าในเด็กเกิดใหม่ในรอบชีวิต 5 - 10 เท่า (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2530)

Smith (1975) รายงานว่าปริมาณตะกั่วในดินและพืชจะเป็น Exponential function กับระยะห่างจากถนน จากรายงานของ Zimdahl (1975) พบว่าตะกั่วอยู่ในรูปที่พืชใช้ไม่ได้ และพืชจะได้รับธาตุตะกั่วทางรากได้เพียง 0.03 - 0.005% ในปี ค.ศ.1977 Krause ได้ทดลองพ่นสาร

ประกอบออกไซด์ของตะกั่วที่ไม่ละลายน้ำที่ใบของพืช พบว่าพืชสามารถดูดซับสารประกอบตะกั่วได้ และสรุปว่าพืชได้รับสารตะกั่วจากบรรยากาศได้ทางใบมากกว่าทางราก

จากรายงานการวิจัยโครงการวิจัยศึกษาสมบัติซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับความเป็นพิษของดินในกรุงเทพมหานคร โดยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (นวลฉวี และ วิชัย, 2521) กล่าวถึงปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในพืชว่าจากการวิเคราะห์ผักจากร่องผักบริเวณ โอศกดินแดง พบว่าผักคะน้ามีปริมาณตะกั่วมากกว่าผักขม และในใบพุทธรักษาซึ่งเก็บจากรั้วบ้าน พบปริมาณตะกั่วสูงถึง 389.3 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งรายงานนี้ชี้ให้เห็นว่าพืชมีความสามารถในการดูดซึมโลหะหนักเข้าไปในต้นพืชเองได้

กรณีเด็กหญิงซึ่งอาศัยอยู่หมู่บ้านที่ 8 ตำบลบางครุ อำเภอพระประแดง เสียชีวิตลง และแพทย์วินิจฉัยว่าสาเหตุการตายครั้งนี้เกิดจากสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมากเกินไป จากสภาพหมู่บ้านพบว่า มีผู้นำเอาขี้เถ้าที่ขอมมาจากโรงงานหลอมแบตเตอรี่รถยนต์เก่าๆ มาถมถนนในหมู่บ้าน พบว่า ผู้ที่อยู่ในหมู่บ้านดังกล่าวส่วนใหญ่มีปริมาณตะกั่วในเลือดสูงกว่าระดับปกติมาก จากการศึกษาพบว่า

- 1) ระดับตะกั่วในดิน ที่ผิวบริเวณที่ถมกากแบตเตอรี่จะพบปริมาณตะกั่วสูงกว่าถนนที่ไม่ได้ถูกถม นอกจากนี้ระดับของตะกั่วในบริเวณข้างถนนก็จะมีค่าสูงมาก
- 2) น้ำที่ชาวบ้านนำมาซักผ้ามีตะกั่วอยู่ในระดับ 0.01 ส่วนในล้านส่วน น้ำจากหนองน้ำมีตะกั่ว 0.12 ส่วนในล้านส่วน น้ำบาดาลที่ห่างจากถนน 20 เมตร มีตะกั่ว 0.02 ส่วนในล้านส่วน
- 3) ระดับตะกั่วในพืชพบว่า โหระพามีระดับตะกั่วสูงสุดเมื่อเทียบกับผักบุ้ง และผักคะน้า
- 4) ระดับตะกั่วในปลาและหอย ปลากระดี่มีระดับตะกั่ว 16.5 – 33.6 ส่วนในล้านส่วน
- 5) ระดับตะกั่วในเลือดเด็กอยู่ในช่วง 0.15 – 5.40 ส่วนในล้านส่วน โดยเฉลี่ย 1.28 ส่วนในล้านส่วน

ตะกั่ว เป็นโลหะมีพิษที่สามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ ตะกั่วนั้นมีอยู่ทั้งในรูปสารตะกั่วอินทรีย์และอนินทรีย์ ตะกั่วอนินทรีย์เป็นตะกั่วที่เป็นโลหะหรือสารประกอบ เช่น ตะกั่วออกไซด์ และตะกั่วซัลเฟต ส่วนตะกั่วอินทรีย์ คือ Alkyl Lead ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

ตะกั่วอนินทรีย์ทำให้เกิดพิษเฉียบพลันและเรื้อรังต่อระบบประสาท การได้รับพิษนั้นเกิดจากการหายใจเอาฝุ่น ไอ หรือควันของตะกั่วเข้าไป จะทำให้เกิดอาการปวดท้อง เบื่ออาหาร ถ้าได้รับมากๆ จะทำให้กล้ามเนื้อหมดแรง เกิดตะคริว และมีผลต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง ถ้าสัมผัส

ตะกั่วต่างๆ จะพบว่ามีสารสะสมของตะกั่วในกระดูก ในเลือด ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซม และอาจทำให้เกิดการแท้งในหญิงมีครรภ์ ตะกั่วอาจทำให้เกิดโรคจากสารตะกั่ว (lead poisoning) โรคที่เกิดจากการดูดซึมสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคโลหิตจาง อาการท้องผูก อาการจุกเสียด อัมพาต เป็นตะคริว ตะกั่วอินทรีย์ทำให้เกิดโรคโลหิตจางเนื่องจากตะกั่วส่วนตะกั่วอินทรีย์จะเป็นอันตรายต่อระบบประสาท

2.7.2 ปรอท (Mercury : Hg)

ปรอท (Mercury : Hg) เป็นธาตุหมู่ 2 B ซึ่งอยู่ท้ายสุดของแถว d ในตารางพีริออดิก ปรอทเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงินในสภาพที่มีความบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิปกติจะมีสถานะเป็นของเหลว ปรอทแบ่งออกได้เป็นหลายรูปแบบ คือ ปรอทในรูปโลหะ (metallic form) ปรอทในรูปสารอนินทรีย์ (inorganic mercury compound) และปรอทในรูปสารประกอบอินทรีย์ (organic mercury compound) ปรอทที่อยู่ในรูปของโลหะโดยมากเป็นพวกบริสุทธิ์ไม่ผสมกับสารอื่น ปรอทมีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) 200.59 รัศมีอะตอม เท่ากับ 157 pm รัศมีไอออน เท่ากับ 110 pm ความหนาแน่น 13.546 กรัม/ซีซี ที่ 20 องศา จุดเดือด 356.9 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็ง -38.87 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 13.545 สภาพไฟฟ้าลบเท่ากับ 1.44 เลขออกซิเดชันเป็น +1 และ +2 ความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ ปรอท Hg^{2+} ไม่มีไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนต เกลือของปรอทส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ ยกเว้นซัลไฟด์ ไอโอไดด์ ฟอสเฟต และออกซาลเลต HgS มีสภาพการละลายต่ำมาก ($K_{sp} = 1.6 \times 10^{-10}$) และยังไม่ละลายใน HNO_3 เข้มข้นที่ร้อนแต่ละลายในแอสซอร์เจียเพราะเกิดไอออนเชิงซ้อน $(HgCl_2)_2^-$ $HgCl_2$ เป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ ระเหิดง่าย หลอมเหลวแล้วไม่นำไฟฟ้า ละลายน้ำได้ดี แต่ในสารละลายไม่ค่อยแตกตัวเป็นไอออน $HgCl_2$ ถูกรีดิวซ์ได้ง่าย Sn^{2+} ใช้ตรวจหา Hg^{2+} (หรือ Hg^{2+} โดยเปลี่ยนเป็น $HgCl_2$ เสียก่อน) ผลผลิตของรีดักชันอาจเป็นตะกอนขาว Hg_2Cl_2 หรือปรอท แล้วแต่ว่าจะใช้ปริมาณ Sn^{2+} น้อยหรือมาก สารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และซัลไฟด์ของ Hg^{1+} ไม่เคยปรากฏ สารประกอบที่เสถียร (ในสารละลาย) ได้แก่ Hg_2X_2 ($X = Cl, Br, I$) และ Hg_2SO_4 ในสารละลายน้ำ Hg^{1+} ไม่ดีสพรอพอร์ชันเนตไปเป็น Hg^{2+} แต่สารใดก็ตามที่สามารถลดความเข้มข้นของ Hg^{2+} ในสารละลายโดยทำให้เกิดสารที่ไม่ละลายหรือเกิดสารเชิงซ้อนเป็นต้น อาจเกิดการดีสพรอพอร์ชันเนตได้ทั้งนั้น (หลักของเลอ ชาเตอริเอ) ดังนั้นสารจำนวนมากชนิด เช่น ไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ และลิแกนด์ส่วนใหญ่ทำให้ Hg^{1+} ดีสพรอพอร์ชันเนตได้เหลือ Hg^{1+} ทุกชนิดไม่ละลายน้ำยกเว้นในกรด และเพอร์คลอเรตไอออน Hg^{1+} เป็นอะตอมคู่ประกอบด้วยอะตอมของ Hg 2 อะตอมมีพันธะต่อกัน

2.7.2.1 ประโยชน์ของปรอท

ปรอทสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่ง (catalyst) ในกระบวนการทางเคมีต่างๆ อีกด้วย
- 2) ใช้ในด้านการแพทย์ คือ ส่วนผสมของยารักษาโรคหลายชนิด ใช้ในการอุดฟันและเป็นองค์ประกอบในเครื่องมือแพทย์ เช่น เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความดันโลหิต (blood pressure) เป็นต้น
- 3) ใช้ในด้านการเกษตร คือ สารประกอบของปรอททั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ใช้เป็นยาปราบศัตรูพืช และยาฆ่าเชื้อราในพืชทำให้ป้องกันเชื้อราที่เกิดกับเมล็ดพืชที่เก็บรักษาไว้นานๆ ได้
- 4) ใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้า อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมผลิตสี อุตสาหกรรมผลิตน้ำยาซักแห้ง อุตสาหกรรมผลิตคลอรีนและโซดาไฟ และอุตสาหกรรมทำขนเฟอร์ เป็นต้น
- 5) ใช้ประโยชน์ทางการทหาร คือ เป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งในการทำระเบิด

2.7.2.2 การเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ของปรอท

ปรอทเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ

- 1) ทางผิวหนัง สารประกอบของปรอทสามารถซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายได้ ทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังและกล้ามเนื้อบริเวณนั้น อาการเริ่มแรกจะรู้สึกระคายเคือง คัน และอักเสบในบริเวณที่สัมผัสกับสารประกอบของปรอท ถ้าสารประกอบปรอทซึมเข้าไปมากๆ กล้ามเนื้อส่วนนั้นอาจตายได้ สำหรับผู้ที่ต้องสัมผัสกับสารนี้อยู่เสมออาจจะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับไขข้อ และกล้ามเนื้ออักเสบ
- 2) การเข้าสู่ร่างกายทางปากโดยปรอทปนมากับอาหาร หรือยาที่มีสารประกอบของปรอทผสมอยู่ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปเกินความต้านทานของร่างกายจะเกิดโทษต่อระบบทางเดินอาหาร ทำให้ระบบทางเดินอาหารอักเสบ ปวดกระเพาะ อาเจียนบ่อยครั้งและมีเลือดปนออกมาด้วย
- 3) โดยการหายใจเอาไอปรอทที่มีอยู่ในอากาศเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งจะซึมเข้าสู่ปอดแล้วซึมผ่านไปในระบบโลหิตและสะสมอยู่ในอวัยวะต่างๆ ส่วนใหญ่มักสะสมที่ไต เพราะไตเป็นส่วนที่เลือดผ่านมากที่สุด ถ้ามีเกินความต้านทานของร่างกายก็จะทำให้เกิดพิษขึ้น อาจจะถึงตายถ้า

ไตไม่ทำงาน เนื่องจากไม่สามารถขับปัสสาวะออกได้ ส่วนสารปรอทที่สะสมอยู่ในสมองก็จะเป็นอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง อาจทำให้เป็นอัมพาตได้

2.7.2.3 ความเป็นพิษของปรอท

สารปรอทเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเป็นพิษภัยมาก เพราะปรอทจะไปจับตัวแบบพันธะโคเวเลนต์กับโปรตีน ซึ่งจับถ่ายออกไปได้ช้ามาก พิษภัยที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ของปรอทนี้ จะทำให้ผนังเนื้อเยื่อต่างๆ มีความซึมซาบผ่านได้ยาก เป็นเหตุให้เซลล์แห่ง เหตุการณ์ที่ร้ายแรงที่พบในประเทศญี่ปุ่น เมื่อชาวประมงจำนวน 111 คน ที่กินปลาและหอยจากอ่าวมินามาตะ (Minamata) ในเกาะกิชู (Kyu-Shu) ระหว่างปี พ.ศ.2499 – 2503 มีอาการนิ้วมือนิ้วเท้าชา ตาฟาง หูตึง เดินไม่ตรงทาง รายที่มีอาการรุนแรงจะไม่ตอบสนองทางอารมณ์และบังคับกล้ามเนื้อไม่ได้ ในปี พ.ศ.2502 พบว่าเกิดจากสารพิษที่ปล่อยจากโรงงานที่อยู่ใกล้ๆ อ่าวนั้น ซึ่งมีทั้งร่องรอยของโลหะปรอท สารประกอบอนินทรีย์ของปรอท และไดเมทิลเมอร์คิวรีอีกเล็กน้อย สารไดเมทิลเมอร์คิวรีสามารถเปลี่ยนมาจากสารประกอบอนินทรีย์ของปรอท โดยสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ที่กินอ่าวและสะสมตัวอยู่ในปลาและหอย และเพิ่มมากขึ้นทุกที เมื่อผู้เคราะห์ร้ายบริโภคปลาซึ่งมีสารปรอทอยู่ถึง 50 ส่วนในล้านส่วนเข้าไป พิษปรอทจึงไปทำลายระบบประสาทส่วนกลางอย่างร้ายแรง หงุดหงิดคร่ำครวญให้บุตรที่เป็นโรคปรอทเป็นพิษตั้งแต่แรกเกิด

อันตรายหรือพิษของปรอทนั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบของสารปรอทที่พบ การสูดไอปรอทเข้าสู่ปอดทำให้เกิดอันตรายได้ นอกจากนี้ไอปรอทยังสามารถซึมผ่านเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังได้ การกลืนปรอทเหลวเข้าไปจะมีอันตรายน้อยกว่าการสูดเอาไอปรอทเข้าไป เนื่องจากปรอทเกือบทั้งหมดจะผ่านระบบการย่อยไปโดยไม่ถูกดูดซึมเลย

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกศรา นุतालย์ และคณะ (2531) ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากพีท (peat) ที่ได้จากจังหวัดนราธิวาส โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ในครุฑิเบิลกราไฟต์ที่ให้ความร้อนด้วยเตาเผา (muffle furnace) และวิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมตัวยั้งยวดในเตาเผาแบบหมุน (rotary kiln) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร การกระตุ้น $ZnCl_2$ ทำโดยแช่พีทที่บดละเอียดและผ่านร่ง (sieve) 60 เมช (Mesh) แล้ว ในสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของพีทต่อสารละลาย $ZnCl_2$ คือ 1:2.5 และ 1:4.0 ที่อุณหภูมิ 400 และ 600 องศาเซลเซียส แปรเวลาดั้งแต่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 ชั่วโมง แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ในเตาเผา (muffle furnace) ผลการทดลองพบว่าการใช้

ZnCl₂ อัตราส่วน 1:4 กระตุ้นที่ 600 องศาเซลเซียส เวลามากกว่า 0.5 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์ในทางการค้า คือ ค่าการดูดซับไอโอดีน 1,200 ถึง 1,300 mg/g, ค่าการดูดซับเมทธิลิน 200 ถึง 300 mg/g, พื้นที่ผิวอนุภาค 1,200 ถึง 1,500 m²/g และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (yield) ร้อยละ 49 ถึง 54 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมพัลส์ยังยวดทำโดยนำฟิวส์ผ่านแรงขนาด 60 เมช มาผสมกับน้ำแป้งมันสำปะหลังสุกเข้มข้น 0.04 กรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณที่ใช้ คือ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินพรุ อัดให้เป็นเม็ด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร อบให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ที่ 500 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกระตุ้นในเตาเผาแบบหมุนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเบด 10 เซนติเมตรและยาว 35 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส แปรเวลา 1, 2, 3, 4 ชั่วโมง ความดันไอน้ำ 20 พีเอสไอจี (psig) ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับที่สูงที่สุด คือ ค่าไอโอดีนประมาณ 1,200 mg/g, ค่าเมทธิลินบลูประมาณ 295 mg/g, พื้นที่ผิวอนุภาค 881 m²/g และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ร้อยละ 8

ชนิตา เสมรัตต์ (2543) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดซับผิว โดยสารดูดซับผิวที่ใช้ คือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อย โดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ ผลการทดลองพบว่าถ่านกะลาไม่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานโดยพิจารณาจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับผิวแบบฟรอนดลิส ส่วนถ่านกัมมันต์และถ่านชานอ้อยมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งาน

นเรศ จันทร์เทียนและคณะ (2534) ศึกษาความเป็นไปได้ ที่จะนำกะลาตาลโดนดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ โดยใช้ไอน้ำอิมพัลส์ยังยวดในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด และ ZnCl₂ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำอิมพัลส์ยังยวดในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบดทำโดยคาร์บอนไนซ์กะลาตาลโดนดในเตาเผา (buffle furnace) ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คัดขนาดถ่าน 2 – 5 มิลลิเมตร เพื่อนำมากระตุ้นในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกที่ทำจากสแตนเลสเบอร์ 316 หนา 4 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ค่าการดูดซับเมทธิลินบลูสูงประมาณ 0.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 600 มิลลิกรัมต่อกรัม การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย ZnCl₂ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ทำโดยคาร์บอนไนซ์กะลาตาลโดนดในเครื่องปฏิกรณ์ มีเบดทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 17 x 19.5 x 53 เซนติเมตร ซึ่งมีส่วนให้ความร้อนเป็นขดลวดให้ความร้อน ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นคัดขนาดถ่าน 2 – 5 มิลลิเมตร เพื่อนำมาแช่ในสารละลาย ZnCl₂ เข้มข้นร้อยละ 50 ใช้

อัตราส่วนของถ่าน 3 กรัมต่อสารละลาย $ZnCl_2$ 9 มิลลิลิตร นำไปกระตุ้นด้วยเตาเผา (buffle furnace) ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ค่าเมทริลินบลู ประมาณ 362 – 376 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 1,088 – 1,117 มิลลิกรัมต่อกรัม

บุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ (2534) เป็นการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากพีทไทยที่บดผ่านตะแกรงขนาด 8 มิลลิเมตร และพีทญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงขนาด 5 และ 8 มิลลิเมตร แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ในเครื่องคาร์บอนไนเซอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด ที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส อัตราการผ่านอากาศ 100 ลิตรต่อนาที และในเครื่องคาร์บอนไนเซอร์แบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมตัวยั้งยวดในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบดซึ่งทำด้วยสแตนเลส เบอร์ 316 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 44 มิลลิเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 850 และ 900 องศาเซลเซียส แปรเวลา 10, 20, 30, 40 นาที พบว่า ถ่านกัมมันต์จากพีทไทย มีพื้นที่ผิว B.E.T. 383.4 – 623.5 ตร.ม./ก., ค่าการดูดซับเมทริลินบลู 58.2 – 227.0 มก./ก. และค่าการดูดซับไอโอดีน 662.9 – 1,003.8 มก./ก. ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น มีพื้นที่ผิว B.E.T. 243.2 – 510.4 ตร.ม./ก., ค่าการดูดซับเมทริลินบลู 64.1 – 191.0 มก./ก. และค่าการดูดซับไอโอดีน 442.0 – 832.3 มก./ก. สรุปผลการทดลองได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงต่างกัน มีคุณสมบัติคล้ายกันและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบฟลูอิดไคซ์เบดมีคุณสมบัติการดูดซับดีกว่าถ่านที่ผลิตจากเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบเบดนิ่ง ในการทดลองนี้ยังได้ทดลองลดปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 5 โดยต้มให้เดือดประมาณ 20 นาที ผลการทดลอง คือ ค่าเถ้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด และถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทญี่ปุ่นมีคุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทไทย ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทญี่ปุ่นมีค่าเถ้าสูงมาก (ร้อยละ 30 – 50) จึงมีผลให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับลดลง เมื่อนำไปล้างเถ้าออก คุณสมบัติในการดูดซับจึงเพิ่มขึ้น ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทไทยมีค่าเถ้าไม่สูงมากนัก (ร้อยละ 10 – 15) จึงมีผลต่อการดูดซับน้อย

ประกฤต เลิศจรสวรรค์ (2539) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ชีลื้อย ฟางข้าว และขุยมะพร้าว ผลการศึกษาพบว่า ขุยมะพร้าวที่ความเข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณ 0.20 กรัม ความสามารถในการกำจัดไอออนของตะกั่ว และไอออนของปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ สามารถที่จะกำจัดได้ 80% และ 78% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ชีลื้อยและฟางข้าว พบว่า ขุยมะพร้าวมีความสามารถในการกำจัดไอออนของโลหะหนักได้ดีกว่าชีลื้อยและฟางข้าว สำหรับน้ำเสียจากโรงงานแบตเตอรี่ที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 0.3 – 0.7 ส่วนในล้านส่วน พบว่า ชีลื้อย ฟางข้าว และขุยมะพร้าวสามารถกำจัดไอออนของตะกั่วได้เกือบ 100%

พงศธร ใ้วคชาภรณ์ (2538) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพดรวมทั้งศึกษาคุณสมบัติและการใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่าขังข้าวโพดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้ คุณสมบัติของถ่านที่ทำการวิเคราะห์ คือ ค่าไอโอดีน ค่าการฟอกสีเมธิลีนบลู ความชื้น ปริมาณร้อยละของผลผลิต พื้นที่ผิว จากการทดลองพบว่า ขังข้าวโพดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิ 400 °C เวลาการเผา 3 ชั่วโมง มีปริมาณร้อยละของผลผลิตคือ 62.82 ค่าไอโอดีน 800 – 900 มก./ก. ค่าการฟอกสีเมธิลีนบลู 120 – 180 มก./ก. พื้นที่ผิว 1,000 ตร.ม./ก. ประสิทธิภาพการฟอกสีปานกลาง

พิศุทธิ์ พันธุ์ชาติกุล และ สมิทธิ์ รัตนสุทธิพงษ์ (2535) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาล ขนาด 3.35 – 6 และ 1.40 – 3.35 มิลลิเมตร โดยใช้ $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ 50 เป็นสารกระตุ้น น้ำหนักของสารละลาย $ZnCl_2$ ต่อวัตถุดิบเท่ากับ 2:1 แปรอุณหภูมิที่ใช้ คือ 400, 450 องศาเซลเซียส และแปรระยะเวลาที่ใช้ คือ 2,3 ชั่วโมง เครื่องแอกติเวเตอร์ที่ใช้เป็นแบบฟลูอิดซ์ที่ใช้อากาศเป็นตัวกลาง ความเร็วของอากาศที่ใช้ คือ 0.8 – 1.1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพต่ำ ทั้งนี้เพราะใช้อุณหภูมิสูงเกินไป เนื่องจากกะลาตาลโดนด่างและเหนียวมาก จึงบดให้มีขนาดเล็กไม่ได้ ประกอบกับใช้อากาศเป็นตัวกลางแทนที่จะใช้ก๊าซไนโตรเจน ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนแข่งกับปฏิกิริยาของ $ZnCl_2$

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

อนุชิต กิจสวัสดิ์ (2520) ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบผสมกับ $ZnCl_2$ อัตราส่วน 1:2.5 เวลาในการคาร์บอนไนซ์ คือ 1 ชั่วโมง แปรอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ตั้งแต่ 300, 400, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส โดยนำแกลบที่ผสม $ZnCl_2$ ใส่ลงในถ้วยกรไฟต์ แล้วนำไปวางไว้ในเตาเผา ทั้งนี้ได้สรุปผลการทดลองไว้ว่า อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเมทธิลีนบลูได้ดีที่สุด แต่ไม่ได้แสดงค่าที่ได้จากการทดลองไว้ในรายงาน

อุไรวรรณ ชรรมรัตน์พคุณ (2523) ได้ทดลองคาร์บอนไนซ์กะลามะพร้าวในถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร แล้วนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำอ้อมตัวยิ่งยวดในเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ปลายแต่ละด้านปิดด้วยตะแกรงเพื่อป้องกันมิให้ถ่านหลุดออกไป ท่อหมุนในแนวอนด้วยอัตรา 4 รอบต่อนาที สภาพที่ใช้คือ ถ่านขนาด 4 – 10 เมช (2.00 – 4.76 มิลลิเมตร) ครั้งละ 500 กรัม อุณหภูมิ 700 – 1,050 องศาเซลเซียส แปรเวลาดั้งแต่ 30, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 90, 105, 110 และ 130 นาที ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นโดยใช้เวลา 30 ถึง 130 นาที มีคุณภาพดังต่อไปนี้ คือ ค่าการดูดซับไอโอดีน 1,540 mg/g, ค่าการดูดซับเมทธิลินบลู 5 – 371 mg/g, ค่าความแข็ง 30 – 92, ความหนาแน่นปรากฏ 0.31 – 0.59 g/cm³

Johnson and et al. (1977) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากผงถ่านหินขนาด 8 x 30 เมช ความหนาแน่นปรากฏเท่ากับ 0.735 โดยอบเม็ดถ่านหินให้แห้ง แล้วนำไปกระตุ้นด้วยก๊าซผสมระหว่างไอน้ำอ้อมตัวยิ่งยวดและก๊าซไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 2.5 และ 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 760 ถึง 860 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที นอกจากนี้ยังได้ทดลองล้างผงถ่านหินด้วยกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 10 ก่อนนำมากระตุ้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพถ่านกัมมันต์ด้วย ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลการทดลองของ Johnson et al.

การวิเคราะห์	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้	
	ไม่ล้าง	ล้าง
ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	615	655
ค่าการดูดซับโมลาส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	315	299
ค่าการดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	3.62	3.00
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.477	0.506
ค่าเถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	8.57	8.12

ที่มา : Johnson, B.C. , 1977

ตารางที่ 2.6 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองของ Kirubakaran, C.J.

ตัวแปรที่ศึกษา	แบบเบตหนึ่ง	ฟลูอิดซ์เบต
1. ขนาดอนุภาค (d_p), มม.	0.25 – 0.4, 0.4 – 0.63, 0.63 – 0.8, 0.8 – 1.0, 1.0 – 1.2	0.25 – 0.4, 0.4 – 0.63, 0.63 – 0.8, 0.8 – 1.0, 1.0 – 1.2
2. อุณหภูมิการกระตุ้น (T), °C	300, 400, 500, 600, 700, 800	300, 400, 500, 600, 700, 800
3. เวลากระตุ้น (t), นาที	30, 60, 90, 120, 150, 180	30, 60, 90, 120, 150, 180
4. สารละลายที่ใช้	H ₃ PO ₄ / ZnCl ₂	H ₃ PO ₄ / ZnCl ₂
5. ตัวกลาง	Air / N ₂ / CO ₂	Air / N ₂ / CO ₂

ที่มา : Kirubakaran, C.J., 1991

ผลการทดลอง พบว่า การกระตุ้นในฟลูอิดซ์เบต จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีนและการดูดซับฟินอลสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ใน 30 นาทีแรก จากนั้นจะค่อยๆ สูงขึ้นอย่างช้าๆ และลดลงเมื่อใช้เวลาในการกระตุ้นมากกว่า 120 นาที สำหรับการกระตุ้นในเบตหนึ่ง พบว่า คุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีนและฟินอล จะค่อยๆ สูงขึ้นอย่างช้าๆ และสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสม คือ 2 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการผลิตทั้งสองวิธี พบว่า การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในฟลูอิดซ์เบตสูงกว่าในเบตหนึ่ง ส่วนในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดซ์เบต สามารถกระตุ้นวัสดุขบขนาดใหญ่ได้ดีกว่าในเบตหนึ่ง ทั้งนี้เพราะทุกๆ ส่วนของผิววัสดุขบสามารถใช้ในการเกิดปฏิกิริยาได้ จากผลการทดลองพบว่าในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดซ์ ควรใช้วัสดุขบที่มีขนาด 0.515 มิลลิเมตร สำหรับผลของอุณหภูมิ ถ้าพิจารณาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเท่ากัน จะพบว่าการผลิตถ่านกัมมันต์ในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดซ์ ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าในเบตหนึ่ง ทั้งนี้เพราะสามารถถ่ายเทมวลและความร้อนได้ดีกว่า สำหรับการกระตุ้นด้วย H₃PO₄ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับฟินอลจะลดลง ซึ่งอาจเกิดจากรูพรุนขนาดเล็ก (micropore) ถูกทำลายไป แต่ไม่มีผลกับค่าการดูดซับไอโอดีน สำหรับการกระตุ้นด้วย ZnCl₂ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนและฟินอลจะสูงขึ้น ซึ่งจะตรงข้ามกับการกระตุ้นด้วย H₃PO₄ ทั้งนี้เชื่อว่าเกิดจากการที่ ZnCl₂ (732 องศาเซลเซียส) มีจุดเดือดสูงกว่า H₃PO₄ (213 องศาเซลเซียส) และพบว่าปริมาณสารกระตุ้นเพิ่มขึ้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีคุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้น ทั้งในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดซ์เบตและเบตหนึ่ง ทั้งนี้คุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 25 จากนั้นคุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อปริมาณสารกระตุ้นเพิ่มขึ้น และพบว่าการกระตุ้นด้วย ZnCl₂ จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย H₃PO₄ ประมาณ 2 เท่า

และผลของตัวกลางที่ใช้ในการฟลูอิดซ์ พบว่าการใช้ก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลางจะช่วยให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีคุณสมบัติในการดูดซับสูงกว่าการใช้อากาศเป็นตัวกลาง เช่น การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารกระตุ้น และผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลาง พบว่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์มีค่า 1,100 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลาง การดูดซับมีค่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อใช้อากาศเป็นตัวกลาง การดูดซับเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อกรัม

Lua AC and Guo J (2000) ได้ทำการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยใช้วิธีแอคติเวทด้วย CO_2 แบบขั้นตอนเดียว พบว่าขนาดของอนุภาคของกะลาปาล์มเริ่มต้นและอัตราการให้ความร้อน ไม่มีผลต่อพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์อย่างมีนัยสำคัญ แต่อัตราการไหลของ CO_2 มีผลอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแอคติเวท คือที่ อุณหภูมิ $850\text{ }^{\circ}C$ และใช้เวลา 2 ชั่วโมง โดยพบรูพรุนสูงสุด $942\text{ m}^2/g$

Ninoniya and et al. (1974) ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร นำมาคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำมาผสมกับอะลูมินาขนาดอนุภาค 0.12 มิลลิเมตร ซึ่งเกี่ยวข้องปฏิกิริยา ปริมาณ 1.2 เท่าของถ่านไม้เริ่มต้น เพื่อให้ความเร็วของก๊าซร้อนผสมกับไอน้ำยิ่งยวดในการเกิดฟลูอิดซ์ต่ำลง จากนั้นนำไปกระตุ้นด้วยอัตราการป้อนวัตตุดิบ 272 กรัมต่อชั่วโมง ในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิดซ์เบดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเบด 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร โดยทำให้เกิดการฟลูอิดซ์ด้วยก๊าซผสมระหว่างอากาศกับไอน้ำอิมตัวยิ่งยวด อุณหภูมิ 1,360 องศาเซลเซียส ที่มีไอน้ำร้อยละ 58 โดยปริมาตร ความเร็วของตัวกลาง 20 เซนติเมตรต่อวินาที และอุณหภูมิภายในเบด 805 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณสมบัติความหนาแน่นแพคกิ้ง (packing density) 448 กรัมต่อลิตร ค่าการดูดซับเบนซีน ร้อยละ 38.2 โดยน้ำหนัก ค่าการดูดซับไอโอดีน 1,230 มิลลิกรัม/กรัม ค่าความแข็ง 99.3% และปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ 158 กรัมต่อชั่วโมง

P.M. Satya Sai and Jeleel Ahemed (1997) ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดซ์เบด โดยใช้ไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกระตุ้นในเครื่องกระตุ้นแบบฟลูอิดซ์เบดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ทำการศึกษาถึงผลของเวลา, ความเร็วของก๊าซฟลูอิดซ์ (fluidizing velocity), ขนาดของถ่านกะลามะพร้าว, ความสูงของเบด (static bed height), อุณหภูมิในการกระตุ้น, ชนิดก๊าซตัวกลางในการฟลูอิดซ์ (fluidizing medium) และลักษณะของกะลามะพร้าวเริ่มต้นที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้โดยวัดค่าไอโอดีนและพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนทั้งหมด จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดซ์เบดจะมีคุณภาพสูงกว่าการผลิตด้วยวิธีการธรรมดาทั่วไป และสภาวะที่เหมาะสมใน

การผลิตถ่านกัมมันต์ คือ ใช้กะลามะพร้าวขนาด 1.55 มิลลิเมตร กระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง โดยมีไอน้ำเป็นตัวกลางในการฟลูอิดซ์ด้วยความเร็ว 4.0 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการฟลูอิดซ์ ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 1,382 มิลลิกรัมต่อกรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนทั้งหมดเท่ากับ 4,300 ตารางเมตรต่อกรัม

Rengaraj S. and et al. (2000) ได้ทำการศึกษาถึงการดูดซับ O-cresol โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากกะลาปาล์ม พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มสามารถลด O-cresol จากสารละลายได้ถึง 95% ในสภาวะที่เหมาะสมและมีความสามารถในการดูดติดผิว เมื่อคำนวณโดยใช้ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟลูนดิช เท่ากับ 19.58 mg/g ของ O-cresol



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

การทดลองดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการมูลฝอย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับและประสิทธิภาพในการลดปริมาณ
โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่วและปรอท (Pb, Hg) ออกจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้
น้ำทิ้งจากโรงงาน ไทยโทเรเท็กซ์ไทมิลลส์ จำกัด (มหาชน) อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ด้วย
กระบวนการดูดซับ โดยใช้สารดูดซับ 3 ชนิด ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม ถ่านกัมมันต์
ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งในการทดลองจะแบ่งออก
เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

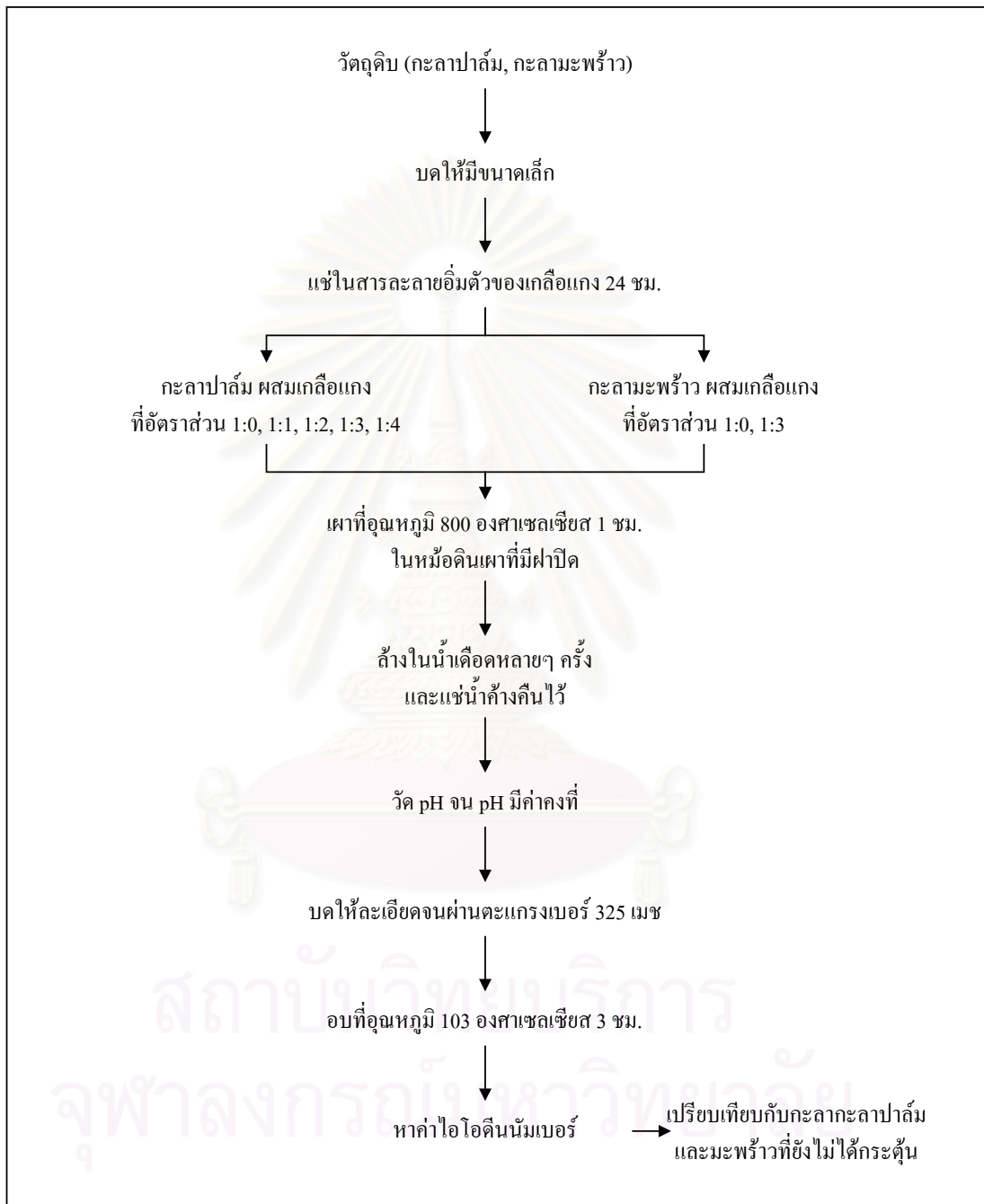
1. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว
2. การศึกษาลักษณะทางกายภาพจากถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้
3. การศึกษาความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด โดยการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm)
4. การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองแบบถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column) ซึ่งทำการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวเพื่อนำไปใช้ในการ
ทดลองต่อไป มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (รูปที่ 3.1)

- 1) นำวัตถุดิบ คือ กะลาปาล์มและกะลามะพร้าวมาล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง
เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวของวัตถุดิบ หลังจากนั้นให้นำมาตากแดดให้แห้ง



รูปที่ 3.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว

- 2) นำกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวมาบดให้มีขนาดเล็กพอสมควร
- 3) นำกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวมาแช่ในสารละลายอิ่มตัวของเกลือแกง (NaCl) 24 ชั่วโมง
- 4) กรองกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวที่ได้จากข้อ 3) โดยใช้ตะแกรงกรอง และนำไปตากลมให้แห้ง
- 5) นำวัตถุดิบที่ได้ในข้อ 2) เข้าสู่กระบวนการคาร์บอนไนซ์และการกระตุ้นโดยการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับกะลามะพร้าวทำการเผาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง เท่ากับ 1:0 และ 1:3 ส่วนกะลาปาล์มทำการเผาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงเท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 การเผาจะทำการเผาในหม้อดินเผาที่ปิดฝา
- 6) หลังจากการเผา นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้างด้วยน้ำเดือดหลายๆ ครั้ง และแช่น้ำค้างคืนไว้ 1 คืน เพื่อล้างเกลือแกงที่เหลือจากการเผาและติดค้างอยู่บนวัตถุดิบจนหมด โดยสามารถดูได้จากการวัด pH ของน้ำล้างถ่านซึ่งมีค่าคงที่จากการวัดในน้ำล้างหลายๆ ครั้ง
- 7) การนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาบดให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เมช
- 8) นำถ่านกัมมันต์ที่บดละเอียดไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (desicator)
- 9) นำถ่านที่อบแห้งแล้วไปวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนเพื่อหาอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อเกลือแกงที่เหมาะสมต่อไป นอกจากนี้จะทำการหาค่าไอโอดีนของกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวที่ยังไม่ได้ทำการกระตุ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบกับ วิธีการหาค่าไอโอดีน แสดงดังภาคผนวก ข.

3.2.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้บดจนร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 ซึ่งจะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.59 – 2.38 มิลลิเมตร ไปวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ คือ พื้นที่ผิว (surface area), ปริมาตรโพรง (pore volume), ขนาดโพรงเฉลี่ย (average pore size) โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยวิธีการดังต่อไปนี้

- พื้นที่ผิว (surface area)
- ปริมาตรโพรง (pore volume)
- ขนาดโพรงเฉลี่ย (average pore size)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer-Emmett-Teller) โดยการวัดปริมาณก๊าซในโตรเจนที่ถูกดูดเก็บไว้โดยถ่านกัมมันต์ (รูปที่ 3.2)

- ขนาดประสิทธิผล (effective size)
- สัมประสิทธิความคงตัว (uniformity coefficient)

3.2.3 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Frundlich isotherm)

การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชจะทำการทดลองแบบเบซท์ โดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทต่างๆ กัน โดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวด แล้วจึงนำถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณต่างๆ กันใส่ลงไป จากนั้นนำไปใส่เครื่องเขย่า (shaker) ทำการเขย่าด้วยอัตราเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 120 นาที ให้นำถ่านกัมมันต์ จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 เพื่อแยกถ่านออกและนำน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและปรอท โดยทดลองที่ pH 6 – 8 เนื่องจากเป็นค่า pH ทั่วไปของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง โดยในการทดลองมีตัวแปรดังต่อไปนี้ (รูปที่ 3.3)

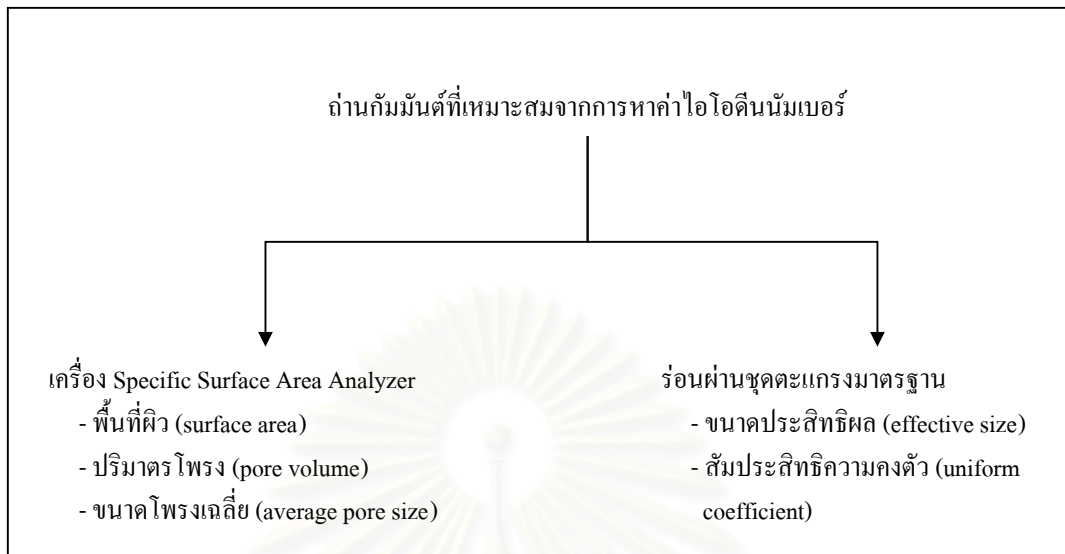
1) ถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป โดยถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่บดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เมช และอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วนำไปเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (desicator)

2) ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ จะทำการทดลองที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน 3 ค่า คือ

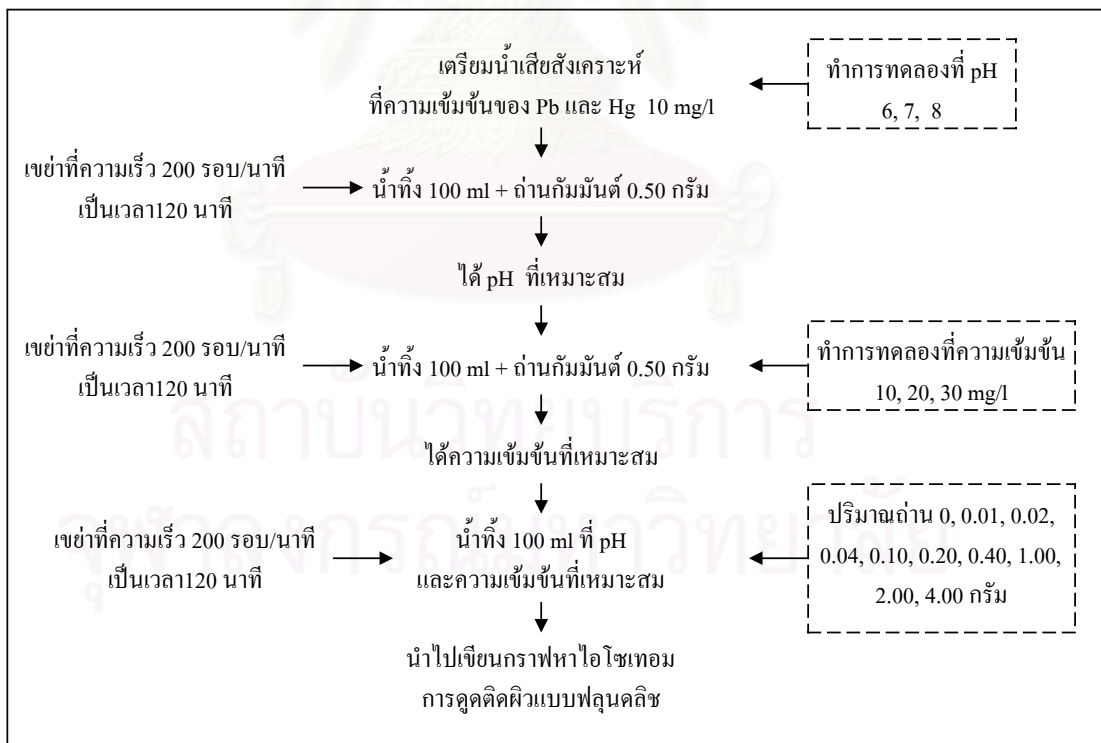
- เข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ : 10 20 30 mg/l
- เข้มข้นของปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ : 10 20 30 mg/l
- เข้มข้นของตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ : 10 20 30 mg/l

3) ปริมาณถ่านกัมมันต์ จะทำการทดลองที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างๆ กัน 10 ค่า คือ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.10, 0.20, 0.40, 1.00, 2.00, 4.00 กรัม

4) pH ที่ใช้ในการทดลอง จะทำการทดลองที่ pH ต่างๆ กัน 3 ค่า คือ 6, 7, 8



รูปที่ 3.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์



รูปที่ 3.3 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช

3.2.4 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column)

การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column) มีขั้นตอนดังนี้ (รูปที่ 3.4)

1) นำถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับตะกั่วและปรอท (Pb, Hg) จากการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบพุนคลิขมาบรรจุลงในถังดูดซับแบบแท่ง โดยถ่านกัมมันต์ที่นำมาบรรจุเป็นถ่านกัมมันต์ที่ร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และล้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 ซึ่งจะได้สารดูดซับซึ่งมีขนาดระหว่าง 0.59 – 2.38 มิลลิเมตร และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (desicator) ก่อนนำมาบรรจุลงในถังดูดซับแบบแท่ง

2) ป้อนน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งคือน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ก่อนจะปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ และเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทให้เป็น 10 mg/l เข้าสู่ถังแบบไหลลง (down flow) อย่างต่อเนื่อง

3) เก็บตัวอย่างของน้ำเสียที่ความสูงของชั้นถ่าน 4 ค่า คือ 30, 60, 90, และ 120 เซนติเมตร

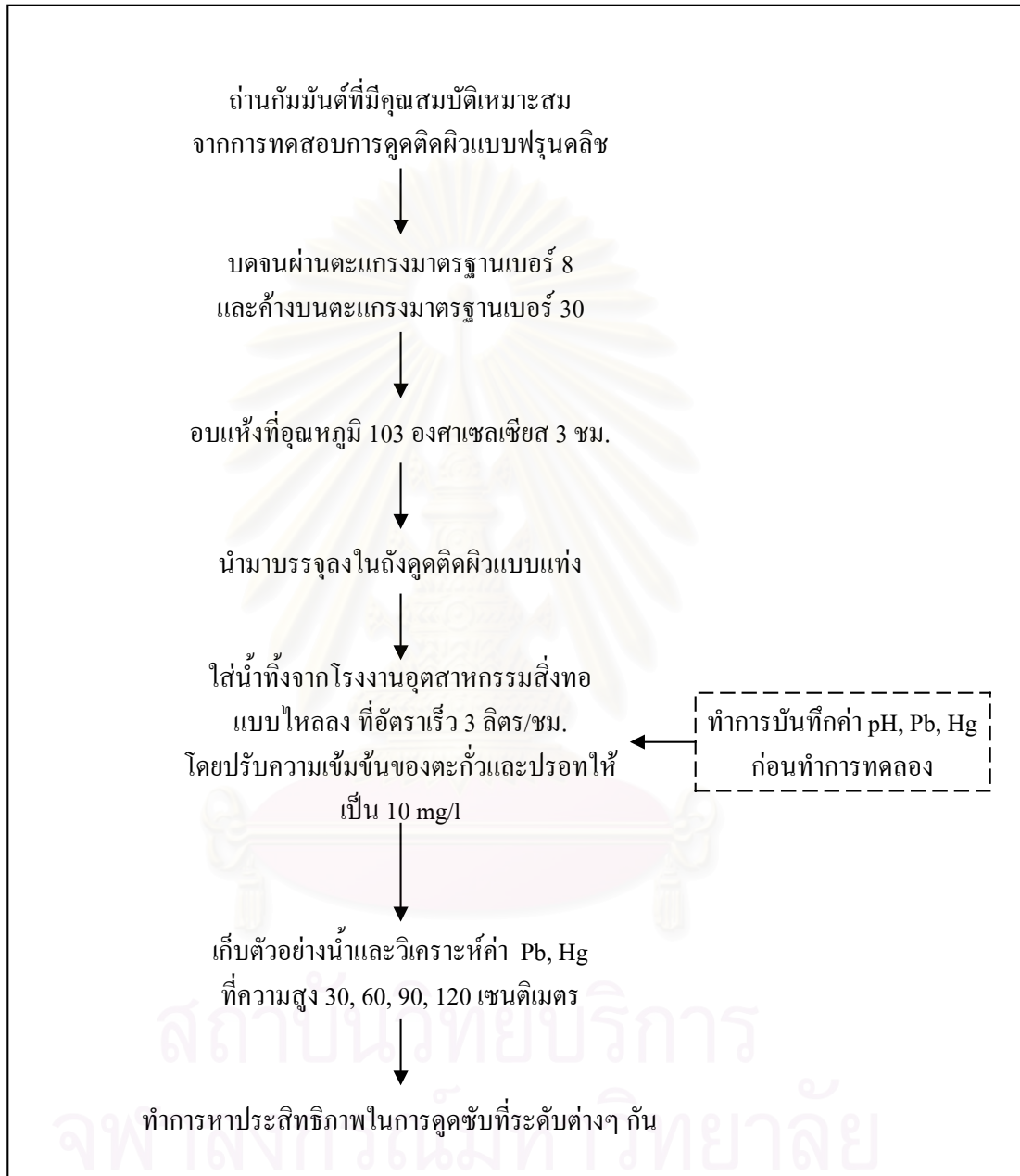
4) ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

5) ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ 3 ลิตร ต่อชั่วโมง

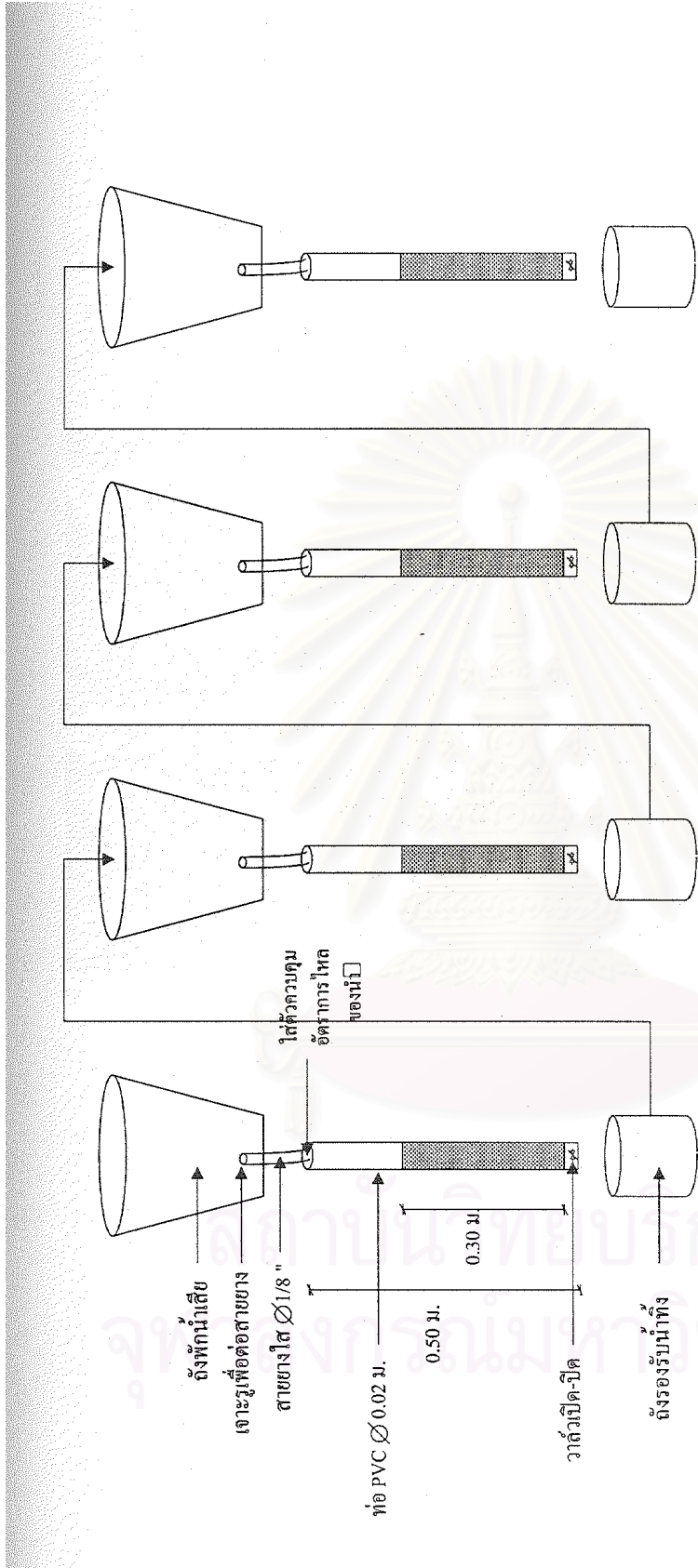
6) เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือต่อความเข้มข้นเริ่มต้นกับปริมาตรของตัวอย่างน้ำ เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับ

รูปการทำงานของถังดูดซับแบบแท่ง แสดงดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง



รูปที่ 3.5 แผนภาพการทำงานของถังดักไขมันแบบแห้ง



รูปที่ 3.6 ถังดูดซับแบบแท่งที่ใช้ในการทดลอง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การเตรียมสารดูดซับและการเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารดูดซับ

1. ถ่านกัมมันต์ ใช้ถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300
2. ถ่านกะลามะพร้าว เตรียมโดยนำกะลามะพร้าวมาคั่วให้มีขนาดเล็ก นำมากระตุ้น (Activated) โดยแช่ในสารละลายเกลือแกง (NaCl) 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของถ่าน แล้วนำไปเผาในภาชนะดินเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และจึงนำมาล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง เพื่อล้างเกลือแกงออก
3. ถ่านกะลาปาล์ม เตรียมโดยนำกะลาปาล์มมาคั่วให้มีขนาดเล็ก นำมากระตุ้น (activated) โดยแช่ในสารละลายเกลือแกง (NaCl) 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของถ่าน แล้วนำไปเผาในภาชนะดินเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และจึงนำมาล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง เพื่อล้างเกลือแกงออก

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะทำการคัดขนาดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่างๆ กัน คือ ถ่านกัมมันต์, ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านกะลาปาล์ม โดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และ ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 ซึ่งจะได้สารดูดซับที่มีขนาด 0.59 – 2.38 มิลลิเมตร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (desicator) ซึ่งถ่านส่วนนี้จะไปใช้ในการวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดซับและการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง ส่วนสารดูดซับที่จะใช้ในการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชนั้น จะทำการบดสารดูดซับจนละเอียดด้วยเครื่องบดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น

3.3.2 การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

- 1) น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Frundlich isotherm) เตรียมจาก สารละลายมาตรฐาน $PbNO_3$ และ $HgNO_3$ ความเข้มข้น 1,000 mg/l นำมาเจือจางจนมีความเข้มข้นของตะกั่วและปรอท 10, 20 และ 30 mg/l
- 2) น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column) ใช้ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นสุดท้ายเตรียมปล่อยออกสู่แม่น้ำนครชัยศรีของโรงงานไทยโพรเท็คท์ไทล์ มิลลส์ จำกัด (มหาชน) อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม โดยทำการเก็บ

ตัวอย่างน้ำจากบริเวณรางที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำนครชัยศรี และในการทดลองทุกครั้ง จะเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเดียวกันทุกครั้ง หลังจากนั้นนำมาปรับความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทให้เป็น 10 mg/l โดยการเติมสาร $PbNO_3$ และ $HgNO_3$

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เตาเผา (multiple furnace) ยี่ห้อ VALCAN รุ่น 3-1750 ใช้สำหรับทำการกระตุ้นสารดูดซับ
- 2) เครื่องบด ใช้สำหรับบดสารดูดซับให้ละเอียดได้ขนาดที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 325 เมช
- 3) เครื่อง BET ใช้สำหรับหาพื้นที่ผิว ปริมาตรโพรง ขนาดโพรงเฉลี่ย
- 4) เครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer สำหรับหาปริมาณโลหะหนัก ยี่ห้อ Instrumentation Laboratory aa/ae spectrophotometer 551
- 5) ตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 8, 30, และ 325
- 6) ถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column) ใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2 เซนติเมตร ความสูง 0.50 เมตร จำนวน 4 อัน โดยบรรจุถ่านที่ระดับความสูง 0.30 เมตรทุกอัน
- 7) ถังเก็บน้ำเสียเพื่อที่จะทำการสูบล้างเข้าสู่ถังดูดซับแบบแท่ง
- 8) เครื่องเขย่า (shaker) ยี่ห้อ K รุ่น VRN-360
- 9) โถป้องกันความชื้น (desiccator)
- 10) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) ยี่ห้อ TEOL รุ่น JSM – 6400

3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียและการวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างน้ำ จะทำการเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งต่างๆ ของถังดูดซับแบบแท่ง 4 จุด คือ ที่จุดน้ำออกจากถังซึ่งได้ผ่านสารดูดซับที่ระดับความสูง 0.30, 0.60, 0.90 และ 1.20 เมตร (ปลายท่อออกของถังดูดซับแต่ละอัน) หลังจากนั้นจะนำไปวิเคราะห์ค่าตะกั่วและปรอท โดยใช้เครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer สำหรับตะกั่ว ใช้วิธี Direct Aspiration Technique ส่วนปรอทใช้วิธี Cold Vapour Technique

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองศึกษาการกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวซึ่งรวมถึงการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ การศึกษาลักษณะทางกายภาพจากถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ การศึกษาความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด โดยการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Frumlich isotherm) และการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองแบบถังดูดซับแบบแบ่ง (adsorption column) ซึ่งทำการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

4.1 ผลการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวและการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

4.1.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว

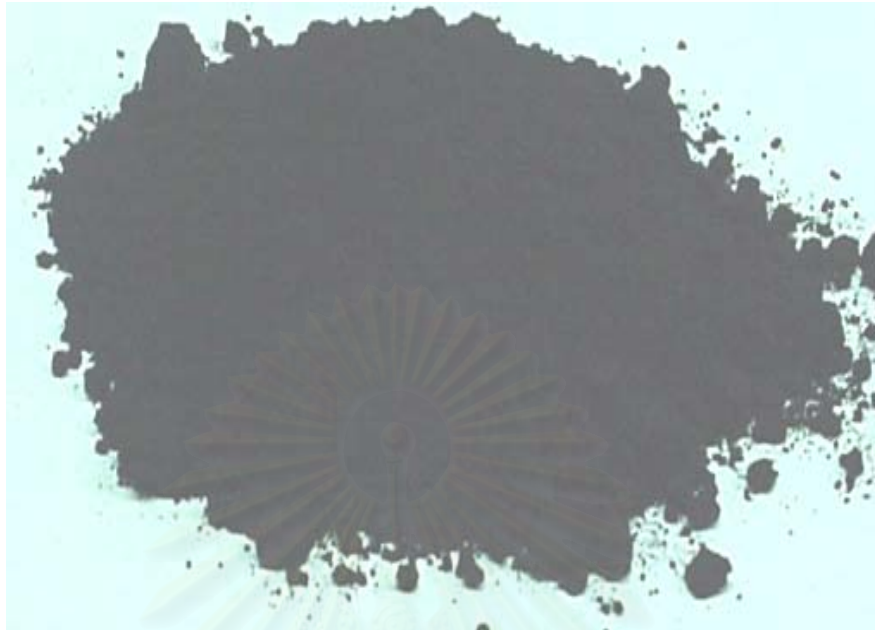
การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว ทำโดยนำวัตถุดิบ คือ กะลาปาล์มและกะลามะพร้าวมาล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวของวัตถุดิบ หลังจากนั้นให้นำมาตากแดดให้แห้ง บดให้มีขนาดเล็กพอสมควร (รูปที่ 4.1 และ 4.2) และแช่ในสารละลายอิมตัวของเกลือแกง (NaCl) 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกระตุ้นและการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยผสมกับเกลือแกงที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ซึ่งกะลาปาล์ม จะทำการผสมเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:0, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 ส่วนกะลามะพร้าว จะทำการผสมเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:3 เนื่องจากการวิจัยของดำรง ชุมมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล (2523) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกระตุ้นกะลามะพร้าว คือ 1: 3 (รูปที่ 4.3) ซึ่งลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวเมื่อมองด้วยสายตาจากภายนอกจะมีลักษณะไม่แตกต่างกัน จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาบดให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เมช (รูปที่ 4.4) เพื่อนำไปหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ต่อไป



รูปที่ 4.1 กะลาปาล์ม



รูปที่ 4.2 กะลามะพร้าว (หลังจากไปบดให้มีขนาดเล็กลง)



รูปที่ 4.3 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว



รูปที่ 4.4 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวเมื่ออบและร้อนผ่านตะแกรง 325 เมช

4.1.2 การหาค่าไอโอดีนนมเบอร์

การพิจารณาสารละลายไอโอดีนที่เหลือจากการดูดซับ หากมีปริมาณของไอโอดีนลดลงหรือพบว่าสูงขึ้นกว่าสารไอโอดีนเริ่มต้น จะแสดงให้เห็นสมรรถนะในการดูดซับ ซึ่งขึ้นกับปริมาณรูพรุน นั่นคือ ถ้าค่าไอโอดีนสูง จะมีสมรรถนะในการดูดซับได้ดีกว่า มีปริมาณของรูพรุนมากกว่าที่มีค่าไอโอดีนต่ำ ผลการหาค่าไอโอดีนนมเบอร์ของกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.5 (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.)

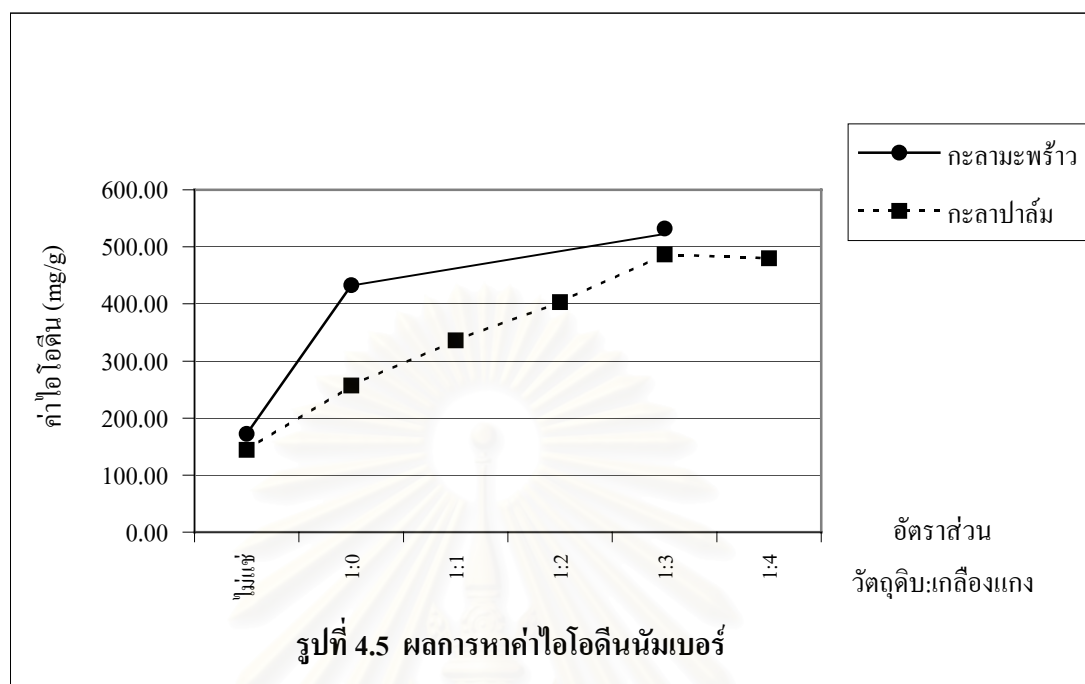
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 สำหรับวัตถุดิบที่ผลิตจากกะลามะพร้าว พบว่าสำหรับกะลามะพร้าวที่ไม่ผ่านกรรมวิธีใดๆ มีค่าไอโอดีนนมเบอร์ 172.47 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนกะลามะพร้าวที่แช่เกลือแกงค้างไว้ 24 ชั่วโมง และผสมเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าไอโอดีนนมเบอร์เพิ่มขึ้นเป็น 532.29 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยแนวโน้มของค่าไอโอดีนนมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น

ส่วนวัตถุดิบที่เป็นกะลาปาล์มก็เช่นกัน เมื่อผสมเกลือแกงที่อัตราส่วนสูงขึ้น แนวโน้มในการดูดซับไอโอดีนจะมีค่าสูงขึ้น ยกเว้นที่ผสมเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:4 ค่าการดูดซับไอโอดีนจะลดลงเล็กน้อย โดยค่าไอโอดีนของกะลาปาล์มที่ไม่ผ่านกรรมวิธีใดๆ, เมื่อแช่เกลือแกง 24 ชั่วโมง, เมื่อแช่เกลือแกง 24 ชั่วโมงและผสมเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 มีค่า 144.03, 257.03, 336.22, 402.76, 486.45 และ 479.63 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ โดยสาเหตุเป็นเพราะเมื่อเพิ่มปริมาณของสารกระตุ้น คือ เกลือแกง จะทำให้ถ่านมีปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น และคาดว่าสาเหตุที่ทำให้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเกลือแกงถึง 1:4 และทำให้ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนลดลงเป็นเพราะปริมาณเกลือแกงที่ 1:3 เป็นอัตราส่วนที่พอเพียงแล้ว และเมื่อเพิ่มเกลือแกงไปอีกจะทำให้ขนาดของรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ลดลงตามไปด้วย ทำให้ค่าไอโอดีนลดต่ำลง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยมีเกลือแกงเป็นสารกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยมีค่าไอโอดีน 532.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เกลือแกงเป็นสารกระตุ้น คือ ที่อัตราส่วน 1:3 เช่นกัน โดยให้ค่าไอโอดีน เท่ากับ 486.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวที่เหมาะสมนำไปทดลองต่อไป คือ ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อเกลือแกง เท่ากับ 1:3 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300 ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป มีค่า 900 มิลลิกรัมต่อกรัม พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม มีค่าไอโอดีนต่ำ

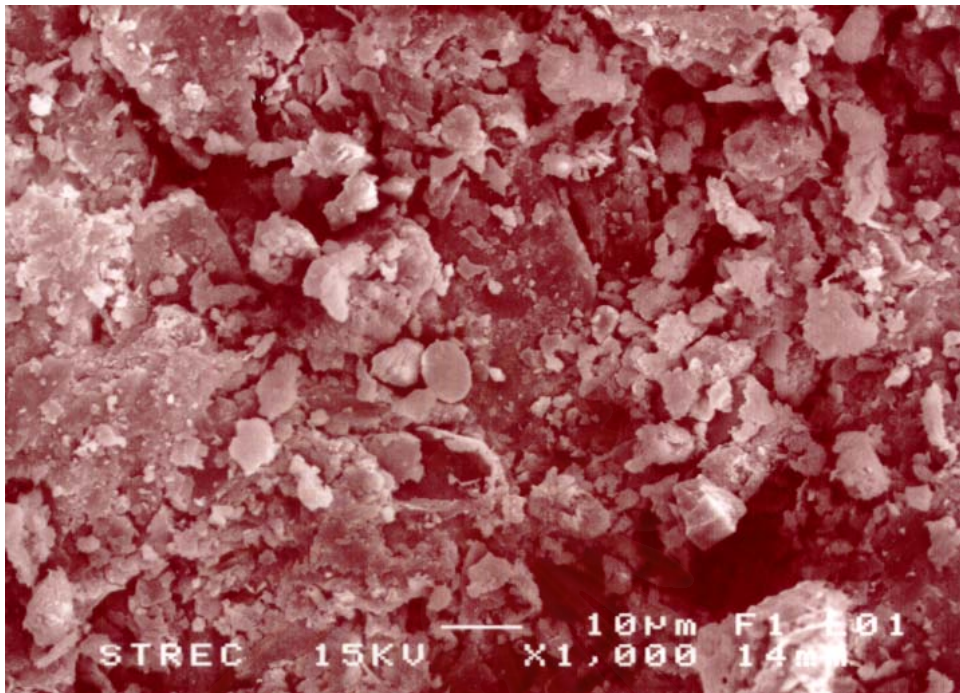
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์

วัตถุประสงค์	ค่าไอโอดีน ครั้งที่ 1 (mg/g)	ค่าไอโอดีน ครั้งที่ 2 (mg/g)	ค่าไอโอดีน ครั้งที่ 3 (mg/g)	ค่าไอโอดีน เฉลี่ย (mg/g)
กะลามาพร้าว				
- ชรรรรมตา	172.01	174.54	170.87	172.47
- แห้ NaCl 1 คีน	428.99	422.71	445.98	432.56
- แห้ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 3	533.84	542.95	520.09	532.29
กะลาป้าต้ม				
- ชรรรรมตา	143.05	141.61	147.43	144.03
- แห้ NaCl 1 คีน	257.83	256.89	256.37	257.03
- แห้ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 1	340.85	342.31	325.51	336.22
- แห้ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 2	401.66	403.43	403.18	402.76
- แห้ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 3	461.28	481.74	516.33	486.45
- แห้ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 4	464.49	480.83	493.57	479.63

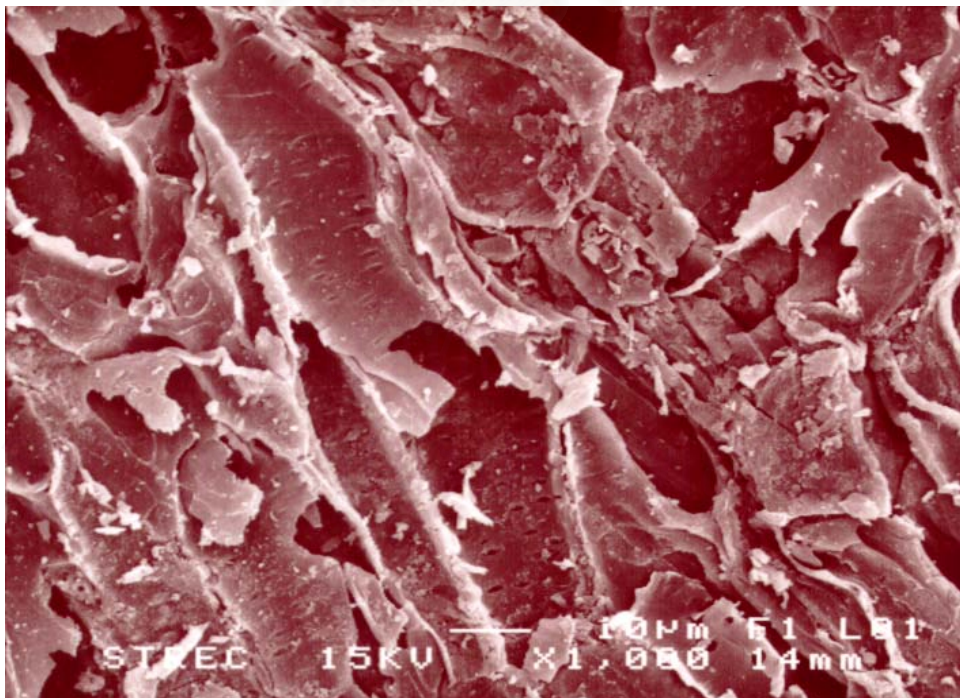


กว่า เมื่อนำค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวไปเทียบกับค่ามาตรฐานของ AWWA ซึ่งกำหนดที่ 500 มิลลิกรัม ไอโอดีนต่อกรัมถ่าน พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าวเมื่อผสมกับเปลือกแกงที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าสูงกว่า และใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดมาตรฐานที่ 600 มิลลิกรัม ไอโอดีนต่อกรัมถ่านกัมมันต์ ดังนั้นการใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบและใช้เปลือกแกงเป็นตัวกระตุ้น จึงมีความเป็นไปได้ในทางอุตสาหกรรมเมื่อพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ส่วนสาเหตุที่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวจึงมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม น่าจะเป็นเพราะถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว มีความพรุนหรือพื้นที่ผิวมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม ซึ่งจะต้องนำไปทดสอบลักษณะทางกายภาพโดยการใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer – Emmett – Teller) เพื่อยืนยันต่อไป

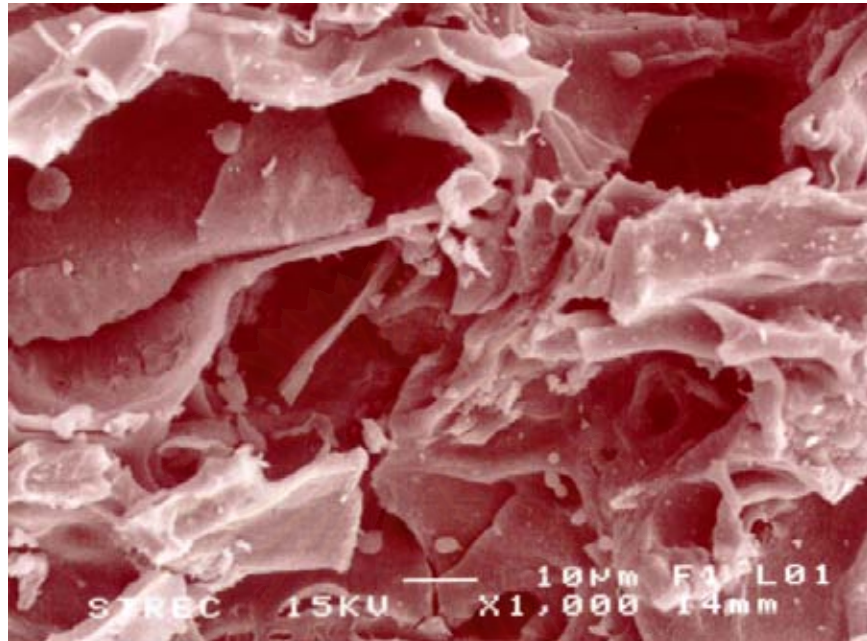
นอกจากนี้ยังได้นำกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัตถุดิบดังกล่าวเมื่อผสมเปลือกแกงที่อัตราส่วน 1:3 ไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) เมื่อพิจารณาโครงสร้างพื้นผิวและความพรุนก่อนและหลังทำการกระตุ้น พบว่าสำหรับกะลาปาล์มพบว่าก่อนเผามีรูพรุนน้อยมาก แต่เมื่อเผาแล้วจะเกิดรูพรุนทั่วทั้งกะลา โดยรูพรุนมีขนาดปานกลาง (รูปที่ 4.6 ถึง 4.7) ส่วนกะลามะพร้าวก่อนเผามีรูพรุนเกิดตามธรรมชาติบ้างพอสมควร แต่หลังจากกระตุ้นด้วยเปลือกแกงแล้ว พบว่ามีความพรุนมากขึ้น ขนาดรูพรุนจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งกะลา รูพรุนมีขนาดค่อนข้างเล็ก (รูปที่ 4.8 และ 4.9)



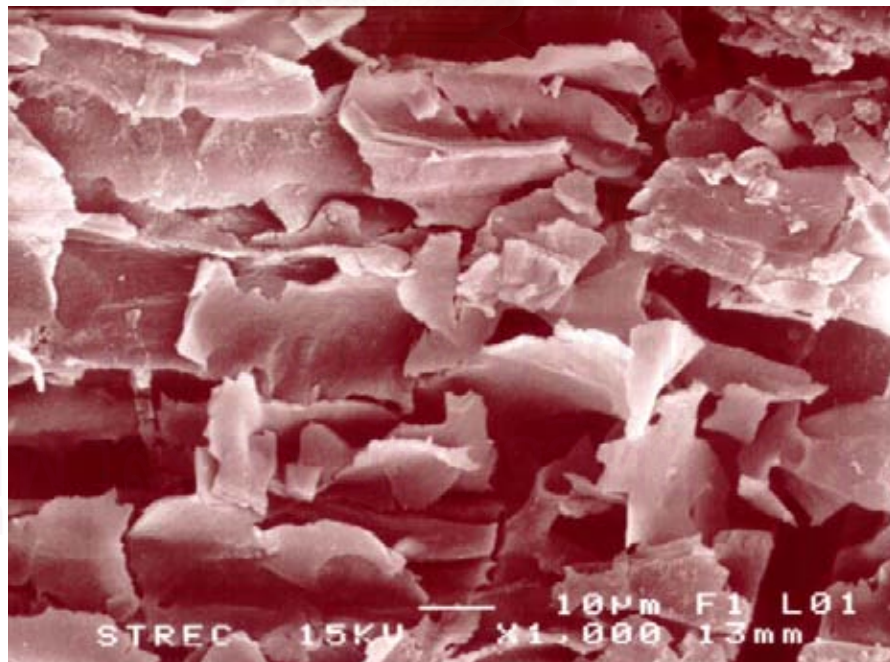
รูปที่ 4.6 พื้นที่ผิวของกะลาปาล์มก่อนการกระตุ้น



รูปที่ 4.7 พื้นที่ผิวของกะลาปาล์มหลังการกระตุ้น



รูปที่ 4.8 พื้นผิวของกะลามะพร้าวก่อนการกระตุ้น



รูปที่ 4.9 พื้นผิวของกะลามะพร้าวหลังการกระตุ้น

4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับ

นอกจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์แล้ว ยังได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของถ่านกัมมันต์ คือ พื้นที่ผิว (surface area), ปริมาตรความพรุน (pore volume) และขนาดโพรงเฉลี่ย (average pore size) ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer – Emmett – Teller) ส่วนขนาดประสิทธิภาพและสัมประสิทธิ์ความคงตัววิเคราะห์โดยวิธี Sieve Analysis คือ การร่อนผ่านชุดตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 6, 10, 16, 20, 30, 40, 50 และ 80 ได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับ

ลักษณะทางกายภาพ	ถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300	ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว	ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม
พื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม)	955.7000	492.4200	385.9073
ปริมาตรโพรง (ลบ.ซม./กรัม)	0.496	0.194794	0.142389
ขนาดโพรงเฉลี่ย (องศาตรอม)	20.737	12.8166	14.9276
ขนาดประสิทธิภาพ (mm)	0.92	0.80	0.52
สัมประสิทธิ์ความคงตัว	1.90	1.60	1.25
ร้อยละของถ่านที่เตรียมได้เมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น (% by weight)	-	56.43	55.32

จากตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ คือ พื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงนั้น ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ คือ พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300 มีค่าเท่ากับ 955.7000 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็น 1.94 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และเป็น 2.48 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มมีพื้นที่ผิว 492.4200 และ 385.9073 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าวมีพื้นที่ผิวเป็น 1.28 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์ม

สำหรับปริมาตรโพรงของถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300 มีค่าเท่ากับ 0.496 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็น 2.55 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และเป็น 3.48 เท่า

ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม มีปริมาตรโพรง 0.194794 และ 0.142389 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมตามลำดับ และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าวมีพื้นที่ผิวเป็น 1.37 เท่า ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์ม (ภาคผนวก ง.)

จากผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300 มีพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มตามลำดับ ดังนั้นถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300 ย่อมมีความสามารถในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าวย่อมมีความสามารถในการดูดซับได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์ม ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ในการทดลองที่ผ่านมา นอกจากพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงของถ่านแล้ว ลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ของถ่านมีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ (ภาคผนวก จ.)

ขนาดประสิทธิผลของถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านกะลาปาล์ม มีค่าเท่ากับ 0.92, 0.80, 0.52 ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านกะลาปาล์ม มีค่าเท่ากับ 1.90, 1.60, 1.25 ตามลำดับ

สำหรับร้อยละของถ่านที่เตรียมได้ ซึ่งหาได้โดยการชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้นก่อนนำไปเผาเข้าไปเปรียบเทียบกับน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้หลังจากนำไปล้างด้วยน้ำเดือดจนเกลือออกจากถ่านจนหมดและนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้ว พบว่าร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว ไม่ต่างกันมากนัก โดยร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าว มีค่า 56.43 และร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์มมีค่า 55.32 ทั้งนี้เนื่องจากทั้งกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม ทำการคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นที่อุณหภูมิเดียวกัน คือ 800 องศาเซลเซียส รวมทั้งความอ่อนแอ้งของวัตถุดิบ ก็ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่เตรียม (percent yield) เมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้นของกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม จึงไม่แตกต่างกันมาก

จากการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม กะลามะพร้าว และที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป พบว่าถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปมีคุณภาพดีกว่า สาเหตุเป็นเพราะวัตถุดิบเริ่มต้นที่ใช้เตรียมต่างกันหรือวิธีการกระตุ้นที่ต่างกัน เช่น การใช้ไอน้ำหรือก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกระตุ้น รวมทั้งการใช้กรดล้างตัวกระตุ้นแทนน้ำหลังจากการกระตุ้นเสร็จแล้ว ซึ่งทำให้ปริมาณเถ้าลดลง ส่งผลให้พื้นที่ผิวและค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้น

4.3 การศึกษาความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

โดยการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Frundlich Isotherm)

ในการทดลองนี้ใช้ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชเพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับ สาเหตุที่ใช้สมการการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช เนื่องจากเป็นสมการการดูดติดผิวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการอธิบายการดูดติดผิวในระบบของเหลว ซึ่งเหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบน้ำเสีย ในการทดลองนี้เป็นการทดลองแบบแบชท์ (Batch) โดยใช้สารดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และถ่านที่เตรียมจากกะลาปาล์ม การทดลองเป็นแบ่ง 3 ขั้นตอน คือ

- การหา pH ที่เหมาะสม
- การหาความเข้มข้นที่เหมาะสม
- การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านแต่ละประเภท

4.3.1 การหา pH ที่เหมาะสม

การหา pH ที่เหมาะสม จะทำการศึกษา pH ในช่วง 6 – 8 โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทที่ความเข้มข้น 10 mg/L และปริมาณถ่าน 0.5 กรัม และนำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 120 นาที

จากผลการทดสอบ การหา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำเสียที่มีตะกั่วและน้ำเสียที่มีปรอท สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.3 ถึงตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 ถึง 4.12

ตารางที่ 4.3 การหา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านชนิดต่างๆ

ประเภทถ่าน	pH	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพในการดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ถ่านกัมมันต์	6	0.24	0.13	0.07	0.15	98.53
(Calgon Filtrasorb	7	0.15	0.09	0.18	0.14	98.60
300)	8	0.26	0.30	0.22	0.26	97.40

ตารางที่ 4.3 การหา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านชนิดต่างๆ (ต่อ)

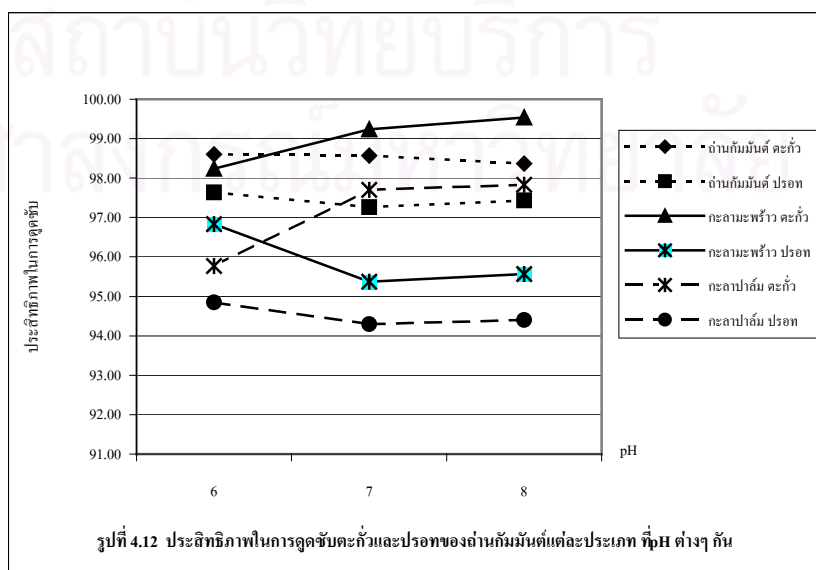
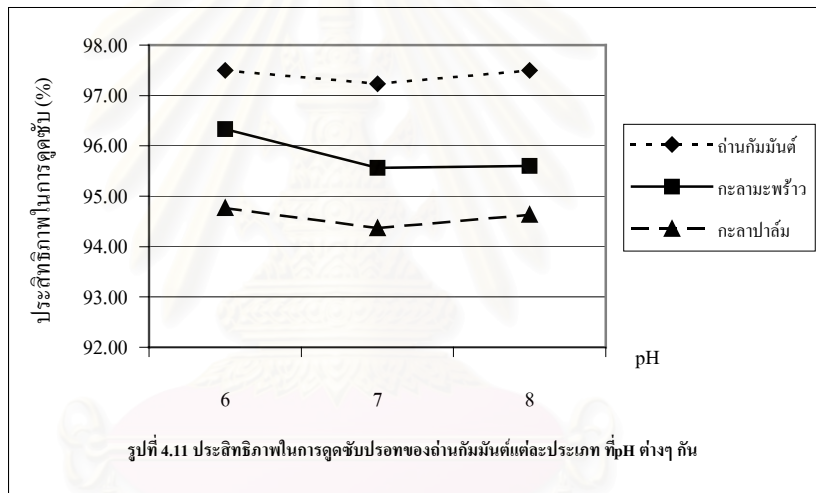
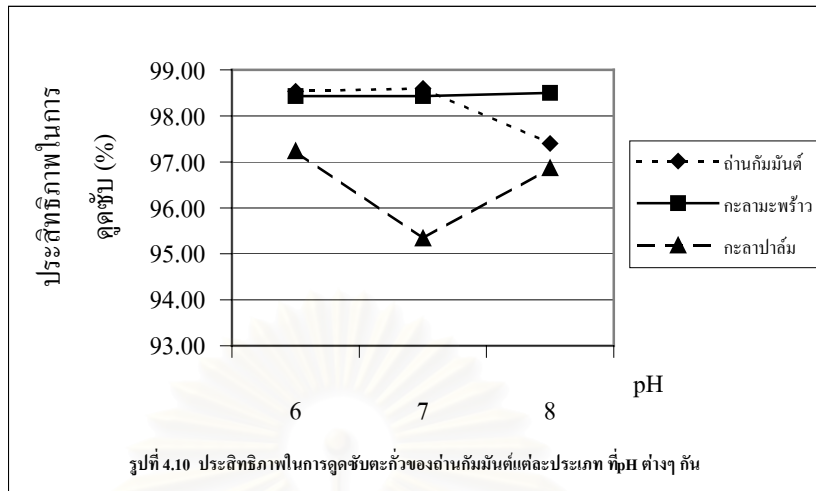
ประเภทถ่าน	pH	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพในการดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ถ่านกะลามะพร้าว	6	0.16	0.20	0.11	0.16	98.43
	7	0.23	0.13	0.11	0.16	98.43
	8	0.18	0.12	0.15	0.15	98.50
ถ่านกะลาปาล์ม	6	0.30	0.21	0.32	0.28	97.23
	7	0.47	0.51	0.42	0.47	95.33
	8	0.24	0.33	0.37	0.31	96.87

ตารางที่ 4.4 การหา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านชนิดต่างๆ

ประเภทถ่าน	pH	ปริมาณปรอทที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพในการดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ถ่านกัมมันต์ (Calgon Filtrasorb 300)	6	0.28	0.22	0.25	0.25	97.50
	7	0.28	0.28	0.27	0.28	97.23
	8	0.26	0.24	0.25	0.25	97.50
ถ่านกะลามะพร้าว	6	0.40	0.38	0.32	0.37	96.33
	7	0.40	0.45	0.48	0.44	95.57
	8	0.44	0.43	0.45	0.44	95.60
ถ่านกะลาปาล์ม	6	0.49	0.55	0.53	0.52	94.77
	7	0.56	0.56	0.57	0.56	94.37
	8	0.55	0.53	0.53	0.54	94.63

ประเภทถ่าน	pH	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ปริมาณปรอทที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพในการดูดซับ	ประสิทธิภาพในการดูดซับ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ตะกั่ว (%)	ปรอท (%)
ถ่านกัมมันต์	6	1.04	1.08	1.00	1.04	1.15	1.13	1.13	1.14	89.60	88.63
	7	1.03	1.09	1.11	1.08	1.17	1.19	1.16	1.17	89.23	88.27
	8	1.06	1.12	1.21	1.13	1.13	1.15	1.19	1.16	88.70	88.43
ถ่านกะลามะพร้าว	6	1.02	1.11	1.10	1.08	1.16	1.20	1.20	1.19	89.23	88.13
	7	0.96	0.93	1.04	0.98	1.32	1.33	1.28	1.31	90.23	86.90
	8	0.95	1.01	0.93	0.96	1.35	1.35	1.33	1.34	90.37	86.57
ถ่านกะลาปาล์ม	6	1.30	1.31	1.36	1.32	1.42	1.38	1.41	1.40	86.77	85.97
	7	1.07	1.02	1.10	1.06	1.45	1.49	1.47	1.47	89.37	85.30
	8	1.08	1.07	1.10	1.08	1.48	1.33	1.48	1.43	89.17	85.70

ตารางที่ 4.5 การหา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านชนิดต่างๆ



จากผลการทดลองหา pH ที่เหมาะสม ในตารางที่ 4.3 ถึง 4.4 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านแต่ละประเภทที่ pH ต่างๆ กัน มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันมากนัก โดยสำหรับถ่านกัมมันต์ พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วที่ pH 6, 7 และ 8 มีค่าร้อยละ 98.53, 98.60 และ 97.40 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับปรอท มีค่าร้อยละ 97.50, 97.23 และ 97.50 ตามลำดับ ส่วนถ่านจากกะลามะพร้าว พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วที่ pH 6, 7 และ 8 มีค่าร้อยละ 98.43, 98.43 และ 98.50 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับปรอท มีค่าร้อยละ 96.33, 95.57 และ 95.60 ตามลำดับ และถ่านจากกะลาปาล์ม พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วที่ pH 6, 7 และ 8 มีค่าร้อยละ 97.23, 95.33 และ 96.87 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับปรอท มีค่าร้อยละ 94.77, 94.37 และ 94.63 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทที่ pH ต่างๆ กัน จะสามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าดูดซับปรอทเล็กน้อย ซึ่งการดูดซับทั้งตะกั่วและปรอทจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์กับผิวออกไซด์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

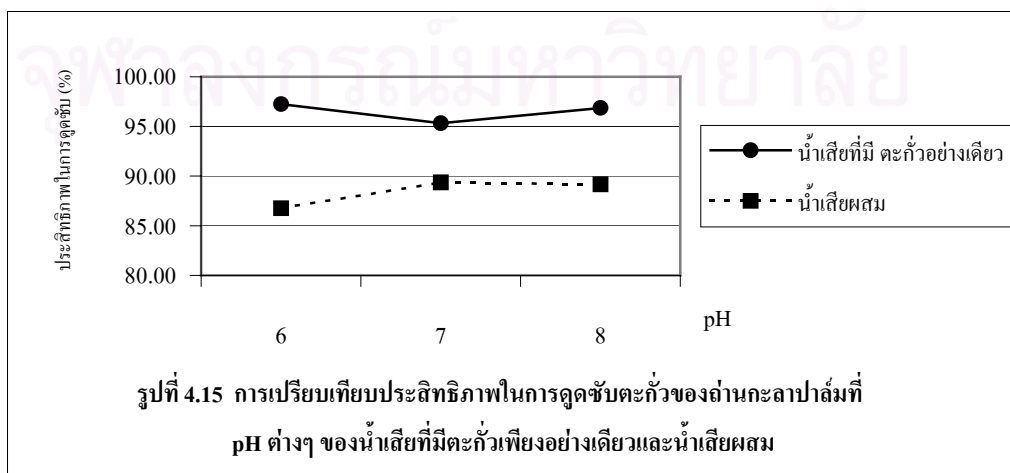
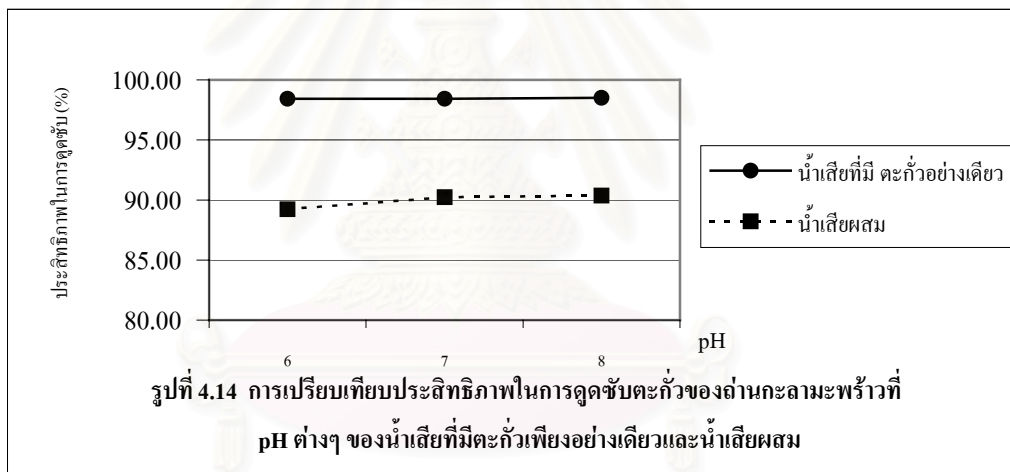
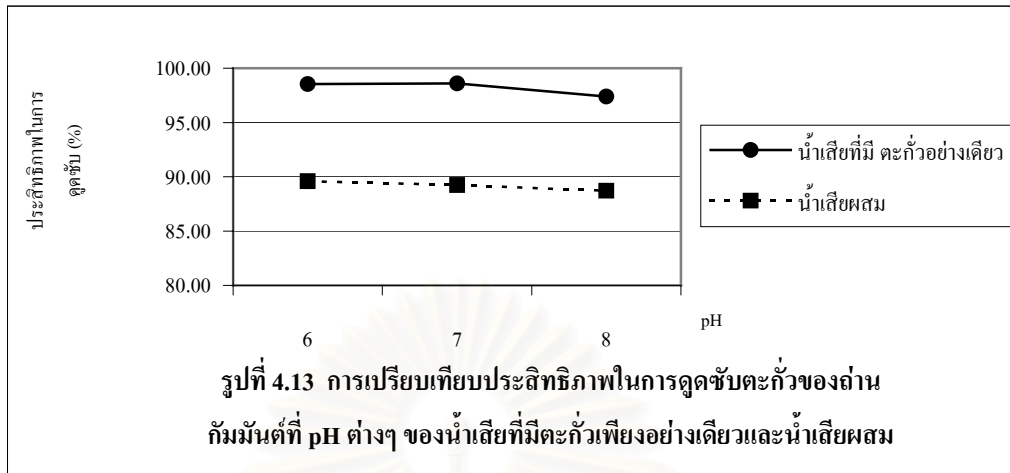
สำหรับการดูดซับน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่ จากตารางที่ 4.5 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วหรือปรอทอยู่เพียงอย่างเดียว ได้ผลดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.13 ถึง 4.18

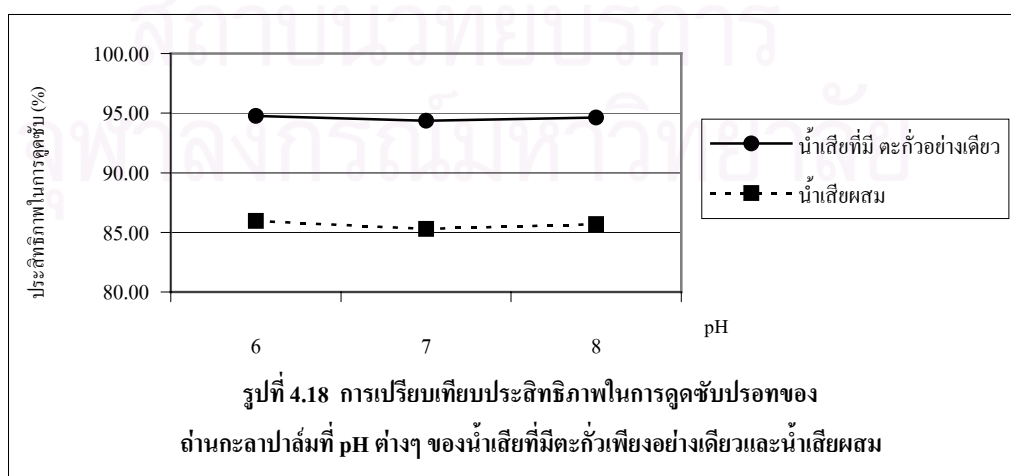
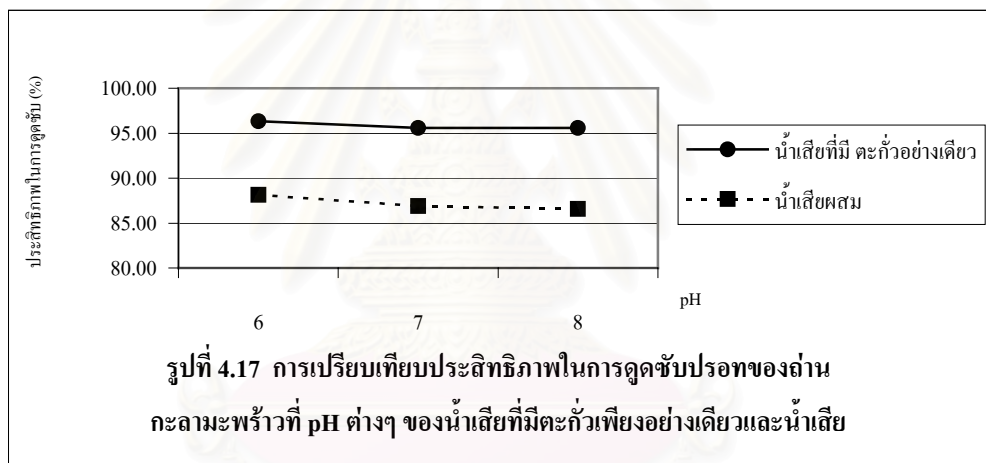
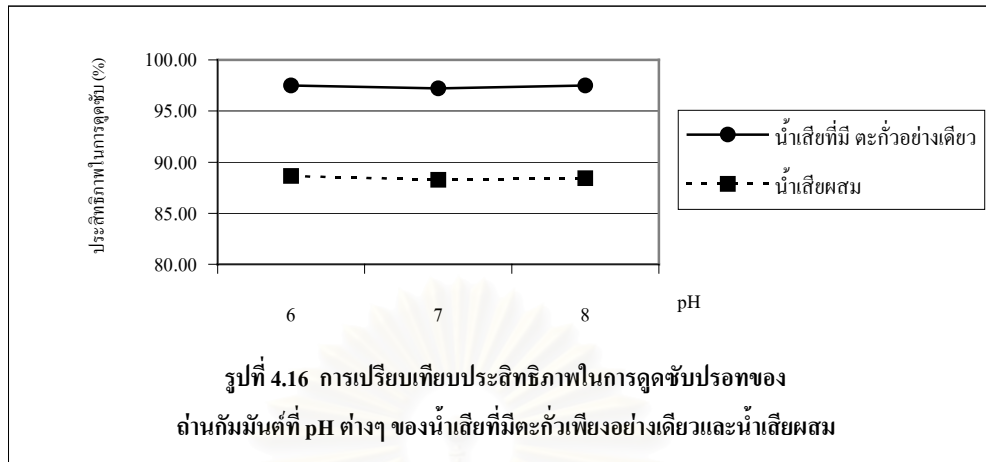
จากตารางที่ 4.6 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทจะมีค่าลดลงเมื่อน้ำเสียมีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่เมื่อเทียบกับน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วหรือปรอทเพียงอย่างเดียว

สำหรับถ่านกัมมันต์ ที่ pH 6 พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วเพียงอย่างเดียว ได้ร้อยละ 98.53 และดูดซับปรอทได้ร้อยละ 97.50 แต่เมื่อทำการดูดซับในน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่ พบว่าดูดซับตะกั่วได้ลดลงเหลือร้อยละ 89.60 และปรอทเหลือร้อยละ 88.63 ที่ pH 7 พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วเพียงอย่างเดียว ได้ร้อยละ 98.60 และดูดซับปรอทได้ร้อยละ 97.23 แต่เมื่อทำการดูดซับในน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่ พบว่าดูดซับตะกั่วได้ลดลงเหลือร้อยละ 89.23 และปรอทเหลือร้อยละ 88.27 และที่ pH 8 พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วเพียงอย่างเดียว ได้ร้อยละ 97.40 และดูดซับปรอทได้ร้อยละ 97.50 แต่เมื่อทำการดูดซับในน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่ พบว่าดูดซับตะกั่วได้ลดลงเหลือร้อยละ 88.70 และปรอทเหลือร้อยละ 88.43

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการการดูดซับตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนัก
เพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสมของถ่านแต่ละประเภท ที่ pH ต่างๆ กัน

ประเภทถ่าน	pH	ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว		ประสิทธิภาพในการดูดซับปรอท	
		น้ำเสียที่มี ตะกั่วอย่างเดียว (%)	น้ำเสียผสม (%)	น้ำเสียที่มี ปรอทอย่างเดียว (%)	น้ำเสียผสม (%)
ถ่านกัมมันต์	6	98.53	89.60	97.50	88.63
	7	98.60	89.23	97.23	88.27
	8	97.40	88.70	97.5	88.43
ถ่านกะลามะพร้าว	6	98.43	89.23	96.33	88.13
	7	98.43	90.23	95.57	86.90
	8	98.50	90.37	95.60	86.57
ถ่านกะลาปาล์ม	6	97.23	86.77	94.77	85.97
	7	95.33	89.37	94.37	85.30
	8	96.87	89.17	94.63	85.70





สำหรับถ่านที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ที่ pH 6 พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียที่มีเฉพาะ ตะกั่วเพียงอย่างเดียว ได้ร้อยละ 98.43 และดูดซับปรอทได้ร้อยละ 93.33 แต่เมื่อทำการดูดซับในน้ำ เสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่ พบว่าดูดซับตะกั่วได้ลดลงเหลือร้อยละ 89.23 และปรอทเหลือ ร้อยละ 88.13 ที่ pH 7 พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วเพียงอย่างเดียว ได้ร้อยละ 98.43 และดูดซับปรอทได้ร้อยละ 95.57 แต่เมื่อทำการดูดซับในน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือ ปนอยู่ พบว่าดูดซับตะกั่วได้ลดลงเหลือร้อยละ 90.23 และปรอทเหลือร้อยละ 86.90 และที่ pH 8 พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วเพียงอย่างเดียว ได้ร้อยละ 98.50 และดูดซับ ปรอทได้ร้อยละ 96.60 แต่เมื่อทำการดูดซับในน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่ พบว่าดูดซับ ตะกั่วได้ลดลงเหลือร้อยละ 90.37 และปรอทเหลือร้อยละ 86.57

และถ่านที่ผลิตจากกะลาปาล์ม ที่ pH 6 พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่ว เพียงอย่างเดียว ได้ร้อยละ 97.23 และดูดซับปรอทได้ร้อยละ 94.77 แต่เมื่อทำการดูดซับในน้ำเสียที่มี ทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่ พบว่าดูดซับตะกั่วได้ลดลงเหลือร้อยละ 86.77 และปรอทเหลือร้อยละ 85.97 ที่ pH 7 พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วเพียงอย่างเดียว ได้ร้อยละ 95.33 และดูดซับปรอทได้ร้อยละ 94.37 แต่เมื่อทำการดูดซับในน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่ พบว่าดูดซับตะกั่วได้ลดลงเหลือร้อยละ 89.37 และปรอทเหลือร้อยละ 85.30 และที่ pH 8 พบว่า สามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียที่มีเฉพาะตะกั่วเพียงอย่างเดียว ได้ร้อยละ 96.87 และดูดซับปรอทได้ ร้อยละ 94.63 แต่เมื่อทำการดูดซับในน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่ พบว่าดูดซับตะกั่วได้ ลดลงเหลือร้อยละ 89.17 และปรอทเหลือร้อยละ 85.70

พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทเมื่อทำการ ดูดซับน้ำเสียที่มีทั้งตะกั่วและปรอทเจือปนอยู่จะลดลงร้อยละ 7 – 10 เมื่อเทียบกับน้ำเสียที่มีเฉพาะ ตะกั่วหรือปรอทเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เป็นเพราะพื้นที่ผิวอีกส่วนหนึ่งต้องถูกนำไปใช้ในการดูดซับ โลหะหนักอีกตัวหนึ่งด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพใน การดูดซับก็สูงเกินกว่าร้อยละ 85 ในถ่านทุกประเภท ทั้งนี้เป็นเพราะเวลาที่ใช้ในการเขย่าเพื่อดูดซับ นาน คือ 120 นาที และปริมาณถ่านที่ใช้ก็สูง คือ 0.5 กรัม ทำให้โลหะหนักที่อยู่ในน้ำเสียถูกดูดซับ ไปในปริมาณมากด้วย

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า ที่ pH 6, 7 และ 8 ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและปรอท ของถ่านกัมมันต์ ถ่านที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านที่ผลิตจากกะลาปาล์ม สามารถดูดซับได้ไม่ แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในการเลือก pH เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป จะใช้ pH เท่ากับ 7 เพราะจากการศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งสิ่งทอพบว่ามีค่า pH ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง

นอกจากนี้ยังพบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าปรอทที่สภาวะเดียวกัน ทั้งนี้เป็นเพราะขนาดของไอออนของตะกั่วมีขนาดใหญ่กว่า โดยตะกั่วมีรัศมีไอออน 120 pm และปรอทมีรัศมีไอออน 110 pm การที่มีตะกั่วมีรัศมีของไอออนใหญ่กว่าทำให้สามารถดูดซับได้ดีกว่า แต่เนื่องจากตะกั่วและปรอทมีรัศมีไอออนไม่ต่างกันมากนักทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไม่ต่างกันมากนักเช่นกัน

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากการตกตะกอนของตะกั่วและปรอท พบว่า ตะกั่วจะเริ่มตกตะกอนที่ pH ประมาณ 6 – 7 และจะตกตะกอนมากที่สุด ที่ pH ประมาณ 10 หลังจากนั้นถ้า pH สูงขึ้น ก็จะตกตะกอนน้อยลงอีกครั้ง ส่วนปรอทจะเริ่มตกตะกอนที่ pH ประมาณ 5 - 6 ซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทออกจากน้ำเสียจึงไม่ใช่การดูดซับเพียงอย่างเดียว แต่ส่วนหนึ่งเป็นเพราะการตกตะกอนด้วย ซึ่งจากการวัด pH ของน้ำหลังจากการเขย่าที่ pH ต่างๆ พบว่ามีค่าอยู่ประมาณ 6 – 7 ในถ่านทุกประเภทและน้ำเสียทุกๆ pH ที่ทำการทดลอง จึงได้นำถ่านทั้ง 3 ประเภท คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป (Calgon Filtrasorb 300), ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มไปวัดค่า pH โดยนำถ่าน 0.5 กรัม ไปละลายน้ำ 100 ml พบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป มีค่า pH เท่ากับ 5.21 ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมีค่า 5.43 และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มมีค่า 6.25 ซึ่งใกล้เคียงกับ pH ของน้ำหลังการเขย่า แสดงว่า pH ของถ่านกัมมันต์ที่ใช้จะเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดค่า pH ของน้ำ ไม่ใช่ค่า pH ของน้ำที่เริ่มต้นในการทดลอง ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า pH ของน้ำที่ผ่านการเขย่าแล้ว พบว่าสำหรับตะกั่วเป็นเพียงช่วงเริ่มต้นของการตกตะกอนเท่านั้น ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วที่ได้ส่วนใหญ่จะยังคงเป็นการดูดซับอยู่ แต่สำหรับปรอท ซึ่งสภาวะที่ตกตะกอนมีค่า pH ที่ต่ำกว่า คือ 5 – 6 ดังนั้นผลจากการตกตะกอนจะมามากกว่าของตะกั่ว

4.3.2 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสม

การหาความเข้มข้นที่เหมาะสม จะทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ประเภทที่เข้มข้นของตะกั่วและปรอท เท่ากับ 10, 20 และ 30 mg/l โดยจะเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH เท่ากับ 7 และใช้ถ่านแต่ละประเภทปริมาณ 0.5 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 120 นาที

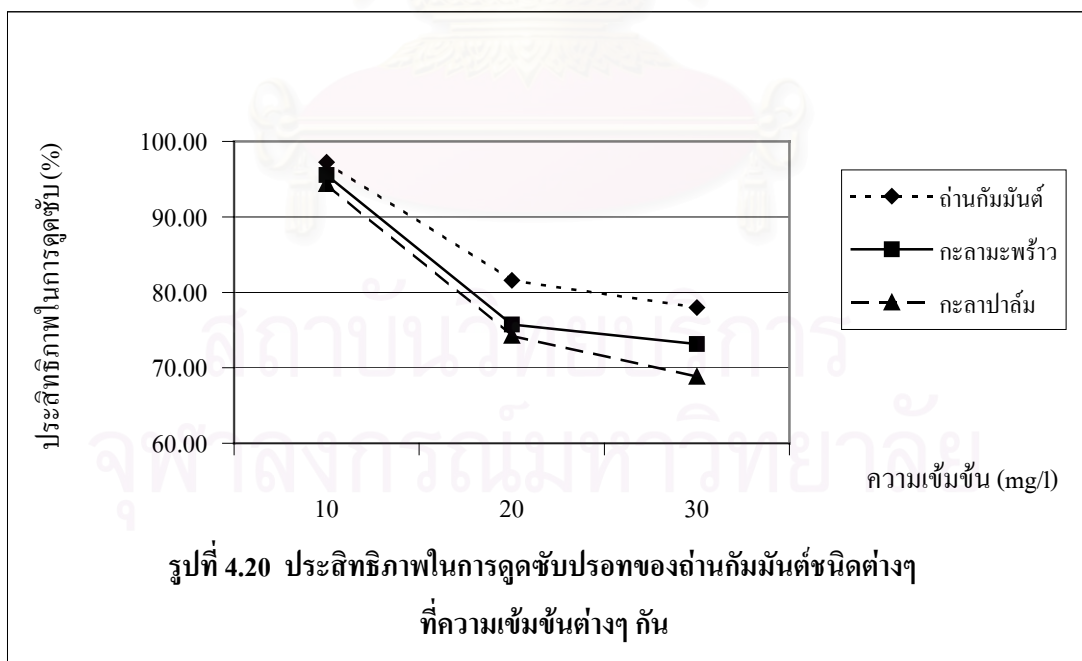
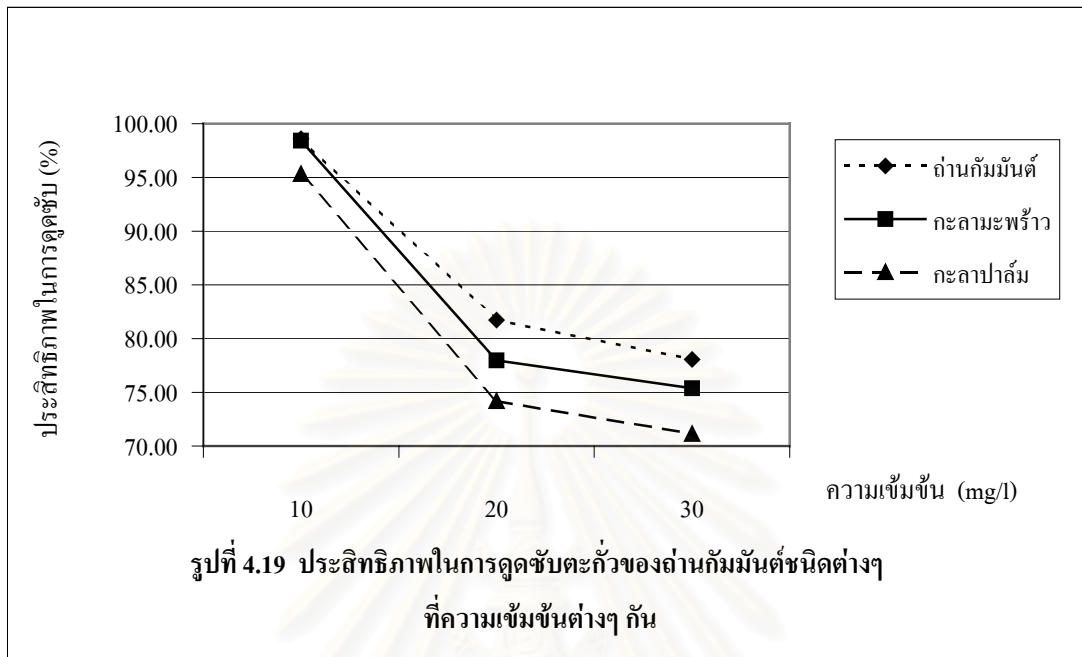
จากผลการทดสอบ การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำเสียที่มีตะกั่วและปรอทสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.7 ถึงตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.19 ถึง 4.20

ตารางที่ 4.7 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์
ของถ่านแต่ละประเภท

ประเภทถ่าน	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพ ในการดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ถ่านกัมมันต์	10	0.15	0.09	0.18	0.14	98.60
	20	3.64	3.66	3.66	3.65	81.73
	30	6.71	6.79	6.25	6.58	78.06
ถ่านกะลามะพร้าว	10	0.23	0.13	0.11	0.16	98.43
	20	4.41	4.41	4.40	4.41	77.97
	30	7.16	7.02	7.97	7.38	75.39
ถ่านกะลาปาล์ม	10	0.47	0.51	0.42	0.47	95.33
	20	5.22	5.16	5.11	5.16	74.18
	30	8.84	8.78	8.37	8.66	71.12

ตารางที่ 4.8 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์
ของถ่านแต่ละประเภท

ประเภทถ่าน	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ปริมาณปรอทที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพ ในการดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ถ่านกัมมันต์	10	0.28	0.28	0.27	0.28	97.23
	20	3.66	3.68	3.70	3.68	81.60
	30	6.53	6.68	6.60	6.60	77.99
ถ่านกะลามะพร้าว	10	0.40	0.45	0.48	0.44	95.57
	20	4.83	4.87	4.86	4.85	75.73
	30	8.01	8.06	8.09	8.05	73.16
ถ่านกะลาปาล์ม	10	0.56	0.56	0.57	0.56	94.37
	20	5.12	5.20	5.14	5.15	74.23
	30	9.10	9.17	9.00	9.09	69.70



จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและปรอท จาก 10 เป็น 20 และ 30 mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม มีค่าลดลง โดยสำหรับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วจะลดลงจากร้อยละ 98.60 เหลือร้อยละ 81.73 และ 78.06 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว เป็น 10, 20 และ 30 mg/l ตามลำดับ สำหรับถ่านที่เตรียมจากกะลามะพร้าว พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงจากร้อยละ 98.43 เหลือร้อยละ 77.97 และ 75.39 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว เป็น 10, 20 และ 30 mg/l ตามลำดับ และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงจากร้อยละ 95.33 เหลือร้อยละ 74.18 และ 71.12 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว เป็น 10, 20 และ 30 mg/l ตามลำดับ

สำหรับการดูดซับปรอทพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดจะลดลงจากร้อยละ 97.23 เป็นร้อยละ 81.60 และ 77.99 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปรอท เป็น 10, 20 และ 30 mg/l ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว ประสิทธิภาพจะลดลงจากร้อยละ 95.57 เหลือร้อยละ 75.73 และ 73.16 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปรอท เป็น 10, 20 และ 30 mg/l ตามลำดับ และสำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม ประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงจากร้อยละ 94.37 เหลือร้อยละ 74.23 และ 69.70 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปรอท เป็น 10, 20 และ 30 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในระยะแรกโลหะหนักจะเข้าไปแทรกอยู่บริเวณรูพรุนซึ่งมีอยู่มากมายบริเวณผิวถ่านกัมมันต์ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเรื่อยๆ โลหะหนักเหล่านั้นก็จะจับตัวอยู่ได้เพียงแค่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์โดยมีลักษณะการจับตัวเป็นชั้นๆ ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์ม ซึ่งจับตัวกันไม่แน่นหรือไม่แข็งแรงมากนัก ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะหลุดออกจากผิวถ่านกัมมันต์ได้ง่าย ดังนั้นที่ความเข้มข้นต่ำๆ ถ่านกัมมันต์จึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นสูงๆ สำหรับ pH ของน้ำเสียหลังจากผ่านการเขย่าแล้ว พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 6 – 6.5 ขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านที่ใช้

4.3.3 การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับของถ่านแต่ละประเภท

ในการทดลองนี้ เป็นการทดลองแบบเบซท์ (Batch) โดยใช้สารดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองคือน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน $PbNO_3$ และ $HgNO_3$ พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทที่ถูกดูดซับที่ pH เท่ากับ 7 โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วและปรอท 10 mg/l จำนวน 100 ml

ลงในขวดรูปชมพู่ ที่มีปริมาณถ่านกัมมันต์อยู่ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.10, 0.20, 0.40, 1.00, 2.00, 4.00 กรัม เขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นแยกน้ำตัวอย่างออกจากผงถ่าน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือในน้ำ มีดังนี้ (ภาคผนวก ฉ.)

1) ไอโซโทมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

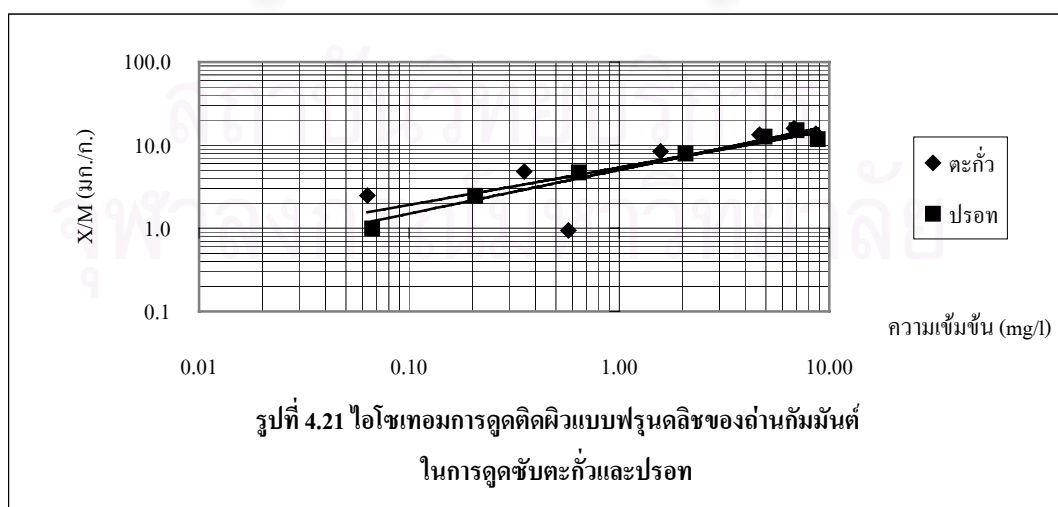
จากการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ผลดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.9 ร้อยละของการดูดซับตะกั่วเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ร้อยละการดูดซับ (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00
0.01	8.50	8.71	8.66	8.62	13.77
0.02	6.81	6.76	6.82	6.80	32.03
0.04	4.69	4.57	4.70	4.65	53.47
0.10	1.57	1.63	1.53	1.58	84.23
0.20	0.32	0.35	0.39	0.35	96.47
0.40	0.08	0.06	0.05	0.06	99.37
1.00	-	-	-	-	-
2.00	-	-	-	-	-
4.00	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.10 ร้อยละของการดูดซับปรอทเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นของปรอทที่เหลือ (mg/l)				ร้อยละการดูดซับ (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00
0.01	8.76	8.83	8.86	8.82	11.83
0.02	6.92	7.01	7.02	6.98	30.17
0.04	4.90	4.96	4.93	4.93	50.70
0.10	2.03	2.10	2.08	2.07	79.30
0.20	0.63	0.65	0.65	0.64	93.57
0.40	0.20	0.19	0.23	0.21	97.93
1.00	0.08	0.06	0.06	0.07	99.33
2.00	-	-	-	-	-
4.00	-	-	-	-	-



2) ไอโซโทมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

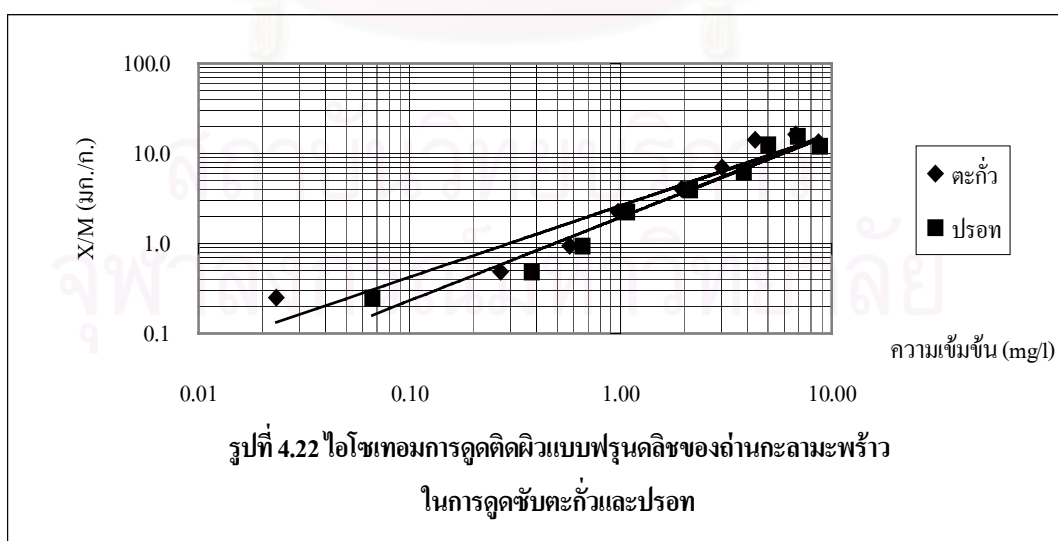
จากการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวต่อการดูดซับ ตะกั่วและปรอท ได้ผลดังตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.22

ตารางที่ 4.11 ร้อยละของการดูดซับตะกั่วเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวปริมาณต่างๆ

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ร้อยละการดูดซับ (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00
0.01	8.63	8.72	8.66	8.67	13.30
0.02	6.75	6.83	6.68	6.75	32.47
0.04	4.36	4.33	4.33	4.34	56.60
0.10	3.08	3.00	3.01	3.03	69.70
0.20	1.95	1.99	1.89	1.94	80.57
0.40	0.98	0.97	0.96	0.97	90.30
1.00	0.56	0.56	0.60	0.57	94.27
2.00	0.29	0.28	0.24	0.27	97.30
4.00	0.02	0.03	0.02	0.02	99.77

ตารางที่ 4.12 ร้อยละของการดูดซับปรอทเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวปริมาณต่างๆ

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นของปรอทที่เหลือ (mg/l)				ร้อยละการดูดซับ (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00
0.01	8.76	8.83	8.81	8.80	12.00
0.02	6.90	6.92	6.92	6.91	30.87
0.04	5.01	5.03	5.01	5.02	49.83
0.10	3.83	3.83	3.85	3.84	61.63
0.20	2.11	2.16	2.15	2.14	78.60
0.40	1.09	1.08	1.06	1.08	89.23
1.00	0.67	0.65	0.66	0.66	93.40
2.00	0.37	0.38	0.39	0.38	96.20
4.00	0.06	0.06	0.08	0.07	99.33



3) ไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

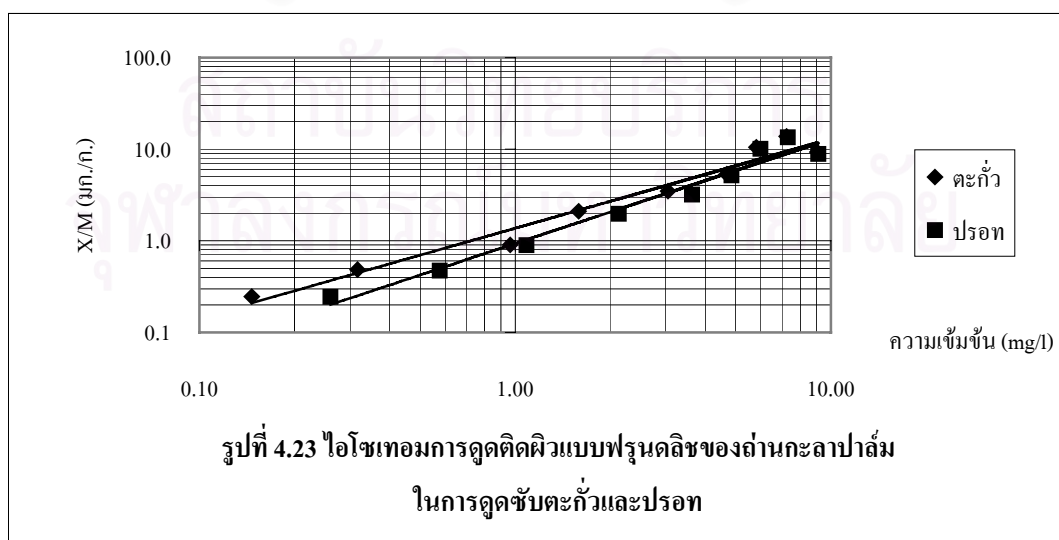
จากการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มต่อการดูดซับ ตะกั่วและปรอท ได้ผลดังตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.23

ตารางที่ 4.13 ร้อยละของการดูดซับตะกั่วเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มปริมาณต่างๆ

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ร้อยละการดูดซับ (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00
0.01	9.02	9.10	9.09	9.07	9.30
0.02	7.15	7.30	7.26	7.24	27.63
0.04	5.85	5.73	5.84	5.81	41.93
0.10	4.68	4.67	4.68	4.68	53.23
0.20	3.03	3.05	3.06	3.05	69.53
0.40	1.57	1.58	1.62	1.59	84.10
1.00	0.96	0.96	0.97	0.96	90.37
2.00	0.30	0.32	0.33	0.32	96.83
4.00	0.16	0.14	0.14	0.15	98.53

ตารางที่ 4.14 ร้อยละของการดูดซับปรอทเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากปาล์มปริมาณต่างๆ

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นของปรอทที่เหลือ (mg/l)				ร้อยละการดูดซับ (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00
0.01	9.10	9.12	9.13	9.12	8.83
0.02	7.26	7.35	7.32	7.31	26.90
0.04	6.00	5.93	6.01	5.98	40.20
0.10	4.86	4.87	4.81	4.85	51.53
0.20	3.63	3.62	3.65	3.63	63.67
0.40	2.11	2.10	2.18	2.13	78.70
1.00	1.08	1.09	1.09	1.09	89.13
2.00	0.56	0.57	0.60	0.58	94.23
4.00	0.28	0.24	0.26	0.26	97.40



เส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ สามารถอธิบายได้จากสมการ Freundlich คือ $X/M = KC^{1/n}$ หรือ $\log X/M = \log K + (1/n) \log C$ ความสามารถในการดูดซับ ตะกั่วและปรอทของถ่านสามารถพิจารณาได้จากค่า X/M ซึ่งเป็นปริมาณของสารตะกั่วและปรอทที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านที่ใช้ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวที่อยู่เหนือเส้นอื่นจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่า ดังนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด สามารถใช้ค่าคงที่ K และ $1/n$ ที่ได้จากสมการของ Freundlich โดยที่ $\log K$ เป็นจุดตัดแกน Y และ $1/n$ เป็นความชันของสมการเส้นตรง ค่าคงที่ดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าคงที่ของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดจากสมการของ Freundlich

ชนิดถ่านกัมมันต์	ตะกั่ว		ปรอท	
	K (mg/g)	1/n	K (mg/g)	1/n
ถ่านกัมมันต์ที่มีขายทั่วไป	50.18	1.39	19.95	1.38
ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว	8.37	1.92	5.52	1.74
ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม	2.53	1.43	1.63	0.52

จากข้อมูลในตารางที่ 4.15 พบว่า ถ่านที่มีค่า K สูงสุด คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งจะสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มทั้งในการดูดซับ ตะกั่วและปรอท แสดงว่า ถ่านกัมมันต์ที่สามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ดี คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม โดยมีค่า K ของการดูดซับตะกั่ว เท่ากับ 50.18, 8.37, 2.53 mg/g และการดูดซับปรอท เท่ากับ 19.95, 5.52 และ 1.63 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวจะมีค่า $1/n$ สูงทั้งในการดูดซับ ตะกั่วและปรอท นั่นคือ กราฟมีความชันสูงนั่นเอง แสดงว่า ค่าความเข้มข้น มีบทบาทต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว นั่นคือ ถ้าสารที่ถูกดูดซับมีความเข้มข้นสูง ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว มีแนวโน้มในการดูดซับได้ดี

จากการทดลองนี้ สอดคล้องกับผลการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์และการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านมา นั่นคือ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปเป็นถ่านที่มีค่าไอโอดีนและพื้นที่ผิวสูงสุดและตามด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ดีกว่า

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของประกฤต เลิศจรัสมารมดี (2539) ที่ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ขี้เถ้า ฟางข้าว และขุย

มะพร้าว พบว่าสามารถกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 80% และ 78% ตามลำดับนั้น ถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพดีกว่าทั้งการดูดซับตะกั่วและปรอท แต่สำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มมีประสิทธิภาพน้อยกว่า อย่างไรก็ตามสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น เนื่องจากทั้งซีลีอีย ฟางข้าว และขุยมะพร้าว สามารถนำเสียได้ ถ้านำมาใช้ในระบบบำบัดอาจส่งผลให้ค่า BOD ของน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้น ต่างจากถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นคาร์บอนที่คงตัวไม่นำเสีย ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมมากกว่า

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพหรือความสามารถในการใช้งานของถ่านกัมมันต์ 2 ประเภทที่พบว่ามีเหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและปรอทจากการทดลองแบบเบซท์ คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป (Calgon Filtrasorb 300) และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมเอง เลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุคิบ คือ กะลามะพร้าว เนื่องจากพบว่ามีคุณสมบัติในการดูดซับตะกั่วและปรอทดีกว่าถ่านกัมมันต์ โดยเป็นการทดสอบโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง (column test) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และสูง 50 เซนติเมตร จำนวน 4 แท่ง โดยที่ระดับความสูงของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในบรรจุลงในถังดูดซับแบบแท่ง คือ 30 เซนติเมตร จากนั้นนำถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทบรรจุลงในถังดูดซับแบบแท่ง ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป มีน้ำหนักเฉลี่ย 43.75 กรัม/คอลัมน์ ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว มีน้ำหนักเฉลี่ย 40.08 กรัม/คอลัมน์ ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร การทดลองจะใช้ทิศทางการไหลของน้ำแบบไหลลง (down flow) การทดลองจะนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานไทยโพรเท็กซ์ไทล์มิลล์ มาทำการเติมให้มีความเข้มข้นของตะกั่วและปรอท เป็น 10 mg/l และให้ไหลผ่านคอลัมน์ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 ลิตร/ชั่วโมง นำน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์แรกผ่านคอลัมน์ที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ด้วยอัตราการไหลที่ 3 ลิตร/ชั่วโมง เท่ากัน การเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บที่ปลายท่อออกของน้ำในทุกๆ คอลัมน์ คือ ที่ความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร จากนั้นจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและปรอท สำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานไทยโพรเท็กซ์ไทล์มิลล์ นั้น โดยปกติแล้วพบว่ามีค่า pH อยู่ระหว่าง 6 – 8 แต่เนื่องจากต้องนำน้ำมาทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการมูลฝอย ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และไม่ได้ทำการทดลองทันทีหลังจากนำน้ำมาจากโรงงานแล้ว เพื่อเป็นการศึกษาเฉพาะคุณสมบัติในการดูดซับ โดยให้มีปฏิกิริยาของการตกตะกอนมาเกี่ยวข้องด้วยน้อยที่สุดของ

ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว จึงได้ทำการ
หาคกรดไนตริกลงในน้ำทิ้งตัวอย่าง จนมี pH อยู่ระหว่าง 2 – 2.5

สำหรับการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างค่าความเข้มข้นและปริมาตรของถ่านใน
คอลัมน์ที่ระดับความสูง 30, 60, 90, 120 เซนติเมตร เพื่อนำไปสร้าง Breakthrough Curve นั้น
สามารถคำนวณ Bed Volume (BV) โดยใช้สมการ

$$BV = \pi r^2 h \quad (\text{ลบ.ชม.})$$

โดยที่ $r =$ รัศมีของคอลัมน์ (เซนติเมตร)

$h =$ ความสูงของคอลัมน์ (เซนติเมตร)

ดังนั้นที่รัศมีของคอลัมน์ เท่ากับ 1 เซนติเมตรระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120
เซนติเมตร Bed Volume (BV) จะแสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การคำนวณ Bed Volume ที่ระดับความสูงต่างๆ

ระดับความสูง (เซนติเมตร)	ปริมาตรถ่าน (กรัม)		Bed Volum (ลบ.ชม.)	Bed Volum (ลิตร)
	Calgon Filtrasorb 300	ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว		
30	43.75	40.08	94.29	0.094
60	87.50	80.16	188.57	0.189
90	131.25	120.24	282.86	0.283
120	175.00	160.32	377.14	0.377

สำหรับการคำนวณ Breakthrough Curve จะแทนความเข้มข้นของสารตะกั่วและปรอทที่
เหลือในน้ำหลังผ่านคอลัมน์แล้ว เท่ากับ C และความเข้มข้นของสารตะกั่วและปรอทเริ่มต้น เท่ากับ
Co หลังจากนั้นจะทำการศึกษา Breakthrough Curve ระหว่างร้อยละของการบำบัดออกกับปริมาตร
ของน้ำหลังผ่านคอลัมน์ และกราฟระหว่างร้อยละของการดูดซับกับปริมาตรของถ่านกัมมันต์ในถัง
ดูดซับแบบแท่ง (Bed Volume: BV)

4.4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปโดยใช้ ถังดูดซับแบบแท่ง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้อง
ตลาดทั่วไปโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง ได้ผลดังตารางที่ 4.17 ถึงตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.24 ถึง 4.31

ตารางที่ 4.17 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ความสูง 30 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (mg/l)			
		ตะกั่ว	C/Co (%)	ปรอท	C/Co (%)
10	106.38	4.238	43.01	5.237	53.09
11	117.02	5.407	54.88	6.534	66.23
12	127.66	6.301	63.95	7.612	77.16
13	138.30	7.010	71.15	8.590	87.08
14	148.94	7.638	77.52	9.421	95.50
15	159.57	8.620	87.49	9.660	97.92
16	170.21	9.409	95.49	9.857	99.92
17	180.85	9.850	99.97		

หมายเหตุ : ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น = 9.853 mg/l ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น = 9.865 mg/l

ตารางที่ 4.18 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ความสูง 60 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (mg/l)			
		ตะกั่ว	C/Co (%)	ปรอท	C/Co (%)
20	105.82	4.532	46.00	4.270	43.28
22	116.40	5.309	53.88	5.319	53.92
24	126.98	6.098	61.89	6.246	63.31
26	137.57	6.973	70.77	7.189	72.87
28	148.15	7.731	78.46	7.865	79.73
30	158.73	8.346	84.71	8.318	84.32
31	164.02	8.771	89.02	8.751	88.71
32	169.31	9.114	92.50	9.207	93.33
33	174.60	9.473	96.14	9.636	97.68
34	179.89	9.846	99.93	9.860	99.95

หมายเหตุ : ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น = 9.853 mg/l ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น = 9.865 mg/l

ตารางที่ 4.19 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ความสูง 90 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (mg/l)			
		ตะกั่ว	C/Co (%)	ปรอท	C/Co (%)
30	106.01	5.329	54.09	4.129	41.86
32	113.07	5.912	60.00	5.028	50.97
34	120.14	6.402	64.98	5.930	60.11
36	127.21	6.815	69.17	6.721	68.13
38	134.28	7.219	73.27	7.366	74.67
40	141.34	7.673	77.87	8.005	81.15
41	144.88	8.073	81.93	8.384	84.99
42	148.41	8.274	83.97	8.649	87.67
43	151.94	8.543	86.70	8.901	90.23
44	155.48	8.817	89.49	9.153	92.78
45	159.01	9.120	92.56	9.397	95.26
46	162.54	9.325	94.64	9.609	97.40
47	166.08	9.549	96.91	9.711	98.44
48	169.61	9.742	98.87	9.858	99.93
49	173.14	9.809	99.55		
50	176.68	9.849	99.96		

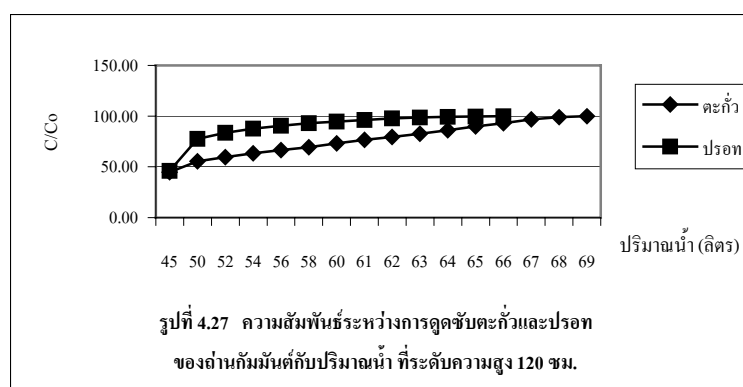
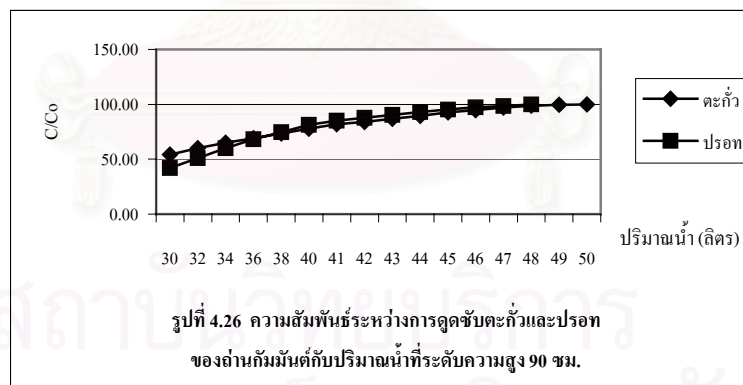
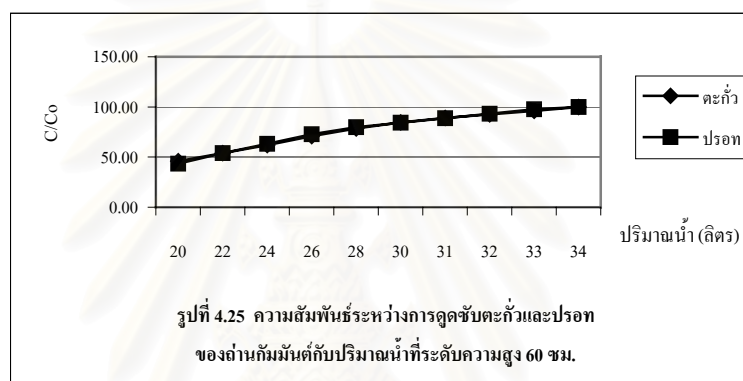
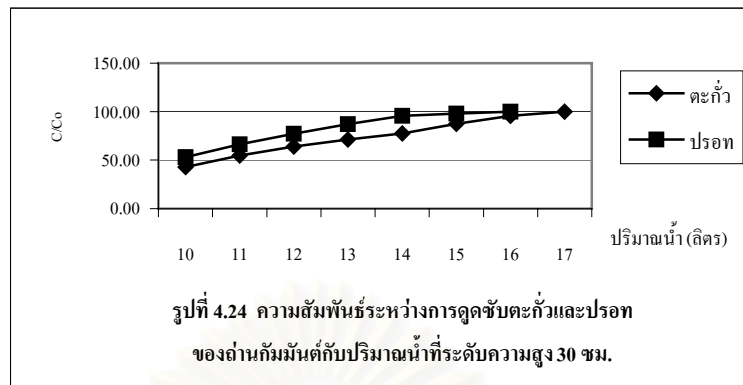
หมายเหตุ : ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น = 9.853 mg/l

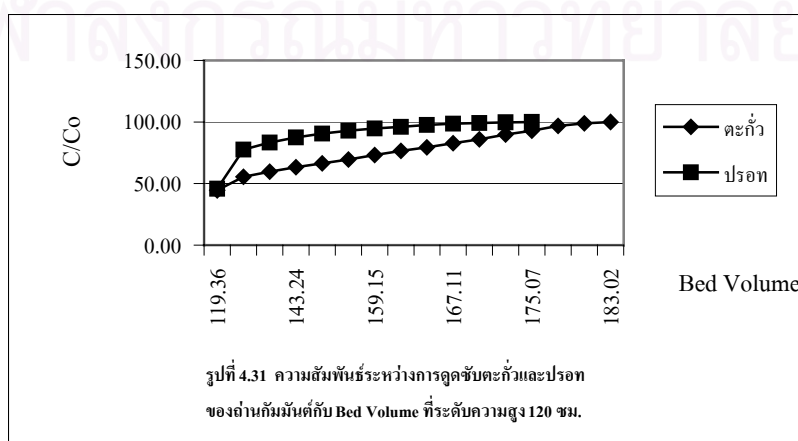
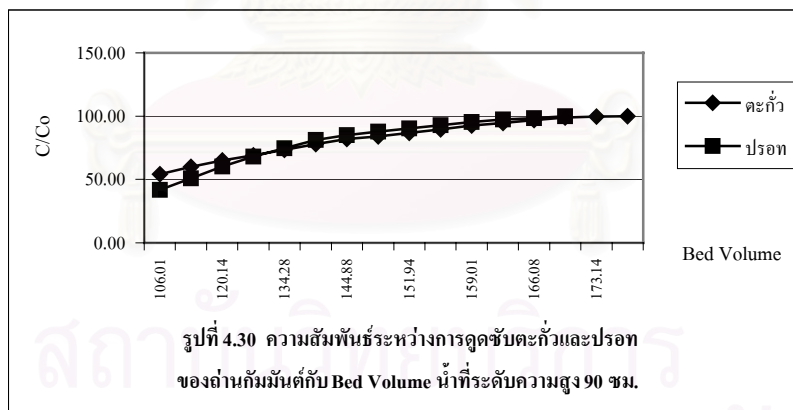
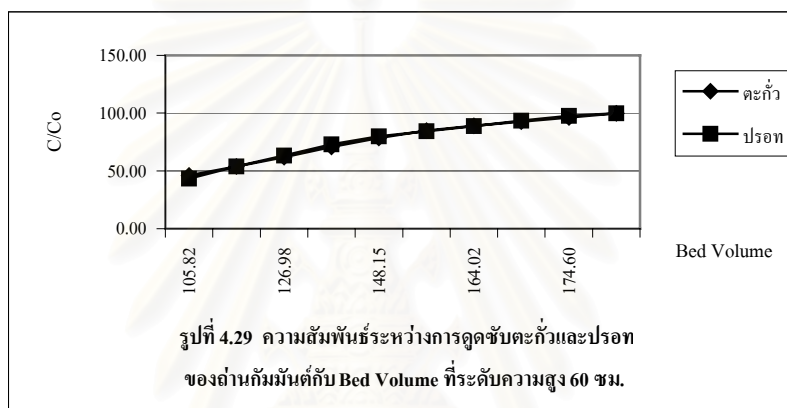
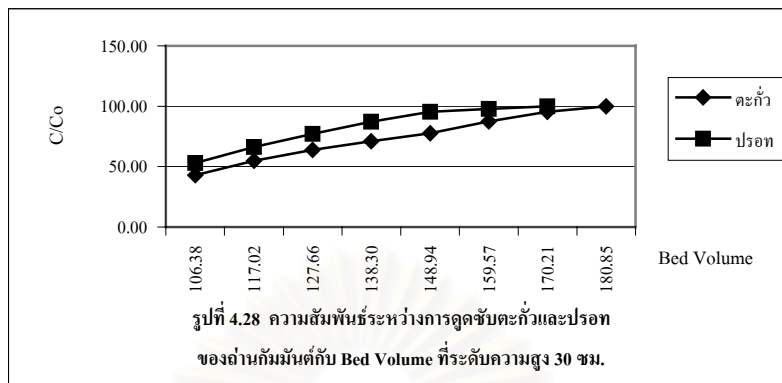
ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น = 9.865 mg/l

ตารางที่ 4.20 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ความสูง 120 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (mg/l)			
		ตะกั่ว	C/Co (%)	ปรอท	C/Co (%)
45	119.36	4.398	44.64	4.534	45.96
50	132.63	5.478	55.60	7.649	77.54
52	137.93	5.867	59.55	8.224	83.37
54	143.24	6.235	63.28	8.631	87.49
56	148.54	6.553	66.51	8.934	90.56
58	153.85	6.839	69.41	9.167	92.92
60	159.15	7.213	73.21	9.341	94.69
61	161.80	7.546	76.59	9.483	96.13
62	164.46	7.834	79.51	9.637	97.69
63	167.11	8.149	82.71	9.737	98.70
64	169.76	8.469	85.95	9.788	99.22
65	172.41	8.851	89.83	9.831	99.66
66	175.07	9.151	92.88	9.861	99.96
67	177.72	9.534	96.76		
68	180.37	9.743	98.88		
69	183.02	9.847	99.94		

หมายเหตุ : ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น = 9.853 mg/l ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น = 9.865 mg/l





จากผลการทดลองในตารางที่ 4.17 ถึง ตารางที่ 4.20 พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อใช้เวลาในการให้น้ำผ่านคอลัมน์ถ่านกัมมันต์และถ่านที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมากขึ้นและปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์มีมากขึ้น จนกระทั่ง ณ จุดหนึ่ง ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ผ่านเข้าสู่การดูดซับ โดยในระยะแรก ปริมาณสารตะกั่วและปรอทจะลดลง เนื่องจากถ่านยังมีพื้นที่ผิวสูงอยู่ ดังนั้นจึงสามารถดูดซับตะกั่วและปรอทที่ผ่านเข้าสู่คอลัมน์ได้สูง และทำให้พื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับลดน้อยลง และไม่สามารถดูดซับตะกั่วและปรอทที่ผ่านเข้ามาใหม่ได้ จึงทำให้น้ำที่ออกจากคอลัมน์ในระยะหลังมีปริมาณตะกั่วและปรอทสูงขึ้น เนื่องจากไม่สามารถดูดซับได้อีกนั่นเอง

จากรูปที่ 4.24 ถึง รูปที่ 4.27 แสดง Breakthrough Curve ของการดูดซับตะกั่วและปรอทที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 ซม. โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ดังนั้นจะได้ว่าที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 ซม. ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 3.83, 3.83, 3.75 และ 3.88 มิลลิกรัม ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 9.853 mg/L และที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชม. ตามลำดับ และสามารถดูดซับปรอท ได้เท่ากับ 3.61, 3.83, 3.61 และ 3.72 มิลลิกรัม ที่ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น 9.865 mg/L และที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชม. ตามลำดับ ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ไม่แตกต่างกันมากนัก

จากรูปที่ 4.28 ถึง รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทในน้ำ กับปริมาตรของน้ำในหน่วย Bed Volume ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน พบว่าการใช้งานของถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 9.853 mg/L ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 180.85, 179.89, 176.68 และ 183.02 BV ตามลำดับ ส่วนการใช้งานที่ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น 9.865 mg/L ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 170.21, 179.89, 169.61 และ 175.07 BV ตามลำดับ

4.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง ได้ผลดังตารางที่ 4.21 ถึงตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.32 ถึง 4.39

ตารางที่ 4.21 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านจากกะลามะพร้าวที่ความสูง 30 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (mg/l)			
		ตะกั่ว	C/Co (%)	ปรอท	C/Co (%)
3	31.91	7.123	72.51	7.635	77.67
4	42.55	7.948	80.90	8.214	83.56
5	53.19	8.616	87.70	8.639	87.88
6	63.83	9.107	92.70	9.017	91.73
7	74.47	9.500	96.70	9.368	95.30
8	85.11	9.786	99.61	9.713	98.81
9	95.74	9.812	99.88	9.828	99.98
10	106.38	9.821	99.97		

หมายเหตุ : ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น = 9.824 mg/l ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น = 9.830 mg/l

ตารางที่ 4.22 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านจากกะลามะพร้าวที่ความสูง 60 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (mg/l)			
		ตะกั่ว	C/Co (%)	ปรอท	C/Co (%)
10	52.91	7.324	74.55	7.203	73.28
11	58.20	7.816	79.56	7.815	79.50
12	63.49	8.133	82.79	8.310	84.54
13	68.78	8.408	85.59	8.698	88.48
14	74.07	8.615	87.69	8.977	91.32
15	79.37	8.763	89.20	9.186	93.45
16	84.66	8.901	90.60	9.357	95.19
17	89.95	9.094	92.57	9.491	96.55
18	95.24	9.237	94.02	9.614	97.80
19	100.53	9.532	97.03	9.724	98.92
20	105.82	9.709	98.83	9.823	99.93
21	111.11	9.817	99.93		

หมายเหตุ : ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น = 9.824 mg/l ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น = 9.830 mg/l

ตารางที่ 4.23 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านจากกะลามะพร้าวที่ความสูง 90 เซนติเมตร

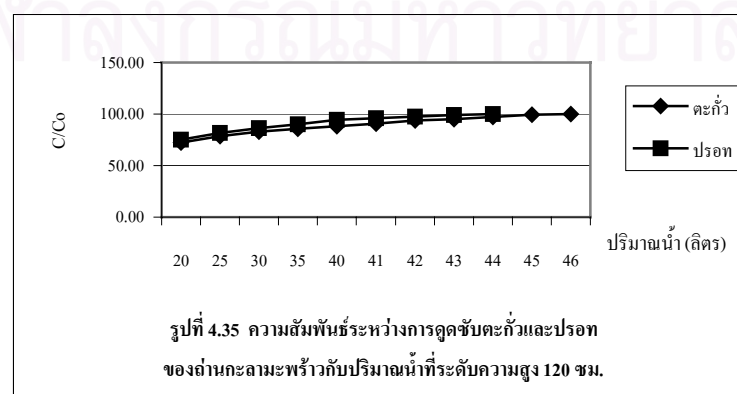
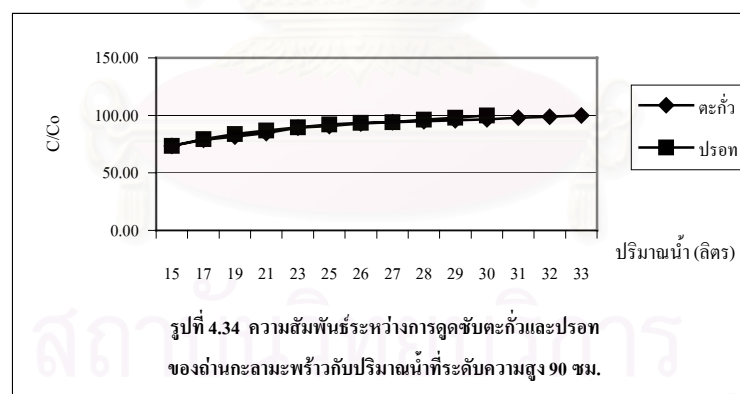
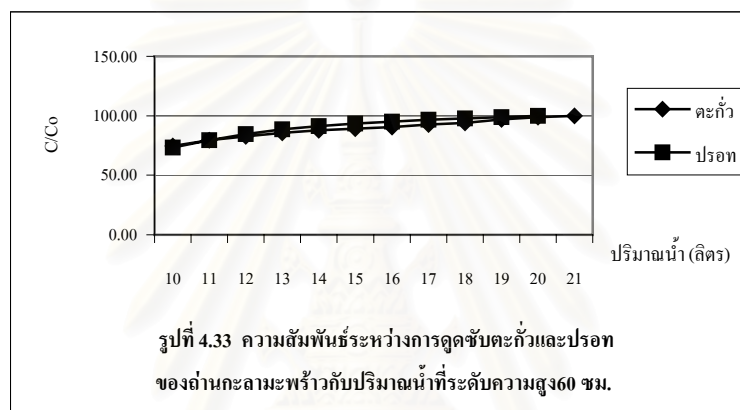
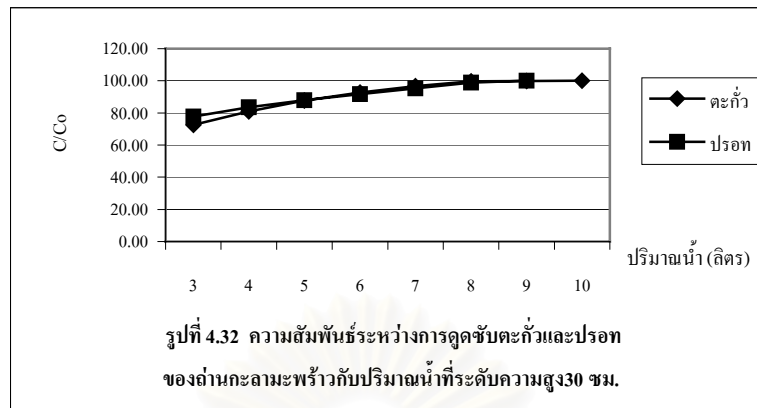
ปริมาณน้ำ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (mg/l)			
		ตะกั่ว	C/Co (%)	ปรอท	C/Co (%)
15	53.00	7.214	73.43	7.214	73.39
17	60.07	7.735	78.74	7.809	79.44
19	67.14	8.013	81.57	8.221	83.63
21	74.20	8.312	84.61	8.533	86.81
23	81.27	8.766	89.23	8.815	89.67
25	88.34	8.917	90.77	9.066	92.23
26	91.87	9.134	92.98	9.205	93.64
27	95.41	9.253	94.19	9.244	94.04
28	98.94	9.329	94.96	9.468	96.32
29	102.47	9.403	95.71	9.632	97.99
30	106.01	9.481	96.51	9.824	99.94
31	109.54	9.624	97.96		
32	113.07	9.715	98.89		
33	116.61	9.819	99.95		

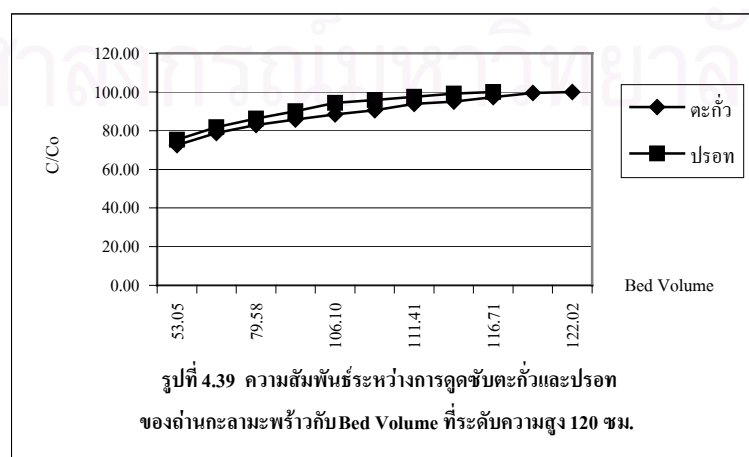
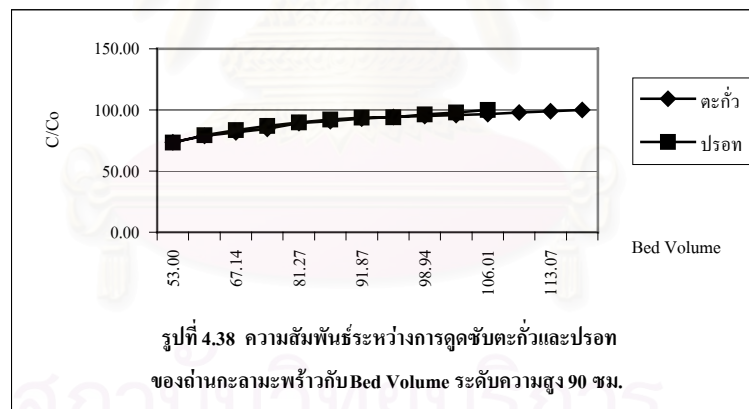
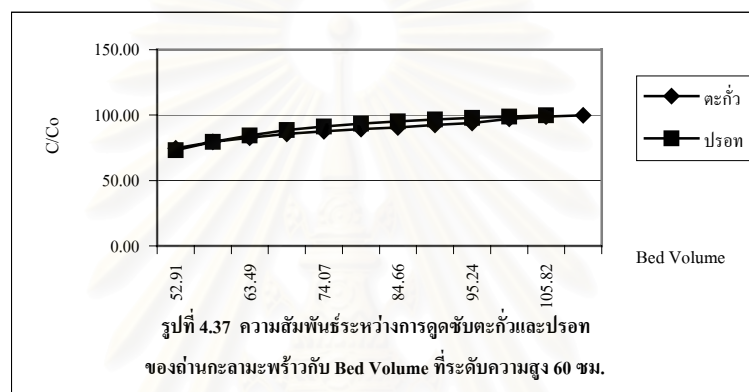
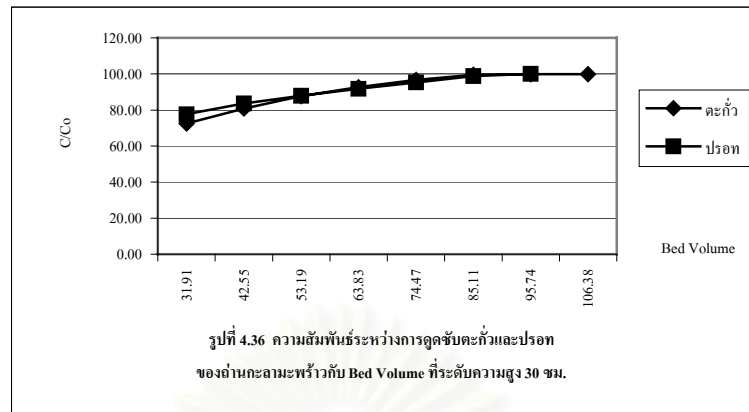
หมายเหตุ : ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น = 9.824 mg/l ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น = 9.830 mg/l

ตารางที่ 4.24 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านจากกะลามะพร้าวที่ความสูง 120 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (mg/l)			
		ตะกั่ว	C/Co (%)	ปรอท	C/Co (%)
20	53.05	7.120	72.48	7.400	75.28
25	66.31	7.734	78.73	8.041	81.80
30	79.58	8.142	82.88	8.482	86.29
35	92.84	8.428	85.79	8.854	90.07
40	106.10	8.676	88.31	9.278	94.38
41	108.75	8.894	90.53	9.424	95.87
42	111.41	9.212	93.77	9.585	97.51
43	114.06	9.333	95.00	9.753	99.22
44	116.71	9.556	97.27	9.827	99.97
45	119.36	9.775	99.50		
46	122.02	9.820	99.96		

หมายเหตุ : ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น = 9.824 mg/l ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น = 9.830 mg/l





จากผลการทดลองในตารางที่ 4.21 ถึง ตารางที่ 4.24 พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์ คือ ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อใช้เวลาในการให้น้ำผ่านคอลัมน์ถ่านกัมมันต์และถ่านที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมากขึ้นและปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์มีมากขึ้น จนกระทั่ง ณ จุดหนึ่ง ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ผ่านเข้าสู่การดูดซับ โดยในระยะแรก ปริมาณสารตะกั่วและปรอทจะลดลง เนื่องจากถ่านยังมีพื้นที่ผิวสูงอยู่ ดังนั้นจึงสามารถดูดซับตะกั่วและปรอทที่ผ่านเข้าสู่คอลัมน์ได้สูง และทำให้พื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับลดน้อยลง และไม่สามารถดูดซับตะกั่วและปรอทที่ผ่านเข้ามาใหม่ได้ จึงทำให้น้ำที่ออกจากคอลัมน์ในระยะหลังมีปริมาณตะกั่วและปรอทสูงขึ้น เนื่องจากไม่สามารถดูดซับได้อีกนั่นเอง แต่พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจะน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป

จากรูปที่ 4.32 ถึง รูปที่ 4.35 แสดง Breakthrough Curve ของการดูดซับตะกั่วและปรอทที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 ซม. โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว ดังนั้นจะได้ว่าที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 ซม. ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว 1 กรัม สามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 2.45, 2.57, 2.69 และ 2.81 มิลลิกรัม ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 9.824 mg/L และที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชม. ตามลำดับ และสามารถดูดซับปรอท ได้เท่ากับ 2.21, 2.45, 2.45 และ 2.70 มิลลิกรัม ที่ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น 9.830 mg/L และที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชม. ตามลำดับ ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวสามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ไม่แตกต่างกันมากนัก

จากรูปที่ 4.36 ถึง รูปที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทในน้ำ กับปริมาตรของน้ำในหน่วย Bed Volume ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน พบว่าการใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 9.824 mg/L ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 106.38, 111.11, 116.61 และ 122.02 BV ตามลำดับ ส่วนการใช้งานที่ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น 9.830 mg/L ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 97.54, 105.82, 106.01 และ 116.71 BV ตามลำดับ

จากการทดลองประสิทธิภาพในการดูดซับแบบแห้งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการดูดซับโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชต่อถ่าน 1 กรัม พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับแบบฟรุนดลิชจะสูงกว่า โดยประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวที่ทดสอบโดยไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชจะมีค่าเป็น 12.93 และ 2.98 เท่าตามลำดับของการดูดซับแบบแห้ง ส่วนการดูดซับปรอทมีค่าเป็น 5.36 และ 2.04 เท่าตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในการทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับแบบแห้งจะใช้น้ำเสียซึ่งมาจากโรงงานฟอกย้อม โดยลักษณะสมบัติของน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมจะมีทั้งสีและโลหะหนักตัวอื่นๆ เจือปนอยู่ ซึ่งพื้นที่ผิวส่วนหนึ่งย่อมจะดูดซับสีและโลหะหนักตัวอื่นๆ ด้วย เพราะถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดสีและโลหะหนักตัวอื่นๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดตะกั่วและปรอทลดลง อีกทั้งในการทดลองไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชทำการทดลองที่ pH 7 ซึ่งมีอิทธิพลของการตกตะกอนร่วมกับการดูดซับอยู่ด้วย ในขณะที่การทดลองโดยใช้ถังดูดซับแบบแห้งทำการทดลองที่ pH 2 – 3 ซึ่งประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นมาจากการดูดซับเพียงอย่างเดียว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง สามารถสรุปผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทของน้ำเสียดังเคราะห์ในการทดลองแบบแบชท์และน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้สารดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม ได้ดังนี้

5.1.1 การหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

จากการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยมีเกลือแองเป็นสารกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 532.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เกลือแองเป็นสารกระตุ้น คือ ที่อัตราส่วน 1:3 เช่นกัน โดยให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 486.45 มิลลิกรัมต่อกรัม

5.1.2 ลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับ

พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300 มีค่าเท่ากับ 955.7000 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็น 1.94 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และเป็น 2.48 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มมีพื้นที่ผิว 492.4200 และ 385.9073 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าวมีพื้นที่ผิวเป็น 1.28 เท่า ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์ม

สำหรับปริมาตรโพรงของถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300 มีค่าเท่ากับ 0.496 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็น 2.55 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และเป็น 3.48 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มมีปริมาตรโพรง 0.194794 และ 0.142389 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมตามลำดับ และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าวมีพื้นที่ผิวเป็น 1.37 เท่า ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์ม

5.1.3 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm)

1) การหา pH ที่เหมาะสม

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า ที่ pH 6, 7 และ 8 ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์ ถ่านที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านที่ผลิตจากกะลาปาล์ม สามารถดูดซับได้ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในการเลือก pH ที่เหมาะสมในการนำไปหาความเข้มข้นและการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชจะใช้ pH เท่ากับ 7 เพราะจากการศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งสิ่งทอพบว่ามีค่า pH ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง

2) การหาความเข้มข้นที่เหมาะสม

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและปรอท ประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม มีค่าลดลง โดยถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วจะลดลงจากร้อยละ 98.60 เหลือร้อยละ 81.73 และ 78.06 ถ่านที่เตรียมจากกะลามะพร้าวประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงจากร้อยละ 98.43 เหลือร้อยละ 77.97 และ 75.39 และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงจากร้อยละ 95.33 เหลือร้อยละ 74.18 และ 71.12 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว เป็น 10, 20 และ 30 mg/l ตามลำดับ ส่วนการดูดซับปรอท ประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดจะลดลงจากร้อยละ 97.23 เป็นร้อยละ 81.60 และ 77.99 ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว ประสิทธิภาพจะลดลงจากร้อยละ 95.57 เหลือร้อยละ 75.73 และ 73.16 และสำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม ประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงจากร้อยละ 94.37 เหลือร้อยละ 74.23 และ 69.70 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปรอท เป็น 10, 20 และ 30 mg/l ตามลำดับ

3) การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านแต่ละประเภท

จากการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช พบว่า ถ่านที่มีค่า K สูงสุดคือ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งจะสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และกะลาปาล์มทั้งในการดูดซับตะกั่วและปรอท แสดงว่า ถ่านกัมมันต์ที่สามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ดีคือ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์ม

นอกจากนี้ยังพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวจะมีค่า $1/n$ สูงทั้งในการดูดซับตะกั่วและปรอท นั่นคือ กราฟมีความชันสูงนั่นเอง แสดงว่า ค่าความเข้มข้น มีบทบาทต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว นั่นคือ ถ้าสารที่ถูกดูดซับมีความเข้มข้นสูง ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว มีแนวโน้มในการดูดซับได้ดี

5.1.4 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแห้ง

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว 1 กรัม สามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 2.45, 2.57, 2.69 และ 2.81 มิลลิกรัม ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 9.824 mg/L และที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชม. ตามลำดับ และสามารถดูดซับปรอท ได้เท่ากับ 2.21, 2.45, 2.45 และ 2.70 มิลลิกรัม ที่ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น 9.830 mg/L และที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชม. ตามลำดับ ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวสามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ไม่แตกต่างกันมากนัก

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทในน้ำ กับปริมาตรของน้ำในหน่วย Bed Volume พบว่าการใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 9.824 mg/L ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 106.38, 111.11, 116.61 และ 122.02 BV ตามลำดับ ส่วนการใช้งานที่ความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้น 9.830 mg/L ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 97.54, 105.82, 106.01 และ 116.71 BV ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป พบว่า ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 ซม. สามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 3.83, 3.83, 3.75 และ 3.88 มิลลิกรัมและสามารถดูดซับปรอท ได้เท่ากับ 3.61, 3.83, 3.61 และ 3.72 มิลลิกรัม และการใช้งานของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับตะกั่ว ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 180.85, 179.89, 176.68 และ 183.02 BV ตามลำดับ และการดูดซับปรอทมีค่าเท่ากับ 170.21, 179.89, 169.61 และ 175.07 BV ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต

1) การทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว ในการดูดซับโลหะหนักจากโรงงานประเภทอื่นๆ ที่น้ำทิ้งมีโลหะเจือปนอยู่ปริมาณมาก เช่น โรงงานชุบโลหะ เนื่องจากผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว มีแนวโน้มที่จะเป็นไปได้

2) การศึกษาการกระตุ้นกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวโดยใช้สารกระตุ้นตัวอื่นนอกเหนือจาก NaCl เช่น $FeCl_3$

3) การเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ระหว่างการใช้น้ำกับกรดไฮโดรคลอริกล้างหลังจากทำการกระตุ้นเสร็จ

รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2542. คู่มือเจ้าพนักงานควบคุมมลพิษ. กรุงเทพมหานคร. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- เกศรา นุตาลัย และคณะ. 2531. รายงานการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ. รายงานฉบับที่ 1 โครงการวิจัยที่ ภ30 – 14 โครงการวิจัยและพัฒนาดินพรุเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- เกศสุชา พูลคำ. 2537. การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์.
- จารุทัศน์ มลิทธะเลข. 2527. การบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีและวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชนิตา เสมรรัตน์. 2543. ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดซับผิวโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดำรง ชุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล. 2533. การผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น. วิศวกรรมสาร 43 (พฤศจิกายน – ธันวาคม 2533) 96 – 99.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527. รายงานวิจัยขั้นสมบูรณ์ การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า เล่มที่ 2 ข้อมูลพื้นฐาน. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นเรศ จันทร์เทียน, วัชรศักดิ์ ฤกษ์ชุมทรัพย์ และวิทยา เจนจรัสโชติ. 2534. การศึกษาความน่าจะเป็นในการนำเอาตาลโตนดมาทำเป็นถ่านกัมมันต์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญชัย ตระกูลมหชัย, มนัส อาตยะพันธ์, น้อมจิตต์ เกิดผล, ผาสุก คงชาตรี และเกศรา นุตาลัย.

2534. การผลิตถ่านกัมมันต์จากพีทและการกระตุ้นด้วยไอน้ำในเตาฟลูอิด์เบด. รายงานฉบับที่ 2 โครงการวิจัยที่ อ-ต 34-01, กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

บุญชัย ตระกูลมหชัย. 2536 . การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาล โตนด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประกฤต เลิศจรสอร่ามดี. 2539. การกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ขี้เถ้าผงข้าว และขุยมะพร้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฝ่ายติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม, กองวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม. 2542. คู่มือการติดตามตรวจสอบและประเมินผลกระทบจากโครงการที่จัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

พงศธร โค้วชาภรณ์. 2538. ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เพียรพรรค ทศกร. 2535. หน่วยปฏิบัติการทั่วไป. กรุงเทพมหานคร. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิสุทธิ พันธุ์วิชาติกุล และสมิทธิ์ รัตนสุทธิพงษ์. 2535. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตาลโตนดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์. กรุงเทพฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2520. การศึกษาปัญหาพิษตะกั่ว. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2514. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2530. ตะกั่วมหากภัย. แปลจาก Lead on the brain โดย Nick Kollerstrom. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

อริชัย นพแก้ว. 2539. การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับมลพิษโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- อนุชิต กิจสวัสดิ์. 2520. การทำถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อุไรวรรณ ธรรมรัตน์พคุณ. 2523. การทำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ. กรุงเทพฯ : กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน.
- Culurla, F., Molina-Sabio, M and Rodriugez-Reinoso, F. 1991. Preparation of activated carbon by chemical activation with $ZnCl_2$. Carbon. 29: No.7 pp 990 – 1007.
- Dubin, M.M. 1966. Chemistry and physics of Carbon. New York: P.L. Walker Jr. (Ed.), Vol.2, M Dekker.
- Guo, J., Lua, A.C. 2000. "Effect of heating temperature on the properties of chars and activated carbons prepared from oil palm stones" Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 60: (2) 417-425.
- Hassler, J.W. 1967. Activated carbon. London : Leonard Hill.
- Hassler, J.W. 1974. Publication with activated carbon. New York : Mercel Dekker, Inc.
- Johnson, B.C. 1977 . Manufacture of activated carbon from sized coal. US Patent No. 4,014,817.
- Kirubakarn, C.J. and et al. Experimental study of production of activated carbon from coconut shells in a fluidized bed reactor. Ind Eng. Chem Res. 30 (1991) : 2411 – 2416.
- Kohan, S.M. and Barkhordor, D.M. 1979. Mission Analysis for Federal Fuel from Biomass Program vol IV. Thermalchemical Conversion of Biomass to Fuels and Chemistry, Chapter VI, Production of Oil and Char Pyrolysis of Wood, January.
- Lua, A.C., Guo, J. 2000. "Activated carbon prepared from oil palm stone by one-step CO_2 activation for gaseous pollutant removal" Carbon. 38: (7) 1089-1097.
- Mattson, J.S. and Mark, H.B. 1971. Activated carbon surface chemistry and adsorption from solution. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Pierce, C., Wiley, J.W. and Smith, R.N. 1949. J.Phys. Chem. 53:669
- Potgieter, J.H. 1990. An experimental study of the adsorption behavior of methylene blue on activated carbon. Colloids and Surface. 50: 393 - 399

- Rengaraj S, Sivabalan R, Arabindoo B, Murugesan V. 2000. "Adsorption kinetics of o-cresol on activated carbon from palm seed coat" Indian Journal of Chemical Technology. 7:(3) 127-131.
- Rodriguez-Reinoso, F. and Linares-Solono, A. 1965. Microporous structure of activated carbon as revealed by adsorption methods. Chemistry and Physics of Carbon A Series of Advances. 21 : 1-37.
- Satya, S. and Jeleel Ahemed. 1997. Production of Activated Carbon from Coconut Shell Char in a Fluidized Bed Reactor. Ind Eng Chem Res. 36, 3625.
- Suzuki, M. 1990. Adsorption engineering. Chemical Engineering Monographs Vol. 25 Tokyo: Kodansha.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก. มาตรฐานน้ำทิ้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดของหน่วยราชการต่างๆ

อันดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของหน่วยราชการ						หมายเหตุ
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
1	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5 - 9	5 - 9	6.5 - 8.5	5.0 - 9.2	
2	ค่าที่เค็ส (TDS)	มก./ล.	3,000 (5,000)	3,000 (5,000)	2,000 (5,000)	-	1,300	-	
3	สารแขวนลอย (SS)	มก./ล.	50 (150)	50 (150)	30 (150)	500 (200)*	30		* นิคมอุตสาหกรรมบางปู
4	โลหะหนัก								
	- ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.002	
	- เซลเนียม (Se)	มก./ล.	0.02	0.02	0.2	0.02	รวมกันหรือ แต่ละอย่าง	-	
	- แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.03	0.03	0.03	0.03		0.1	
	- ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.2	0.2	0.2	0.1	รวมกันหรือ รวมทั้งเงิน	0.1	
	- อาร์เซนิก (As)	มก./ล.	0.25	0.25	0.25	0.25		0.2	
	- โครเมียม (Cr)	มก./ล.	-	-	0.5	0.3	ไม่มากกว่า	2.0	
	- โครเมียม Hexavalent (Cr ⁶⁺)	มก./ล.	0.25	0.25	-	-	1 มก./ล.	-	
	- โครเมียม Trivalent (Cr ³⁺)	มก./ล.	0.75	0.75	-	-	(Ag)	-	
	- แบเรียม (Ba)	มก./ล.	1.0	1.0	1.0	1.0	รวมกันหรือ รวมทั้งเงิน	1.0	
	- นิกเกิล (Ni)	มก./ล.	1.0	1.0	0.2	0.2		-	
	- ทองแดง (Cu)	มก./ล.	2.0	2.0	1.0	1.0	1.5		
	- สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0	5.0	5.0	-	5.0	15	
	- แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	5.0	5.0	5.0	10*	5.0	-	* สารละลายเหล็กและแมงกานีส
5	ซัลไฟด์ในรูป H ₂ S	มก./ล.	1.0	1.0	1.0	5.0	1.0	-	
6	ไซยาไนด์ในรูป HCN	มก./ล.	0.2	0.2	0.2	2.0	0.2	0.2	
7	ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	มก./ล.	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	-	
8	สารประกอบฟีนอล (Phenols Compounds)	มก./ล.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	
9	คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	มก./ล.	1.0	1.0	1.0	5.0	1.0	5.0	
10	เพสตีไซด์ (Pesticide)	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ*	ไม่พบ*	ไม่พบ*	-	* Insecticide
11	อุณหภูมิ (Temperature)	°C	40	40	40	45	-	-	
12	สี (Color)	-	ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ	-	ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ	50*	* Pt-Co/Unit
13	กลิ่น (Odor)	-	ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ	-	ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ	-	
14	ความขุ่น (Turbidity)	(JTU)	-	-	-	-	-	50	
15	คลอไรด์ ในรูป Cl	-	-	-	-	2,000	-	-	
16	น้ำมันทาร์ (Tar)	-	-	-	ไม่พบ	10	ไม่พบ	-	

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดของหน่วยราชการต่างๆ (ต่อ)

อันดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของหน่วยราชการ						หมายเหตุ
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
17	สารกัมมันตรังสี		-	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	
18	ฟลูออไรด์ (F)		-	-	-	5	-	-	
19	แอมโมเนียอิสระ (Free Ammonia)		-	-	-	5	-	-	
20	แอมโมเนีย (Total ammonical Nitrogen, as N)		-	-	-	50	-	-	
21	ผงซักฟอก (Synthetic Detergent)		-	-	-	30	-	-	
22	น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)	มก./ล.	5 (15)	6 (15)	7 (15)	10	5.0	5.0	ค่ามาตรฐานใน () ให้ดูคำอธิบายใน หมายเหตุแนบท้าย
23	ค่าทีเคเอ็น (TKN)	มก./ล.	100 (200)	101 (200)	-	-	-	-	
24	ค่าบีโอดี (BOD)	มก./ล.	20 (60)	21 (60)	22 (60)	1,000	20	40	
25	ค่าซีโอดี (COD)	มก./ล.	120 (400)	121 (400)	-	-	-	-	
26	ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solid)	มก./ล.	-	-	-	-	-	2,000	
27	ค่าความนำไฟฟ้า	μ m/cm	-	-	-	200	2,000	-	
28	ค่าเปอร์มันганต (Permanganate Value)	มก./ล.	-	-	60	60	-	-	

- ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน
 (2) ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง
 จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม
 (3) ประกาศกรมเจ้าท่าที่ 214/2537 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
 (4) ประกาศกรมนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 13/2530 เรื่องหลักเกณฑ์ทั่วไปในการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบกำจัดน้ำเสียส่วนกลาง
 (5) ประกาศกรมชลประทาน เรื่อง มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งในทางน้ำชลประทาน
 (6) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 5 (พ.ศ. 2521) ออกตาม พรบ. น้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง มาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อนบาดาล

หมายเหตุ : (JTU) = หน่วยความขุ่น

μ m/cm = ไมโครโมสต่อเซนติเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

อันดับที่	รายละเอียด	หมายเหตุ
2 (1)	<p>ที่คี่เอส (Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าที่คี่เอสไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 2. น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าที่คี่เอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่คี่เอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
2 (2)	<p>ค่าที่คี่เอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าที่คี่เอสไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 2. น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงาน สู่แหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลงสู่ทะเล ค่าที่คี่เอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่คี่เอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือทะเล ได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 	ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
2 (3)	<p>สารที่ละลายได้ (Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. สารที่ละลายได้ (Dissolved Solids) ต้องไม่มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ภูมิประเทศ หรือลักษณะการระบายตามที่พนักงานเจ้าหน้าที่เห็นสมควร แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 2. น้ำทิ้งซึ่งจะระบายออกจากโรงงานสู่แหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลงทะเล ค่าสารที่ละลายได้ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าสารละลายได้ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 	ประกาศกรมเจ้าท่า

ตารางที่ ก.2 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (ต่อ)

อันดับที่	รายละเอียด	หมายเหตุ
3 (1)	สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
3 (2)	สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร	ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
3 (3)	ถ้าอัตราส่วนระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 8 สารที่ลอยเจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 30 ส่วนใน 1,000,000 ส่วน ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 151 ถึง 1 ต่อ 300 สารที่ลอยเจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 60 ส่วนใน 1,000,000 ส่วน ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำคลองสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 301 ถึง 1 ต่อ 500 สารที่แขวนลอยเจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 150 ส่วนใน 1,000,000 ส่วน	ประกาศกรมเจ้าท่า
22 (1)	น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
22 (2)	น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อลิตร	ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ ก.2 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (ต่อ)

อันดับที่	รายละเอียด	หมายเหตุ
22 (3)	น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้น โรงงานกลั่นน้ำมัน และ โรงงานประกอบกิจกรรมการผสมน้ำมันหล่อ ลื่น จาระบี ตามประเภทหรือชนิดโรงงานลำดับที่ 49, 50(4) แห่งกฎ กระทรวง ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2518) ให้มีน้ำมันไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อ ลิตร	ประกาศกรมเจ้าท่า
23 (1)	<p>ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำ ทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรมตามที่ กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อ ลิตร</p> <p>ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรมตามบัญชี ท้าย กฎกระทรวง (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรง งาน พ.ศ.2535 คือ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. โรงงานลำดับที่ 13 (2) โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่อง ปรุ่ ง หรือเครื่องประกอบอาหาร ประเภทการทำเครื่องปรุ่ ง กลิ่น รส หรือสีของอาหาร 2. โรงงานลำดับที่ 15 (1) ประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารสัตว์ ประเภทการทำอาหารผสมหรืออาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยง สัตว์ 	ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม
23 (2)	ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม ต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่ง รองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะ กรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	ประกาศกระทรวง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ สิ่งแวดล้อม

ตารางที่ ก.2 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (ต่อ)

อันดับที่	รายละเอียด	หมายเหตุ
24 (1)	<p>ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร</p> <p>ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามบัญชีท้ายกฎกระทรวง (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 คือ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. โรงงานลำดับที่ 4(1) ประกอบกิจการเกี่ยวกับสัตว์ ซึ่งมีไข่สัตว์น้ำ ประเภทการฆ่าสัตว์ 2. โรงงานลำดับที่ 9(2) ประกอบกิจการเกี่ยวกับเมล็ดพืช หรือหัวพืชประเภทการทำแปง 3. โรงงานลำดับที่ 3(10) ประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารจากแปง ใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างดังต่อไปนี้ <ol style="list-style-type: none"> (1) การทำขนมปัง หรือขนมเค้ก (2) การทำขนมปังกรอบ หรือขนมอบแห้ง (3) การทำผลิตภัณฑ์อาหารจากแปงเป็นเส้น เม็ด หรือชิ้น 4. โรงงานลำดับที่ 15 ประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารสัตว์ ใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ <ol style="list-style-type: none"> (1) การทำอาหารผสม หรืออาหารสำเร็จรูปสำหรับสัตว์เลี้ยง (2) การป่นหรือบด พืช เมล็ดพืช กากพืช เนื้อสัตว์ กระดูกสัตว์ ขนสัตว์ หรือเปลือกหอยสำหรับทำหรือผสมเป็นอาหารสัตว์ 5. โรงงานลำดับที่ 22 ประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอ ด้าย หรือเส้นใยซึ่งมีใยหิน (Asbestos) ใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างดังต่อไปนี้ 	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ตารางที่ ก.2 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (ต่อ)

อันดับที่	รายละเอียด	หมายเหตุ
	<p>(1) การหมัก คาร์บอนไนซ์ สาบ หวี ริด ปั่น อบ ควน บิด เกลียว กรอ เท็กเจอร์ไรซ์ ฟอก หรือย้อมสีเส้นใย</p> <p>(2) การทอ หรือการเตรียมเส้นด้ายขึ้นสำหรับการทอ</p> <p>(3) การฟอก ย้อมสี หรือแต่งสำเร็จด้ายหรือสิ่งทอ</p> <p>(4) การพิมพ์สิ่งทอ</p> <p>6. โรงงานลำดับที่ 29 ประกอบกิจการเกี่ยวกับ หมัก ซ้ำ แหะ อบ ปั่น หรือบด ฟอก ขัด และแต่ง แต่งสำเร็จอัดให้เป็นลาย นูน หรือเคลือบสีหนังสือตัว</p> <p>7. โรงงานลำดับที่ 38 ประกอบกิจการเกี่ยวกับ ผลิตเยื่อ หรือ กระดาษอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้</p> <p>(1) การทำเยื่อจากไม้ หรือวัสดุอื่นๆ</p> <p>(2) การทำกระดาษ กระดาษแข็ง หรือกระดาษที่ใช้ใน การก่อสร้างชนิดที่ทำจากเส้นใย (Fibre) หรือแผ่น กระดาษไฟเบอร์ (Fibreboard)</p> <p>8. โรงงานลำดับที่ 42 ประกอบกิจการเกี่ยวกับเคมีภัณฑ์ สารเคมี หรือวัสดุเคมี ซึ่งมีใช้ ปู่ย อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้</p> <p>(1) การทำเคมีภัณฑ์ สารเคมี หรือวัสดุเคมี</p> <p>(2) การเก็บรักษา ลำเลียง แยก คัดเลือกหรือแบ่งบรรจุ เฉพาะเคมีภัณฑ์ อันตราย</p> <p>9. โรงงานลำดับที่ 46 ประกอบกิจการเกี่ยวกับยา อย่างใดอย่าง หนึ่งหรือหลายอย่างดังต่อไปนี้</p> <p>(1) การผลิตวัตถุคิบที่รองรับไว้ในตำรายา ที่รัฐมนตรีว่า การกระทรวงสาธารณสุขประกาศ</p> <p>(2) การผลิตวัตถุที่มุ่งหมายสำหรับการวิเคราะห์ บำบัด บรรเทา รักษา หรือป้องกันโรค หรือความเจ็บ ป่วยของมนุษย์ หรือสัตว์</p>	

ตารางที่ ก.2 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (ต่อ)

อันดับที่	รายละเอียด	หมายเหตุ
	<p>(3) การผลิตวัตถุที่มุ่งหมายสำหรับให้เกิดผลแก่สุขภาพ โครงสร้างหรือการกระทำหน้าที่ใดๆ ของร่างกาย มนุษย์หรือสัตว์ ที่รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข สุขประกาศ แต่วัตถุตาม (1) หรือ (2) ไม่รวมถึงวัตถุที่มุ่งหมายสำหรับใช้เป็นอาหาร เครื่องกีฬา เครื่องสำอาง เครื่องมือ ที่ใช้ในการประกอบโรคศิลปะและ ส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในการนั้น</p> <p>10. โรงงานลำดับที่ 92 ประกอบกิจการเกี่ยวกับห้องเย็น</p>	
24 (2)	<p>ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร</p>	<p>ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม</p>
24 (3)	<p>ค่าของบีโอดี (BOD) (5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ภูมิประเทศ หรือลักษณะการระบายตามที่พนักงานเจ้าหน้าที่เห็นสมควร แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (บีโอดี หรือ BOD ย่อมาจาก Biochemical Oxygen Demand) ยกเว้นเฉพาะ โรงงานประเภทหรือชนิดดังต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. โรงงาน ประกอบกิจการทำอาหารจากสัตว์น้ำ และบรรจุในภาชนะที่ผนึกและอากาศเข้าไม่ได้ ตามประเภทหรือชนิดของโรงงานลำดับที่ 7 (1) แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2512) จะต้องมีค่า บีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2526 เป็นต้นไป จะต้องมีค่า บีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร 2. โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ตามประเภทหรือชนิดโรงงานลำดับที่ 9 (3) แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2512) ซึ่งมีกรรมวิธีผลิตดังนี้ 	<p>ประกาศกรมเจ้าท่า</p>

ตารางที่ ก.2 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (ต่อ)

อันดับที่	รายละเอียด	หมายเหตุ
	<p>2.1 เขียงแยกแป้งแล้วทำให้แห้งด้วยลมร้อน ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2526 เป็นต้นไป ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ภูมิประเทศหรือลักษณะการระบายตามที่พนักงานเจ้าหน้าที่เห็นสมควร แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร</p> <p>2.2 แยกแป้งด้วยการตกตะกอนแล้วทำให้แห้งบนพื้นที่ยังไฟ ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2526 เป็นต้นไป ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร</p> <p>3. โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับทำผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งเป็นเส้นหรือขึ้นตามประเภทหรือชนิดโรงงานลำดับที่ 10 (3) แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 1 (พ.ศ.2512) ชนิดทำก๋วยเตี๋ยว ขนมจีนและเส้นหมี่ที่ใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อวัน ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2526 เป็นต้นไป ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร</p> <p>4. โรงงานหมัก ฟอก หนังสัตว์ ตามประเภทหรือชนิดโรงงานลำดับที่ 29 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2512) ที่ใช้หนังสัตว์สดเป็นวัตถุดิบต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2526 เป็นต้นไป ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร</p>	

ตารางที่ ก.2 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (ต่อ)

อันดับที่	รายละเอียด	หมายเหตุ
	<p>5. โรงงานผลิตเยื่อกระดาษจากไม้ ชานอ้อย หนุ่ย เศษผ้า ฯลฯ ตามประเภทหรือชนิดโรงงานลำดับที่ 38 (1) แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2512) ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2526 เป็นต้นไป ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร</p> <p>6. โรงงานห้องเย็น ตามประเภทหรือชนิดโรงงาน ลำดับที่ 92 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2512) ชนิดที่มีการแกะล้างแล้วแช่แข็งสัตว์น้ำ ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2526 เป็นต้นไป ต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร</p>	
25 (1)	<p>ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร</p> <p>ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามบัญชีท้ายกฎกระทรวง (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 คือ</p> <p>3.1 โรงงานลำดับที่ 13 (2) ประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องปรุงหรือเครื่องประกอบอาหารประเภทการทำเครื่องปรุงกลิ่นรส หรือสีของอาหาร</p> <p>3.2 โรงงานลำดับที่ 15 (1) ประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารสัตว์ ประเภทการทำอาหารผสมหรืออาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงสัตว์</p> <p>3.3 โรงงานลำดับที่ 22 ประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอ ด้าย หรือเส้นใยซึ่งมีใยหิน (Asbestos) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างดังต่อไปนี้</p>	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ตารางที่ ก.2 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (ต่อ)

อันดับที่	รายละเอียด	หมายเหตุ
	<p>(1) การหมัก คาร์บอนไนซ์ สาง หวี ริด ปั่น อบ ควน บิด เกลียว กรอ เท็กเจอร์ไรซ์ ฟอก หรือย้อมสีเส้นใย</p> <p>(2) การทอ หรือการเตรียมเส้นด้ายขึ้นสำหรับการทอ</p> <p>(3) การฟอก ย้อมสี หรือแต่งสำเร็จด้ายหรือสิ่งทอ</p> <p>(4) การพิมพ์สิ่งทอ</p> <p>3.4 โรงงานลำดับที่ 29 ประกอบกิจการเกี่ยวกับ หมัก ชำแหละ อบ ปั่น หรืออบค ฟอก ขัด และแต่ง แต่งสำเร็จอัด ให้เป็นลายนูน หรือเคลือบสีหนังสือตัว</p> <p>3.5 โรงงานลำดับที่ 38 ประกอบกิจการเกี่ยวกับ ผลิตเยื่อ หรือ กระดาษอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้</p> <p>(1) การทำเยื่อจากไม้ หรือวัสดุอื่นๆ</p> <p>(2) การทำกระดาษ กระดาษแข็ง หรือกระดาษที่ใช้ใน การก่อสร้างชนิดที่ทำจากเส้นใย (Fibre) หรือแผ่น กระดาษไฟเบอร์ (Fibreboard)</p>	
25 (2)	<p>ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุม มลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร</p>	<p>ประกาศกระทรวง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ สิ่งแวดล้อม</p>

ที่มา : (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงานให้มีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ประกาศ ณ วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2540

(2) ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ประกาศ ณ วันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2539

(3) ประกาศกรมเจ้าท่าที่ 214/2537 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ประกาศ ณ วันที่ 2 พฤษภาคม พ.ศ.2537

ตารางที่ ก.3 วิธีการตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

อันดับที่	ค่าดัชนีที่ตรวจ	วิธีวิเคราะห์
1	ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)	pH Meter
2	ค่าที่ติเอส TDS	ระเหยระหว่าง 103 – 105 °C ใน 1 ชม.
3	สารแขวนลอย	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4	โลหะหนัก - สังกะสี, โครเมียม, ทองแดง, แคดเมียม, แบเรียม, ตะกั่ว, นิกเกิล, แมงกานีส - อาร์เซนิก และเซลเนียม - พรอท	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductivity Coupled Plasma : ICP Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductivity Coupled Plasma : ICP Atomic Absorption Cold Vapour Technique
5	ซัลไฟด์	ไตเตรท (Titrate)
6	ไซยาไนด์	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine-Barbituric Acid
7	ฟอร์มัลดีไฮด์	เทียบสี โดย Spectrophotometry
8	สารประกอบฟีนอล	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
9	คลอรีนอิสระ	Iodometric Method
10	สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์	Gas-Chromatography
11	อุณหภูมิ	Thermometer วัดขณะเก็บตัวอย่าง
12	น้ำมันและไขมัน	สกัดด้วยตัวทำละลาย แยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
13	ค่าบีโอดี (BOD)	Azide Modification ที่ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน
14	ค่าทีเคเอ็น (TKN)	Kjeldahl
15	ค่าซีโอดี (COD)	Potassium Dichromate Digestion

หมายเหตุ : วิธีการตรวจสอบต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์ และน้ำเสียของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่ง

ประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association American Water Work Association และ Water Environment Federation ของ สหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้

ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539)

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

และนิคมอุตสาหกรรม ประกาศ ณ วันที่ 3 มกราคม พ.ศ.2539

ภาคผนวก ข.
การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ซึ่งสมมุติว่าเป็นสารพิษในน้ำตามวิธี ASTM D4607-86 มีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

สารเคมีที่ใช้

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 40 มิลลิลิตร เทใส่น้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิลิตร
- น้ำแข็งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยชั่งเบ็ง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อนจนมีน้ำหนักเป็น 10 กรัม น้ำแข็งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น
- สารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 24.820 กรัมในน้ำ 75 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.1 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร
- สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายไอโอดีน 12.700 กรัมและโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.10 กรัมด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง จนผลึกไอโอดีนละลายหมด แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร
- สารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.100 นอร์มัล เตรียมโดยอบโปแตสเซียมไอโอเดตที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งมา 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

กรรมวิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต

- ปิเปิดสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต 25 มิลลิลิตรใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม เขย่าให้ละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาณ 5 มิลลิลิตร
- ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต โดยใช้ น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติคือจุดที่สารละลายไม่มีสี

คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต จาก

$$N_1 = \frac{(P \times R)}{S}$$

โดยที่

N_1	=	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต (นอร์มัล)
P	=	ปริมาตรของสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)
R	=	ความเข้มข้นของสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (นอร์มัล)
S	=	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)

กรรมวิธีเทียบมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน

- ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี

คำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนจาก

$$N_2 = \frac{(P \times R)}{S}$$

โดยที่

N_2	=	ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)
P	=	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
R	=	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต (นอร์มัล)
S	=	ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)

กรรมวิธีวิเคราะห์

- บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 60 เมช (0.246 มิลลิเมตร)
- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 – 120 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม) ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีจุกปิด

หมายเหตุ : ต้องชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง 2 ค่าต่อตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่า C มีค่าน้อยกว่า, เท่ากับ และมากกว่า 0.02 น้ำหนักประมาณของตัวอย่าง ดูจากตารางที่ ก. 1

- ใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก จำนวน 10 มิลลิลิตร (ตวงด้วยปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร) ต้มให้เดือดประมาณ 10 วินาที แกว่งขวดเบาๆ เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย เพื่อกำจัดเถ้าหรือซัลเฟตออกจากผิวของถ่านกัมมันต์
- กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก
- ดูดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต
- ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล โดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟตที่ใช้เป็นมิลลิลิตร (S)
- กำหนดค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M) และความเข้มข้นที่สมมูลของสารละลายไอโอดีน (C) ได้จาก

$$X / M(\text{mg} / \text{g}) = (1,269.30 / M) - (2.2)(12.693)(S / M)$$

$$C = (0.1)S / 50$$

- นำค่า X/M ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้างกราฟระหว่างแกนราบ คือ log C แกนตั้งฉาก คือ log X จะได้เส้นความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง
- จากเส้นความสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง C = 0.02 หรือ log C = -1.639 จะทราบค่าบนแกนตั้งฉาก สมมุติเท่ากับ Y นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า IA ดังนี้

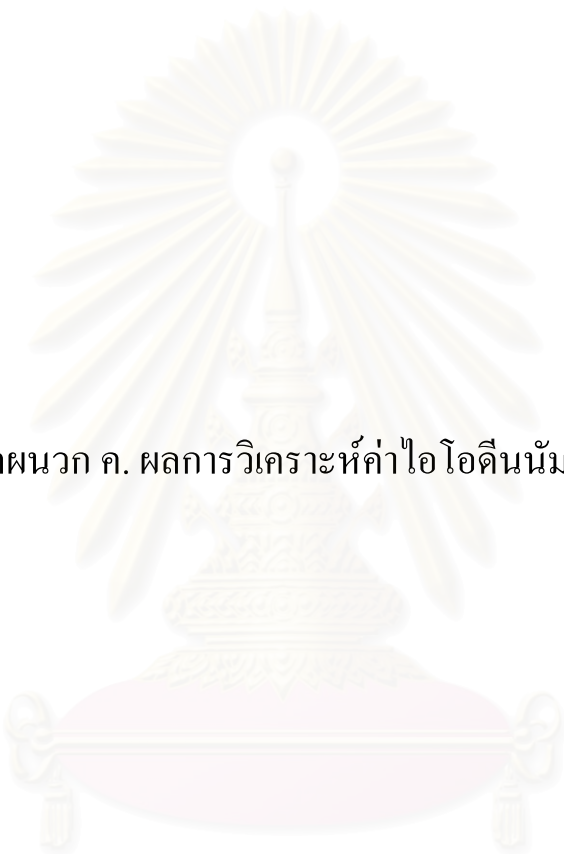
$$IA(\text{mg} / \text{g}) = 10^Y$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ค่าไอโอดีน

FIND M FOR CALCULATE IODINE NUMBER BY USING ASTM D4607-86

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 ค. ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนในนมเบอร์ ครั้งที่ 1

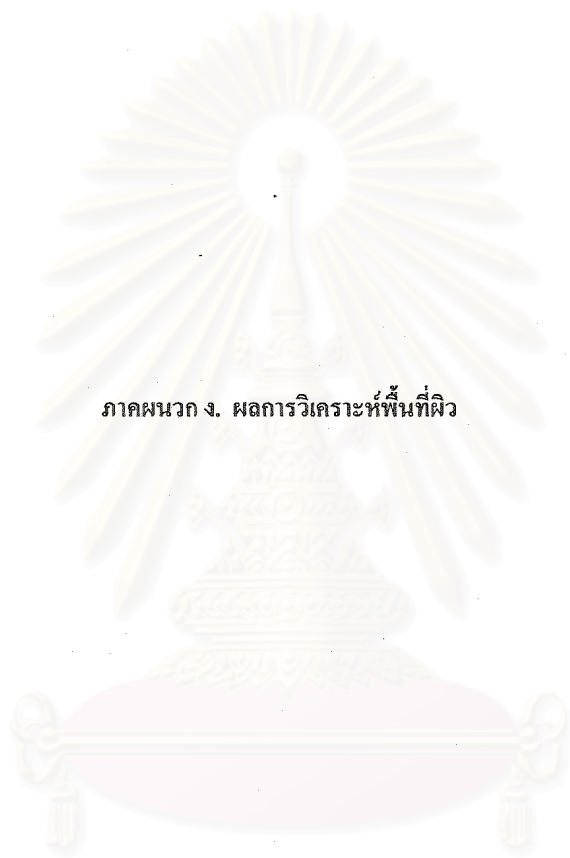
วัตถุประสงค์	ครั้งที่ 1			ค่าไอโอดีน (mg/g)
	ปริมาณตามกัมมันต์ที่ใช้ (กรัม)	ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (ml)	ค่า	
กะลามาพร้าว				
- ธรรมดา	1.0219	39.3		172.01
- แชนซ์ NaCl 1 คีน	1.0134	30.1		428.99
- แชนซ์ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 3	1.0200	26.2		533.84
กะลาปาล์ม				
- ธรรมดา	1.0123	40.4		143.05
- แชนซ์ NaCl 1 คีน	1.0202	36.2		257.83
- แชนซ์ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 1	1.0112	33.3		340.85
- แชนซ์ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 2	1.0403	30.7		401.66
- แชนซ์ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 3	1.0706	28.0		461.28
- แชนซ์ NaCl 1 คีน + ผสมเกลือแคง 1 : 4	1.0632	28.0		464.49

ตาราง ค.2 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนในเบียร์ ครั้งที่ 2

วัตถุดิบ	ครั้งที่ 2			ค่าไอโอดีน (mg/g)
	ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (กรัม)	ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (ml)		
กะลามาพร้าว				
- ธรรมดา	1.2490	37.8		174.54
- แปะ NaCl 1 คืบ	1.2016	27.5		422.71
- แปะ NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 3	1.2310	21.8		542.95
กะลาปาล์ม				
- ธรรมดา	1.2413	39.3		141.61
- แปะ NaCl 1 คืบ	1.2102	34.5		256.89
- แปะ NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 1	1.2700	30.1		342.31
- แปะ NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 2	1.2311	27.9		403.43
- แปะ NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 3	1.2121	24.8		481.74
- แปะ NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 4	1.2027	25.0		480.83

ตาราง ค.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนในแอมเมอร์ ครั้งที่ 3

วัตถุดิบ	ครั้งที่ 3			ค่าไอโอดีน (mg/g)
	ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (กรัม)	ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (ml)	ค่าไอโอดีน (mg/g)	
สถานะพรวัว				
- ขรรดดา	1.4076	37.0	170.87	
- แสง NaCl 1 คืบ	1.4103	23.2	445.98	
- แสง NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 3	1.4204	19.3	520.09	
สถานะปาล์ม				
- ขรรดดา	1.4214	38.1	147.43	
- แสง NaCl 1 คืบ	1.4103	32.7	256.37	
- แสง NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 1	1.4307	29.0	325.51	
- แสง NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 2	1.4413	24.9	403.18	
- แสง NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 3	1.4035	19.8	516.33	
- แสง NaCl 1 คืบ + ผสมเกลือแกง 1 : 4	1.4511	20.1	493.57	



ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03 B

PAGE 14

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: NUOH 738	BTARI 10:08:34 07/27/01
SAMPLE ID: cocobut	CUMPL 13:29:07 07/27/01
SUBMITTER:	REPRT 13:29:07 07/27/01
OPERATOR:	SAMPLE WT: 0.1931 g
UNIT NUMBER: 1	FREE SPACE: 58.2333 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen	EQUIL INTVL: 5 sec

SUMMARY REPORT

AREA

BET SURFACE AREA:	492.4200	sq. m/g
LANGMUIR SURFACE AREA:	548.3552	sq. m/g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT P/P ₀ 0.2006:	509.9899	sq. m/g
BH CUMULATIVE ADSORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.1128	sq. m/g
BH CUMULATIVE DESORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.5181	sq. m/g
MICROPORE AREA:	418.2428	sq. m/g

VOLUME

SINGLE POINT TOTAL PORE VOLUME OF PORES LESS THAN 2505.2910 A DIAMETER AT P/P ₀ 0.9922:	0.207904	cc/g
BH CUMULATIVE ADSORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.001289	cc/g
BH CUMULATIVE DESORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.009474	cc/g
MICROPORE VOLUME:	0.194794	cc/g

PORE SIZE

AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A BY LANGMUIR):	12.8166	A
BH ADSORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A):	875.8177	A
BH DESORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A):	30.3592	A

Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V8.0a

A

PAGE 14

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: NUCH /40	START 15:23:07 07/27/01
SAMPLE ID: dala	COMPL 22:13:09 07/27/01
SUBMITTER:	REPT 09:06:49 07/30/01
OPERATOR:	SAMPLE WT: 0.3542 g
UNIT NUMBER: 1	FREE SPACE: 55.8136 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen	EQUIL INTRVL: 5 sec

SUMMARY REPORT

AREA

BET SURFACE AREA:	385.9073	sq. m/g
LANGMUIR SURFACE AREA:	510.3210	sq. m/g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT P/P ₀ 0.2010:	398.0658	sq. m/g
BJH CUMULATIVE ADSORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	40.5931	sq. m/g
BJH CUMULATIVE DESORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	30.9805	sq. m/g
MICROPORE AREA:	305.9197	sq. m/g

VOLUME

SINGLE POINT TOTAL PORE VOLUME OF PORES LESS THAN 1233.3518 A DIAMETER AT P/P ₀ 0.9841:	0.190446	cc/g
BJH CUMULATIVE ADSORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.032170	cc/g
BJH CUMULATIVE DESORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.022641	cc/g
MICROPORE VOLUME:	0.142329	cc/g

PORE SIZE

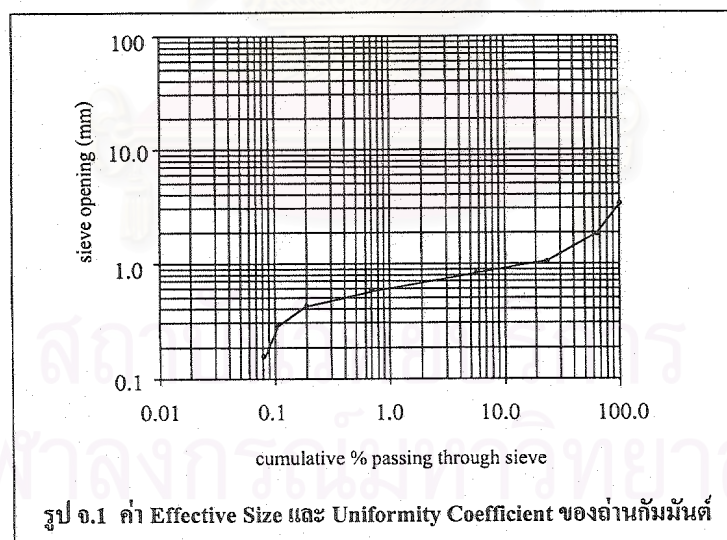
AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A BY LANGMUIR):	14.9275	A
BJH ADSORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A):	31.8996	A
BJH DESORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A):	29.2324	A

ภาคผนวก จ. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของอำเภอกัมมันต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

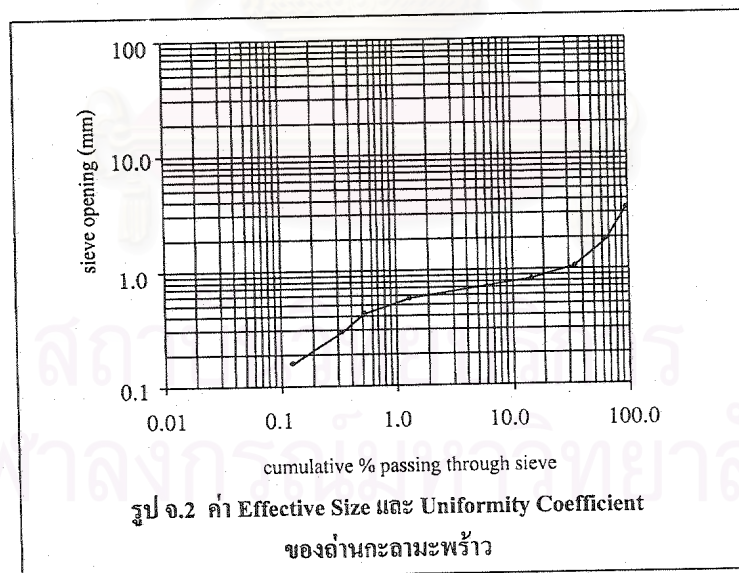
ตาราง จ.1 การกระจายขนาดของถ่านกัมมันต์

Sieve No.	Opening (mm.)	Wt. Sieve (g)	Wt Seive + Sample (g)	Wt Sieve Retained (g)	% Retained	Cumalative % Passing through sieve
6	3.360	503.4	503.9	0.5	0.20	99.80
10	2.000	480.6	559.8	79.2	31.68	68.12
16	1.190	457.7	567.9	110.2	44.08	24.04
20	0.840	423.8	469.7	45.9	18.36	5.68
30	0.590	421.8	434.2	12.4	4.96	0.72
40	0.420	398.2	399.5	1.3	0.52	0.20
50	0.297	377.9	378.1	0.2	0.08	0.12
80	0.177	355.1	355.2	0.1	0.04	0.08
Pan		326.1	326.3	0.2	0.08	
Total				250.0	100.00	



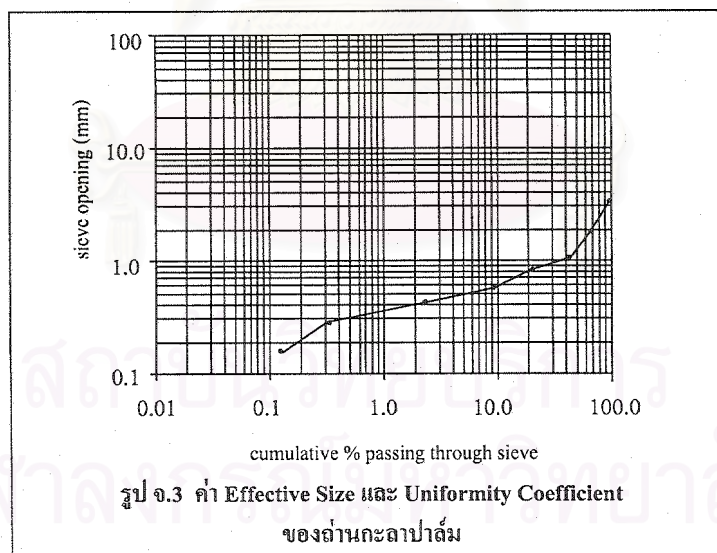
ตาราง จ.2 การกระจายขนาดของถ่านกลามะพร้าว

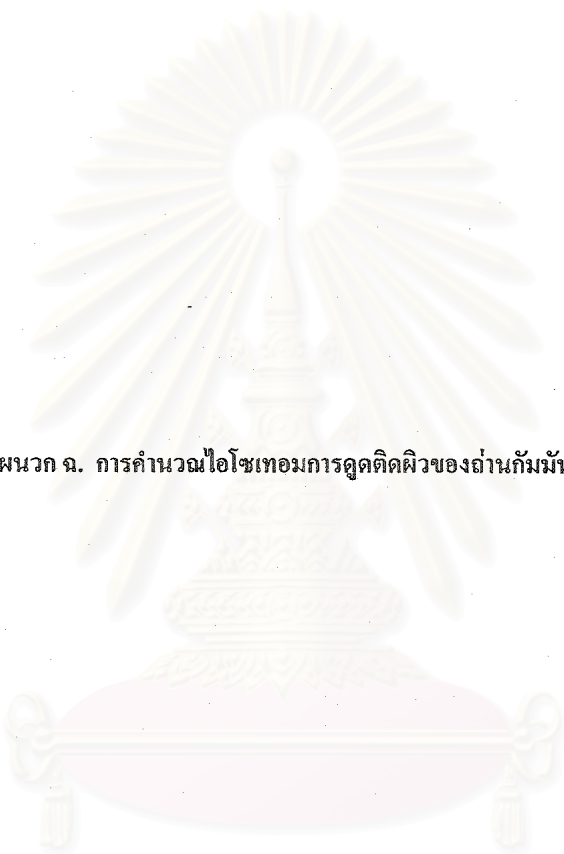
Sieve No.	Opening (mm.)	Wt. Sieve (g)	Wt Sieve + Sample (g)	Wt Sieve Retained (g)	% Retained	Cumulative % Passing through sieve
6	3.360	503.4	504.8	1.4	0.56	99.44
10	2.000	480.6	564.3	83.7	33.48	65.96
16	1.190	457.7	533.3	75.6	30.24	35.72
20	0.840	423.8	471.9	48.1	19.24	16.48
30	0.590	421.8	459.3	37.5	15.00	1.48
40	0.420	398.2	400.6	2.4	0.96	0.52
50	0.297	377.9	378.4	0.5	0.20	0.32
80	0.177	355.1	355.6	0.5	0.20	0.12
Pan		326.1	326.4	0.3	0.12	
Total				250.0	100.00	



ตาราง จ.3 การกระจายขนาดของถ่านกะลาปาล์ม

Sieve No.	Opening (mm.)	Wt. Sieve (g)	Wt Seive + Sample (g)	Wt Sieve Retained (g)	% Retained	Cumalative % Passing through sieve
6	3.360	503.4	504.6	1.2	0.48	99.52
10	2.000	480.6	560.5	79.9	31.96	67.56
16	1.190	457.7	525.5	67.8	27.12	40.44
20	0.840	423.8	470.2	46.4	18.56	21.88
30	0.590	421.8	452.5	30.7	12.28	9.60
40	0.420	398.2	416.4	18.2	7.28	2.32
50	0.297	377.9	382.6	4.7	1.88	0.44
80	0.177	355.1	355.9	0.8	0.32	0.12
Pan		326.1	326.4	0.3	0.12	
Total				250.0	100.00	





ภาคผนวก ฉ. การคำนวณไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๘.1 การคำนวณไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยแบบพหุนามของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับตะกั่ว

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)	log X	log C	log X/M
0.00	10.00	1.00	-	-			
0.01	8.62	0.86	0.14	13.77	-0.86	-0.06	1.14
0.02	6.80	0.68	0.32	16.02	-0.49	-0.17	1.20
0.04	4.65	0.47	0.53	13.37	-0.27	-0.33	1.13
0.10	1.58	0.16	0.84	8.42	-0.07	-0.80	0.93
0.20	0.35	0.04	0.96	4.82	-0.02	-1.45	0.68
0.40	0.06	0.01	0.99	2.48	0.00	-2.20	0.40
1.00							
2.00							
4.00							

ตารางที่ ๓.2 การคำนวณไอโซเทอมการดูดซับของยาแก้ปวดตามสมการของ Langmuir

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นของสารละลาย (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)	log X	log C	log X/M
0.00	10.00	1.00	-	-	-	-	-
0.01	8.82	0.88	0.12	11.83	-0.93	-0.05	1.07
0.02	6.98	0.70	0.30	15.08	-0.52	-0.16	1.18
0.04	4.93	0.49	0.51	12.68	-0.29	-0.31	1.10
0.10	2.07	0.21	0.79	7.93	-0.10	-0.68	0.90
0.20	0.64	0.06	0.94	4.68	-0.03	-1.19	0.67
0.40	0.21	0.02	0.98	2.45	-0.01	-1.68	0.39
1.00	0.07	0.01	0.99	0.99	0.00	-2.18	0.00
2.00							
4.00							

ตารางที่ ๓.3 การคำนวณไฮโดรทอมการดูดซับด้วยวิธีของสถานะของฟ้าวในการดูดซับตะกั่ว

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นตะกั่วที่เคลือบ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)	logX	log C	log X/M
0.00	10.00	1.00	-	-	-	-	-
0.01	8.67	0.87	0.13	13.30	-0.88	-0.06	1.12
0.02	6.75	0.68	0.32	16.23	-0.49	-0.17	1.21
0.04	4.34	0.43	0.57	14.15	-0.25	-0.36	1.15
0.10	3.03	0.30	0.70	6.97	-0.16	-0.52	0.84
0.20	1.94	0.19	0.81	4.03	-0.09	-0.71	0.61
0.40	0.97	0.10	0.90	2.26	-0.04	-1.01	0.35
1.00	0.57	0.06	0.94	0.94	-0.03	-1.24	-0.03
2.00	0.27	0.03	0.97	0.49	-0.01	-1.57	-0.31
4.00	0.02	0.00	1.00	0.25	0.00	-2.63	-0.60

ตารางที่ ๑.4 การคำนวณไอโซโทมการดูดติดผิวแบบพหุนคติษของถ่านกะถามะพร้าวในการดูดซับปรอท

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)	logX	log C	log X/M
0.00	10.00	1.00	-	-			
0.01	8.80	0.88	0.12	12.00	-0.92	-0.06	1.08
0.02	6.91	0.69	0.31	15.43	-0.51	-0.16	1.19
0.04	5.02	0.50	0.50	12.46	-0.30	-0.30	1.10
0.10	3.84	0.38	0.62	6.16	-0.21	-0.42	0.79
0.20	2.14	0.21	0.79	3.93	-0.10	-0.67	0.59
0.40	1.08	0.11	0.89	2.23	-0.05	-0.97	0.35
1.00	0.66	0.07	0.93	0.93	-0.03	-1.18	-0.03
2.00	0.38	0.04	0.96	0.48	-0.02	-1.42	-0.32
4.00	0.07	0.01	0.99	0.25	0.00	-2.18	-0.60

ตารางที่ ๓.5 การคำนวณไอโซโทมการดูดตีความแบบฟลูออริสเซนซ์ของถ่านละลาป่าส้มในการดูดซับตะกั่ว

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นตะกั่วที่ละลาย (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)	log X	log C	log X/M
0.00	10.00	1.00	-	-			
0.01	9.07	0.91	0.09	9.30	-1.03	-0.04	0.97
0.02	7.24	0.72	0.28	13.82	-0.56	-0.14	1.14
0.04	5.81	0.58	0.42	10.48	-0.38	-0.24	1.02
0.10	4.68	0.47	0.53	5.32	-0.27	-0.33	0.73
0.20	3.05	0.30	0.70	3.48	-0.16	-0.52	0.54
0.40	1.59	0.16	0.84	2.10	-0.08	-0.80	0.32
1.00	0.96	0.10	0.90	0.90	-0.04	-1.02	-0.04
2.00	0.32	0.03	0.97	0.48	-0.01	-1.50	-0.32
4.00	0.15	0.01	0.99	0.25	-0.01	-1.83	-0.61

ตารางที่ ๖.6 การคำนวณไอโซเทอมการดูดติดิวแบบฟลูนติของถ่านกะลาป่าใช้ในการดูดซับปรอท

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นตะกั่วที่ดูด (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)	logX	log C	log X/M
0.00	10.00	1.00	-	-			
0.01	9.12	0.91	0.09	8.83	-1.05	-0.04	0.95
0.02	7.31	0.73	0.27	13.45	-0.57	-0.14	1.13
0.04	5.98	0.60	0.40	10.05	-0.40	-0.22	1.00
0.10	4.85	0.48	0.52	5.15	-0.29	-0.31	0.71
0.20	3.63	0.36	0.64	3.18	-0.20	-0.44	0.50
0.40	2.13	0.21	0.79	1.97	-0.10	-0.67	0.29
1.00	1.09	0.11	0.89	0.89	-0.05	-0.96	-0.05
2.00	0.58	0.06	0.94	0.47	-0.03	-1.24	-0.33
4.00	0.26	0.03	0.97	0.24	-0.01	-1.59	-0.61

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุนีย์ คู่ยเสงี่ยม เกิดวันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย