

การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้า



นายมานพ ตีระรัตนสมโภช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2073-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**LEAD REMOVAL FROM SYNTHETIC WASTEWATER
BY ACTIVATED CARBON FROM SAWDUST**



Mr. Manop Tirarattanasompot

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 2002

ISBN 974-17-2073-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้า
โดย	นาย มานพ ติระรัตนสมโภช
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

มานพ ตีระรัตนสมโภช : การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อย
(LEAD REMOVAL FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY ACTIVATED
CARBON FROM SAWDUST) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์, อ.ที่ปรึกษาร่วม:
รศ. เปรมจิตต์ แทนสถิตย์; 124 หน้า. ISBN 974-17-2073-4

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยที่
กระตุ้นด้วยสารเคมีสองชนิดคือโซเดียมคลอไรด์และซิงค์คลอไรด์ โดยมีการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตรา-
ส่วนโดยน้ำหนักของขี้เลื่อยต่อสารเคมีที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้เผากระตุ้น ทำการศึกษา
เปรียบเทียบค่าไอโอดีนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ แล้วคัดเลือกถ่านกัมมันต์ตัวที่เหมาะสมที่สุด
จากการกระตุ้นด้วยสารเคมีทั้งสองชนิด เพื่อทำการศึกษาสมบัติต่างๆ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพใน
การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทั้งสองชนิด

ผลการทดลองพบว่า สภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยที่เหมาะสม คือ การกระตุ้น
ด้วยโซเดียมคลอไรด์ ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของขี้เลื่อยต่อโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 1 : 1 และเผากระตุ้น
ที่ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของขี้เลื่อยต่อ
ซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1 : 1 และเผากระตุ้นที่ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างสารเคมีออกจาก
ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ด้วยน้ำและกรดเจือจาง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 519.4 และ
1021.3 มิลลิกรัม/กรัม และมีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 593.79 และ 1572.51 ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ ประสิทธิภาพ
ในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ พีเอช 6, 7, 8 และ 9 มีค่า เท่ากับร้อยละ 55.33, 84.60, 90.63
และ 94.97 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ และมีค่าเท่ากับร้อยละ 99.76, 99.91, 99.63
และ 99.91 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ตามลำดับ

การทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถังดูดติดผิวแบบแท่งที่
ระดับความลึกของถ่านกัมมันต์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร พบว่า ที่จุดเบรคทฤษฎีสามารถกำจัดตะกั่ว
ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้เท่ากับ 1.21, 14.17, 186.04 และ 209.17 ลิตร สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย
โซเดียมคลอไรด์ และได้เท่ากับ 4.0, 21.5, 337.25 และ 829.5 ลิตร สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์
คลอไรด์

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

4289688920 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : ACTIVATED CARBON / ADSORPTION / SAWDUST / LEAD / SYNTHETIC
WASTEWATER / SODIUM CHLORIDE / ZINC CHLORIDE

MANOP TIRARATTANASOMPOT : LEAD REMOVAL FROM SYNTHETIC
WASTEWATER BY ACTIVATED CARBON FROM SAWDUST

ADVISOR : ASSOC.PROF.THARES SRISATHIT, Ph.D., CO-ADVISOR :

ASSOC.PROF.PREMCHIT TANSATHIT. 124 pp. ISBN 974-17-2073-4

The purpose of this research was to study the lead (Pb) removal from synthetic wastewater by activated carbon from sawdust by activation with NaCl and ZnCl₂. The experiments varied the weight and temperature. This studying were to compare the iodine number and to select the best suitable condition for each kind of activated carbons and the efficiency for lead removal from synthetic wastewater by using each kind of activated carbon was also studied.

The result was found that the activated carbon suitable with activating by NaCl using ratio of sawdust : NaCl = 1 : 1 at activating temperature 800 °C for 1 hr. For activating by ZnCl₂ using ratio of sawdust : ZnCl₂ = 1 : 1 at activating temperature 700 °C for 1 hr. Then washed the residue of activated carbons with water and diluted acid. The iodine number of both activated carbon were 519.4 and 1021.3 mg/g, the surface area were 593.79 and 1572.51 m²/g respectively. The efficiency for lead removal at pH 6, 7, 8 and 9 were 55.33%, 84.60%, 90.63% and 94.97% for activated carbon with activating by NaCl and by ZnCl₂ were 99.76%, 99.91%, 99.63% and 99.91% respectively.

In the activated carbon columns, the efficiency for lead removal from synthetic wastewater had been studied at the column depth of 30, 60, 90 and 120 cm. At the breakthrough point of lead (0.05 mg/L) in wastewater were 1.21, 14.17, 186.04 and 209.17 L for activated carbon with activating by NaCl and by ZnCl₂ were 4.0, 21.5, 337.25 and 829.5 L respectively.

Inter-department ..Environmental Science.....

Student's signature.....

Field of study ..Environmental Science.....

Advisor's signature.....

Academic Year ..2002.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งมาโดยตลอด รวมทั้งการช่วยตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดตลอดในการทำวิจัย จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณอสมมา สวรรคพร เจ้าของร้านขายวัสดุสิ่งก่อสร้าง “พิชชญา” ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ขี้อ้อยมาใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือของห้องปฏิบัติการกำจัดขยะ ในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งคุณประพันธ์ ชื่นพระทัย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งหัวหน้างานและเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ที่ได้ให้ช่วยเหลือออกแบบสร้างคอลัมน์ดูดซับ และงานวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนคอยให้กำลังใจ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณอุทิศ ทองกลิ้ง ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม และ ศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณเนติมา มิตรเจริญ ที่ได้ช่วยเหลืองานทดลองวิจัยและงานพิมพ์วิทยานิพนธ์ ตลอดจนคอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ทุนในการทำวิจัยบางส่วน ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย, มูลนิธิชิน โสภณพนิช, จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ทุกคน ที่ได้ให้การสนับสนุนและคอยช่วยเหลือรวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด จนสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การคัดเลือกผิว	5
2.1.1 หลักการคัดเลือกผิว	5
2.1.2 ลักษณะการคัดเลือกผิว	6
2.1.3 สมดุลและไอโซเทอมของการคัดเลือกผิว	7
2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกผิว	12
2.2 ถ่านกัมมันต์	12
2.2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์	12
2.2.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์	13
2.2.3 การผลิตถ่านกัมมันต์	14
2.2.4 ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์	22
2.2.5 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	26
2.2.6 การคัดเลือกผิวของถ่านกัมมันต์	26
2.2.7 การฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์	27
2.2.8 การใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ตะกั่ว (Pb)	32
2.3.1 สมบัติทั่วไปของตะกั่ว	32
2.3.2 ประโยชน์ของตะกั่ว	34
2.3.3 ความเป็นพิษของตะกั่ว	35
2.3.4 ค่ามาตรฐานของตะกั่วในน้ำประเภทต่างๆ ที่ยอมรับได้	36
2.4 ซีลีเนียม	37
2.5 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	38
2.6 ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl ₂)	38
2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
บทที่ 3 แผนการทดลองและวิธีการดำเนินการวิจัย	43
3.1 สถานที่ทำการวิจัย	43
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	45
3.3 แผนการทดลอง	44
3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	45
3.4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากซีลีเนียมโดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl ₂ ...	45
3.4.2 ศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้	46
3.4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้	48
3.4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแบ่ง	50
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	52
4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากซีลีเนียมโดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl ₂	52
4.1.1 การคำนวณขนาดซีลีเนียมเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง	52
4.1.2 การกระตุ้นด้วยสารเคมีคือ NaCl และ ZnCl ₂	54
4.2 ศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้	57
4.2.1 การหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์	57
4.2.2 การหาค่าพื้นที่ผิว ปริมาตร โพรง และ ขนาด โพรงเฉลี่ย	61
4.2.3 การหาขนาดประสิทธิผล และ สัมประสิทธิ์ความคงตัว	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้	65
4.3.1 ผลของพีเอช	65
4.3.2 ผลของเวลาสัมผัส	68
4.3.3 ผลของความแรงไอออน	70
4.3.4 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนคลิช	72
4.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง	74
4.4.1 ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$	74
4.4.2 ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $NaCl$	79
4.4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $NaCl$ และ $ZnCl_2$	83
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	86
5.1 สรุปผลการทดลอง	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	98
รายการอ้างอิง	90
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการหาค่าไอ โอซินนัมเบอร์	95
ภาคผนวก ข บันทึกข้อมูลผลการทดลอง	100
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง TGA	116
ภาคผนวก ง รูปภาพอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	124

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สถิติการนำเข้าและส่งออกถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2531 –2540	2
2.1	การเปรียบเทียบการดูดติดผิวทางกายภาพ และการดูดติดผิวทางเคมี	7
2.2	วัตถุดิบต่างๆ ที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์	15
2.3	สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี	20
2.4	ข้อเปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี	22
2.5	ขนาดอนุภาคของสารตะกั่วรูปแบบต่างๆ ในน้ำ	34
2.6	อาชีพที่บุคคลมีโอกาสดำเนินการรับตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย	36
2.7	มาตรฐานการปนเปื้อนของตะกั่วในน้ำประเภทต่างๆ	37
2.8	สมบัติบางประการของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง	37
4.1	การร่อนคัดขนาดของซีลี้อยและร้อยละของขนาดที่ใช้ทดลอง	53
4.2	ผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากซีลี้อยที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl ₂	54
4.3	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากซีลี้อยที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl ₂ ..	57
4.4	ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง TGA	
4.5	แสดงค่าพื้นที่ผิว, ปริมาตรโพรง และขนาดโพรงเฉลี่ยของซีลี้อยและ ถ่านกัมมันต์	61
4.6	แสดงการหาขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์ ที่กระตุ้นด้วย NaCl	63
4.7	แสดงการหาขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์ ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂	64
4.8	การตกตะกอนของตะกั่วที่ pH ต่างๆ	65
4.9	ประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่างๆ ...	66
4.10	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน	68
4.11	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เติม NaNO ₃ ความเข้มข้นต่างกัน	70
4.12	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ 1Z7H	72
4.13	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ 1N8H	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.14	ค่าคงที่ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์	73
4.15	ถ่านกัมมันต์ 1Z7H ที่บรรจุลงในถังดูดซับแบบแท่ง	75
4.16	ถ่านกัมมันต์ 1N8H ที่บรรจุลงในถังดูดซับแบบแท่ง	79
4.17	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุ ถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H ที่จุด Breakthrough	83
5.1	สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้	87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายอนุภาคของสารถูกดูดติดผิวมายังสารดูดติดผิว	6
2.2	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพื้นฐาน	8
2.3	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์	9
2.4	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท	11
2.5	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช	12
2.6	กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	14
2.7	ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางฟิสิกส์	17
2.8	การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านบิทูมินัสด้วยวิธีการกระตุ้นทางฟิสิกส์	18
2.9	รูปแบบการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี	19
2.10	การผลิตถ่านกัมมันต์จากซีลี้อยู่ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี	20
2.11	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่อใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น	22
2.12	การวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction	23
2.13	กระจายตัวขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์	24
2.14	โครงสร้างของ ถ่านกราไฟท์ และถ่านกัมมันต์	25
2.15	หมูฟิงก์ชั้นน้ำที่เกาะอยู่กับผิวของถ่านกัมมันต์	25
2.16	การดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์	27
2.17	การฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้ความร้อน	28
2.18	ระบบการดูดติดผิวแบบต่อเนื่อง	31
2.19	รูปแบบตะกั่วในสารละลายน้ำที่ pH ต่างๆ	33
2.20	ผลของเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น	39
2.21	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น	39
3.1	การเตรียมถ่านกัมมันต์จากซีลี้อยู่โดยการกระตุ้นด้วย $NaCl$ และ $ZnCl_2$	46
3.2	ระบบถังดูดซับแบบแท่งที่ใช้ในการทดลอง	51
4.1	ลักษณะทั่วไปของซีลี้อยู่ที่ใช้ทดลอง	53
4.2	ผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากซีลี้อยู่ที่กระตุ้นด้วย $NaCl$ และ $ZnCl_2$	55
4.3	ค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากซีลี้อยู่ที่กระตุ้นด้วย $NaCl$ และ $ZnCl_2$	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	ผลผลิตและค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้	59
4.5	ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เถ้า กระตุ้น โดย NaCl และ ZnCl ₂	60
4.6	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ของขี้เถ้าและถ่านกัมมันต์.....	62
4.7	ขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl	63
4.8	ขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂	64
4.9	ประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่างๆ	66
4.10	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน	69
4.11	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เติม NaNO ₃ ความเข้มข้นต่างกัน	71
4.12	ไอโซเทอมแบบฟรุนคลิซของถ่านกัมมันต์ 1Z7H	72
4.13	ไอโซเทอมแบบฟรุนคลิซของถ่านกัมมันต์ 1N8H	73
4.14	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถึงจุดซบแบบแท่งบรรจุถ่าน 1Z7H ที่ระดับความลึก 0, 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง	76
4.15	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถึงจุดซบแบบแท่งบรรจุถ่าน 1Z7H ที่ระดับความลึก 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง	76
4.16	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถึงจุดซบแบบแท่งบรรจุถ่าน 1Z7H ที่ระดับความลึก 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง ...	77
4.17	จุด Breakthrough ของถ่านกัมมันต์ 1Z7H ที่ระดับความลึกชั้น 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง	78
4.18	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถึงจุดซบแบบแท่งบรรจุถ่าน 1N8H ที่ระดับความลึก 0, 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง	80
4.19	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถึงจุดซบแบบแท่งบรรจุถ่าน 1N8H ที่ระดับความลึก 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.20	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถังดูดซับแบบแท่งบรรจุถ่าน 1N8H ที่ระดับความลึก 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง	81
4.21	จุด Breakthrough ของถ่านกัมมันต์ 1N8H ที่ระดับความลึกชั้น 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง	82
4.22	เปรียบเทียบเวลาใช้งานของถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H ที่จุด Breakthrough	84
4.23	เปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H ที่จุด Breakthrough	84
4.24	เปรียบเทียบปริมาณ Bed Volume ของน้ำเสียที่ไหลผ่านถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุ ถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H ที่จุด Breakthrough	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในพื้นที่เขตชนบทที่การประปาเข้าถึงไม่ถึง แหล่งน้ำในธรรมชาติต่างๆ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง ลำห้วย ลำธาร หรือแหล่งน้ำใต้ดิน จะเป็นแหล่งน้ำที่ชาวชุมชนนำมาใช้เพื่อการอุปโภคหรือบริโภคโดยตรง แต่ถ้าหากแหล่งน้ำนั้นๆ มีการปนเปื้อนสารมลพิษต่างๆ ที่เป็นอันตราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนสารมลพิษพวกโลหะหนักต่างๆ เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม หรือ สารหนู เป็นต้น แหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษดังกล่าว หากไม่ได้รับการบำบัดให้มีคุณภาพดีพอก่อนนำมาใช้อุปโภคหรือบริโภค ก็จะเป็นการเสี่ยงต่อการได้รับอันตรายต่อสุขภาพ อนามัย และ ชีวิตของผู้บริโภคนั้นเป็นอย่างมาก

การบำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษ เช่น ตะกั่ว เพื่อใช้ในการบริโภคหรืออุปโภคนั้น อาจสามารถทำได้หลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น การตกตะกอน (precipitation) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) การกรองผ่านเยื่อกรองแบบผกกลับ (reverse osmosis filtration) และการดูดติดผิว (adsorption) สำหรับการดื่มน้ำให้สะอาดที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปนั้นอาจสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ แต่ไม่สามารถที่จะกำจัดสารมลพิษพวกโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ออกไปได้ การที่จะเลือกใช้วิธีการใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีผสมกันเพื่อการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนสารมลพิษนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยและความเหมาะสมหลายอย่างประกอบกัน แต่วิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในระดับชาวบ้านทั่วไป จนถึงระดับอุตสาหกรรม ก็คือวิธีการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งมีขั้นตอนการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสะดวกใช้อย่างยิ่ง

ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติสามารถใช้เป็นสารดูดติดผิวหรือสารดูดซับ (absorbent) ได้ และจากการที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารตัวดูดซับได้นั้นจึงทำให้มีการนำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้งานต่างๆ กันอย่างกว้างขวาง และ

หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง งานทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์บำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สารหนู เป็นต้น หรือการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีและกลิ่น ตลอดจนสารมลพิษทางอากาศอื่นๆ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้ด้วย จากคุณสมบัติและประโยชน์การใช้งานในหลายๆ ด้านของถ่านกัมมันต์ จึงส่งผลให้ปริมาณการใช้ถ่านกัมมันต์ภายในประเทศจึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (ตารางที่ 1.1)

ตารางที่ 1.1 สถิติการนำเข้าและส่งออกถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2531-2540

ปี พ.ศ.	นำเข้า		ส่งออก	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2531	1,932	52.31	261	8.12
2532	2,650	72.24	775	27.66
2533	2,322	75.31	664	25.00
2534	2,642	75.95	1,056	36.45
2535	2,707	101.42	1,027	34.01
2536	2,908	96.31	479	15.89
2537	2,816	103.19	522	18.25
2538	2,883	124.61	1,765	48.26
2539	3,047	100.84	2,937	75.68
2540	3,598	127.14	2,807	99.37

ที่มา: ปิยะพร บารมี, 2542 (รายงานประจำปีกรมศุลกากร (2530-2540))

ถ่านกัมมันต์สามารถเตรียมได้จากวัสดุต่างๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ด้วย เช่น ไม้, เศษไม้, ขี้เถ้า, ชังข้าวโพด, ชานอ้อย, แกลบ, กะลามะพร้าว, ยาง, ถ่านหินลิกไนท์, พีท หรืออื่นๆ ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมในการหาวัตถุดิบ วิธีการ และต้นทุนที่ใช้ รวมถึงคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ สำหรับการเตรียมหรือผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีที่มักนิยมใช้ในการศึกษาวิจัยหรือในขั้นผลิตเป็นอุตสาหกรรม ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และ ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂) เป็นต้น

ขี้เลื่อยเป็นวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในปริมาณสูง สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก ในพื้นที่ทั่วไปที่มีโรงเลื่อยไม้หรือโรงงานทำไม้เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ได้ อันจะเป็นการแปรรูปวัสดุที่มีราคาถูกให้เป็นวัสดุที่มีมูลค่าและคุณค่าสูงขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับชาวชุมชนที่มีปัญหาเรื่องการปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ในแหล่งน้ำธรรมชาติ สำหรับการช่วยเหลือตนเองเป็นเบื้องต้น ด้วยการนำถ่านกัมมันต์ในการกรองน้ำก่อนนำมาใช้เพื่อการบริโภคหรืออุปโภค

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อย โดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และ ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) ใช้สำหรับการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์
2. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้
3. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อย โดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ และ ซิงค์คลอไรด์ ตัวแปรที่ทำการศึกษาคืออัตราส่วนโดยน้ำหนักของขี้เลื่อยต่อสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระตุ้น
2. ทำการศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ เช่น ค่าไอโอดีนนัมเบอร์, พื้นที่ผิว, ปริมาตรโพรง, ขนาดโพรงเฉลี่ย, ขนาดประสิทธิผล, และสัมประสิทธิ์ความคงตัว
3. ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ เช่น พีเอช, เวลาสัมผัส, ความแรงไอออน และทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Frundlich isotherm) โดยทำการทดลองแบบแบทช์ (batch process)
4. ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column) ด้วยอัตราไหลของน้ำเสียสังเคราะห์ 3-5 ลิตร/ชั่วโมง หรือตามความเหมาะสมที่น้ำเสียไหลได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ล้นถังดูดซับแบบแท่ง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำจี๋เลื่อยมาใช้เตรียมเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดโลหะหนักตะกั่วในน้ำเสียได้
2. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากจี๋เลื่อยได้
3. สามารถนำจี๋เลื่อยซึ่งเป็นวัสดุราคาถูกลงมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งมีมูลค่าสูงขึ้นได้
4. สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำจี๋เลื่อยมาใช้เตรียมเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อบำบัดโลหะหนักตะกั่วในน้ำเสียจริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

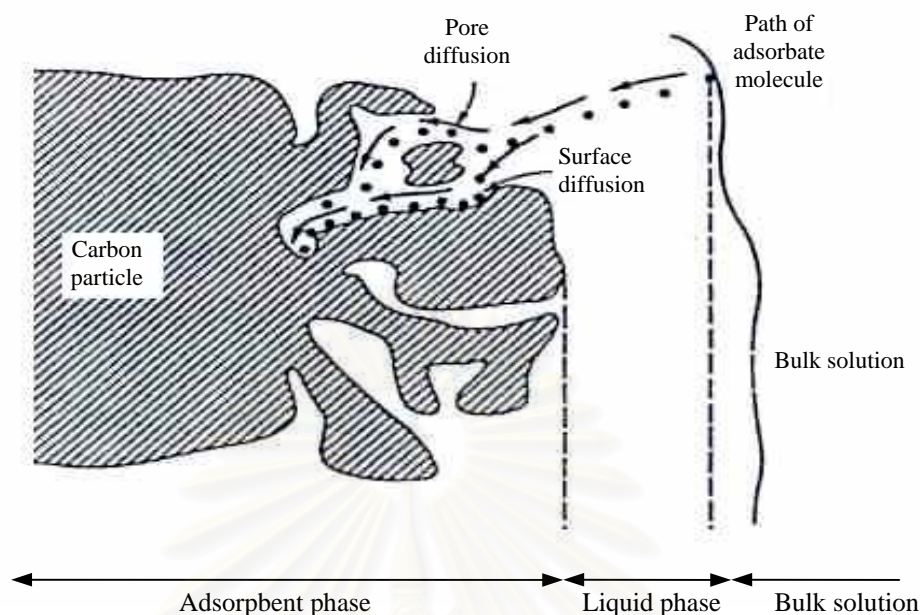
2.1 การดูดติดผิว (Adsorption)

การดูดติดผิวหรือการดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่ง และมีการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย ทั้งทางด้านอุตสาหกรรมและทางด้านสิ่งแวดล้อม การใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการปิโตรเลียมและปิโตรเคมี อุตสาหกรรมอาหารและยา อุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องกรองน้ำดื่ม และใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อการบริโภคและอุปโภค เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การกำจัดพริกเกลือต่างๆ ทั้งที่อยู่ในรูปของก๊าซและของเหลว เช่น การดูดติดผิวก๊าซมลพิษต่างๆ ในอากาศ การลดปริมาณโลหะหนักเป็นพิษที่ละลายในน้ำ การนำบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

การประยุกต์ใช้งานโดยใช้กระบวนการดูดติดผิว มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในด้านป้องกันและปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น รวมทั้งมีการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นอย่างมาก จึงได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาสารดูดติดผิว เช่น ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น เพื่อให้มีคุณภาพการใช้งานดียิ่งขึ้น ตลอดจนวิธีการนำไปใช้งานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดด้วย

2.1.1 หลักการดูดติดผิว

การดูดติดผิว เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างสาร 2 สถานะใดๆ เช่น ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง เป็นต้น ซึ่งเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงอนุภาคของสารที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซ ให้มาเกาะจับและติดบนผิวของมัน กลไกของการดูดติดผิวจะมีทั้งที่เป็นแบบทางกายภาพและแบบทางเคมี (physical and chemical adsorption) ปรากฏการณ์เช่นนี้จัดเป็นการเคลื่อนย้ายอนุภาคสาร (mass transfer) จากก๊าซหรือของเหลวมายังผิวของสารดูดติดผิว อนุภาคของสารที่ถูกดูดติดผิวเรียกว่า สารถูกดูดติดผิว (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่เป็นสารดูดติดผิว เรียกว่า สารดูดติดผิว (Adsorbent) (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายอนุภาคของสารถูกดูดติดผิวมายังสารดูดติดผิว
(Montgomery, 1985)

ขั้นตอนการดูดติดผิวมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การขนส่งทั้งก้อน (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่อนุภาคของสารถูกดูดติดผิวที่ละลายอยู่ในของเหลว จะถูกส่งผ่านไปบริเวณที่ชั้นผิวหน้าของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มตัวดูดติดผิว
- 2) การขนส่งชั้นผิวหน้า (Surface transport) เป็นขั้นตอนที่อนุภาคของสารถูกดูดติดผิวที่ชั้นผิวหน้าของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ตัวดูดติดผิว การขนส่งในขั้นนี้เป็นกระบวนการที่เกิดการแพร่ผ่านฟิล์มชั้นของเหลว (Surface diffusion)
- 3) การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticulate transport) เป็นการแพร่ของอนุภาคของสารถูกดูดติดผิว เข้าสู่โพรงหรือรูพรุน (Pore diffusion) ของตัวดูดติดผิว และเกิดการดูดติดผิวขึ้นภายใน

2.1.2 ลักษณะการดูดติดผิว

การดูดติดผิวแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1) การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physical adsorption หรือ Physisorption) การดูดติดผิวแบบนี้อาศัยการดูดติดด้วยแรงประเทวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals's force) ซึ่งเป็นแรงดูดติดผิวอย่างอ่อน โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวมีโอกาสหลุดออกจากตำแหน่งที่ถูกดูดติดผิวได้

2) การดูดติดผิวทางเคมี (Chemical adsorption หรือ Chemisorption) การดูดติดผิวแบบนี้ อาศัยการเกิดปฏิกิริยาหรือพันธะทางเคมีต่อกัน ระหว่างสารที่ถูกดูดติดผิวกับสารดูดติดผิว ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวติดผิวที่แข็งแรง โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับยากที่จะหลุดออกจากตำแหน่งที่ถูกดูดติดผิวได้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการดูดติดผิวทางกายภาพ และการดูดติดผิวทางเคมี

ตัวแปร	การดูดติดผิวทางกายภาพ	การดูดติดผิวทางเคมี
ความร้อนของการดูดติดผิว (heat of adsorption, ΔH)	ต่ำ	สูง
ความจำเพาะของการดูดติดผิว (specificity)	ไม่จำเพาะเจาะจง	จำเพาะเจาะจงสูง
ลักษณะการดูดติดผิว (nature of adsorbed)	ชั้นเดียวหรือหลายชั้น	ชั้นเดียว
วัฏภาค (phase)	ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับ ตัวถูกดูดติดผิว	อาจจะรวมตัวกันได้
ช่วงอุณหภูมิ (temperature range)	มีความสัมพันธ์กับ ช่วงอุณหภูมิต่ำ	มีช่วงอุณหภูมิกว้าง
แรงของการดูดติดผิว (forces of adsorption)	ไม่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอน	มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนทำให้เกิดพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดติดผิวกับผิวหน้า
การผันกลับ (reversibility)	สามารถผันกลับได้	ไม่ผันกลับ

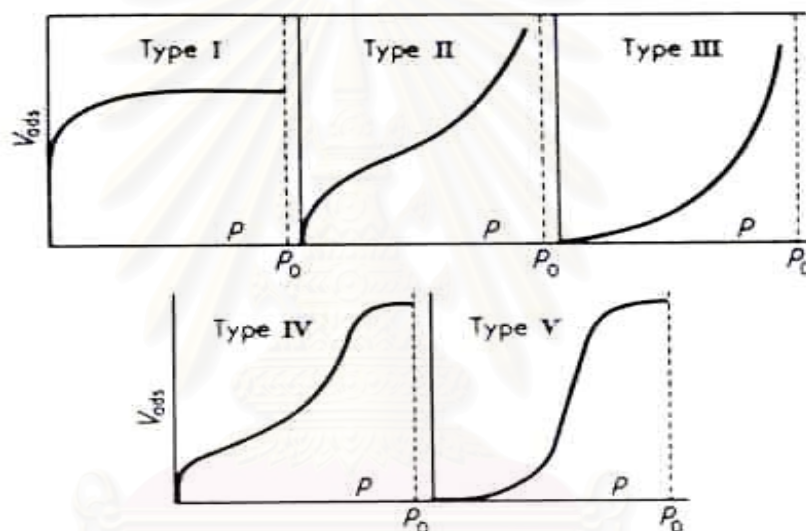
ที่มา: Ruthven (1997)

2.1.3 สมดุลและไอโซเทอมของการดูดติดผิว

สมดุลการดูดติดผิว (adsorption equilibrium) จะเกิดขึ้นในกระบวนการดูดติดผิวเมื่อสารที่ถูกดูดติดผิวมีแนวโน้มที่จะคายตัวออกไปสู่สารละลาย จนกระทั่งอัตราการดูดติดผิวของสารที่ถูกดูดติดผิวมีค่าเท่ากับอัตราการคายสารที่ถูกดูดติดผิวออกสู่สารละลาย จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ จะเรียกจุดนี้ว่า สมดุลของการดูดติดผิว ที่จุดสมดุลนี้จะเป็นสมดุลของระบบทั้งหมด จะไม่สามารถ

สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับหรือในของเหลวได้ ไม่ว่าจะเป็นสารถูกดูดซับ สารดูดซับ ตัวทำละลาย อุณหภูมิ ค่าพีเอช และอื่นๆ ปริมาณการดูดซับที่จุดสมดุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเพิ่มขึ้น การแสดงถึงปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของสารดูดซับในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ ที่จุดสมดุลนั้น เรียกว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ (*adsorption isotherm*)

รูปแบบของไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับและปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน (Faust and Aly, 1987)

ไอโซเทอมการดูดซับมีหลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปที่นิยมใช้กันมากในการอธิบายทางทฤษฎีของการดูดซับ มักจะกล่าวอ้างถึงไอโซเทอม 3 แบบ ดังต่อไปนี้

2.1.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (*Langmuir adsorption isotherm*)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ คือ

- การดูดซับจะคิดเฉพาะพื้นผิวของสารดูดซับเพียงชั้นเดียว (monolayer)
- โมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนพื้นผิวของสารดูดซับ
- พลังงานการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดซับจากสารละลายโดยสารดูดซับ แสดงดังสมการ 2.1

$$X = (X_m b C) / (1 + b C) \quad (2.1)$$

โดย X = ปริมาณสารถูกดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับ
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

X_m = ปริมาณสารถูกดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับ ที่สภาวะสมดุล
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

C = ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลาย
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)

b = ค่าคงที่ของการดูดซับ

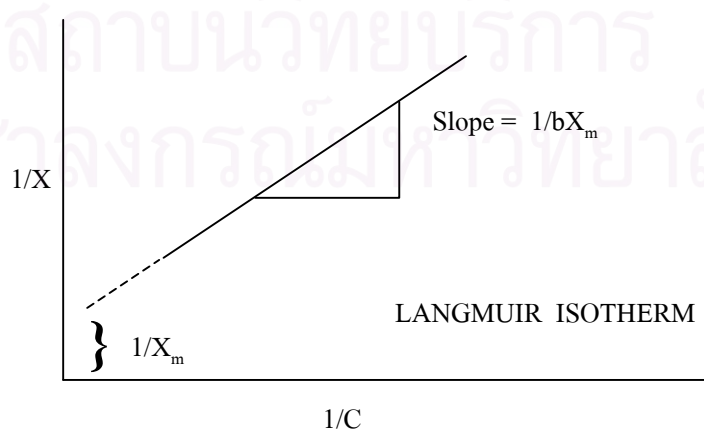
เมื่อ X เข้าสู่ X_m และ C เข้าใกล้ค่าอนันต์ (infinity, ∞) จะเขียนสมการได้เป็น

$$C / X = (1 / b X_m) + (C / X_m) \quad (2.2)$$

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

$$1 / X = (1 / X_m) + (1 / C)(1 / b X_m) \quad (2.3)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C$ จะได้กราฟซึ่งเป็นเส้นตรง มีค่าความชัน (slope) เท่ากับ $1/bX_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m$ จากสมการ 2.3 แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์

2.1.3.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท (BET : Brunauer – Emmett – Teller adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท พัฒนามาจากสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ ที่คิดจากการดูดติดแบบชั้นเดียว (monolayer) เป็นการดูดติดแบบหลายชั้น (multilayers) ซึ่งแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดติดผิวชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่ซึ่งมีโมเลกุลชั้นที่ 2 ดูดติดเช่นเดียวกันกับชั้นอื่นๆ ต่อไป โดยแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

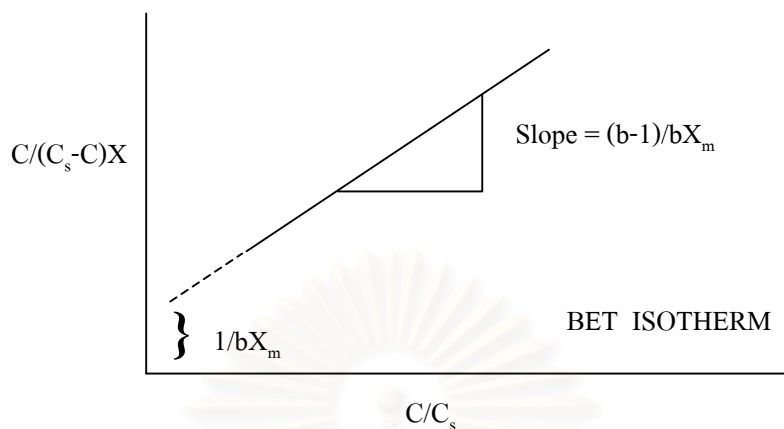
$$X = (X_m b C) / (C_s - C)(1 + (b - 1)C / C_s) \quad (2.4)$$

- โดย X = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อปริมาณสารดูดติดผิว
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
- X_m = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อปริมาณสารดูดติดผิว ที่สภาวะสมดุล
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
- C = ความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวในสารละลาย
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)
- C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของสารถูกดูดติดผิว ณ ทุกๆ ชั้น
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)
- b = ค่าคงที่ของการดูดติดผิว

จากสมการ 2.4 สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{C}{X(C_s - C)} = (1 / X_m b) + ((b - 1) / X_m b)(C / C_s) \quad (2.5)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C / X(C_s - C)$ กับ C / C_s จะได้กราฟซึ่งเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $(b - 1) / b X_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1 / b X_m$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ไอโซเทอมการดูดซับแบบเบท

2.1.3.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm)

สมการการดูดซับแบบฟรุนดลิชใช้กันแพร่หลายที่สุดในการอธิบายการดูดซับในระบบของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้ คือ

$$X / m = KC^{1/n} \quad (2.6)$$

โดย X = ปริมาณสารถูกดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับ

มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

m = น้ำหนักของสารดูดซับ มีหน่วยเป็น กรัม

C = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย ที่สภาวะสมดุล
มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร

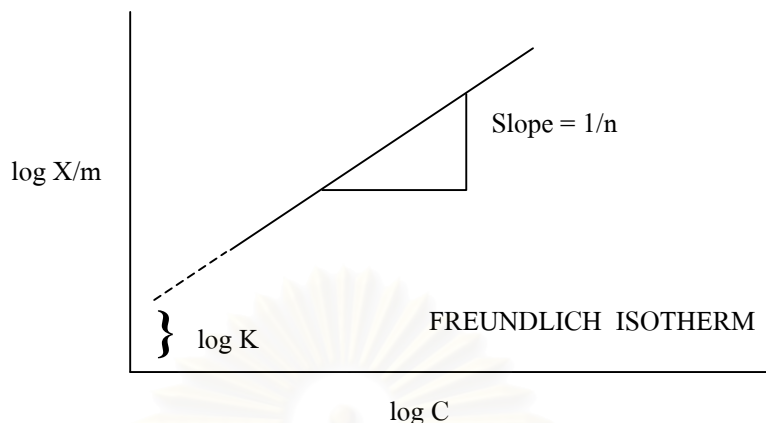
$K, 1/n$ = ค่าคงที่ของการดูดซับ

จากสมการที่ 2.13 สามารถเขียนสมการในรูป logarithmic ได้ดังนี้ คือ

$$\log(X / m) = \log K + 1/n \log C \quad (2.7)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(X/m)$ กับ $\log C$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรง มีค่าความชัน เท่ากับ $1/n$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\log K$ ของ $\log(X/m)$ ที่ $\log C = 0$ ($C = 1$) จากสมการที่ 2.7 แสดงได้ดังรูปที่ 2.5

จากสมการการดูดซับแบบฟรุนดลิช แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ โดยถ้าค่า $1/n < 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี แต่ถ้าค่า $1/n > 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ดี



รูปที่ 2.5 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว

- 1) สมบัติของสารดูดติดผิว ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 2) สมบัติสารถูกดูดติดผิว ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล ประจุไฟฟ้าของอะตอมหรือโมเลกุล และองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 3) ความเข้มข้นของสารถูกดูดติดในสารละลาย
- 4) ลักษณะของสารละลาย เช่น พีเอช อุณหภูมิ เป็นต้น
- 5) เวลาที่ใช้ในการดูดติดผิวของระบบ

2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

2.2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน(amorphous carbon) คือมีรูปร่างไม่แน่นอน สัมเคราะห์ขึ้นจากการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการเผาในที่อับอากาศ และผ่านกระบวนการกระตุ้น ซึ่งจะทำให้พื้นผิวภายใน

(internal surface area) เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากสารเคมีหรือการกระตุ้นทางกายภาพจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึก (elementary crystallites) เพิ่มมากขึ้น โดยถ่านกัมมันต์จะต้องมีพื้นที่ผิวอย่างน้อยที่สุด 5 ตารางเมตรต่อกรัม แต่โดยทั่วไปโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวสูง อยู่ระหว่าง 500-2,000 ตารางเมตรต่อกรัม โครงสร้างเป็นรูพรุนหรือโพรงมีขนาดตั้งแต่ 20 Å – 20,000 Å และมีคุณสมบัติดูดซับสารต่างๆ ได้ดี (ลลิตา นิตยสารธุรกิจ, 2544)

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านคาร์บอนที่มีลักษณะรูปร่างอสัณฐาน ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากมายต่อหน่วยปริมาตร เพราะมีจำนวนรูพรุนเล็กๆ มากมายมหาศาล มีความสามารถในการดูดซับก๊าซ, ของเหลว หรือสารที่ถูกละลาย บนพื้นผิวรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ (Allport H. B., 1992)

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านคาร์บอนที่มีลักษณะรูปร่างอสัณฐาน ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับผิวสูง (high adsorptivity) สามารถดูดซับผิวก๊าซหลายชนิด, กิ่ง และอนุภาคแขวนลอยต่างๆ (colloidal solids) ถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากไม้ เปลือกถั่ว กระจุกสัตว์ หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนโครงสร้างด้วยการให้ความร้อนหรือการกระตุ้นที่ 800-900 °C ด้วยไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะได้โครงสร้างที่มีรูพรุนภายในมากมาย (honeycomb-like) พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์โดยเฉลี่ยประมาณ 10,000 ตารางฟุตต่อกรัม มีความหนาแน่น 0.08-0.5 (Lewis R. J., 1997)

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่มีลักษณะรูปร่างอสัณฐานที่มีความเหนียวแน่นกว่าถ่านทั่วไป ด้วยมีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนภายในมากมายเป็นพิเศษ และมีคุณสมบัติในการดูดซับ ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้หลากหลายทั้งในการใช้กับของเหลวและก๊าซ ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับผิวที่ใช้งานได้กว้างขวางเป็นพิเศษเพราะมีขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนในขนาดต่างๆ ที่สามารถทำการควบคุมตามความต้องการของตลาดได้ (Baker et all. 1997)

2.2.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2532) ได้กำหนดชนิดของถ่านกัมมันต์ไว้ 2 ชนิดคือ

- 1) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon: PAC) เป็นถ่านที่มีขนาดปริมาตรที่ร่อนผ่านร่อน 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก
- 2) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon: GAC) เป็นถ่านที่มีขนาดปริมาตรที่ร่อนผ่านร่อน 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

2.2.3 การผลิตถ่านกัมมันต์

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้มีการศึกษาวิจัย ปรับปรุงและพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการนำไปใช้งาน รวมทั้งแหล่งวัตถุดิบ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ในเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

2.2.3.1 การคัดเลือกและเตรียมวัตถุดิบ

การผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบใดๆ ก็ได้ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ด้วย เช่น ไม้ ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว ซังข้าวโพด หรือวัตถุดิบที่เป็นถ่าน เช่น ถ่านลิกไนท์ ถ่านบิทูมินัส เป็นต้น ในการผลิตเพื่อการค้า สมบัติบางประการของวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตถ่านกัมมันต์ มีดังนี้ คือ

- มีค่าคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) สูง
- มีปริมาณความชื้น (moisture) ต่ำ
- มีสารที่ระเหยได้ (volatile matter) ต่ำ
- มีปริมาณขี้เถ้า (ash) ต่ำ
- ไม่สลายตัวเมื่อเก็บ
- สามารถใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงได้

การคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมแก่การผลิตนั้น นอกจากพิจารณาสมบัติบางประการของวัตถุดิบแล้ว ยังต้องคำนึงถึงราคาต้นทุน และกระบวนการผลิต ตลอดถึงวัตถุประสงค์การนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานด้วย สำหรับการเตรียมวัตถุดิบ อาจนำวัตถุดิบมาร่อนคัดขนาดหรือบดเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปสู่กระบวนการเผาหรือการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ ซึ่งบางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็งและเหนียว หากแก่การบดวัตถุดิบโดยตรง ก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปเผาให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอนไนซ์ (carbonization) ก่อน แล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้

ตารางที่ 2.2 วัตถุดิบต่างๆ ที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์

ชานอ้อย (Bagasses)	วัชพืชทะเล (Kelp and seaweed)
กากน้ำตาลบีท (Beet-sugar sludges)	เขม่า (Lampblack)
เลือด (Blood)	กากหนัง (Leather waste)
กระดูก (Bones)	ลิกนิน (Lignin)
แป้ง (Carbohydrates)	ถ่านลิกไนต์ (Lignite)
เมล็ดพืช (Cereals)	กากน้ำตาล (Molasses)
ถ่านหิน (Coal)	เปลือกถั่ว (Nut shell)
กะลามะพร้าว (Coconut shells)	ถ่านพีท (Peat)
กากกาแฟ (Coffee beans)	กากปิโตรเลียม (Petroleum acid sludge)
ซังข้าวโพด (Corn cobs and corn stalks)	ถ่านหินน้ำมัน (Petroleum coke)
เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cottonseed hull)	ของเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ (Pulp-mill waste)
ของเสียจากโรงกลั่น (Distillery waste)	แกลบ (Rice hull)
ฝุ่นจากปล่องไฟ (Flue dust)	เศษยาง (rubber waste)
เมล็ดผลไม้ (Fruit pits)	ขี้เลื่อย (sawdust)
ถ่านกราไฟท์ (Graphite)	ไม้ (wood)

ที่มา: Hassler (1974)

2.2.3.2 การเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน หรือการคาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization)

ขั้นตอนนี้ทำโดย ทำการเผาวัตถุดิบแบบไพโรไลซิส (pyrolysis) กล่าวคือ เป็นการเผาวัตถุดิบในระบบสภาวะอับอากาศหรือไร้ก๊าซออกซิเจน (O_2) ทั้งนี้เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการสันดาปจากก๊าซออกซิเจน โดยปกติทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้เผาในขั้นตอนนี้จะเผาที่ $200-500\text{ }^{\circ}C$ และเมื่อเผาแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของถ่านชาร์ (char) ที่เป็นของแข็งสีดำตลอด (uniformly black) เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา (shiny surface) ปลายที่หักจะแหลมคม (sharp) ปราศจากขี้เถ้า (no ash)

สำหรับวัตถุดิบที่มีเซลลูโลส (Cellulose) เป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ขี้เลื่อย เปลือกทุเรียน ชั่งข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ เป็นต้น เมื่อถูกเผาแบบไพโรไลซิส จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



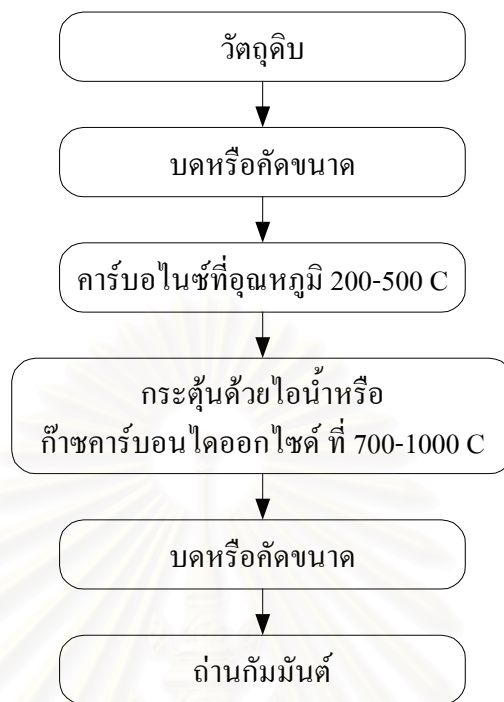
ถ่านชาร์ที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์เซชันนี้ ยังมีความสามารถในการดูดซับต่ำ เพราะการเผาที่ใช้อุณหภูมิประมาณ $200 - 500\text{ }^{\circ}C$ นั้น ยังคงมีน้ำมันดิน (tar) ตกค้างอยู่ในช่องว่าง (pore) หรือเกาะอยู่ตามผิวของถ่าน จึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

2.2.3.3 การกระตุ้น หรือการแอคทิเวชัน (Activation)

การกระตุ้นเป็นขั้นตอนที่ทำให้ความพรุนเพิ่ม และทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยการกำจัดน้ำมันดินให้หลุดออกมา จึงทำให้ผิวที่ได้มีอะตอมคาร์บอนอิสระอยู่ด้วย ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น (พงศศักดิ์ โอชารส, 2539) การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกวิธีการกระตุ้นที่ใช้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

1) การกระตุ้นด้วยวิธีทางฟิสิกส์ (Physical activation)

วิธีการนี้มักจะใช้ก๊าซที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing gas) เช่น ไอน้ำ, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ อากาศ ไปทำการออกซิไดซ์น้ำมันดินและอะตอมของคาร์บอนบางตัวในโครงสร้างผลึกในสภาวะที่ควบคุมไว้ทำให้รูพรุน (pore) กว้างมากขึ้นและทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ขั้นตอนการกระตุ้นดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางฟิสิกส์

- การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Activation with steam) โดยการใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน จัดว่าเป็นปฏิกิริยาควบคุมความร้อน ดังนั้นจึงต้องทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง โดยทั่วไปจะกระตุ้นที่อุณหภูมิประมาณ $760 - 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ 2.9



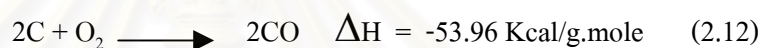
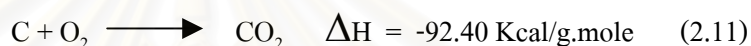
อัตราการออกซิไดซ์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงเกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพราะปฏิกิริยาจะกลายเป็น diffusion controlled rate ซึ่งอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ชั้นนอก อาจจะถูกเผาไหม้ได้ ทำให้ขนาดและพื้นผิวของอนุภาคลดลง

- การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Activation with carbondioxide) โดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน จัดว่าเป็นปฏิกิริยาควบคุมความร้อนเช่นกัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ 2.10

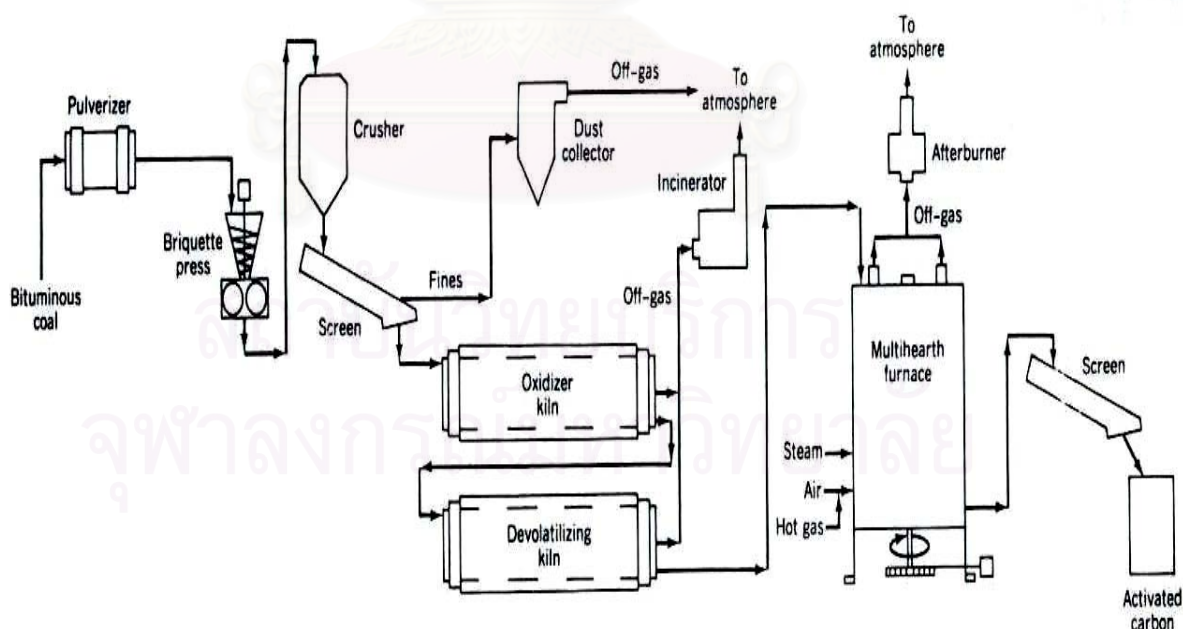


จากค่า ΔH จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยานี้ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิกระตุ้นสูงกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยทั่วไปมักจะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นประมาณ $850 - 1,100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ด้วย แต่ในทางการปฏิบัติแล้วจะใช้ก๊าซเชื้อเพลิงเผาไหม้ ซึ่งจะให้ทั้งไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอาจมีก๊าซออกซิเจนส่วนเกินบ้างเล็กน้อย หรืออาจจะมีการเติมไอน้ำเข้าไปด้วยเพื่อเป็นการกระตุ้น โดยใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

- การกระตุ้นด้วยอากาศ (Activation with air) โดยการใช้ก๊าซออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ จัดเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ



การใช้อากาศเพื่อทำการกระตุ้นมีการใช้กันน้อยมาก ทั้งนี้เพราะว่าการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสถานะที่ต้องการทำได้ยากกว่า อีกทั้งก๊าซออกซิเจนอาจจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ผิวของถ่านทำให้เกิดความเสียหายได้ด้วย



รูปที่ 2.8 การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านบิทูมินัสด้วยวิธีการกระตุ้นทางฟิสิกส์ (Baker et al., 1997)

การกระตุ้นทางกายภาพนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ

ข้อดี เมื่อกระตุ้นเสร็จแล้วสามารถนำไปใช้ได้เลย ไม่มีปัญหาในเรื่องการล้างสารตกค้างที่อาจเป็นอันตราย

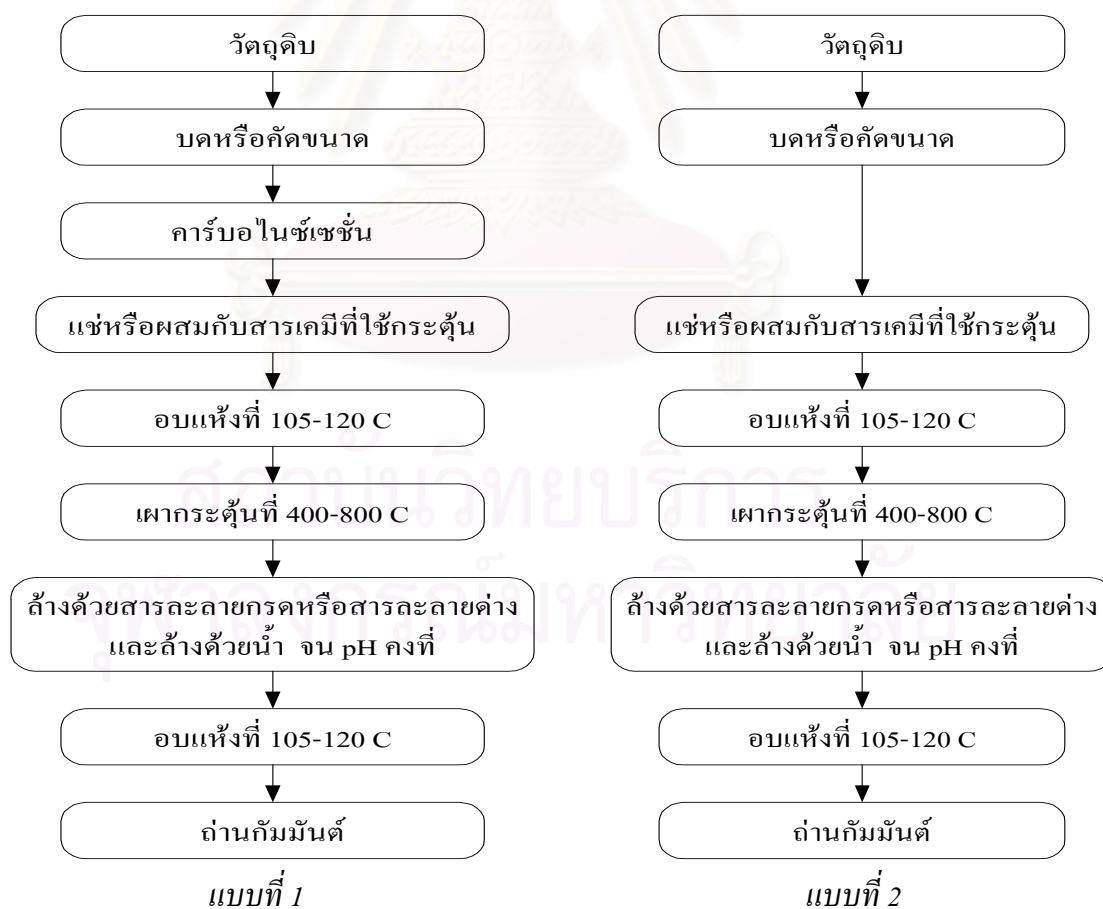
ข้อเสีย ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาสูง และรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะเล็กกว่าชนิดที่กระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี รูพรุนมีขนาดประมาณ micropore ซึ่งเหมาะสำหรับดูดกลิ่น, ไอ หรือ ก๊าซพิษ

2) การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (Chemical activation)

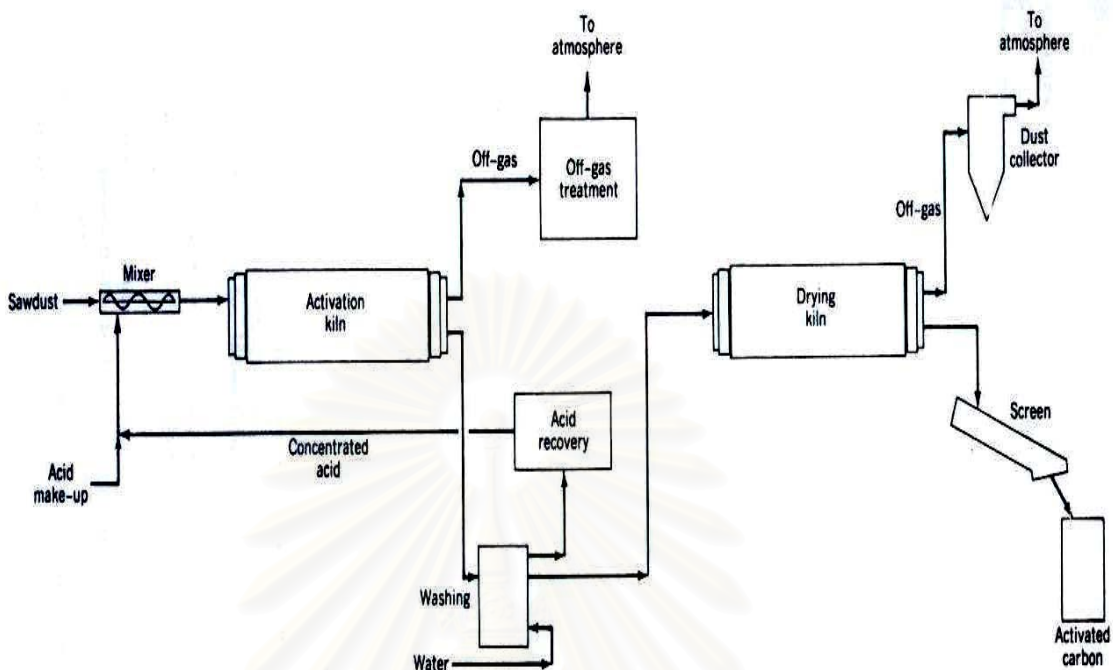
วิธีกระตุ้นด้วยเคมีนี้อาจทำได้ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 นำวัตถุดิบมาทำการเผาในที่อับอากาศให้เป็นถ่านก่อน แล้วจึงนำไปแช่หรือผสมกับสารเคมีที่ใช้กระตุ้น จากนั้นจึงทำการเผากระตุ้นแบบไพโรไลซิติกครั้ง

แบบที่ 2 นำวัตถุดิบแช่หรือผสมกับสารเคมีที่ใช้กระตุ้น แล้วจึงทำการเผากระตุ้นแบบไพโรไลซิติก ควบคู่ไปกับการทำให้วัตถุดิบเป็นถ่านในขั้นตอนเดียว



รูปที่ 2.9 รูปแบบการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี



รูปที่ 2.10 การผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี (Baker, et all. 1997)

ตารางที่ 2.3 สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี

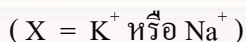
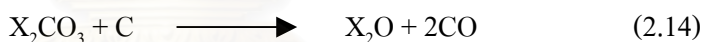
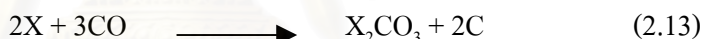
สารเคมี	สูตรเคมี
Zinc chloride	ZnCl ₂
Ferric chloride	FeCl ₃
Phosphoric acid	H ₃ PO ₄
Potassium sulfide	K ₂ S
Potassium thiocyanate	KSCN
Calcium chloride	CaCl ₂
Calcium hydroxide	Ca(OH) ₂
Nitric acid	HNO ₃
Sodium hydroxide	NaOH
Sulfuric acid	H ₂ SO ₄

การกระตุ้นทางเคมีนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้คือ
ข้อดี ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและผลผลิตที่ได้มากกว่าวิธีทางกายภาพ
ข้อเสีย ต้องล้างสารเคมีออกจากถ่านกัมมันต์ก่อนใช้งาน และอาจมีสารเคมีตกค้างได้

ตัวอย่างการกระตุ้นด้วยสารเคมี

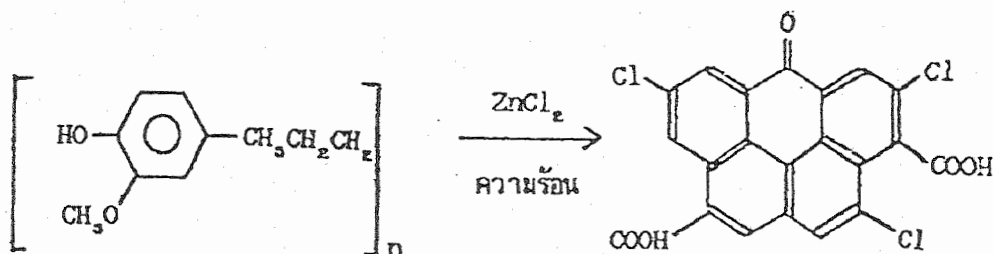
1) กระตุ้นด้วยสารประกอบของโพแทสเซียม (K) หรือโซเดียม (Na)

เมื่อนำวัตถุคิบหรือถ่านแชนหรือผสมสารละลายที่มีโพแทสเซียมอออน (K^+) หรือโซเดียมอออน (Na^+) ซึ่งอออนเหล่านี้ จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของผลึกแกรไฟต์ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ โมเลกุล ของ H_2O และ CO_2 จะหลุดออกมา ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ จากการศึกษาพบว่า การใช้สารกระตุ้นที่เป็นสารประกอบโพแทสเซียมจะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้สารประกอบโซเดียม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์เป็นดังสมการ



2) กระตุ้นด้วยสารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

ในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี ซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นชนิดหนึ่ง อัตราส่วนที่ใช้คือสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นประมาณ 0.5 ถึง 4 ส่วน ต่อน้ำหนักของวัตถุคิบแห้ง 1 ส่วน บางครั้งอาจมีการเติมกรดเกลือ (HCl) หรือ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ลงไปเล็กน้อย จากนั้นนำไปเผาในที่อับอากาศในช่วงอุณหภูมิ $400-900\text{ }^{\circ}\text{C}$ นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปล้างน้ำและกรดเกลือเจือจาง เพื่อเอาซิงค์คลอไรด์ที่เหลือออก (พงศศักดิ์ โอชารส, 2539) แล้วล้างด้วยสารละลายเบสเจือจางเพื่อปรับค่า pH ให้เหมาะสม จากนั้นล้างตามด้วยน้ำที่สะอาดจนค่า pH คงที่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่อใช้ ZnCl₂ เป็นตัวกระตุ้น (ปิยะพร บารมี, 2542)

ตารางที่ 2.4 ข้อเปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี

ตัวแปร	การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ	การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี
อุณหภูมิ (°C)	700 - 1000	400 - 800
การตกค้างสารเคมี	ไม่มี	มี
การกักต่อนอนุภาคที่ใช่ผลิต	น้อยมาก	น้อย ถึง มาก
ผลผลิตที่ได้	ต่ำกว่า	สูงกว่า
ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย	เล็กกว่า	ใหญ่กว่า

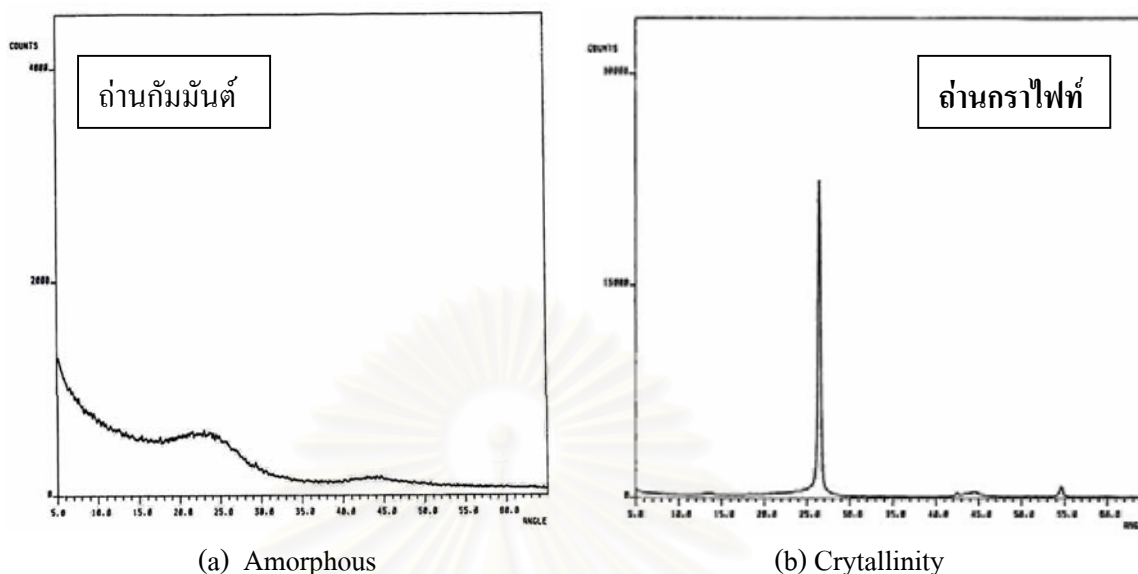
2.2.4 ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่สำคัญนั้น ก็คือ โครงสร้างทางกายภาพ และ โครงสร้างทางเคมี ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

2.2.4.1 โครงสร้างทางกายภาพ (Physical structure) ของถ่านกัมมันต์

ความเป็นผลึก

ถ่านกัมมันต์ มีลักษณะโครงสร้างความเป็นผลึกที่ไม่แน่นอน คือ เป็นแบบอสัณฐาน (Amorphous) (รูปที่ 2.12 (a)) ซึ่งมีความแตกต่างกันกับถ่านกราไฟท์ (Graphite carbon) อันมีลักษณะ โครงสร้างความเป็นผลึกที่ชัดเจน (Crytallinity) (รูปที่ 2.12 (b))



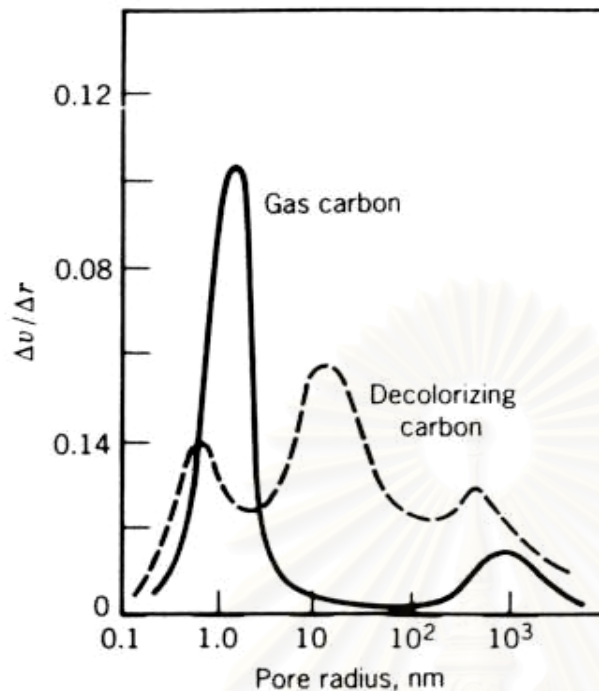
รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction

ขนาดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการดูดซับเร็วกว่าขนาดใหญ่ ดังนั้น ถ่านกัมมันต์ชนิดผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าขนาดใหญ่

พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุนของถ่านกัมมันต์คือ ถ้าวูพรุนมีมากก็จะมีพื้นที่ผิวมาก ถ้าวูพรุนมีน้อยพื้นที่ผิวก็จะน้อย ส่วนขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากวัสดุและวิธีการกระตุ้นที่แตกต่างกัน จะมีกระจายตัวขนาดของรูพรุนแตกต่างกัน (รูปที่ 2.13) ส่วนขนาดรูพรุนของสารดูดซับสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขนาดตามมาตรฐานของระบบ IUPAC



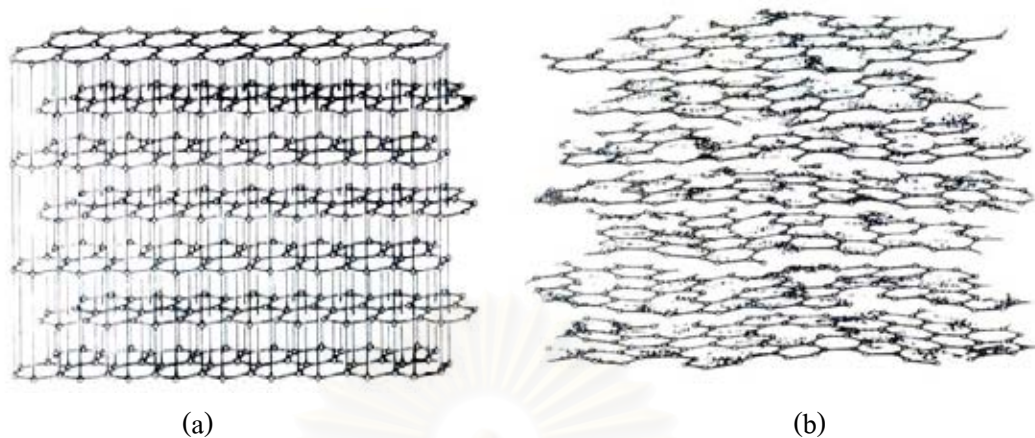
ขนาดรูพรุนตามระบบ IUPAC

- รูพรุนขนาดเล็ก (micropores)
ขนาดรัศมีน้อยกว่า 1 นาโนเมตร
- รูพรุนขนาดกลาง (mesopores)
ขนาดรัศมี 1 - 25 นาโนเมตร
- รูพรุนขนาดใหญ่ (macropores)
ขนาดรัศมีมากกว่า 25 นาโนเมตร

รูปที่ 2.13 กระจายตัวขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์
(Ruthven, 1997)

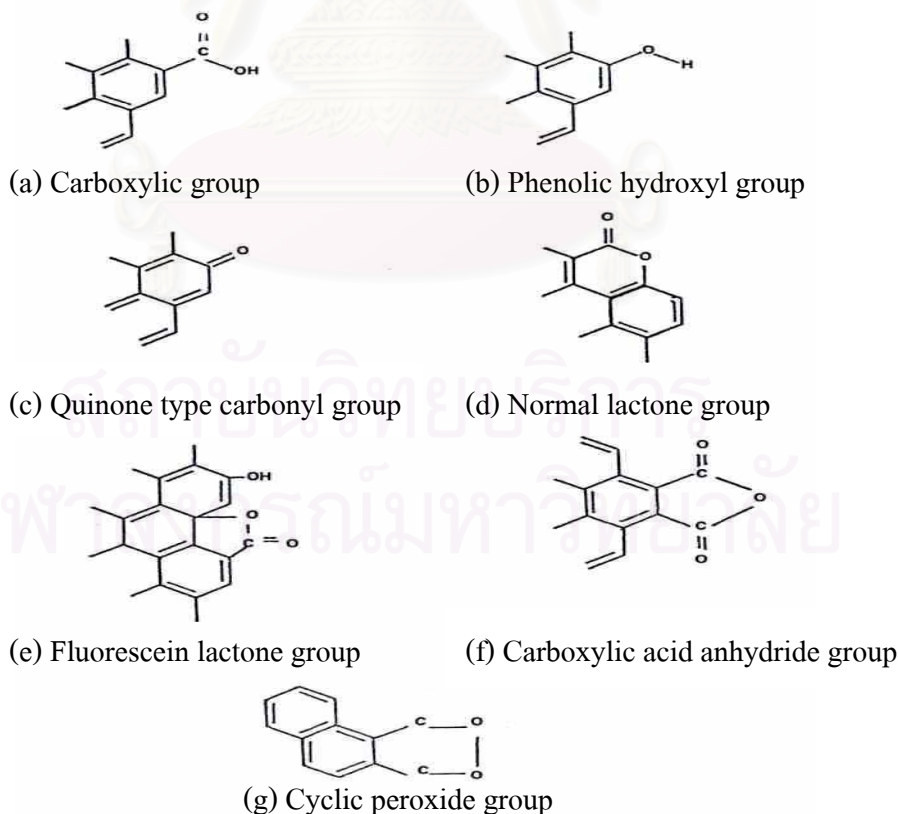
2.2.4.2 โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure) ของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ มีโครงสร้างที่แตกต่างจากถ่านกราไฟท์ คือ ถ่านกราไฟท์ จะมีโครงสร้างเป็นผลึกที่ชัดเจน ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนซึ่งเรียงตัวกันแบบหกเหลี่ยม ด้านเท่า (Regular hexagonal) อย่างต่อเนื่องกัน และเป็นชั้นๆ ระยะระหว่างอะตอมของคาร์บอนในแต่ละชั้นมีขนาด 1.42 Å โดยในแต่ละชั้นเรียงตัวขนานในระนาบเดียวกัน ระยะห่างระหว่างชั้นมีขนาด 3.35 -3.36 Å (รูปที่ 2.14 (a)) ส่วนถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะโครงสร้างเป็น amorphous ประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนมีขนาดประมาณ 150 Å และระยะห่างระหว่างผลึกเล็กๆ มีค่าระหว่าง 20-50 Å (รูปที่ 2.14 (b))



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของ (a) ถ่านกราไฟท์ (b) ถ่านกัมมันต์ (Faust and Aly, 1987)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันและขั้นตอนการกระตุ้น องค์ประกอบของวัตถุดิบ อุณหภูมิที่ใช้ และวิธีการกระตุ้นที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน และมีหมู่ฟังก์ชันนัลเกาะอยู่ที่ผิวคาร์บอนแตกต่างกันด้วย



รูปที่ 2.15 หมู่ฟังก์ชันนัลที่เกาะอยู่กับผิวของถ่านกัมมันต์ (Cooksan, 1978)

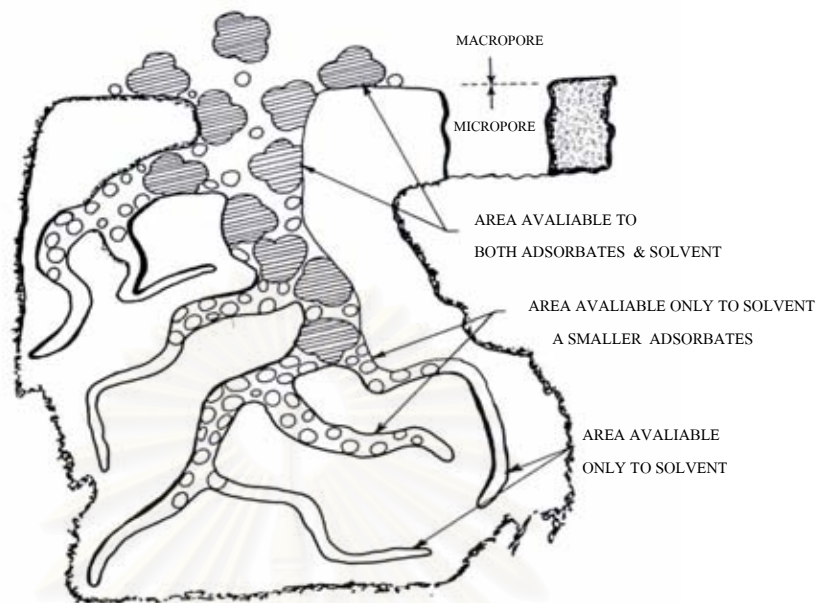
2.2.5 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

การเลือกใช้คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปใช้งาน มีดังนี้คือ

- 1) พื้นที่ผิว (Surface area): เป็นตัวกำหนดขีดความสามารถในการดูดซับ
- 2) ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density): เป็นค่าที่บอกลักษณะความสามารถในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์
- 3) ความหนาแน่นก้อน (Bulk density): บอกลักษณะปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน
- 4) ขนาดใช้งาน (Effective size), เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (Mean particle diameter), สัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (Uniformity coefficient) : เป็นตัวกำหนดภาวะทางชลศาสตร์ (Hydraulic condition) ของถังดูดซับ (Adsorption column)
- 5) ปริมาตรรูพรุน (Pore volumn): เป็นตัวกำหนดการดูดซับของโมเลกุล
- 6) การวิเคราะห์ผ่านตะแกรง (Sieve analysis): ใช้ตรวจสอบและกำหนดการบดบดควบคุมระบบ
- 7) อะบราชัน นัมเบอร์ (Abrasion number): ใช้บอกลักษณะความคงทนต่อการขัดสี
- 8) ร้อยละของเถ้า (% Ash) : เป็นค่าร้อยละของกากที่เหลือจากการเผา
- 9) ความชื้น (Moisture) : แสดงปริมาณน้ำในถ่านกัมมันต์
- 10) ไอโอดีน นัมเบอร์ (Iodine number): เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- 11) โมลาส นัมเบอร์ (Molasses number): เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- 12) ขนาดของรูพรุน (Pore size): เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

2.2.6 การดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon adsorption)

การดูดซับของถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของสารถูกดูดซับกับถ่านกัมมันต์ กล่าวคือ เมื่ออนุภาคของสารถูกดูดซับใดๆ มีการแพร่กระจาย (diffusion) เข้าสู่บริเวณพื้นผิวสัมผัสหรือรูพรุนของถ่านกัมมันต์ หมู่ฟังก์ชันนัลหรืออิเล็กตรอน (electron) ที่มีอยู่บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ จะทำหน้าที่ในการดึงอนุภาคของสารนั้นให้มาเกาะจับและติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ (รูปที่ 2.16)



รูปที่ 2.16 การดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Cheremisinoff and Morresi, 1978)

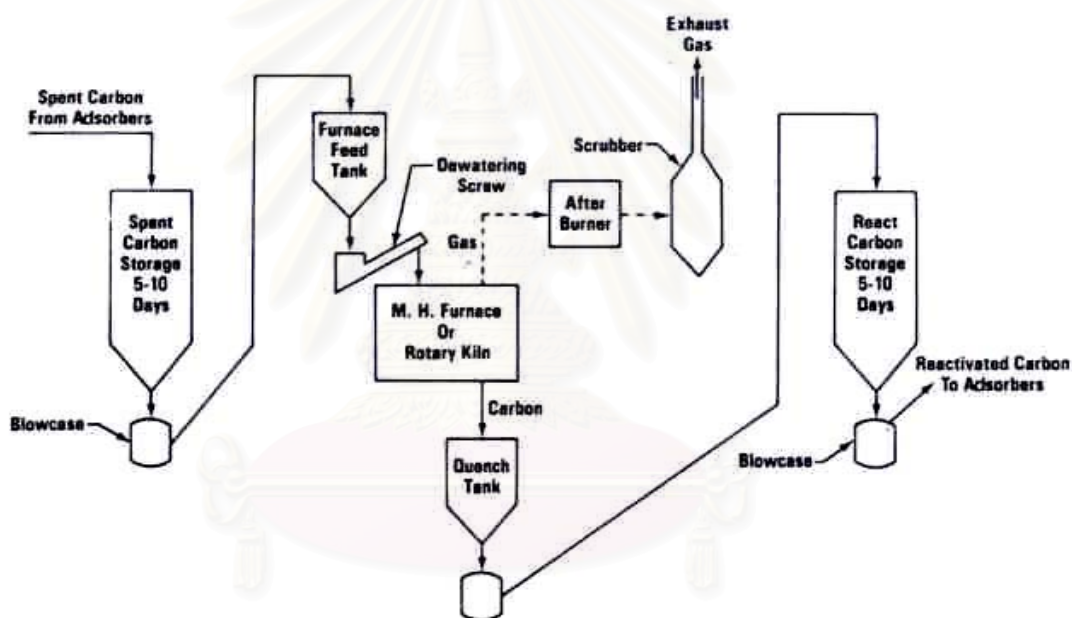
ความสามารถการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ครอบคลุมที่บริเวณพื้นผิวหรือรูพรุนของถ่านกัมมันต์ยังมีความสามารถในการดูดซับและยังมีอนุภาคของสารถูกดูดซับอยู่ในระบบ แต่เมื่อถ่านกัมมันต์ดูดสารถูกดูดซับจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว คือไม่สามารถดูดสารถูกดูดซับได้อีก ถ่านกัมมันต์นั้นก็ถึงจุดหมดสภาพการใช้งาน (Exhaustion point) แต่ถ้าหากต้องการนำถ่านกัมมันต์ที่หมดสภาพนี้กลับมาใช้งานใหม่ ก็ต้องทำการล้างหรือเอาสารถูกดูดซับออกไปเสียก่อนจากถ่านกัมมันต์เสียก่อน จึงจะนำมาใช้งานใหม่ได้ ซึ่งเทคนิคนี้เรียกว่า การฟื้นฟูสภาพ (Regeneration)

2.2.7 การฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon regeneration)

ถ่านกัมมันต์เมื่อผ่านการใช้งานเป็นเวลานานๆ บริเวณพื้นผิวและรูพรุนของอนุภาคถ่านกัมมันต์จะดูดซับสารและสิ่งสกปรกต่างๆ จนกระทั่งถ่านกัมมันต์หมดประสิทธิภาพในการดูดซับหรือเกิดการอุดตัน แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อที่จะลดภาระค่าใช้จ่ายในการกำจัดถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพและการจัดหาซื้อถ่านกัมมันต์ใหม่มาใช้งาน จึงได้มีการพัฒนาวิธีการนำถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพมาทำการฟื้นฟูสภาพ เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้งานได้ อีก การฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ทำได้โดยการกำจัดโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับ

และสิ่งสกปรกที่อุดตันถ่านกัมมันต์นั้นออกไปจากรูพรุนและพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีทางกายภาพ และวิธีทางเคมี คือ

1) การใช้ความร้อนในการฟื้นฟูสภาพ (Thermal regeneration) วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก ทำได้โดยนำถ่านกัมมันต์ที่หมดสภาพและแยกน้ำออกแล้วส่งเข้าเตาเผาแบบ Multiple hearth furnace หรือ Rotary kiln ทำการเผาที่อุณหภูมิ 870-980 °C ในช่วงการเผาไหม้นี้โมเลกุลของสิ่งสกปรกที่เป็นสารอินทรีย์ในรูพรุนและพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ จะระเหยเป็นไอและถูกเผาไหม้สลายตัวไป ในขั้นตอนนี้จะต้องควบคุมปริมาณออกซิเจนให้พอเหมาะที่จะทำลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ แต่ไม่ทำลายเนื้อถ่านกัมมันต์ หลังจากนั้นนำถ่านที่กำลังร้อนอยู่นั้นไปทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยการจุ่มลงในน้ำ (Quenching) นำไปล้างแยกเศษผงถ่านกัมมันต์ออก แล้วจึงนำไปใช้งาน



รูปที่ 2.17 การฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้ความร้อน (Stenzel and Zanitsch, 1978)

2) การใช้ไอน้ำในการฟื้นฟูสภาพ (Thermal regeneration) วิธีนี้มักนิยมใช้กับตัวถูกดูดติดผิวที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย

3) การใช้สารเคมีในการฟื้นฟูสภาพ (Chemical regeneration)

- ใช้สารละลายกรดในการฟื้นฟู (Acid regeneration) วิธีนี้มักนิยมใช้กับตัวถูกดูดติดผิวหรือสถานะที่ใช้ในการดูดติดผิวเป็นต่าง

- ใช้สารละลายต่างในการฟื้นฟู (Alkaline regeneration) วิธีนี้มักนิยมใช้กับตัวถูกดูดซับหรือสถานะที่ใช้ในการดูดซับเป็นกรด
- ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการฟื้นฟู (Organic solvent regeneration) วิธีนี้มักนิยมใช้กับตัวถูกดูดซับที่เป็นสารอินทรีย์

2.2.8 การใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

2.2.8.1 การประยุกต์ใช้กับของเหลว

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร้ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
- แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจลาติน น้ำส้ม เพ็คติน น้ำผลไม้ เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
- ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเค็มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ ทำให้เครื่องเค็มมีรสชาติดีขึ้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและยา เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในยาและเคมีภัณฑ์อื่นๆ เช่น สเตรปโตมัยซิน (streptomycin) คาเฟอีน (cafein) โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate) รวมทั้งกรดต่างๆ
- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดรส สี และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวพาสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst carrier) เช่น ตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) เป็นตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst support) สำหรับซิงค์อะซิเตทในโรงงานผลิตไวน์ลอะซิเตท

2.2.8.2 การประยุกต์ใช้กับก๊าซหรือไอ

- ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
- ใช้แยกก๊าซโซลีนออกจากก๊าซธรรมชาติ

- ใช้แยกเบนซอล (benzol) ออกจากก๊าซอุตสาหกรรม
- กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย เป็นต้น
- ใช้แยกไอรระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอรระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และคายออกที่ความดันของไอต่ำๆ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การหมัก เป็นต้น
- กำจัดสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ (organic sulfur compound) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และสิ่งเจือปนอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม
- กำจัดกลิ่นจากอากาศ ในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กลิ่นเหม็นลดน้อยลง
- ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์สำหรับหน่วยปฏิบัติการให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเบดของถ่านกัมมันต์ (activated carbon bed)

2.2.8.3 การศึกษาและทดลองระบบการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

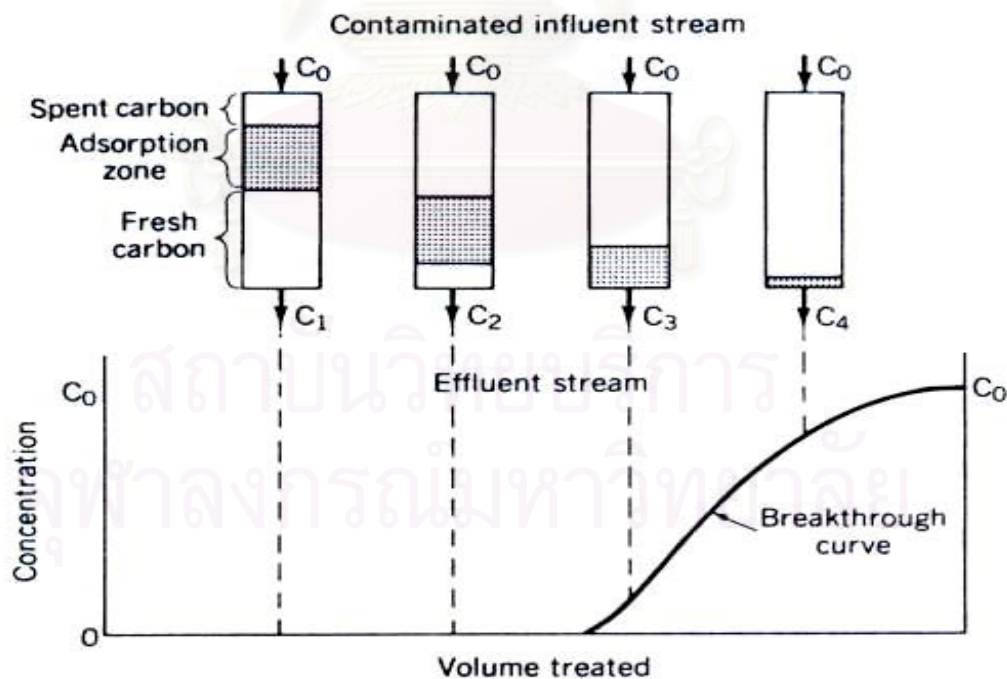
การศึกษาศามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ อาจทำได้โดยการทดลองหาค่าไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number), ค่าโมลาสันัมเบอร์ (Molasses number) หรือ การหาไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption isotherm) ทั่วไปจะทำการทดลองหาค่าความสามารถในการดูดติดผิว (Adsorption capacity) และตัวแปรต่างๆที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิว เช่น ค่าพีเอช เวลาสัมผัส เป็นต้น โดยทำการทดลองแบบเป็นงวดๆ (Batch test) ก่อน เมื่อได้ค่าตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมแล้วจึงนำไปทดลองต่อในรูปแบบของคอลัมน์หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous test) เพื่อให้ได้ค่าต่างๆ ที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับการใช้งานจริง

1) ระบบการดูดติดผิวแบบเป็นงวดๆ (Batch adsorption process system)

การทดลองแบบนี้สามารถทำได้ง่ายและสะดวก โดยการนำถ่านกัมมันต์ น้ำหนักที่แน่นอน ใสลงไปในระบบน้ำเสียหรือสารละลายที่ต้องการ แล้วทำการกวนหรือเขย่าให้เข้ากันในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นทำการกรองแยกถ่านกัมมันต์ออก นำน้ำเสียที่กรองได้ไปทำการทดสอบหาค่าต่างๆที่กำหนดหรือที่ต้องการ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ของน้ำเสียเริ่มต้นกับน้ำเสียที่ผ่านการกรองแยกถ่านกัมมันต์แล้ว ก็จะทำให้ทราบค่าความสามารถในการกำจัดสารมลพิษต่างๆในน้ำเสียของถ่านกัมมันต์ได้

2) ระบบการดูดซับแบบต่อเนื่อง (Continuous adsorption process system)

การทดลองแบบนี้สามารถทำได้โดยให้น้ำเสียไหลอย่างต่อเนื่อง ผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ก้นที่ (Fixed bed) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ โดยทั่วไปจะปล่อยให้ให้น้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์จากข้างบนลงสู่ข้างล่าง (down flow) ลักษณะการดูดซับจะเริ่มเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนบนของคอลัมน์ก่อน จากนั้นบริเวณการดูดซับจะค่อยๆ เคลื่อนลงมาตามลำดับ จนกระทั่งถึงส่วนล่างสุด และเมื่อถ่านกัมมันต์มีการดูดซับสารต่างๆ จนกระทั่งเริ่มทำงานไม่ได้ประสิทธิภาพตามที่ตั้งเกณฑ์ไว้ เรียกว่าจุดเริ่มหมดสภาพ (Breakpoint) หลังจากนั้นการดูดซับของถ่านกัมมันต์จะค่อยๆ หมดสภาพจนกระทั่งไม่สามารถดูดซับสารได้อีก เรียกว่าจุดหมดสภาพ (Exhaustion point) กล่าวคือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับในน้ำเสียเริ่มต้นก่อนไหลเข้าและไหลออกจากคอลัมน์จะมีค่าเท่ากัน ลักษณะความสัมพันธ์ที่แสดงในรูปกราฟ ระหว่างความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ เทียบกับปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ เรียกว่าเส้นโค้งเบรคทวร์จ (Breakthrough curve) ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ระบบการดูดซับแบบต่อเนื่อง (Baker et al., 1997)

2.3 ตะกั่ว (Lead : Pb)

ตะกั่ว เป็นแร่โลหะชนิดหนึ่งซึ่งได้มีการค้นพบและนำมาใช้ประโยชน์กันมาก พบได้ทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ พืช และอากาศ แหล่งแร่ตะกั่วที่พบมากในประเทศไทย ได้แก่ แหล่งแร่ตะกั่วในบริเวณอำเภอทองผาภูมิ สังขละบุรี และศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ถือได้ว่าเป็นแหล่งผลิตตะกั่วใหญ่ที่สุดของประเทศ แร่ตะกั่วที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น แร่กาลินา (Galena, PbS) แร่เซอร์ไซต์ (Cerrussite, PbCO₃) แร่อะไนไลต์ (Anglesite, PbSO₄)

2.3.1 สมบัติทั่วไปของตะกั่ว

2.3.1.1) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

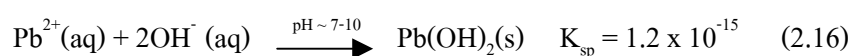
ตะกั่ว เป็นโลหะเนื้ออ่อน มีสีเทาเงินหรือแกมน้ำเงิน รัศมีอะตอม (โคเวเลนต์) 154 พิโคเมตร(pm) รัศมีไอออน M⁺² เป็น 120 พิโคเมตร ความหนาแน่น 11.3 กรัม/ลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,744 องศาเซลเซียส พลังงานการแตกตัวเป็นไอออนชั้นที่ 1+2 เป็น 2,167 กิโลจูล/โมล สามารถนำไฟฟ้าได้ดี

2.3.1.2) สมบัติทางเคมี (Chemical properties)

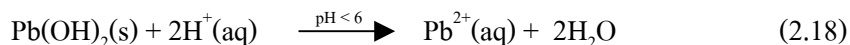
ตะกั่ว เป็นโลหะหนัก (Heavy metal) หมู่ 4A ในตารางธาตุ มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 207 กรัม/โมล ตะกั่วที่พบในธรรมชาติซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบของตะกั่ว มักจะมีค่าเลขออกซิเดชันเป็น +2 และ +4 แต่ที่พบโดยทั่วไปและมีความเสถียรมักจะเป็น +2 มากกว่า

ตะกั่วในรูปของสารละลายและหรือตะกอน ที่มีปนเปื้อนอยู่ในน้ำนั้น มีปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญๆ เกี่ยวข้อง ดังนี้คือ

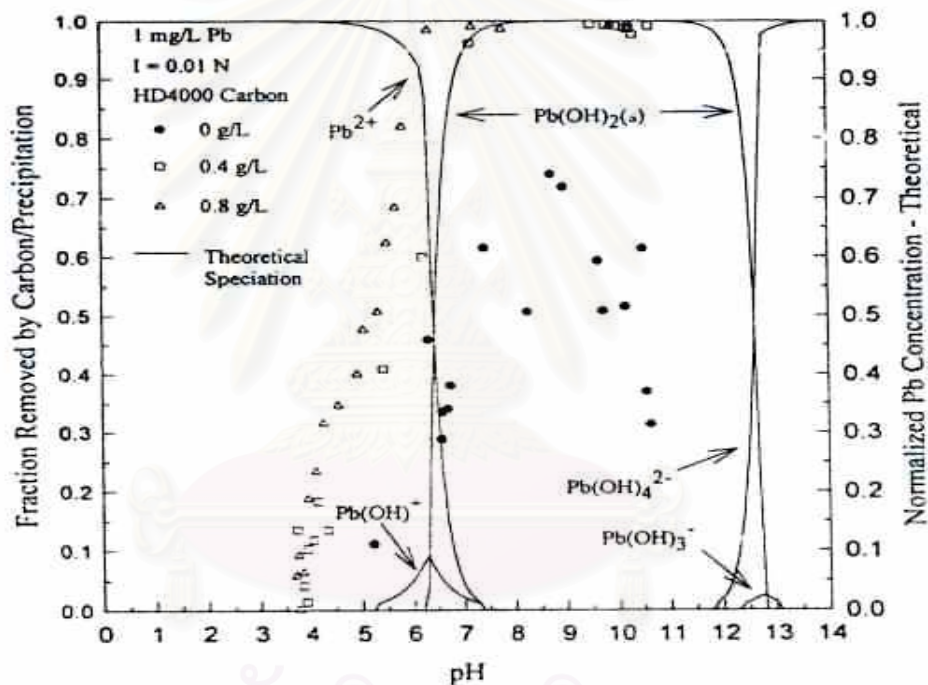
- Pb²⁺ ในสารละลายที่เป็นด่างที่มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ไม่สูงมากเกินไปนัก ตะกั่วในรูปของ Pb²⁺ จะสามารถตกตะกอนเป็นของแข็งสีขาวได้เป็น Pb(OH)₂ ดังสมการ 2.16



- Pb(OH)₂ ที่เกิดขึ้นนี้จัดว่าเป็นสารที่มีสมบัติในการละลายได้ทั้งในด่างและในกรด (Amphoteric hydroxide) ดังสมการ 2.17 และ 2.18

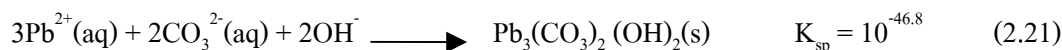


- ตะกั่วในสารละลายน้ำ พบว่าอาจจะอยู่ในรูปฟอร์มที่แตกต่างกันได้ คือ Pb^{2+} , Pb(OH)^+ , Pb(OH)_2 , Pb(OH)_3^- หรือ Pb(OH)_4^{2-} โดยจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ค่า pH ของสารละลาย ถ้า $\text{pH} < 6$ ตะกั่วในสารละลายส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ Pb^{2+} และถ้า pH สูงกว่า 7 จนถึง 10 ตะกั่วจะเริ่มตกตะกอนได้ดี จนถึงค่า pH ประมาณ 11 ตะกั่วที่ตกตะกอนจะสามารถละลายได้ และละลายได้ดีมากขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้นกว่านั้นอีก ดังแสดงในรูปที่ 2.19

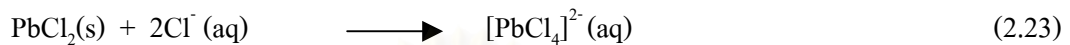
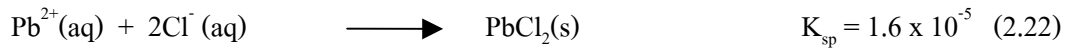


รูปที่ 2.19 รูปแบบตะกั่วในสารละลายน้ำที่ pH ต่างๆ (Reed B. E. et al., 1996)

- Pb^{2+} ในสารละลายน้ำที่มีคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) อยู่ด้วย ก็จะสามารถตกตะกอนในรูป PbCO_3 ได้ด้วย ดังสมการ



- Pb^{2+} ในสารละลายกรดเกลือเจือจาง (HCl dil.) ที่มีคลอไรด์ไอออน (Cl^-) อยู่ด้วยในปริมาณที่ไม่สูงมากนักก็จะสามารถตกตะกอนได้เป็น $PbCl_2$ แต่ถ้าสารละลายกรดเกลือมีความเข้มข้นสูงมากขึ้นคือมากเกินไป ก็จะทำให้ตะกอน $PbCl_2$ ที่เกิดขึ้น ละลายได้เป็น $[PbCl_4]^{2-}$ ดังสมการ



- ตะกั่วที่พบในน้ำ รูปแบบต่างๆ นั้น มีความสัมพันธ์กับขนาดอนุภาค ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ขนาดอนุภาคของสารตะกั่วรูปแบบต่างๆ ในน้ำ

Size	← 1 nm		10 nm	100nm	1000 nm		
	Soluble		Colloidal		Particulate		
Metal Species	Free metal ions	Inorganic ionpairs, Organic chelates	Organic complexes	Metal species bound to high molecular weight organic material	Metal species adsorbed on collids	Metal incorporated with organic particles and remains of living organisms	Mineral solid, Metal adsorbed on solids, Precipitates and co-precipitation
Example	Pb^{2+}	$PbHCO_3^+$ Pb-EDTA	Pb-fulvic acid	Pb-humic acid	Pb - Fe (OH) ₃ Pb-MnO ₂	Pb-organic solid	Pb-Clay PbCO ₃ (s)

ที่มา: Harrison and Laxen (1981)

2.3.2 ประโยชน์ของตะกั่ว

- ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสี เช่น สีแดง (red lead; PbO) สีเหลืองส้ม (Lead chromate; $PbCrO_4$) และสีขาว (lead carbonate; $PbCO_3$)
- ใช้ในอุตสาหกรรมการทำหม้อแบตเตอรี่และโลหะหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าต่างๆ
- ใช้เป็นเครื่องกำบังป้องกันอันตรายจากรังสี ในอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการทางด้านรังสีและนิวเคลียร์
- ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมกระจก และเครื่องเคลือบบางชนิด
- ใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืชบางชนิด

- ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตหมึกพิมพ์
- สารตะตะอะทิลเลด (tetraethyllead: $Pb(C_2H_5)_4$) ใช้เป็นตัวผสมเติมในน้ำมันเบนซินพลังสูง ในอัตรา 3 กรัมต่อแกลลอน เพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบขึ้น (antiknock) แต่ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทย เลิกใช้แล้ว เพราะสารดังกล่าวเมื่อเผาแล้วตะกั่วจะกลายเป็นไอปะปนอยู่ในอากาศ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต
- ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมทำท่อน้ำต่างๆ ตลอดจนทำพีวีซี
- ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาวุธและกระสุนปืนต่างๆ
- ใช้ในอุตสาหกรรมผสมโลหะผสมต่างๆ เช่น ตะกั่วผสมดีบุก เป็นโลหะบัดกรี (solder) ตะกั่วผสมพลวง เป็นโลหะตัวพิมพ์ (type metal) ตะกั่วผสมบิสมัท ดีบุก และแคดเมียม เป็นโลหะผสมที่เรียกว่า Wood's alloy เป็นต้น

2.3.3 ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่ว จัดว่าเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษและอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ หากสิ่งมีชีวิตได้รับสารสะสมเข้าไปในร่างกายจนเกินขีดความสามารถที่ร่างกายจะทนทานได้ ซึ่งความเป็นพิษของตะกั่ว นั้นจะมาจากสารหลัก 2 ประเภท คือ

1) ตะกั่วอนินทรีย์ ได้แก่ ตะกั่วผสมดีบุกที่ใช้ทำลวดเชื่อมบัดกรีโลหะ ลูกปืน ท่อ ตะกั่ว สายเคเบิล สีทาบ้าน สีทาโลหะกันสนิม หมึกพิมพ์ และใช้ผสมกระเบื้องเครื่องเคลือบหรือเซรามิกเพื่อให้เกิดความเงางามและผิวเรียบ นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมการถลุงและการแต่งแร่โลหะตะกั่ว ก็ทำให้มีสารตะกั่วตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งในดิน น้ำ และอากาศ เช่นเศษละอองฝุ่นผงตะกั่วในอากาศ ตะกั่วในรูปของอออน (Pb^{2+}) ที่ละลายในน้ำ ตะกั่วออกไซด์ (PbO) ตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) ตะกั่วคาร์บอเนต ($PbCO_3$) ที่ตกตะกอนในดิน เป็นต้น

2) ตะกั่วอินทรีย์ เป็นสารประกอบตะกั่วในน้ำมัน เช่น สารตะตะอะทิลเลด ($Pb(C_2H_5)_4$) ที่ใช้เป็นสารกันน็อก เพื่อป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ในเวลาทำงาน ตะกั่วอินทรีย์เป็นสารระเหยได้ง่ายและคงตัวอยู่เป็นไอในอากาศ เมื่ออยู่ในสถานะของเหลวจะสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ หากถูกเผาไหม้ในเครื่องยนต์จะถูกเปลี่ยนเป็นตะกั่วอินทรีย์ในสภาพของอนุภาคปนออกมา กับไอเสียของยานยนต์ และเข้าสู่ร่างกายโดยทางหายใจ หากอนุภาคของตะกั่วจากท่อไอเสียตกลงบนอาหารที่อยู่ริมถนน สารตะกั่วก็จะเข้าสู่ร่างกายได้โดยผ่านระบบทางเดินอาหาร

การได้รับสารตะกั่วสะสมเข้าสู่ร่างกาย อาจทำให้เกิดพิษเฉียบพลันและเรื้อรังต่อระบบต่างๆของร่างกาย พิษเรื้อรังของตะกั่ว จะค่อยๆแสดงอาการออกมา หลังจากได้รับสารตะกั่ว

ทีละน้อย เข้าสู่ของเหลวในร่างกาย และ ค่อยๆสะสมในร่างกาย จนกระทั่งถึงระยะเวลาหนึ่ง จึงแสดงอาการออกมา ส่วนมากเกิดกับบุคคลที่มีอาชีพที่สัมผัสกับสารตะกั่ว (ตารางที่ 2.6) และกับชุมชนบริเวณที่มีการปนเปื้อนตะกั่วในสิ่งแวดล้อมนั้น เช่น บริเวณเหมืองหรือโรงแต่งแร่ตะกั่ว เป็นต้น ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ไม่ว่าจะทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ไปจับกับเม็ดเลือดแดง แทนที่เหล็ก (Fe^{+2}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็น ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง (Anaemia) ทำให้ปริมาณเหล็กในน้ำเหลืองเพิ่มขึ้นผิดปกติ ตะกั่วบางส่วน จะเข้าไปแทนที่แคลเซียม (Ca^{+2}) ซึ่งเป็นโลหะ ที่จำเป็นในการสร้างกระดูก และฟัน ทำให้มีอาการปวดตามข้อกระดูก และหักง่าย ถ้าไปสะสมที่รากฟัน ทำให้เห็นสีม่วง หรือสีดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่าเส้นตะกั่ว (Lead line) ฟันหลุดได้ง่าย นอกจากนี้ยังสะสมในไขมัน สมองระบบประสาท ระบบน้ำเหลือง ตับ และไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ

- อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดอาการปวดท้อง น้ำหนักลด เมื่ออาหารคลั่งไส้ อาเจียน ท้องผูก
- อาการพิษทางประสาทและสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ เกิดอาการประสาทหลอน ซึมไม่รู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้

ตารางที่ 2.6 อาชีพที่บุคคลมีโอกาสได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย

อาชีพที่มีโอกาสได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย	
โอกาสได้รับตะกั่วสูง	โอกาสได้รับตะกั่วปานกลาง
เหมืองตะกั่ว (ระดับปฏิบัติการ)	เหมืองตะกั่ว (ระดับเจ้าหน้าที่ทั่วไป)
หลอมตะกั่ว	ทำสายไฟ
หลอมโลหะที่ทาสีกันสนิม	ประกอบเครื่องเสียงวิทยุโทรทัศน์
ตัดโลหะจากเรือเก่า	โรงงานลูกปืน
โรงงานแบตเตอรี่	ซ่อมเครื่องยนต์
โรงงานสีที่มีตะกั่วผสมอยู่	ประกอบรถยนต์

2.3.4 ค่ามาตรฐานของตะกั่วที่ยอมรับได้ในน้ำประเภทต่างๆ

ตะกั่วเป็น โลหะที่ไม่จำเป็นในขบวนการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอย่างโลหะอื่นๆ เช่น โซเดียม แคลเซียม หรือ เหล็ก จึงมีการกำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนของตะกั่วในน้ำดื่ม น้ำใช้ และน้ำประเภทต่างๆ เพื่อป้องกันและเพื่อความปลอดภัยของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมไว้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานการปนเปื้อนของตะกั่วในน้ำประเภทต่างๆ

มาตรฐาน	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
INTERNATIONAL STANDARDS FOR DRINKING - WATER	0.05
มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก	0.05
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค	0.05
มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	0.05
มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	0.2

2.4 ขี้เลื่อย (Sawdust)

ขี้เลื่อยเป็นผลผลิตพลอยได้จากการเลื่อยไม้ชนิดต่างๆ ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง สามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก ในพื้นที่ทั่วไปที่มีโรงเลื่อยไม้หรือโรงงานทำไม้แปรรูปเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ขี้เลื่อยอาจนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น นำไปผลิตเป็นไม้อัดแปรรูป ใช้เป็นตัวชนวนกันความร้อนในโรงงานทำน้ำแข็งก้อน ใช้ในการเพาะเลี้ยงเห็ดฟาง หรือใช้ทำปุ๋ย เป็นต้น

ขี้เลื่อยเป็นวัสดุคืบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในปริมาณสูง (ตารางที่ 2.8) จึงเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นวัสดุคืบในการผลิตถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 2.8 สมบัติบางประการของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง

สมบัติของไม้	ไม้เนื้ออ่อน	ไม้เนื้อแข็ง
ค่าคาร์บอน	40-45	40-42
ค่าสารระเหย	55-60	55-60
ค่าความหนาแน่น	0.40-0.50	0.55-0.80
ค่าเถ้า	0.3-1.1	0.3-1.2

ที่มา : ปิยะพร บารมี (2542)

2.5 โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride; NaCl)

โซเดียมคลอไรด์ เป็นชื่อเรียกทางเคมี แต่สำหรับบุคคลทั่วๆ ไปอาจจะคุ้นเคยกับคำเรียกว่า “เกลือ” มากกว่า เกลือ เป็นสารประกอบของธาตุโซเดียม (Na) ขนาดรัศมีอะตอมเท่ากับ 1.52 Å และ ธาตุคลอรีน (Cl) ขนาดรัศมีอะตอมเท่ากับ 1.00 Å ในอัตราส่วนจำนวนโมลที่เท่ากัน คือ 1:1 มีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 58.44 กรัมต่อโมล (g/mol) มีความหนาแน่น 2.165 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³) มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 801 °C ลักษณะของเกลือเป็นผลึกสีขาว มีรสเค็ม ละลายน้ำได้ดี โดยมีความสามารถในการละลายที่ 25 °C เท่ากับ 35.7 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร และความสามารถในการละลายที่ 100 °C เท่ากับ 39.8 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร เกลือถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย และใช้สำหรับในการปรุงรสอาหารในครัวเรือนทั่วไปนั่นเอง

ปัจจุบัน เกลือ ที่ผลิตและวางขายกันอยู่ในท้องตลาด ร้านค้าสะดวกซื้อ และซูเปอร์มาร์เก็ตในห้างสรรพสินค้าทั่วไป สามารถผลิตให้มีความบริสุทธิ์ได้สูงถึง 99.9% (เกลือ ยี่ห้อ *ปรุงทิพย์*) ซึ่งนับได้ว่ามีความบริสุทธิ์สูงมากพอที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ ในขณะที่ราคาซื้อขายไม่แพง

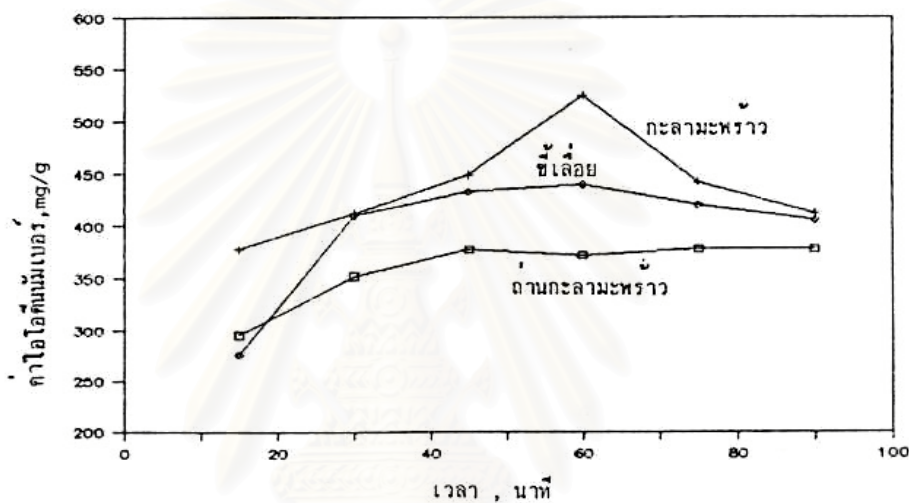
2.6 ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride; ZnCl₂)

ซิงค์คลอไรด์ เป็นสารเคมีประเภทสารดูดน้ำ (dehydrating agent) ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยธาตุสังกะสี (Zn) ขนาดรัศมีอะตอมเท่ากับ 1.34 Å และ ธาตุคลอรีน (Cl) ในอัตราส่วนจำนวนโมลเท่ากับ คือ 1:2 ตามลำดับ มีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 136.28 กรัมต่อโมล มีความหนาแน่น 2.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลว เท่ากับ 275 °C และมีจุดเดือด เท่ากับ 756 °C มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้ดี โดยมีความสามารถในการละลายที่ 25 °C เท่ากับ 432 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร และความสามารถในการละลายที่ 100 °C เท่ากับ 614 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร สารละลายเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ จะมีความเป็นกรดสูง สามารถละลายแป้ง เซลลูโลส และสารอินทรีย์ต่างๆ ได้

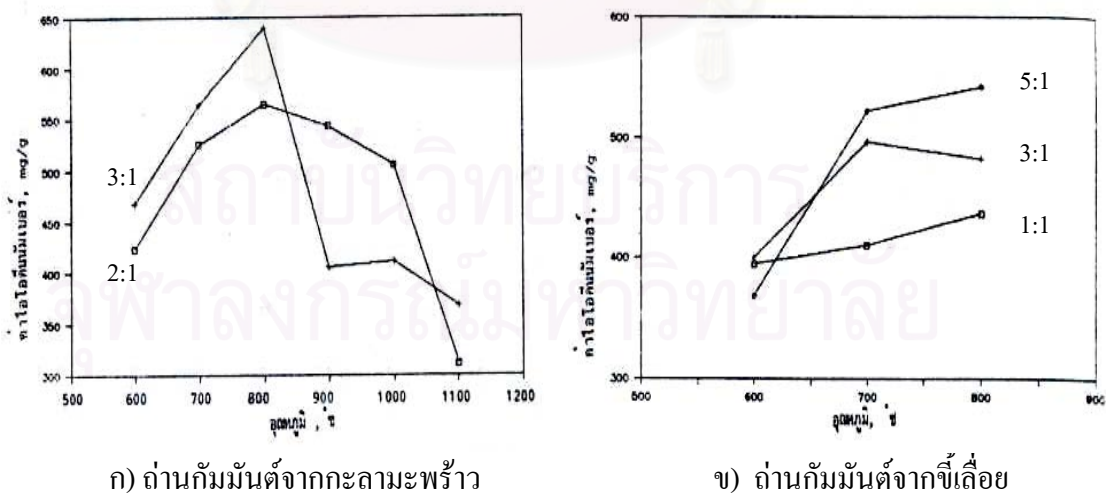
ซิงค์คลอไรด์ เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ในเชิงการค้า ระดับอุตสาหกรรม เพราะถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากการกระตุ้นด้วย ZnCl₂ จะมีค่าพื้นที่ผิวสูง ทำให้สมบัติในการดูดซับมลพิษได้ดีด้วย ทั้งนี้เพราะสมบัติในการดูดซับมลพิษจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวนั่นเอง

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คำรงค์ ขุนมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล (2533) ได้ทำการวิจัยโดยใช้เกลือแกง (NaCl) เป็นตัวกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและขี้เลื่อย พบว่าการกระตุ้นเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงสุดโดยดูจากค่าไอโอดีนัมเบอร์ คือ ควรใช้เวลกระตุ้นนาน 60 นาที (รูปที่ 2.20) และอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นคือ 800 °C (รูปที่ 2.21)



รูปที่ 2.20 ผลของเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เกลือแกง:วัสดุดิบ เท่ากับ 3:1)



ก) ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ข) ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อย

รูปที่ 2.21 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เกลือแกง:วัสดุดิบ ต่างกัน)

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นกะลามะพร้าวและขี้เถ้ามีค่าไอโอดีนนับเบอร์เท่ากับ 640 และ 542 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ โดยภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมคลอไรด์ต่อกะลามะพร้าวเท่ากับ 3 และเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ส่วนถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าชิ้นนั้นประมาณว่าจะมีอุณหภูมิ 800 °C หรืออาจจะสูงกว่า ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมคลอไรด์ต่อขี้เถ้า 5

พงศธร โคว์ชชาภรณ์ (2538) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดและคุณสมบัติรวมทั้งการใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ จากการทดลองพบว่า ซังข้าวโพดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้ คุณสมบัติของถ่านที่ทำการวิเคราะห์ คือ ค่าไอโอดีน ค่าการฟอกสีเมธิลีนบลู ความชื้น ปริมาณร้อยละของผลผลิต พื้นที่ผิว จากการทดลองพบว่า ซังข้าวโพดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิ 400 °C เวลาการเผา 3 ชั่วโมง มีปริมาณร้อยละของผลผลิตคือ 62.82 ค่าไอโอดีน 800 – 900 มิลลิกรัม/กรัม ค่าการฟอกสีเมธิลีนบลู 120 – 180 มิลลิกรัม/กรัม พื้นที่ผิว 1,000 ตารางเมตร/กรัม ประสิทธิภาพการฟอกสีปานกลาง

อชิชัย 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 การกำจัดโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ น้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากัน โดยมีประสิทธิภาพรวมประมาณ 90% และ 70% สำหรับการกำจัดโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยและน้ำเสียสังเคราะห์ตามลำดับ

ประภคฤต เลิศจรธอร่ามดี (2539) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ขี้เถ้า ฟางข้าว และขุยมะพร้าว ผลการทดลองพบว่า ขุยมะพร้าวที่ความเข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณ 0.20 กรัม ความสามารถในการกำจัดไอออนของตะกั่ว และไอออนของปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ สามารถที่จะกำจัดได้ 80% และ 78% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขี้เถ้าและฟางข้าว พบว่า ขุยมะพร้าวมีความสามารถในการกำจัดไอออนของโลหะหนักได้ดีกว่าขี้เถ้าและฟางข้าว สำหรับน้ำเสียจากโรงงานแบตเตอรี่ที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 0.3 – 0.7 ส่วนในล้านส่วน พบว่า ขี้เถ้า ฟางข้าว และขุยมะพร้าวสามารถกำจัดไอออนของตะกั่วได้เกือบ 100%

ปิยะพร บารมี (2542) ได้ทำการเติมถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ซึ่งมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ การคาร์บอนไนซ์ และการกระตุ้น จากผลการทดลองได้ภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ย่าง คือ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 30 นาที และขั้นตอนการกระตุ้นโดยการนำยางที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้ว มาแช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 70 พร้อมทั้งเขย่าเป็นเวลา 3 วัน นำไปอบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์มีค่าพื้นที่ผิวรูพรุน 237.17 ตารางเมตร/กรัม และค่าไอโอดีน 351.52 มิลลิกรัม/กรัม

ชนิตา เสริมรัตน์ (2543) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดซับสี โดยสารดูดซับสีที่ใช้ คือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อย โดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ ผลการทดลองพบว่าถ่านกะลาไม่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานโดยพิจารณาจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับสีแบบฟรุนดลิช ส่วนถ่านกัมมันต์และถ่านชานอ้อยมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งาน

สุจนีย์ กุ้ยเสงี่ยม (2544) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ ระหว่างถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว โดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น กับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและที่ผลิตจากกะลาปาล์ม มีค่าไอโอดีน 532.29 และ 486.45 มิลลิกรัม/กรัม พื้นที่ผิว 492.42 และ 385.91 ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ

การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับสีแบบฟรุนดลิช โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวสามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ 8.37 และ 5.52 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม สามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 2.53 และ 1.63 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับสีแบบฟรุนดลิชพบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 50.18 และ 19.95 มิลลิกรัมต่อกรัม การทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแบ่งดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ สามารถดูดซับตะกั่วได้ 3.83, 3.83, 3.75 และ 3.88 มิลลิกรัม/กรัม และดูดซับปรอทได้ 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

ส่วนการทดสอบโดยใช้ถังดูดซับแบบแบ่งโดยผ่านน้ำทิ้งโรงงานสิ่งทอ สามารถดูดซับตะกั่วได้ 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

ลลิตา นิตศนจารกุล (2544) ทำการวิจัยการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ เปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้เกลือแกง ผลการทดลองพบว่า วัสดุดิบที่ผ่านการแช่ในสารละลายอิมตัวของเกลือแกงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการอบแห้ง แล้วนำมาเผากระตุ้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผากระตุ้น คือ 800 °C จะให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดของถ่านเปลือกทุเรียนเท่ากับ 567 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เท่ากับ 532 มิลลิกรัม/กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสูงกว่า 90% ที่พีเอชของน้ำเสียตั้งแต่ 4 ถึง 9 และจากการทดลองหาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช พบว่า ถ่านเปลือกทุเรียนมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วสูงกว่าถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

Reed B. E. et al. (1996) ทำการศึกษาผลของ pH, เวลาสัมผัส และอัตราการไหลการบรรจุต่อพื้นที่ตัดขวางคอลัมน์ของการกำจัดตะกั่วโดยถ่านกัมมันต์แบบเม็ด พบว่าตะกั่วจะถูกกำจัดมากขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น สำหรับตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร เวลาสัมผัสสูงสุดจะอยู่ในช่วง 6-7 นาที ในขณะที่ตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร จะใช้เวลาน้อยกว่า 10 นาที และผลของอัตราการไหลการบรรจุที่ 4.9 และ 9.8 เมตร/ชั่วโมง จะมีค่าต่ำสุดสำหรับตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่ตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร จะถูกกำจัดได้ดีกว่าเล็กน้อยที่อัตราการไหลการบรรจุสูงกว่า

Bunnaul P. et al. (1999) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์เพื่อใช้กำจัดสารหนู วัสดุดิบที่ใช้เตรียมถ่านกัมมันต์คือกะลามะพร้าวและแกลบ โดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี คือ โซเดียมคลอไรด์ และเฟอริกคลอไรด์ เตรียมโดยการแช่วัสดุดิบในสารละลายอิมตัวของโซเดียมคลอไรด์และเฟอริกคลอไรด์ ปล่อยให้แห้งข้ามคืน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้อากาศไร้ก๊าซออกซิเจน พบว่าสารหนูจะถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยเฟอริกคลอไรด์ จะดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ และเปรียบเทียบการเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบจะใช้ปริมาณสารเคมีน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และจากการทดลองการดูดซับแบบต่อเนื่องโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยเฟอริกคลอไรด์ พบว่าขีดความสามารถ ในการดูดซับ As^{3+} เท่ากับ 0.48 มิลลิกรัม/กรัม และ As^{5+} เท่ากับ 0.82-1.02 มิลลิกรัม/กรัม

บทที่ 3

แผนการทดลองและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สถานที่ทำการวิจัย

การทดลองวิจัย ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการกำจัดขยะ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การร่อนคัดขนาดซีลี้อยและถ่านกัมมันต์ ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิว, ปริมาตรโพรง และขนาดโพรงเฉลี่ย ดำเนินการที่ศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การถ่ายภาพของซีลี้อยและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ด้วยกล้องอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope (SEM)), การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำเสียตัวอย่าง, ดำเนินการที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เตาเผา (multiple furnace) : VALCAN, Model 3-1750, USA.
- 2) เครื่องบดละเอียด : Herzog, Model HSM 100H, Germany.
- 3) ชุดเครื่องร่อนและตะแกรงร่อนคัดขนาดมาตรฐาน
- 4) โถป้องกันความชื้น (desiccator)
- 5) เครื่องเขย่า (shaker) ยี่ห้อ K รุ่น VRN-360
- 6) เครื่อง pH Meter : DKK, Model pHL-20, Japan
- 7) เครื่องวัดพื้นที่ผิว (BET) : Micrometrics, Model ASAP, Germany.

- 8) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy ; AAS) : Varain, Model
- 9) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope ; SEM) : JEOL, Model JSM-6400, Japan.
- 10) ถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column) : ใช้ท่ออะคริลิก (Acrylic) ใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.5 เซนติเมตร ความสูง 1.20 เมตร จำนวน 2 อัน ใช้สำหรับบรรจุถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂
- 11) ถังเก็บน้ำเสียและปั้มน้ำ เพื่อที่จะทำการสูบน้ำเสียเข้าสู่ถังดูดซับแบบแท่ง

3.3 แผนการทดลอง

การเตรียมถ่านกัมมันต์ ทำโดยการกระตุ้นด้วยสารเคมีคือ NaCl และ ZnCl₂ ด้วยอัตราส่วน น้ำหนักวัตถุติดต่อสารเคมีที่ใช้ต่างกัน และเผาที่อุณหภูมิสูงในช่วง 500-800 °C จากนั้นศึกษาสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยการทดสอบหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เพื่อใช้พิจารณาประกอบการคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่มีความเหมาะสมที่สุดที่เตรียมได้ไปใช้ทดสอบสมบัติอื่นๆ ต่อไป รวมทั้งทดสอบความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วและประสิทธิภาพในการลดปริมาณโลหะหนักตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณโลหะหนักตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂ ซึ่งในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้า โดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂ ด้วยอัตราส่วน น้ำหนักวัตถุติดต่อสารเคมีที่ใช้ต่างกันคือ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 และเผาที่อุณหภูมิสูงในช่วง 500, 600, 700 และ 800 °C
2. ศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เป็นเบื้องต้น แล้วคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่มีความเหมาะสมที่สุดที่เตรียมได้ ไปใช้ทดสอบสมบัติอื่นๆ ต่อไป เช่น พื้นที่ผิว, ปริมาตรโพรง, ขนาดโพรงเฉลี่ย, ขนาดประสิทธิผล และสัมประสิทธิ์ความคงตัว เป็นต้น
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ เช่น ค่า pH, เวลาสัมผัส, ความแรงไอออน และทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช โดยทำการทดลองแบบเป็นแบทช์ (batch process)

4. การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองในถังดูดติดผิวแบบแท่ง (adsorption column) ซึ่งทำการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

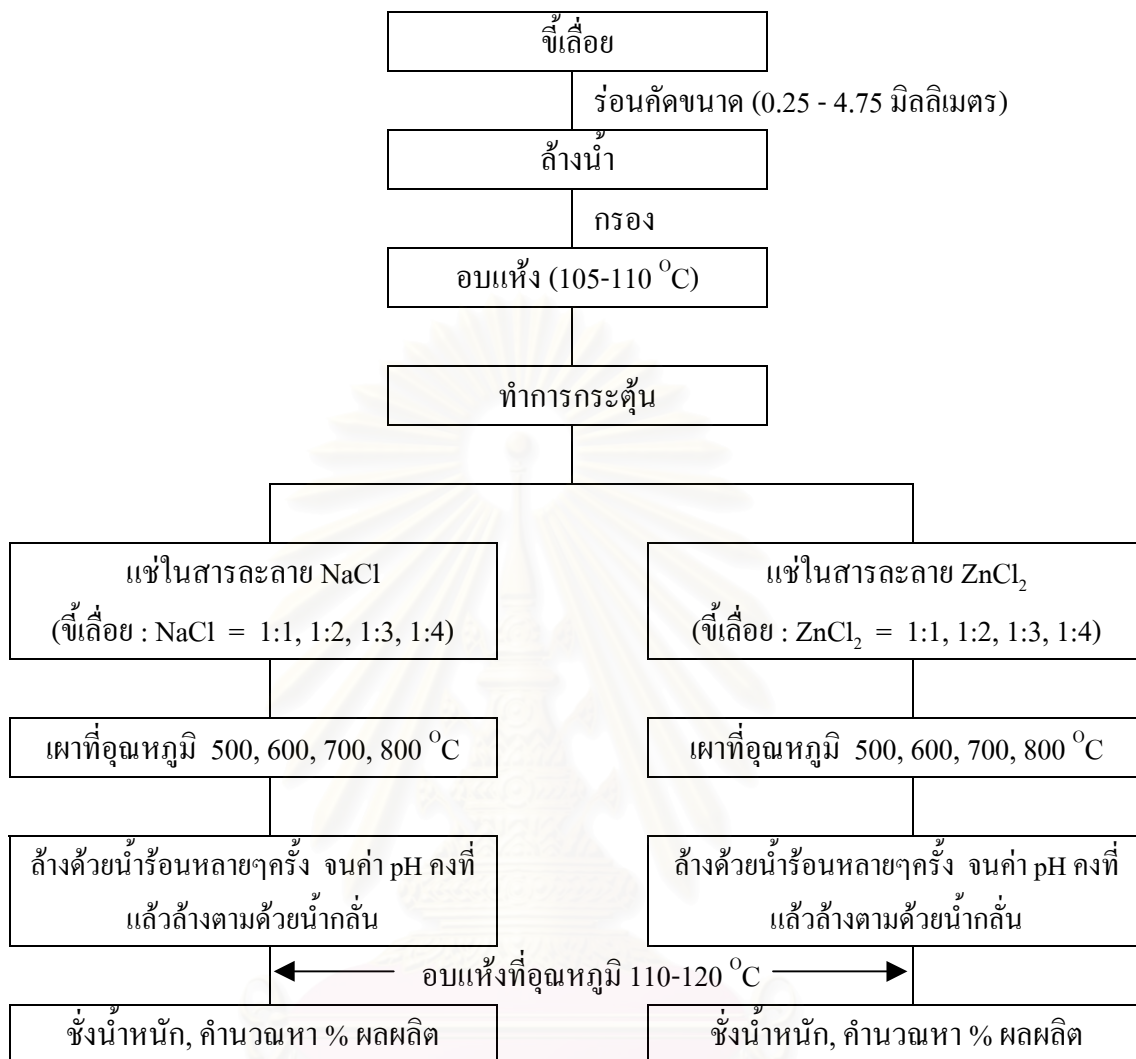
3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าโดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂

นำขี้เถ้ามาร่อนคัดขนาดผ่านตะแกรงมาตรฐานให้ได้ขนาดอยู่ในช่วง 0.25 - 4.75 มิลลิเมตร กล่าวคือใช้เฉพาะขี้เถ้าในส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 60 (0.25 มิลลิเมตร) เท่านั้น นำขี้เถ้าที่คัดได้ไปล้างน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออก อบให้แห้ง แล้วนำไปแช่ในสารละลาย NaCl และ ZnCl₂ โดยแปรเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของขี้เถ้าต่อสารเคมีที่ใช้กระตุ้นคือ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ ทำการแช่นานประมาณ 1 วัน แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105-110 °C จากนั้นนำไปบรรจุในหม้อดินเผาและปิดฝาเพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยาการสันดาปในขณะที่เผา ทำการเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500, 600, 700 และ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปทำการล้างสารเคมีออกด้วยน้ำร้อนหลายครั้ง จนกระทั่ง pH มีค่าคงที่สภาพเป็นกลาง หรือมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น (desiccator) ทำการชั่งน้ำหนักหาร้อยละของผลผลิตที่ได้

ขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าโดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂ แสดงในรูปที่ 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากจี้เลื่อยโดยการกระตุ่นด้วย NaCl และ ZnCl₂

3.4.2 ศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

3.4.2.1 การทดสอบหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine number)

(1) นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1 แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ล้างด้วยน้ำจากข้อ 3.4.1

ส่วนที่ 2 ล้างเพิ่มเติมด้วยสารละลายกรดไฮดรอกลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5% HCl โดยน้ำหนัก แล้วล้างตามด้วยน้ำร้อน (หรือใช้สารละลายเบส 0.1N NaOH ผสมทีละน้อยๆ ในการล้างหากจำเป็น เพื่อทำปฏิกิริยาการสะเทิน) จนถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่า pH คงที่ สภาพ

เป็นกลาง หรือมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.5 –7.5 จากนั้นทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C แล้วปล่อยให้เย็นไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น

- (2) นำถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ส่วน ที่เตรียมได้มาคั่วให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ได้ ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C แล้วนำไปเก็บไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนมเบอร์ ตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D4607-94, 1996 (วิธีการหาค่าไอโอดีน แสดงดังภาคผนวก ก) เพื่อเปรียบเทียบและคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่มีความเหมาะสมที่สุดที่เตรียมได้ไปใช้ทดลองและทดสอบสมบัติอื่นๆ ต่อไป

3.4.2.2 การทดสอบหาค่าพื้นที่ผิว, ปริมาตร โพรง และขนาด โพรงเฉลี่ย

- นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้และคัดเลือกว่าเหมาะสมที่สุดแล้วจากข้อ 3.4.2.1 ไปทดสอบหาค่าพื้นที่ผิว, ปริมาตรโพรง และขนาดโพรงเฉลี่ย โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer-Emmett-Teller) โดยการวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดเก็บไว้โดยถ่านกัมมันต์

3.4.2.3 การทดสอบหาค่าขนาดประสิทธิผล และสัมประสิทธิ์ความคงตัว

- นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ร่อนผ่านชุดตะแกรงมาตรฐานเบอร์ต่างๆ (sieve analysis) วัดน้ำหนักถ่านที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละเบอร์ แล้วนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟ Log-proability เพื่อหาค่าขนาดประสิทธิผล และสัมประสิทธิ์ความคงตัว

3.4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

3.4.3.1 ศึกษาผลของ pH

- 1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ความเข้มข้น 10 mg/l ที่มีค่า pH เท่ากับ 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ โดยการปรับค่า pH ด้วยสารละลายเบส 1N NaOH หรือสารละลายกรด 1:1 HNO₃ ตามความจำเป็น

- 2) นำน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ความเข้มข้น 10 mg/l ที่มีค่า pH เท่ากับ 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ปริมาตรของแต่ละค่าของ pH อย่างละ 100 ml จำนวน 3 ใบ
- 3) เติมถ่านกัมมันต์ตัวที่คัดเลือกว่าเหมาะสมที่สุดแล้ว น้ำหนักแน่นอน 0.1 กรัม ลงในขวดทุกใบ
- 4) นำขวดแต่ละใบไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 5) วัดค่า pH ของน้ำเสียในขวดแต่ละใบหลังเขย่า บันทึกค่าไว้
- 6) แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 นำสารละลายที่กรองได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS
- 7) นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแล้วทำการวิเคราะห์หาค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

3.4.3.2 ศึกษาผลของเวลาสัมผัส

- 1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ความเข้มข้น 10 mg/l ที่มีค่า pH ที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.3.1 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ปริมาตร 100 ml จำนวน 6 ชุด ชุดละ 3 ใบ
- 2) เติมถ่านกัมมันต์ที่คัดเลือกว่าเหมาะสมแล้ว น้ำหนักแน่นอน 0.1 กรัม ลงในขวดทุกใบ
- 3) นำขวดแต่ละชุด ไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาทีเป็นเวลา 15, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ
- 4) วัดค่า pH ของน้ำเสียในขวดแต่ละใบหลังเขย่า บันทึกค่าไว้
- 5) แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 นำสารละลายที่กรองได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS
- 6) นำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาค่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่สุด

3.4.3.3 ศึกษาผลของ ionic strength

- 1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ความเข้มข้น 10 mg/l ที่มีค่า pH ที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.3.1 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ปริมาตร 100 ml จำนวน 6 ชุด ชุดละ 3 ใบ
- 2) เติมถ่านกัมมันต์ที่คัดเลือกว่าเหมาะสมแล้ว น้ำหนักแน่นอน 0.1 กรัม ลงในขวดทุกใบ
- 3) เติม 1 ml ของสารละลาย NaNO_3 ที่มีความเข้มข้น 0.00, 0.01, 0.025, 0.05, 0.075 และ 0.10 M ลงในขวดแต่ละชุด ตามลำดับ
- 4) นำขวดแต่ละชุด ไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่สุด (จากข้อ 3.4.3.2)
- 5) วัดค่า pH ของน้ำเสีย ในขวดแต่ละใบหลังเขย่า บันทึกค่าไว้
- 6) แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 นำสารละลายที่กรองได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS
- 7) นำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลของ ionic strength ที่มีต่อการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

3.4.3.4 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Frumlich isotherm)

- 1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ความเข้มข้น 10 mg/l ที่มีค่า pH ที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.3.1 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ปริมาตร 100 ml จำนวน 10 ชุด ชุดละ 3 ใบ
- 2) เติมถ่านกัมมันต์ที่คัดเลือกว่าเหมาะสมแล้ว น้ำหนักแน่นอน 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.10, 0.20, 0.40, 0.60 และ 1.00 กรัม ลงในขวดแต่ละใบตามลำดับ
- 3) นำขวดแต่ละใบ ไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่สุด (จากข้อ 3.4.3.2)
- 4) วัดค่า pH ของน้ำเสียในขวดแต่ละใบหลังเขย่า บันทึกค่าไว้
- 5) แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 นำสารละลายที่กรองได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

6) นำค่าที่ได้ไปทำการเขียนกราฟ และวิเคราะห์ผล

3.4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column)

การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column) มีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ซึ่งร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 60 แล้วจะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดระหว่าง 0.250 – 2.36 มิลลิเมตร บรรจุลงในถังดูดซับแบบแท่งที่เป็นท่ออะคริลิกแบบใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และมีการเจาะรูเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียระดับความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ที่ 0, 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้บรรจุในคอลัมน์สูง 120 เซนติเมตร
- 2) ป้อนน้ำสะอาดผ่านคอลัมน์ เพื่อไล่ฟองอากาศในถังดูดซับ เป็นเวลา 1 วัน
- 3) เตรียมน้ำเสียที่มีตะกั่วความเข้มข้น 10 mg/l โดยการละลายสาร $Pb(NO_3)_2$ ที่เป็นของแข็งลงในน้ำตามปริมาตรที่ต้องการ และปรับค่า pH ให้เหมาะสมจากที่หาค่าได้ในข้อ 3.4.3.1 ด้วยสารละลายเบส 1.0 N NaOH หรือสารละลายกรด 1:1 HNO_3
- 4) ป้อนน้ำเสียตะกั่วที่เตรียมจากข้อ (3) เข้าสู่คอลัมน์ โดยการปล่อยให้ไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง (down flow) โดยมีระบบปั๊มสูบน้ำควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้คงที่ 3-5 ลิตร/ชั่วโมง หรือตามความเหมาะสมที่ทำให้น้ำเสียไหลได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ล้นถังดูดซับ
- 5) เก็บตัวอย่างของน้ำเสียที่ความลึกของชั้นถ่าน 5 ค่า คือ 0, 30, 60, 90, และ 120 เซนติเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 4, 8, 12, 18, 24 ชั่วโมง และอีกทุกๆ 12-24 ชั่วโมง (จนกว่าค่าตะกั่วที่วิเคราะห์ให้ได้จะถึงค่า breakthrough ตามที่กำหนด, ใช้ค่า breakthrough ตามมาตรฐานที่กำหนดคือ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร)
- 6) นำน้ำเสียที่เก็บได้ไปวัดค่า pH และบันทึกค่าไว้
- 7) นำน้ำเสียที่เก็บได้ไปวัดปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS
- 8) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย เปรียบเทียบระหว่างถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ $ZnCl_2$ ที่ได้



รูปที่ 3.2 ระบบถังดูดซับแบบแท่งที่ใช้ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การดำเนินการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำตามแผนการทดลองในบทที่ 3 ซึ่งผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ตอน คือ

- ตอนที่ 1 กล่าวถึงผลการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้า โดยกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂
- ตอนที่ 2 ศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยศึกษาสมบัติการดูดติดผิวจากการทดลองหาค่าไอโอไดนัมเบอร์ เป็นเบื้องต้น แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบการพิจารณาคัดเลือกถ่านกัมมันต์ตัวที่เหมาะสมที่สุดที่เตรียมได้ นำไปใช้ทดลองและศึกษาสมบัติอื่นๆ ต่อไป เช่น พื้นที่ผิว, ปริมาตรโพรง, ขนาดโพรงเฉลี่ย ขนาดประสิทธิผล, สัมประสิทธิความคงตัว เป็นต้น
- ตอนที่ 3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวหรือการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ได้แก่ ค่า pH, เวลาสัมผัส, ความแรงไอออน และทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช
- ตอนที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง (adsorption column)

รายละเอียดผลการทดลองมีดังนี้

4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าโดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂

4.1.1 การคัดขนาดขี้เถ้าเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง

นำวัตถุดิบ คือ ขี้เถ้า มาทำการร่อนคัดขนาดผ่านตะแกรงมาตรฐานให้ได้ขนาดที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งอยู่ในช่วง 0.25 - 4.75 มิลลิเมตร ผลปรากฏแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การร่อนคัดขนาดของขี้เลื่อยและร้อยละของขนาดที่ใช้ทดลอง

ขนาด (mm.)	น้ำหนัก (g)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ร้อยละการนำไปใช้
> 4.75	32.50	2.18	-
4.75-2.00	93.18	6.24	6.24
2.00-0.60	744.40	49.89	49.89
0.60-0.25	448.96	30.09	30.09
< 0.25	173.10	11.60	-
Total	1492.14	100.00	86.22

จากตารางที่ 4.1 การคัดขนาดขี้เลื่อยที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นจะอยู่ในช่วงขนาดตั้งแต่ 0.25-4.75 มิลลิเมตร ซึ่งช่วงขนาดดังกล่าวมีความเหมาะสม ทั้งนี้เพราะเนื่องจากร้อยละของการนำไปใช้มีค่าสูงถึง 86.22 ในขณะที่ขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร มีเพียงแค่ร้อยละ 2.18 และขนาดที่เล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร ก็มีเพียงร้อยละ 11.60 เท่านั้น ขี้เลื่อยที่ขนาดใหญ่มากกว่า 4.75 มิลลิเมตร การกระตุ้นด้วยการแช่สารเคมีนั้นอาจทำให้สารเคมีซึมเข้าไปในเนื้อไม้ของขี้เลื่อยได้อย่างไม่ทั่วถึง ส่วนขนาดที่เล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร จะเป็นขนาดที่ค่อนข้างละเอียด การทำงานวิจัยในขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่งอาจมีปัญหาเรื่องการอุดตันได้ง่าย ดังนั้นจึงเลือกใช้ขี้เลื่อยขนาดตั้งแต่ 0.25-4.75 มิลลิเมตร ในการทดลองวิจัยครั้งนี้



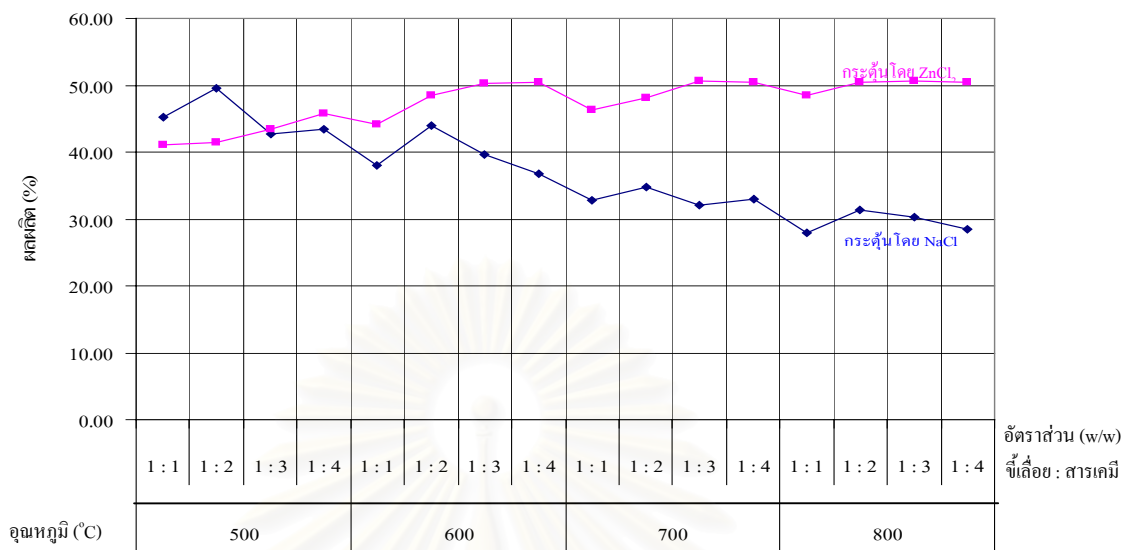
รูปที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของขี้เลื่อยที่ใช้ทดลอง

4.1.2 การกระตุ้นด้วยสารเคมีคือ NaCl และ ZnCl₂

นำขี้เลื่อยที่ผ่านการร่อนคัดขนาด ล้างน้ำและอบแห้งแล้ว มาทำการแช่ในสารละลาย NaCl และ ZnCl₂ โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของขี้เลื่อยต่อสารเคมี คือ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 แช่นานประมาณ 24 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อให้สารเคมีซึมเข้าสู่เนื้อไม้ของขี้เลื่อยได้อย่างทั่วถึง แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105-110 °C จากนั้นนำไปบรรจุในหม้อดินเผาและปิดฝา (ดูรูปในภาคผนวก ก) ทั้งนี้เพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยาการสันดาปในขณะที่เผา ทำการเผาในเตาเผา (ดูรูปในภาคผนวก ก) ที่อุณหภูมิ 500, 600, 700 และ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปทำการล้างสารเคมีออก อบให้แห้งและชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาร้อยละของผลผลิตที่ได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂

การกระตุ้น		ร้อยละผลผลิต	
อุณหภูมิ (°C)	ขี้เลื่อย : สารเคมี	กระตุ้นด้วย NaCl	กระตุ้นด้วย ZnCl ₂
500	1 : 1	45.28	41.10
	1 : 2	49.61	41.44
	1 : 3	42.77	43.44
	1 : 4	43.50	45.83
600	1 : 1	37.95	44.07
	1 : 2	44.03	48.42
	1 : 3	39.70	50.26
	1 : 4	36.78	50.37
700	1 : 1	32.81	46.32
	1 : 2	34.83	48.05
	1 : 3	31.99	50.61
	1 : 4	33.05	50.48
800	1 : 1	28.00	48.54
	1 : 2	31.36	50.53
	1 : 3	30.23	50.60
	1 : 4	28.51	50.44



รูปที่ 4.2 ผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากจี๊เลื้อยที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂

4.1.2.1 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl

- ผลของอัตราส่วนน้ำหนักของ NaCl ที่ใช้ในการเผากระตุ้น

การเผาที่อุณหภูมิเดียวกันแต่อัตราส่วนน้ำหนักของ NaCl ที่ใช้ต่างกัน พบว่าที่อัตราส่วน จี๊เลื้อย : NaCl คือ 1:2 จะให้ร้อยละผลผลิตในอัตราที่สูงกว่า (ตารางที่ 4.2) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะความเข้มข้นสารละลายที่อัตราส่วนดังกล่าว จะมีความหนาแน่นและมีความเป็นขั้ว (polar) ของสารละลายที่เหมาะสมในการซึมแพร่เข้าไปในเนื้อไม้และทดแทนที่พวกสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อไม้ของจี๊เลื้อยได้ดีกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ ในขณะที่ทำการแช่เพื่อกระตุ้นนั้น โดยสังเกตจากการทดลองเมื่อทำการแช่จี๊เลื้อยในสารละลายอัตราส่วนดังกล่าว นั้น สารละลายที่ได้หลังจากการแช่จะมีสีน้ำตาลเข้มกว่าสารละลายที่อัตราส่วนอื่นๆ ทำให้ในขณะที่เผากระตุ้นจึงรักษาเนื้อไม้ไว้ได้ดีกว่า ดังนั้นร้อยละผลผลิตที่ได้จึงมีค่ามากกว่า

- ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระตุ้น

การเผาที่อัตราส่วนน้ำหนักสารกระตุ้นเดียวกันแต่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะให้ร้อยละผลผลิตในอัตราที่สูงกว่า ทั้งนี้เพราะการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า จะมีการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างๆที่อยู่ในเนื้อไม้รวมทั้งเนื้อไม้ด้วยอัตราส่วนที่สูงกว่าการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า

4.1.2.2 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$

- ผลของอัตราส่วนน้ำหนักของ $ZnCl_2$ ที่ใช้ในการเผากระตุ้น

การเผาอุณหภูมิเดียวกันแต่อัตราส่วนน้ำหนักของ $ZnCl_2$ ที่ใช้ต่างกัน คืออัตราส่วน จีลี้อย : สารเคมี เป็น 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 พบว่าการเผาที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ผลผลิตร้อยละ 41.11, 41.45, 43.45 และ 45.83 ในอัตราที่สูงขึ้นตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ผลผลิตร้อยละ 47.07, 48.43, 50.26, 50.37 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ผลผลิตร้อยละ 46.35, 48.09, 50.67, 50.48 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 600 และ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะให้ผลผลิตร้อยละไม่แตกต่างกันมากนักและที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:4 เริ่มจะให้ผลผลิตที่ค่อนข้างจะคงที่แล้วคือประมาณร้อยละ 50 สำหรับที่อุณหภูมิ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ผลผลิตร้อยละ 48.54, 50.53, 50.60 และ 50.43 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าให้ผลผลิตที่เริ่มคงที่ตั้งแต่อัตราส่วน 1:2, 1:3 และ 1:4 และคงที่ประมาณร้อยละ 50 เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ นี้ให้ผลผลิตสูงสุดที่ประมาณร้อยละ 50 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารละลาย $ZnCl_2$ แม้จะมีความเข้มข้นและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามลำดับอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นก็ตาม แต่สารละลาย $ZnCl_2$ ก็มีความเป็นกรดอย่างแรง จึงมีความสามารถในการซึมแพร่เข้าไปในเนื้อไม้และทดแทนที่หรือทำปฏิกิริยากับพวกสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อไม้ของจีลี้อยได้ดีในทุกอัตราส่วนขณะทำการแช่จีลี้อยเพื่อกระตุ้นนั้น อีกทั้งการเผาที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ก็สามารถทำให้สารละลาย $ZnCl_2$ ซึมแพร่เข้าไปทดแทนที่สารอินทรีย์ในเนื้อไม้ซึ่งถูกเผาไหม้ไปได้ดียิ่งขึ้นจนร้อยละผลผลิตสูงสุดคงที่ประมาณร้อยละ 50 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนน้ำหนักของ $ZnCl_2$ ที่เพิ่มมากขึ้น มีผลต่อร้อยละผลผลิตจนถึงระดับหนึ่งเท่านั้น

- ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระตุ้น

การเผาที่อัตราส่วนสารกระตุ้นเดียวกันแต่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าการเผาที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะให้ร้อยละผลผลิตในอัตราที่ต่ำกว่า 600, 700 และ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ และการเผาที่อุณหภูมิ 600, 700 และ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะให้ร้อยละผลผลิตที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงอัตราส่วน 1:2, 1:3 และ 1:4 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีผลต่อร้อยละผลผลิตจนถึงระดับหนึ่งเท่านั้น

4.2 ศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

4.2.1 การหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

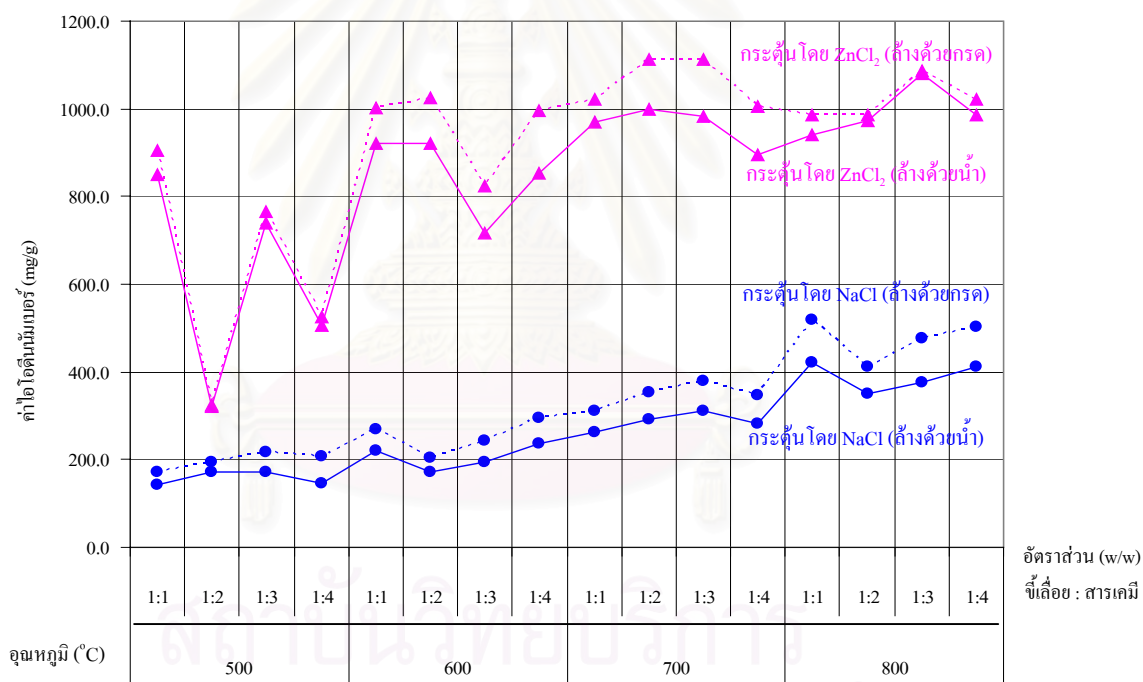
ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ จะเป็นดัชนีชี้วัดอย่างหนึ่งที่อาจบ่งบอกถึงค่าความสามารถในการดูดติดผิวสารของถ่านกัมมันต์ได้ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้น กล่าวคือ ถ้าถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูง จะมีค่าพื้นที่ผิวสูง และค่าความสามารถในการดูดติดผิวสารของถ่านกัมมันต์จะสูงด้วยเช่นกัน แต่ถ้าถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ต่ำ จะมีค่าพื้นที่ผิวต่ำ และค่าความสามารถในการดูดติดผิวสารของถ่านกัมมันต์จะต่ำด้วยเช่นกัน ดังนั้นในทางการค้าหรือการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้งานจึงมักจะพิจารณาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ควบคู่ไปกับสมบัติอื่นๆของถ่านกัมมันต์นั้นด้วย สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย ตาม มอก.900-2532 ได้กำหนดไว้ว่าถ่านกัมมันต์แบบผงและแบบเม็ดนั้น ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะต้องไม่น้อยกว่า 600

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากแผนการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 3.4.2.1 มาทำการทดลองวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D4607-94 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂

อุณหภูมิที่เผา (°C)	อัตราส่วน (w/w) ขี้เถ้า : สารเคมี	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (mg/g)			
		กระตุ้นด้วย NaCl		กระตุ้นด้วย ZnCl ₂	
		ล้างน้ำ	ล้างกรด	ล้างน้ำ	ล้างกรด
500	1:1	143.9	171.5	850.5	905.7
	1:2	173.0	193.5	322.5	323.9
	1:3	170.3	217.2	741.0	764.4
	1:4	145.0	209.0	504.6	524.6
600	1:1	220.5	269.7	919.7	1000.8
	1:2	171.2	205.4	922.0	1026.2
	1:3	194.9	244.5	718.2	822.3
	1:4	236.3	293.6	853.2	996.7

700	1:1	263.9	311.5	970.8	1021.3
	1:2	291.6	353.3	1000.5	1113.1
	1:3	312.4	378.0	984.0	1113.1
	1:4	280.7	347.6	896.1	1006.5
800	1:1	421.2	519.4	940.6	985.0
	1:2	348.9	413.1	971.9	985.4
	1:3	377.8	476.4	1079.0	1085.2
	1:4	410.3	501.4	986.5	1023.0



รูปที่ 4.3 ค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากซีเลื่อยที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂

จากผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl จะให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงสุดที่การกระตุ้นด้วยอัตราส่วน ซีเลื่อย : NaCl คือ 1 : 1 และเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการล้างด้วยน้ำเปล่าเทียบกับล้างด้วยกรดเจือจาง HCl พบว่าที่ล้างด้วยน้ำเปล่าจะให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์เท่ากับ 421.2 mg/g ในขณะที่ล้างด้วยกรดเจือจาง HCl จะให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์

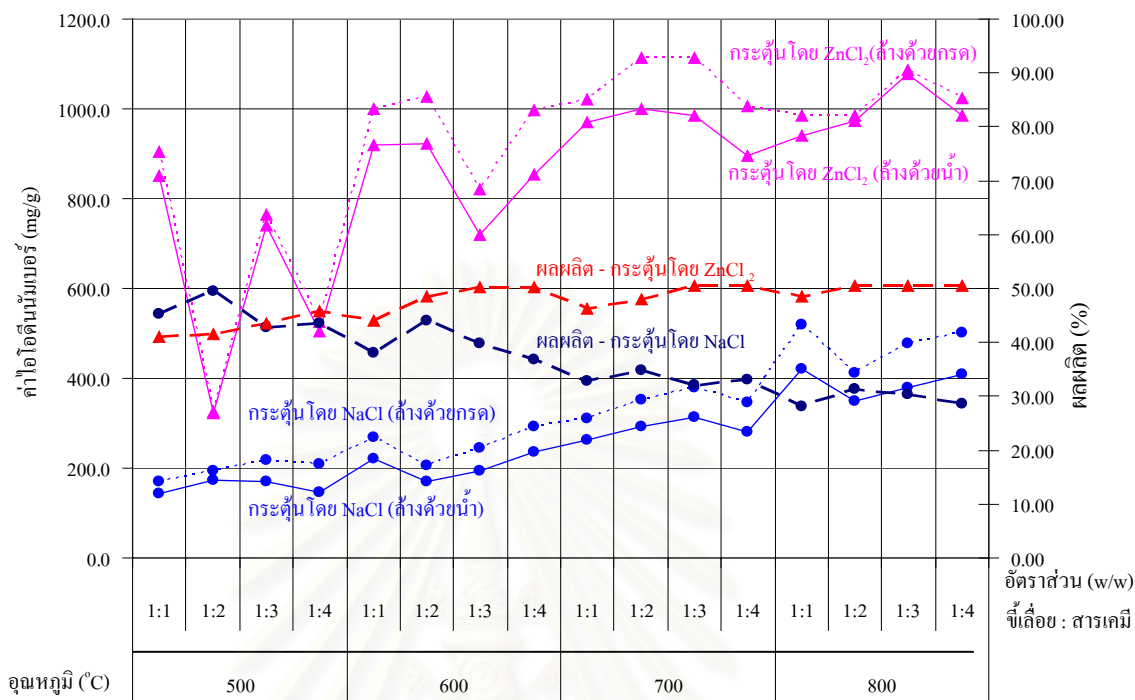
สูงกว่า คือ 519.4 mg/g ส่วนผลผลิตถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ และล้างด้วยน้ำเปล่าจะให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเมื่อกระตุ้นด้วยอัตราส่วน จีเลื้อย : $ZnCl_2$ เท่ากับ 1 : 2 และเผาที่อุณหภูมิ 700 °C ซึ่งเมื่อล้างด้วยน้ำเปล่าเทียบกับการล้างด้วยกรด HCl พบว่าให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 1010.1 และ 1078.4 mg/g ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำเปล่าเทียบกับการล้างด้วยกรดเจือจาง HCl พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ล้างด้วยกรดจะมีค่ามากกว่า โดยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ด้วยเครื่องมือ Thermal Gravimetric Analysis (TGA) พบว่าการล้างด้วยกรดเจือจาง HCl จะช่วยลดปริมาณสารระเหยอินทรีย์และจีเลื้อยที่ยังคงมีค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์ได้ ทำให้สัดส่วนปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นค่าไอโอดีนนัมเบอร์จึงสูงกว่าการล้างด้วยน้ำเปล่า ข้อมูลการวิเคราะห์ผลแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง TGA

ถ่านกัมมันต์	กระตุ้น โดย NaCl		กระตุ้น โดย $ZnCl_2$	
	ล้างน้ำ	ล้างกรด	ล้างน้ำ	ล้างกรด
ความชื้น (%)	1.2	1.0	1.6	0.7
สารอินทรีย์ระเหย (%)	13.7	10.3	15.3	13.1
คาร์บอนคงตัว (%)	75.5	83.8	77.5	82.3
จีเลื้อย (%)	9.6	4.9	5.6	3.9

การพิจารณาเลือกถ่านกัมมันต์ตัวที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นอื่นๆต่อไป จะพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เป็นเบื้องต้น รวมทั้งร้อยละผลผลิต และอัตราส่วนน้ำหนักของสารเคมีที่ใช้กระตุ้นประกอบการพิจารณาด้วย ดังนั้นจากข้อมูลในตารางที่ 4.2 และ 4.3 เมื่อนำมาสร้างกราฟรวมกันจะได้กราฟดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผลผลิตและค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 และ 4.3 รวมทั้งกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลผลิตและค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ในรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl ที่อัตราส่วนน้ำหนัก 1 : 1 และเผาที่อุณหภูมิ 800 °C จะให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงสุด คือ 519 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมีค่าเข้าใกล้มาตรฐานที่กำหนดคือ 600 mg/g ดังนั้นจึงเลือกใช้ที่อัตราส่วนน้ำหนักร้อยละและที่อุณหภูมิการเผาดังกล่าวในการทดลองขั้นต่อไป (รูปที่ 4.5 ก) ถึงแม้ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าที่อัตราส่วนและอุณหภูมิการเผาอื่นๆ ก็ตาม สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ นั้น ที่อัตราส่วนน้ำหนักร้อยละ 1 : 1 และเผาที่อุณหภูมิ 700 °C จะให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงถึง 1021.3 mg/g ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด และสูงกว่าการเผาที่อุณหภูมิอื่นๆ ในอัตราส่วนน้ำหนักร้อยละเท่ากัน อีกทั้งเป็นการใช้สารเคมีในอัตราส่วนน้ำหนักร้อยละต่ำสุด ในขณะที่ผลผลิตมีค่าสูงถึงร้อยละ 46.35 ซึ่งมีค่าสูงกว่าการเผาที่อุณหภูมิ 600 °C และไม่แตกต่างจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ดังนั้นจึงเลือกใช้ที่อัตราส่วนน้ำหนักร้อยละ : ZnCl₂ ที่ 1 : 1 และอุณหภูมิการเผาที่ 700 °C ในการทดลองขั้นต่อไป (รูปที่ 4.5 ข)



รูปที่ 4.5 ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากจีลีสวย กระตุ้น โดย NaCl และ ZnCl₂

4.2.2 การหาค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรโพรง และ ขนาดโพรงเฉลี่ย

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพื้นที่ผิว, ปริมาตรโพรง และขนาดโพรงเฉลี่ยของจีลีสวยและถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติ	จีลีสวย	ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้		ถ่านกัมมันต์ CO-A
		1N8H	1Z7H	
พื้นที่ผิว (m ² /g)	0.4029	593.79	1572.51	1220.11
ปริมาตรโพรง (cc/g)	0.000025	0.179744	0.206369	0.164665
ขนาดโพรงเฉลี่ย (Å)	16.03	17.65	19.67	36.03

หมายเหตุ: จีลีสวย = จีลีสวยที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้น

1N8H = ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl อัตราส่วนน้ำหนักจีลีสวย : NaCl เท่ากับ 1:1 เเผาที่อุณหภูมิ 800 °C และล้างด้วยกรดเจือจาง

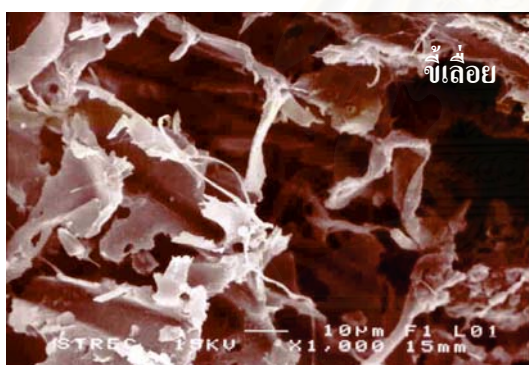
1Z7H = ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ อัตราส่วนน้ำหนักจีลีสวย : ZnCl₂ เท่ากับ 1:1 เเผาที่อุณหภูมิ 700 °C และล้างด้วยกรดเจือจาง

CO-A = ถ่านกัมมันต์การค้าที่ผลิตจากจีลีสวย

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าวัสดุคือ จีลีสวย มีปริมาณพื้นที่ผิวน้อยมากเพียงแค่ 0.4029 m²/g แต่เมื่อทำการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂ ด้วยอัตราส่วนน้ำหนักและอุณหภูมิการเผาดังกล่าวข้างต้นแล้ว พบว่าจะให้ค่าพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็น 593.79 และ 1,572.51 m²/g ตามลำดับ

ซึ่งสูงขึ้นไปถึง 1,474 และ 3,903 เท่า ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้น จะให้ค่าพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นนับเป็นพันๆ เท่าเลยทีเดียว และเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์จากการค้าที่ผลิตจากวัตถุดิบขี้เลื่อยเช่นเดียวกัน ซึ่งมีค่าพื้นที่ผิว 1220.11 m²/g จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการกระตุ้นด้วย NaCl จะให้ค่าพื้นที่ผิวน้อยกว่า แต่สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย ZnCl₂ จะให้ค่าพื้นที่ผิวมากกว่า

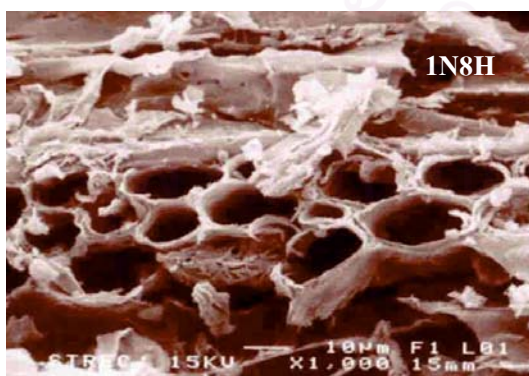
สำหรับปริมาตรโพรงของขี้เลื่อยมีค่า 0.000025 cc/g ส่วนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂ จะมีค่า 0.179744 และ 0.206369 cc/g ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าขี้เลื่อยถึง 7,190 และ 8,256 เท่า ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์จากการค้า พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ จะมีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ สูงกว่าถ่านกัมมันต์จากการค้าตามลำดับ ส่วนขนาดโพรงเฉลี่ยพบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ จะมีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ มีค่ามากกว่าขี้เลื่อย ตามลำดับ ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ขายในท้องตลาดจะมีค่าสูงมากที่สุด



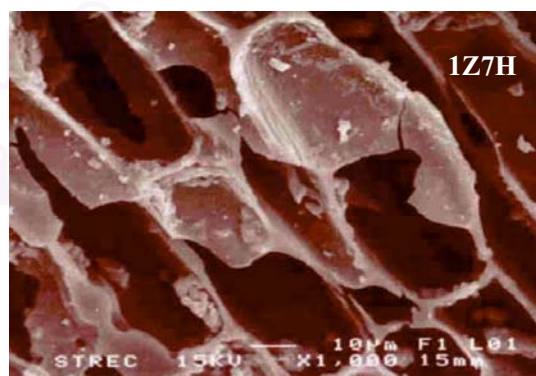
ขี้เลื่อยที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้น



ถ่านกัมมันต์การค้าที่ผลิตจากขี้เลื่อย



ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl



ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ของขี้เลื่อยและถ่านกัมมันต์

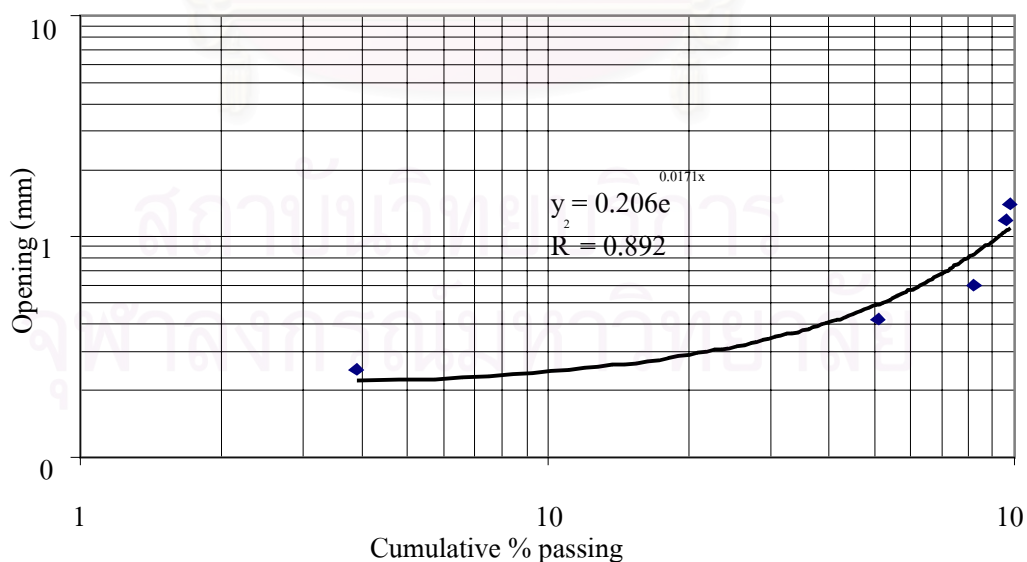
4.2.3 การหาขนาดประสิทธิผล และ สัมประสิทธิความคงตัว

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5-4.6 และรูปที่ 4.7-4.8

4.2.3.1 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl

ตารางที่ 4.6 แสดงการหาขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิความคงตัวของถ่านกัมมันต์ 1N8H

Sieve No.	Opening (mm.)	Wt. Sieve (g)	Wt. Seive + Sample(g)	Wt. Sieve Retained(g)	% Retained on sieve	Cumalative %Passing through sieve
8	2.36	485.75	486.13	0.38	0.23	99.77
10	2.00	474.52	475.54	1.02	0.61	99.16
14	1.40	451.66	453.81	2.15	1.29	97.88
16	1.18	406.57	409.94	3.37	2.02	95.86
30	0.600	408.54	431.46	22.92	13.72	82.14
40	0.425	355.57	407.62	52.05	31.15	50.99
60	0.250	325.82	404.48	78.66	47.08	3.91
80	0.180	308.35	312.77	4.42	2.65	1.27
Pan	0	277.02	279.14	2.12	1.27	0.00
Total				167.1	100.00	



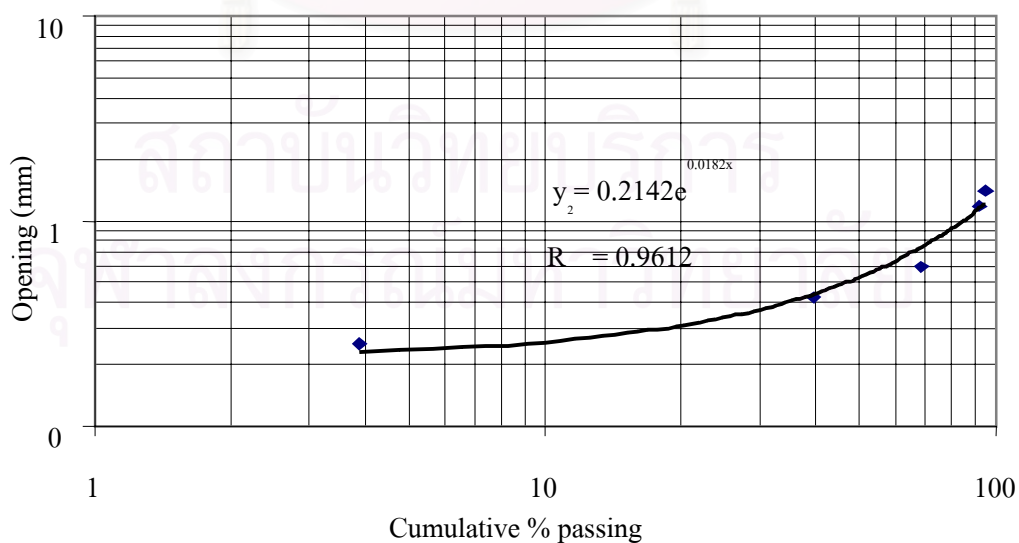
รูปที่ 4.7 ขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิความคงตัวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl

จากกราฟ ค่าขนาดประสิทธิผล = (intersects 10% passing value) = 0.24 mm.
 ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว = $\frac{\text{(intersects 60\% passing value)}}{\text{(intersects 10\% passing value)}} = 2.4$

4.2.3.2 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$

ตารางที่ 4.7 แสดงการหาขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์ 1Z7H

Sieve No.	Opening (mm.)	Wt. Sieve (g)	Wt. Sieve + Sample(g)	Wt. Sieve Retained(g)	% Retained on sieve	Cumulative %Passing through sieve
8	2.36	485.75	488.09	2.34	1.07	98.93
10	2.00	474.52	477.71	3.19	1.46	97.47
14	1.40	451.66	457.10	5.44	2.49	94.98
16	1.18	406.57	412.79	6.22	2.85	92.13
30	0.600	408.54	459.81	51.27	23.48	68.65
40	0.425	355.57	419.34	63.77	29.20	39.45
60	0.250	325.82	403.50	77.68	35.57	3.88
80	0.180	308.35	314.28	5.93	2.72	1.16
Pan	0	277.02	279.56	2.54	1.16	0.00
Total				218.4	100.00	



รูปที่ 4.8 ขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$

จากกราฟ ค่าขนาดประสิทธิผล = (intersects 10% passing value) = 0.26 mm.
 ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว = $\frac{\text{(intersects 60\% passing value)}}{\text{(intersects 10\% passing value)}} = 2.5$

จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เถ้าโดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂ นั้น ความกระจายตัวของขนาดถ่านกัมมันต์เมื่อนำมาพล็อตกราฟจะได้กราฟที่มีลักษณะความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้งแบบ exponential และค่าขนาดประสิทธิผลของถ่านกัมมันต์ที่คำนวณได้จากกราฟจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันคือ 0.24 และ 0.26 mm. สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัวที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ ซึ่งก็มีค่าใกล้เคียงกันด้วย

4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

4.3.1 ผลของพีเอช

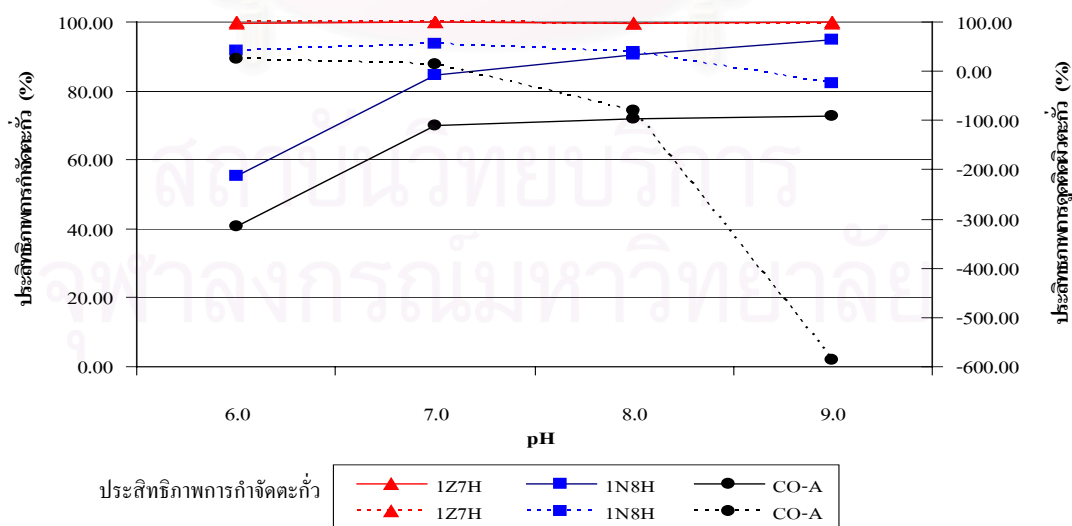
ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.7-4.8 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 การตกตะกอนของตะกั่วที่ pH ต่างๆ (ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น = 10.0 mg/L)

pH	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				การตกตะกอน (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
6.0	7.48	8.33	7.72	7.84	21.60
7.0	3.20	3.47	3.72	3.46	65.40
8.0	1.67	1.62	1.38	1.56	84.40
9.0	0.33	0.47	-	0.40	96.00

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการดูดซับและการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่างๆ

ถ่าน กัมมันต์	pH (เริ่มต้น)	pH (สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพ (%)	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	การดูดซับ ตะกั่ว	การกำจัด ตะกั่ว
1Z7H (0.10 g)	6.0	6.35-6.53	0.0257	0.0227	0.0241	0.0242	99.69	99.76
	7.0	6.86-6.94	0.0086	0.0076	0.0099	0.0087	99.75	99.91
	8.0	6.91-7.02	0.0289	0.0401	0.0412	0.0368	97.64	99.63
	9.0	6.96-7.11	0.0085	0.0090	0.0088	0.0088	97.80	99.91
1N8H (0.10 g)	6.0	4.75-4.99	4.41	4.62	4.37	4.47	43.03	55.33
	7.0	5.80-5.88	1.54	1.44	1.64	1.54	55.49	84.60
	8.0	5.93-6.07	0.94	0.95	0.92	0.94	39.96	90.63
	9.0	6.13-6.28	0.50	0.48	0.53	0.50	-25.83	94.97
CO-A (0.10 g)	6.0	3.58-3.59	5.91	5.98	5.95	5.95	24.15	40.53
	7.0	3.66-3.70	2.93	2.98	3.06	2.99	13.58	70.10
	8.0	3.69-3.72	2.86	2.72	2.78	2.79	-78.63	72.13
	9.0	3.89-3.90	2.75	2.74	2.74	2.74	-585.83	72.57



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการดูดซับและการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่างๆ

จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 - 4.9 และรูปที่ 4.9 พบว่าการดูดติดผิวและการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ pH ต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย $ZnCl_2$ พบว่าจะมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการกำจัดตะกั่วที่ pH 6-9 ไม่แตกต่างกันมากนัก คือ มีประสิทธิภาพการดูดติดผิวมากกว่าร้อยละ 97 ขึ้นไป และมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวดีที่สุดที่ pH เท่ากับ 7 ซึ่งมีสูงถึงค่าร้อยละ 99.75 สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีค่ามากกว่าร้อยละ 99 ขึ้นไป และมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดที่ pH เท่ากับ 7 และ 9 ซึ่งมีค่าเท่ากันคือ ร้อยละ 99.91 ดังนั้นจึงเลือก pH เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการกำจัดตะกั่วสูงสุด ในการทดลองขั้นอื่นๆ ต่อไป

ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย NaCl พบว่าจะมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการกำจัดตะกั่วที่ pH 6-9 แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ มีประสิทธิภาพการดูดติดผิวเท่ากับร้อยละ 43.03, 55.49, 39.96 และ -25.83 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ pH เท่ากับ 7 จะมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวดีที่สุด และที่ pH 9 มีค่าติดลบนั้น เนื่องจากการตกตะกอนของตะกั่วที่ pH 9 มีค่าสูงถึงร้อยละ 96.00 แต่เมื่อเติมถ่านกัมมันต์ลงไปแล้วค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงลดลงอยู่ในช่วง 6.13-6.28 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ตะกั่วมีความสามารถในการละลายมากขึ้นหรือการตกตะกอนน้อยลง ดังนั้นปริมาณตะกั่วที่ละลายอยู่ในน้ำเสียจึงมีค่ามากกว่าเดิม ทำให้มีประสิทธิภาพการดูดติดผิวที่คำนวณได้มีค่าติดลบ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีค่าเท่ากับร้อยละ 55.33, 84.60, 90.63 และ 94.97 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ pH เท่ากับ 9 อันเนื่องมาจากการตกตะกอนนั่นเอง ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากทั้งค่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการกำจัดตะกั่วที่ pH 6-9 แล้ว จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าที่ pH เท่ากับ 8 มีความเหมาะสมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย โดยมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวสูงถึงประมาณร้อยละ 40 ในขณะที่มีประสิทธิภาพ การกำจัดตะกั่วมากกว่าร้อยละ 90 ดังนั้นจึงเลือก pH เท่ากับ 8 ในการทดลองขั้นอื่นๆ ต่อไป

ถ่านกัมมันต์จากการค้า CO-A พบว่าจะมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวที่ pH 6-9 แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือมีค่าเท่ากับร้อยละ 24.15, 13.58, -78.63 และ -585.83 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการดูดติดผิวดีที่สุดที่ pH เท่ากับ 6 ส่วนที่ pH เท่ากับ 8 และ 9 นั้นได้ค่าติดลบ แสดงให้เห็นว่านอกจากจะมีการดูดติดผิวไม่ดีแล้วยังทำให้มีตะกั่วที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นด้วยทั้งนี้เพราะ เมื่อเติมถ่านกัมมันต์ลงไปใต้น้ำเสียที่มีค่า pH ดังกล่าวแล้วค่า pH ของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอยู่ในช่วง 3.69-3.72 และ 3.89-3.90 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ตะกั่วมีความสามารถในการละลายมากขึ้นหรือการตกตะกอนน้อยลง ดังนั้นปริมาณตะกั่วที่ละลายอยู่ในน้ำเสียจึงมีค่ามากกว่าเดิม ทำให้มีประสิทธิภาพการดูดติดผิวที่คำนวณได้มีค่าติดลบ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ pH 6-9 มี

ค่าเท่ากับร้อยละ 40.53, 70.10, 72.13 และ 72.57 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ pH เท่ากับ 9 อันเนื่องมาจากการตกตะกอนนั่นเอง ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากทั้งค่าประสิทธิภาพการดูดซับและการกำจัดตะกั่วที่ pH 6-9 แล้ว จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าที่ pH เท่ากับ 7 มีความเหมาะสมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 13.58 ในขณะที่มีประสิทธิผลการกำจัดตะกั่วสูงถึงร้อยละ 70 ซึ่งไม่แตกต่างจากจากที่ pH เท่ากับ 8 และ 9 มากนัก ดังนั้นจึงเลือก pH เท่ากับ 7 ในการทดลองขั้นอื่นๆ ต่อไป

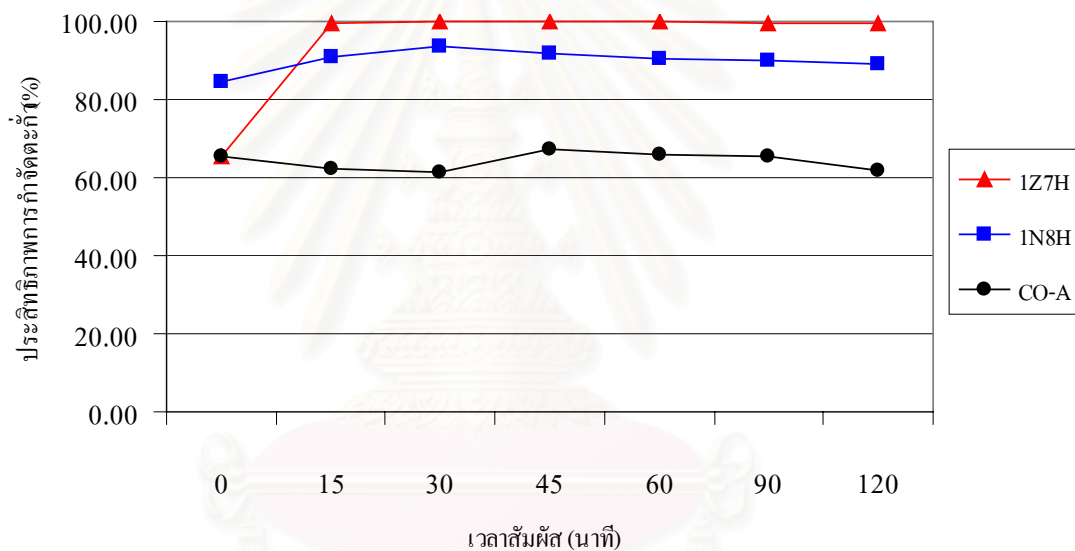
4.3.2 ผลของเวลาสัมผัส

ทำการทดลองตามหัวข้อที่ 3.4.3.2 ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน

ถ่าน กัมมันต์	เวลาสัมผัส (นาที)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพ (%) การกำจัดตะกั่ว
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	
1Z7H	0	7.0	3.20	3.47	3.72	3.46	65.40
	15	7.02-7.17	0.0500	0.0207	0.0190	0.0299	99.70
	30	6.88-7.03	0.0256	0.0216	0.0145	0.0206	99.79
	45	6.80-6.98	0.0277	0.0212	0.0174	0.0221	99.78
	60	7.07-7.13	0.0257	0.0169	0.0180	0.0202	99.80
	90	6.90-7.07	0.0262	0.0210	0.0285	0.0252	99.75
	120	7.16-7.21	0.0159	0.0272	0.0308	0.0246	99.75
1N8H	0	8.0	1.67	1.62	1.38	1.56	84.40
	15	6.27-6.30	0.87	0.91	0.90	0.89	91.07
	30	6.18-6.23	0.58	0.60	0.67	0.62	93.83
	45	6.36-6.41	0.67	0.91	0.83	0.80	91.97
	60	6.36-6.37	1.05	0.99	0.89	0.98	90.23
	90	6.36-6.41	1.06	0.95	0.95	0.99	90.13
	120	6.34-6.39	1.07	0.90	1.28	1.08	89.17

CO-A	0	7.0	3.20	3.47	3.72	3.46	65.40
	15	3.80-3.84	3.82	3.74	3.75	3.77	62.30
	30	3.79-3.80	3.81	3.86	3.92	3.86	61.40
	45	3.79-3.81	3.30	3.28	3.28	3.29	67.10
	60	3.79-3.81	3.44	3.44	3.30	3.39	66.10
	90	3.79-3.81	3.44	3.46	3.41	3.44	65.60
	120	3.80-3.81	3.82	3.83	3.85	3.83	61.77



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน

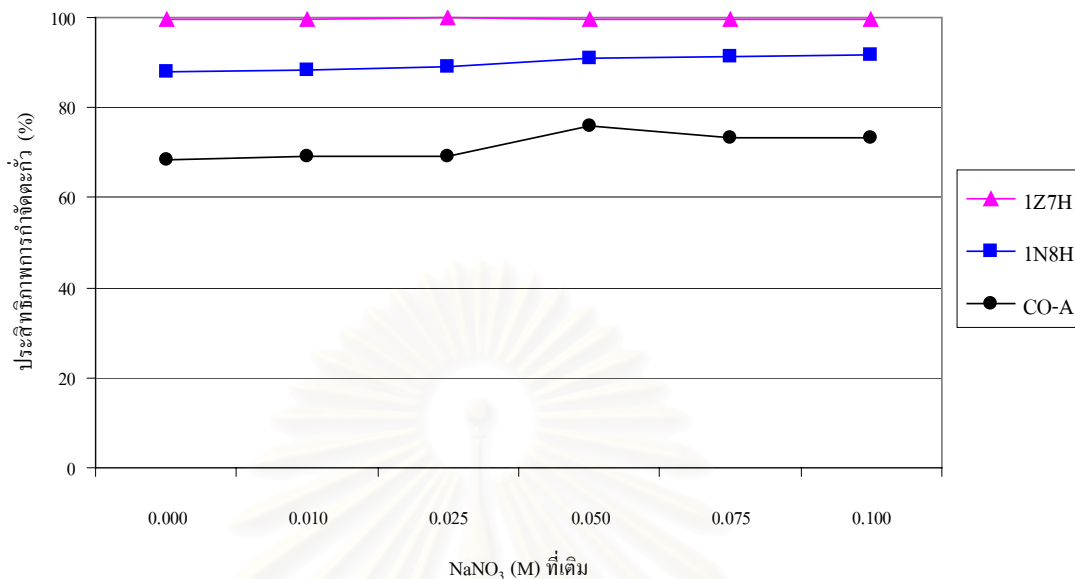
จากข้อมูลในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10 พบว่า เวลาสัมผัสของน้ำเสียกับถ่านกัมมันต์ที่เวลา 15-120 นาที เป็นดังนี้คือ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย $ZnCl_2$ นั้น เวลาสัมผัสดังกล่าวไม่มีผลหรือไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วอยู่ในช่วงร้อยละ 99.70-99.80 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย $NaCl$ ก็มีความแตกต่างกันไม่มากนัก โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วอยู่ในช่วงร้อยละประมาณ 90 ซึ่งค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดคือร้อยละ 93.83 ที่เวลาสัมผัส 30 นาที ส่วนถ่านกัมมันต์จากการค้า CO-A พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่เวลาสัมผัสดังกล่าว ก็มีความแตกต่างกันไม่มากนักเช่นเดียวกัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดคือร้อยละ 67.10 ที่เวลาสัมผัส 45 นาที

4.3.3 ผลของความแรงอ่อน

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เติม NaNO_3 ความเข้มข้นต่างกัน

ถ่าน กัมมันต์	NaNO_3 (M)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (mg/l)				ประสิทธิภาพ (%) การกำจัดตะกั่ว
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	
1Z7H	0	7.13-7.16	0.0125	0.0439	0.0118	0.0227	99.77
	0.010	7.14-7.16	0.0105	0.0297	0.0426	0.0276	99.72
	0.025	7.14-7.16	0.0136	0.0179	0.0242	0.0186	99.81
	0.050	7.11-7.16	0.0103	0.0103	0.0434	0.0213	99.79
	0.075	7.12-7.16	0.0186	0.0269	0.0170	0.0208	99.79
	0.100	7.14-7.19	0.0122	0.0191	0.0323	0.0212	99.79
1N8H	0	5.92-6.15	1.17	1.19	1.23	1.20	88.03
	0.010	6.04-6.09	1.08	1.23	1.20	1.17	88.30
	0.025	6.10-6.17	1.13	1.06	1.04	1.08	89.23
	0.050	6.11-6.22	1.00	0.88	0.87	0.92	90.83
	0.075	6.25-6.30	0.82	0.88	0.88	0.86	91.40
	0.100	6.29-6.30	0.84	0.95	0.74	0.84	91.57
CO-A	0	3.70-3.72	3.24	3.12	3.12	3.16	68.40
	0.010	3.71-3.73	3.11	3.15	3.04	3.10	69.00
	0.025	3.72-3.74	3.17	3.06	3.07	3.10	69.00
	0.050	3.62-3.66	2.46	2.40	2.41	2.42	75.77
	0.075	3.70-3.71	2.60	2.67	2.70	2.66	73.43
	0.100	3.70-3.71	2.70	2.59	2.69	2.66	73.40



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เติม NaNO₃ ความเข้มข้นต่างกัน

ความแรงไอออนของสารละลายจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณหรือความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดที่มีอยู่ในสารละลายนั้น กล่าวคือถ้าความเข้มข้นของไอออนสูงก็จะมีแรงไอออนสูง ถ้าความเข้มข้นของไอออนต่ำก็จะมีแรงไอออนต่ำเช่นกัน การที่เลือกใช้สารละลาย NaNO₃ เติมลงในน้ำเสียเพื่อศึกษาผลของความแรงไอออนที่มีต่อการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยถ่านกัมมันต์นั้น ทั้งนี้เพราะว่าสารละลาย NaNO₃ ในช่วงความเข้มข้นที่เติมคือ 0.01-0.10 M จะสามารถแตกตัวเป็น Na⁺ และ NO₃⁻ ได้ทั้งหมด และใช้ Na⁺ เป็นตัวแทนของไอออนบวก ส่วน NO₃⁻ เป็นตัวแทนของไอออนลบ ที่มีอยู่ในสารละลายนั้น

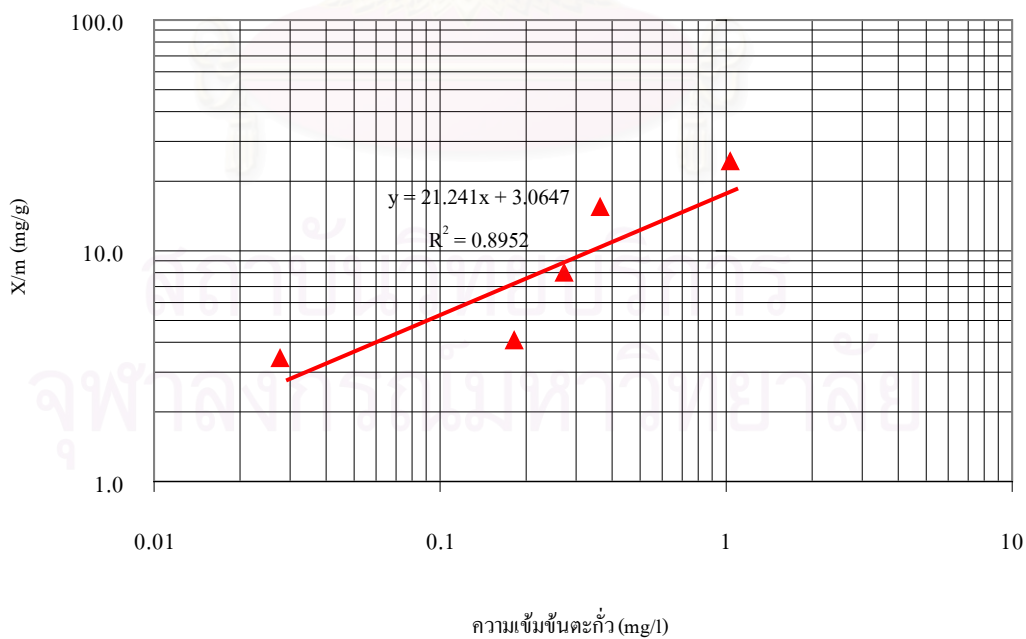
จากข้อมูลในตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.11 พบว่าความแรงของไอออน Na⁺ และ NO₃⁻ จาก NaNO₃ ในช่วงความเข้มข้นที่เติมคือ 0, 0.010, 0.025, 0.050, 0.075 และ 0.10 M ตามลำดับ สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย ZnCl₂ นั้น ไม่มีผลกระทบหรือไม่มีผลแตกต่างกัน เมื่อความแรงไอออนเพิ่มขึ้น โดยยังคงมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันมากคือร้อยละ 99.72-99.81 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย NaCl จะมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความแรงไอออนของ NaNO₃ เพิ่มขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 88.03 ไปจนถึง ร้อยละ 91.40 ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์จากการค้า CO-A พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความแรงไอออนของ NaNO₃ เพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเพิ่มความแรงไอออนของ NaNO₃ เท่ากับ 0.050 M

4.3.4 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนคลิช

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12-4.13 และรูปที่ 4.12-4.13 (ผลการทดลอง ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.12 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนคลิชของถ่านกัมมันต์ 1Z7H

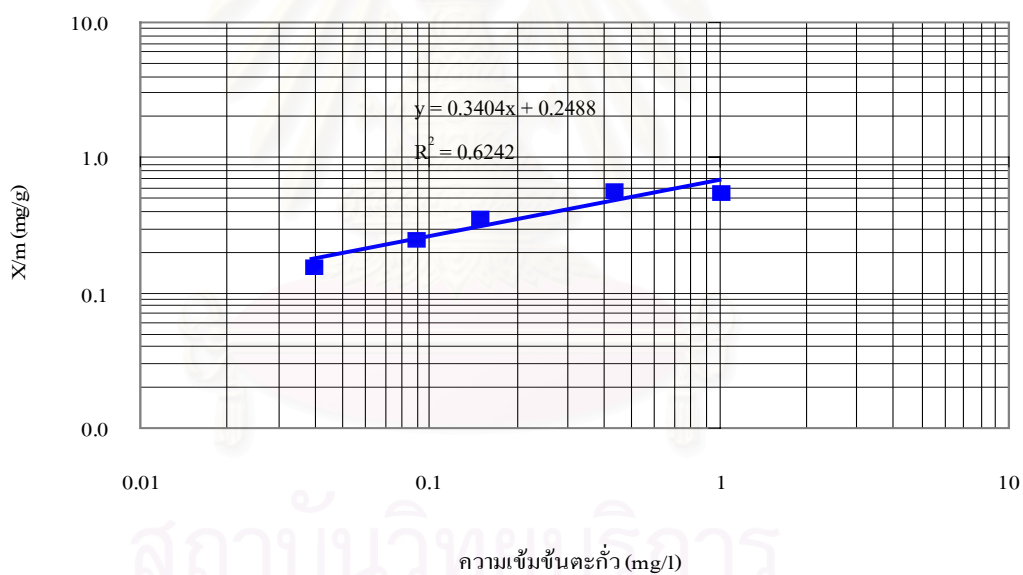
ถ่านกัมมันต์ 1Z7H					
ถ่านกัมมันต์ (g)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ปริมาณตะกั่วที่เหลือเจือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/m (mg/g)
0.00	7.0	3.46	0.346	-	-
0.01	7.03-7.12	1.04	0.104	0.242	24.20
0.02	7.03-7.22	0.36	0.036	0.310	15.50
0.04	7.04-7.22	0.27	0.027	0.319	7.98
0.08	7.08-7.25	0.18	0.018	0.328	4.10
0.10	7.11-7.26	0.03	0.003	0.343	3.43



รูปที่ 4.12 ไอโซเทอมแบบฟรุนคลิชของถ่านกัมมันต์ 1Z7H

ตารางที่ 4.13 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ 1N8H

ถ่านกัมมันต์ 1N8H					
ถ่านกัมมันต์ (g)	pH น้ำเสีย หลังเขย่า	ปริมาณตะกั่วที่เหลือเจือปน (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/m (mg/g)
0.00	8.0	1.56	0.156	-	-
0.10	6.16-6.24	1.03	0.103	0.053	0.53
0.20	5.95-6.05	0.44	0.044	0.112	0.56
0.40	5.75-5.88	0.15	0.015	0.141	0.35
0.60	5.60-5.86	0.09	0.009	0.147	0.25
1.00	5.43-5.71	0.04	0.004	0.152	0.15



รูปที่ 4.13 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ 1N8H

ตารางที่ 4.14 ค่าคงที่ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์	logK	1/n
1Z7H	21.241	3.0647
1N8H	0.3404	0.2488

ไอโซเทอมแบบฟรุนคลิช จะมีค่าคงที่จุดตัดแกน Y เท่ากับ $\log K$ และ ค่าความชัน เท่ากับ $1/n$ ซึ่งค่าคงที่ดังกล่าวจะเป็นตัวชี้บอกถึงความสามารถในการดูดติดผิวได้ โดยถ้าค่า $\log K$ และ $1/n$ มีค่ามาก ก็จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดติดผิวสูง แต่ถ้าค่า $\log K$ และ $1/n$ มีค่าน้อย ก็จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดติดผิวดำ

จากการทดลอง กราฟไอโซเทอมแบบฟรุนคลิช รูปที่ 4.12 และ 4.13 จะได้ค่าคงที่ $\log K$ และ $1/n$ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย $ZnCl_2$ มีค่า $\log K$ และ $1/n$ มากกว่าหลายเท่าของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย $NaCl$ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย $ZnCl_2$ มีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย $NaCl$ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดลองคุณสมบัติการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในช่วง ต้นๆ ที่ผ่านมา ตัวอย่าง เช่น ค่าไอโอดีนนัมเบอร์, พื้นที่ผิว, ประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วและ ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดย $ZnCl_2$ มีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น โดย $NaCl$ สูงกว่า ทั้งสิ้น เป็นต้น

4.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง

ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.15-4.17 และรูปที่ 4.14-4.24 (ผลการทดลองภาคผนวก ข)

4.4.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วโดยถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$

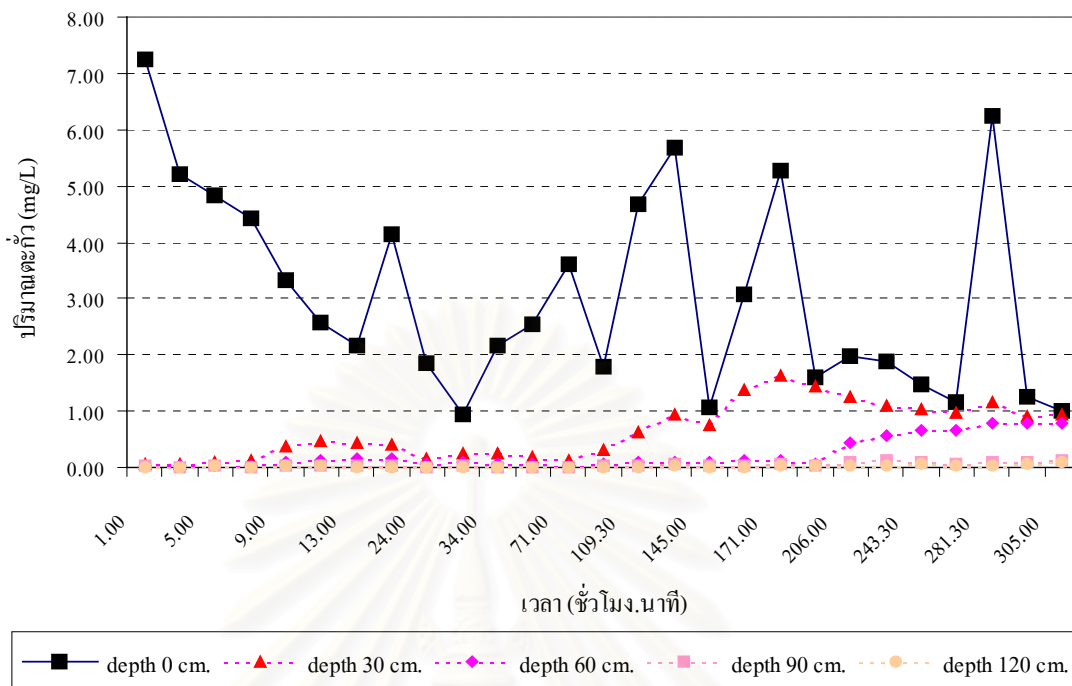
ในการทดลองประสิทธิภาพการดูดซับ โดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งครั้งนี้ จะใช้ถ่านกัมมันต์ 1Z7H ซึ่งเป็นถ่านที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจากการคัดเลือกที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้ว โดยใช้ ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดระหว่าง 0.250 – 2.36 มิลลิเมตร บรรจุลงในถังดูดซับแบบแท่งที่เป็นท่อ อะโครริกแบบใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซ็นติเมตร (ตารางที่ 4.15) และมีการเจาะรูเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียระดับความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ที่ 0, 30, 60, 90 และ 120 เซ็นติเมตร

ตารางที่ 4.15 ถ่านกัมมันต์ 1Z7H ที่บรรจุลงในถังดูดซับแบบแท่ง

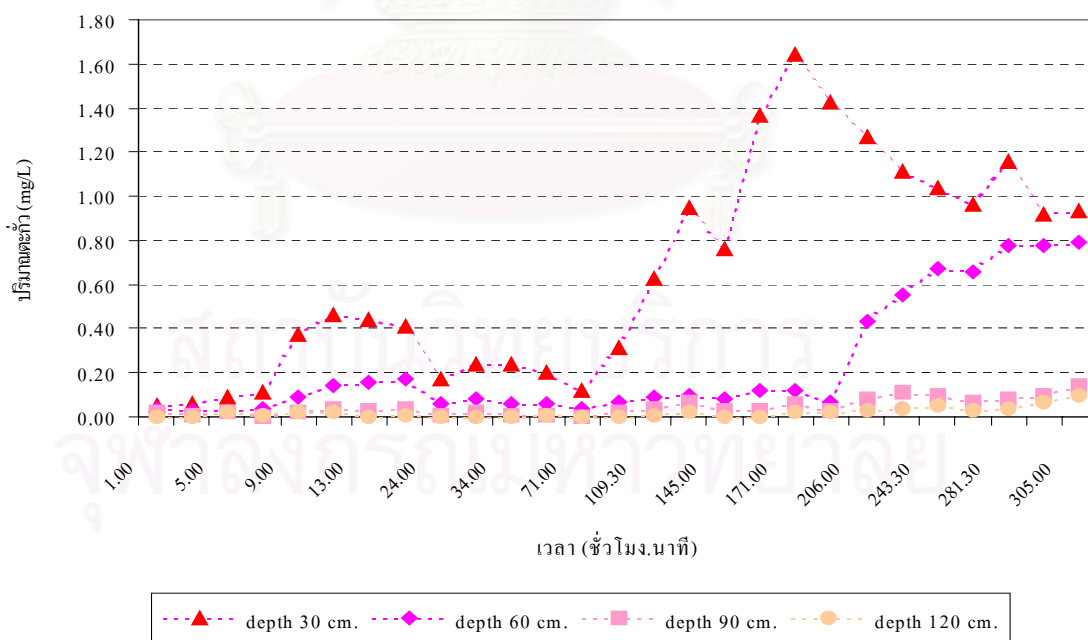
ความลึกของชั้นถ่าน (cm)	ปริมาตรของชั้นถ่าน (L)	น้ำหนัก (g)
30	0.1473	36.1778
60	0.2946	72.3556
90	0.4420	108.5333
120	0.5893	144.7111

ทำการป้อนน้ำสะอาดผ่านถังดูดซับ เพื่อไล่ฟองอากาศ เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่วความเข้มข้น 10 mg/l และค่า pH เท่ากับ 7 เข้าสู่ถังพัก (ดูรูป 3.2) แล้วปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ถังดูดซับ โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้คงที่ 3 ลิตร/ชั่วโมง และมีระบบปั๊มสูบน้ำที่ทำให้ น้ำเสียไหลได้อย่างต่อเนื่อง

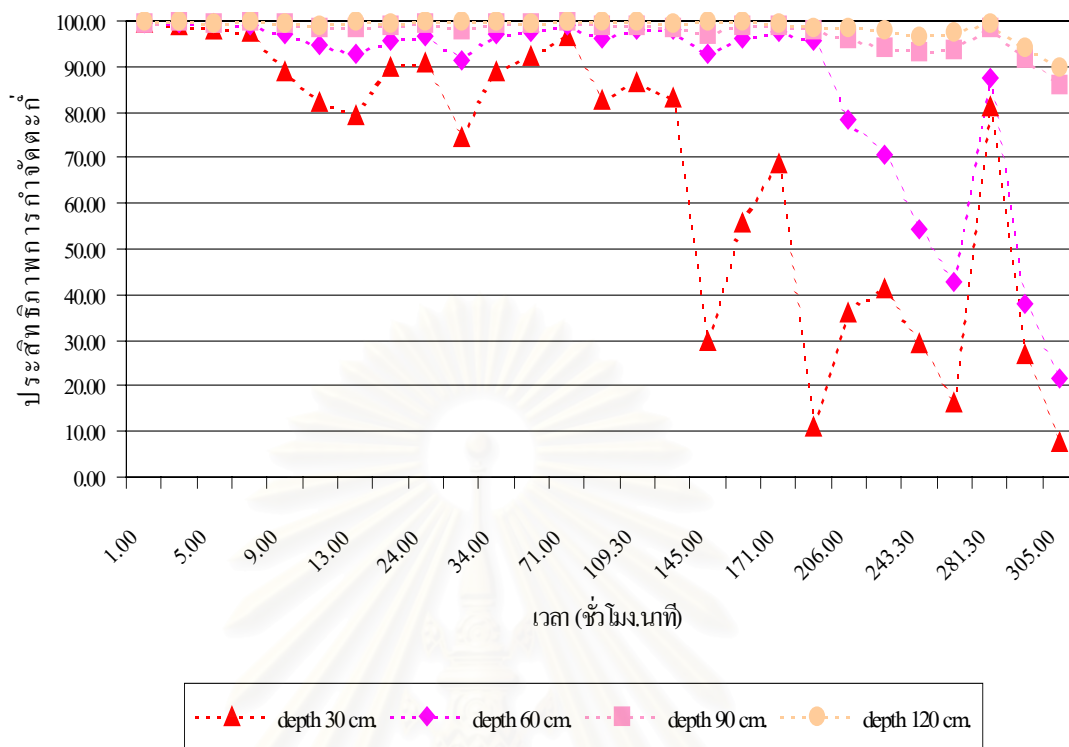
เก็บตัวอย่างของน้ำเสียที่ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ คือ 0, 30, 60, 90, และ 120 เซนติเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 ชั่วโมง และอีกทุกๆ 6-24 ชั่วโมง (จนกว่าค่า ตะกั่วในน้ำเสียที่วิเคราะห์ได้จะถึงค่า Breakthrough ตามที่กำหนด, ใช้ค่า Breakthrough ตามมาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดคือไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร) นำน้ำเสียที่เก็บได้ไปวัดค่า pH และปริมาณ ตะกั่วด้วยเครื่อง AAS ผลการทดลองดังแสดงในรูป 4.14 – 4.16 (ผลการทดลองในภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.14 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถังดูดซับแบบแบ่งบรรจุถ่าน 1Z7H ที่ระดับความลึก 0, 30, 60, 90 และ 120 เซ็นติเมตร ที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง

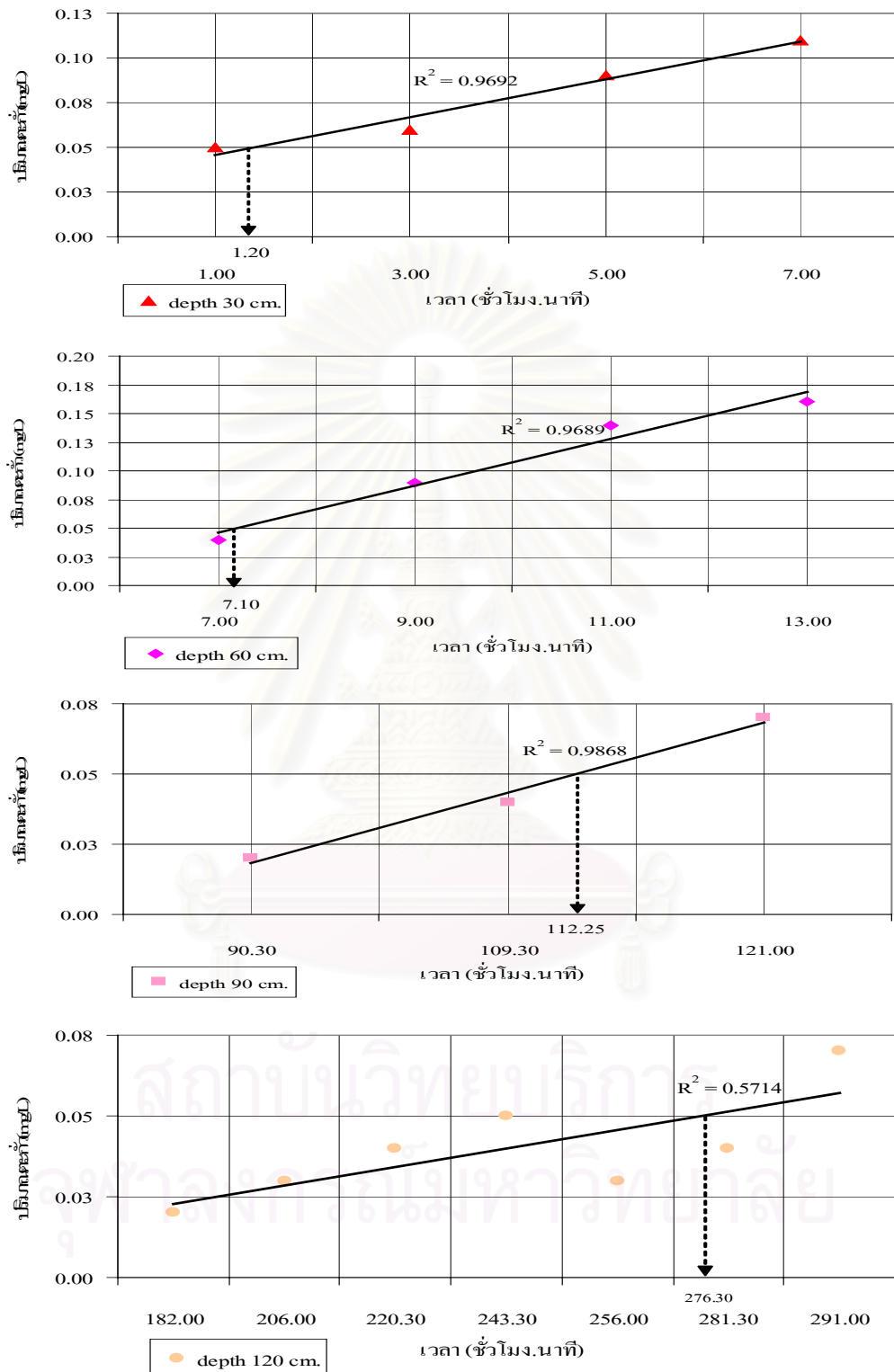


รูปที่ 4.15 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถังดูดซับแบบแบ่งบรรจุถ่าน 1Z7H ที่ระดับความลึก 30, 60, 90 และ 120 เซ็นติเมตร ที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนในน้ำเสียที่ผ่านถังดูดซับแบบแบ่งบรรจุถ่าน 1Z7H ที่ระดับ ความลึก 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าปริมาณคลอรีนในน้ำเสียเริ่มต้น (ที่ระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ 0 เซนติเมตร) จะมีค่าไม่คงที่เมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้เพราะเนื่องจากการทดลองใช้ระบบถังพักและเป็นระบบที่มีความดันเข้ามาเกี่ยวข้อง อีกทั้งค่า pH ที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วงค่าที่ตะกั่วสามารถตกตะกอนได้บางส่วน (ตารางที่ 4.7) ดังนั้นค่าปริมาณคลอรีนเริ่มต้นจึงมีค่าไม่คงที่ สำหรับปริมาณคลอรีนในน้ำเสียที่ไหลผ่านระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร จะทำให้ปริมาณคลอรีนในน้ำเสียเริ่มต้นลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน และปริมาณคลอรีนในน้ำเสียจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป (รูปที่ 4.14 - 4.15) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนในช่วงแรกๆ จะมีประสิทธิภาพสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ (รูปที่ 4.16) ประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนที่ลดลงนี้แสดงถึงความเสื่อมประสิทธิภาพการใช้งาน และเมื่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนลดลง ปริมาณคลอรีนในน้ำเสียหลังจากผ่านถังดูดซับจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งถึงจุด Breakthrough (ตามที่กำหนด คือมีปริมาณคลอรีนไม่เกิน 0.05 mg/L) ก็จะเป็นจุดที่ควรยุติการใช้งานถังดูดซับนั้น สำหรับจุด Breakthrough ที่ระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร แสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 จุด Breakthrough ของถ่านกัมมันต์ 1Z7H ที่ระดับความลึกชั้น 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง

จากกราฟในรูปที่ 4.17 จุด Breakthrough ที่ระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง คือที่เวลา 1.20, 7.10, 112.25 และ 276.30 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นปริมาตรของน้ำเสียที่ไหลผ่านจะได้ 4, 21.5, 337.25 และ 829.5 ลิตร ตามลำดับ หรือเท่ากับ 27.16, 72.98, 763.01, 1407.60 Bed Volume (BV) ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงจุดซับแบบแห้งเมื่อชั้นถ่านกัมมันต์มีความลึกเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วก็เพิ่มขึ้นตามลำดับด้วย และการที่ชั้นถ่านที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรจะถึงจุด Breakthrough เร็วกว่าที่ชั้นระดับความลึก 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ตามลำดับ นั้นเนื่องจากมีปริมาณตัวดูดซับน้อยกว่าและเวลาดัมผัสก็น้อยกว่าด้วย ส่วนที่ชั้นระดับความลึก 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าที่จุด Breakthrough ห่างจากชั้น 30 และ 60 เซนติเมตร มากนั้นนอกจากจะมีสารตัวดูดซับมากกว่าแล้วยังมีเวลาดัมผัสของน้ำเสียที่นานกว่าด้วยซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วดียิ่งขึ้น

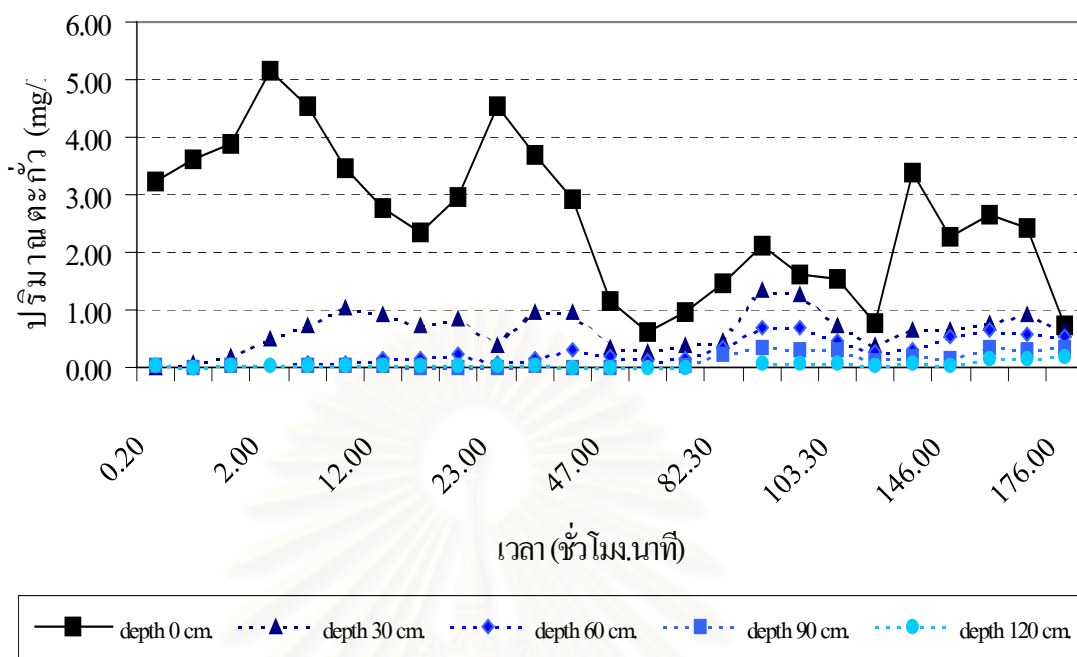
4.4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วโดยถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl

ดำเนินการทดลองในลักษณะเดียวกันกับหัวข้อ 4.4.1 แต่ใช้ถ่านกัมมันต์ 1N8H บรรจุลงในถังดูดซับแบบแห้งที่เป็นท่ออะคริลิกแบบไฮเทน (ตารางที่ 4.16) และควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้คงที่ 2.5 ลิตร/ชั่วโมง และน้ำเสียมีค่า pH เท่ากับ 8

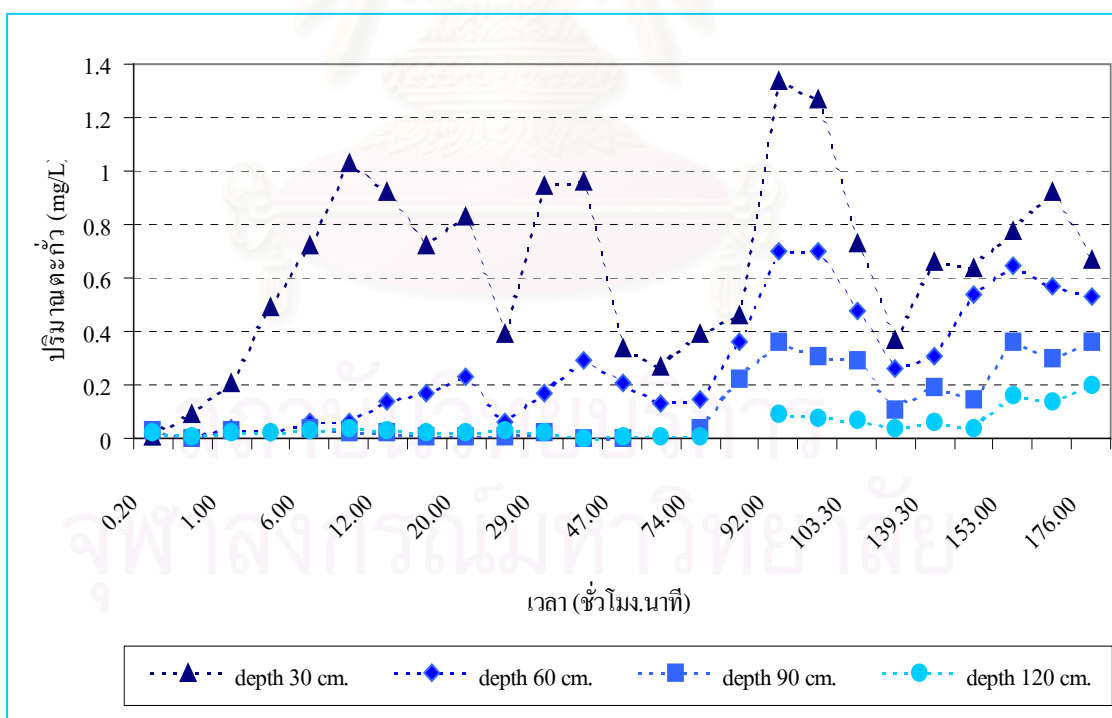
ตารางที่ 4.16 ถ่านกัมมันต์ 1N8H ที่บรรจุลงในถังดูดซับแบบแห้ง

ความลึกของชั้นถ่าน (cm)	ปริมาตรของชั้นถ่าน (L)	น้ำหนัก (g)
30	0.1473	25.8676
60	0.2946	51.7352
90	0.4420	77.6027
120	0.5893	103.4703

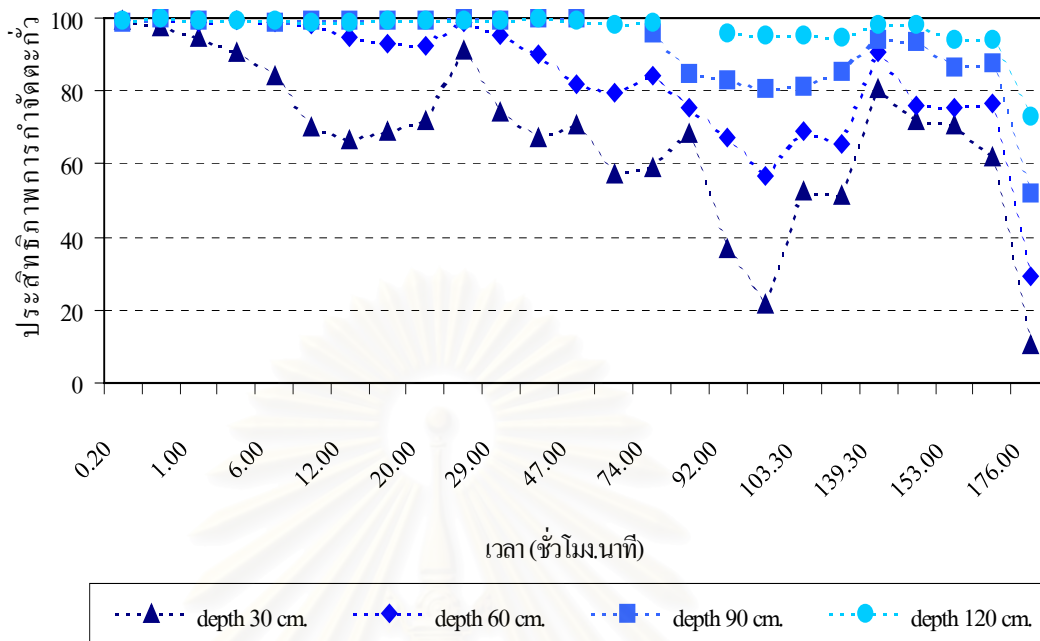
เก็บตัวอย่างของน้ำเสียที่ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ คือ 0, 30, 60, 90, และ 120 เซนติเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 4, 6, 9, 12, 16 ชั่วโมง และอีกทุกๆ 4-24 ชั่วโมง (จนกว่าค่าตะกั่วในน้ำเสียที่วิเคราะห์ได้จะถึงค่า Breakthrough ตามที่กำหนด) นำน้ำเสียที่เก็บได้ไปวัดค่า pH และปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS ผลการทดลองดังแสดงในรูป 4.18 – 4.20



รูปที่ 4.18 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถังดูดซับแบบแท่งบรรจุถ่าน 1N8H ที่ระดับความลึก 0, 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง

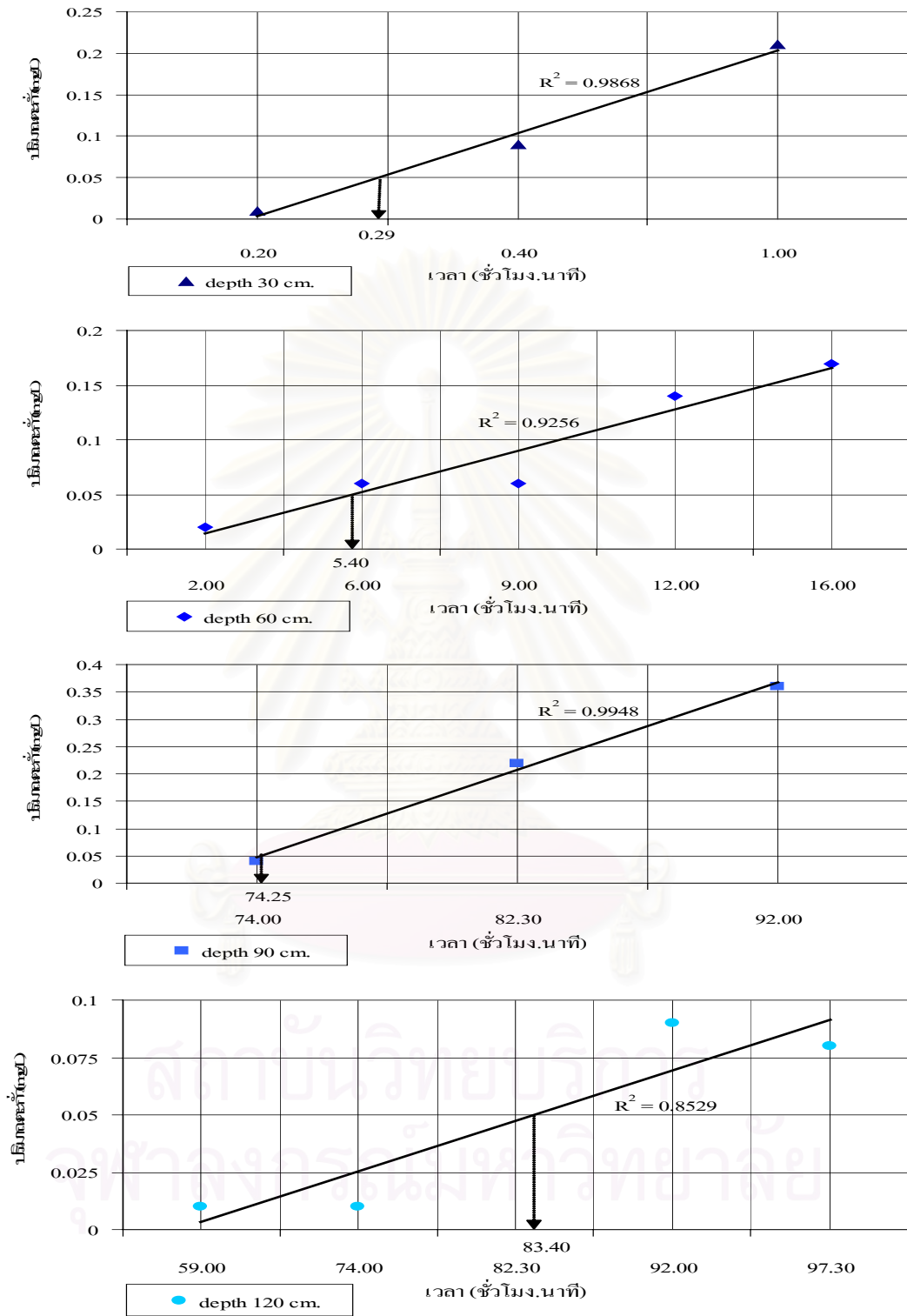


รูปที่ 4.19 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถังดูดซับแบบแท่งบรรจุถ่าน 1N8H ที่ระดับความลึก 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง



รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านถังดูดซับแบบแท่งบรรจุถ่าน 1N8H ที่ระดับความลึก 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าปริมาณตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้น (ที่ระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ 0 เซนติเมตร) จะมีค่าไม่คงที่เมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้อธิบายได้ในทำนองเดียวกับหัวข้อ 4.4.1 คือเนื่องจากการทดลองใช้ระบบถังพักและเป็นระบบที่มีความดันเข้ามาเกี่ยวข้อง อีกทั้งค่า pH ที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วงค่าที่ตะกั่วสามารถตกตะกอนได้ค่อนข้างดี (ตารางที่ 4....) ดังนั้นค่าปริมาณตะกั่วเริ่มต้นจึงมีค่าไม่คงที่ สำหรับปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ไหลผ่านระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร จะทำให้ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้นลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน และปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป (รูปที่ 4.18 - 4.19) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในช่วงแรกๆ จะมีประสิทธิภาพสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ (รูปที่ 4.20) และเมื่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วลดลง ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียหลังจากผ่านถังดูดซับจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งถึงจุด Breakthrough ซึ่งเป็นจุดที่ควรยุติการใช้งานถังดูดซับนั้น สำหรับจุด Breakthrough ที่ระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร แสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 จุด Breakthrough ของถ่านกัมมันต์ 1N8H ที่ระดับความลึกชั้น 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง

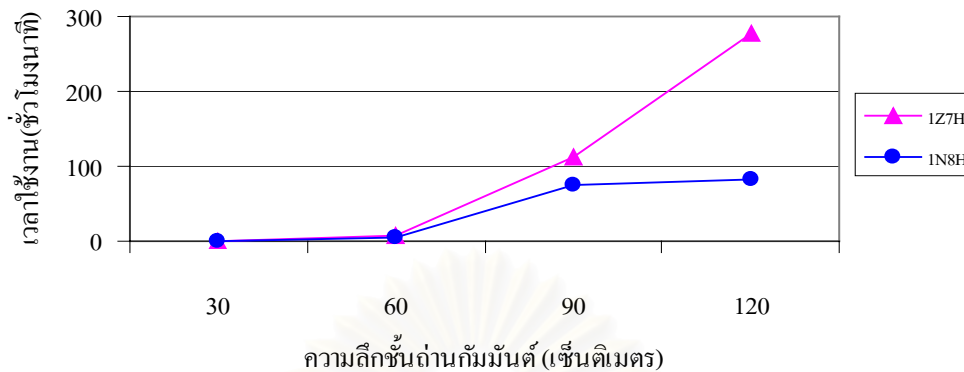
จากกราฟในรูปที่ 4.21 จุด Breakthrough ที่ระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง คือที่เวลา 0.29, 5.40, 74.25 และ 83.40 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นปริมาตรของน้ำเสียที่ไหลผ่านจะได้ 1.21, 14.17, 186.04 และ 209.17 ลิตร ตามลำดับ หรือเท่ากับ 8.21, 48.10, 420.90 และ 354.95 Bed Volume (BV) ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงจุดซบแบบแห้งเมื่อชั้นถ่านกัมมันต์มีความลึกเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วก็เพิ่มขึ้นตามลำดับด้วย และการที่ชั้นถ่านที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรจะถึงจุด Breakthrough เร็วกว่าที่ชั้นระดับความลึก 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ตามลำดับ นั้นเนื่องจากมีปริมาณตัวดูดซับน้อยกว่าและเวลาสัมผัสก็น้อยกว่าด้วย ส่วนที่ชั้นระดับความลึก 90 และ 120 เซนติเมตร มีค่าที่จุด Breakthrough ห่างจากชั้น 30 และ 60 เซนติเมตร มากนั้นนอกจากจะมีสารตัวดูดซับมากกว่าแล้วยังมีเวลาสัมผัสของน้ำเสียที่นานกว่าด้วยซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วดียิ่งขึ้น

4.4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂

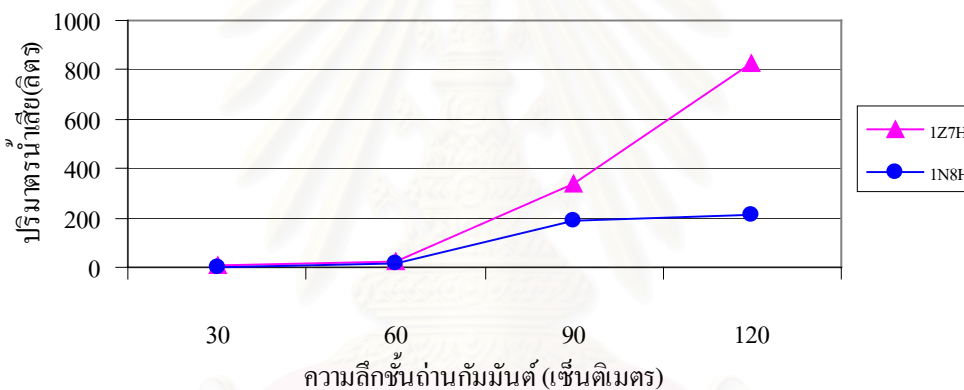
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.4.1 และ 4.4.2 มาทำการเปรียบเทียบกันได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.22-4.24

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของถังดูดซับแบบแห้งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H ที่จุด Breakthrough

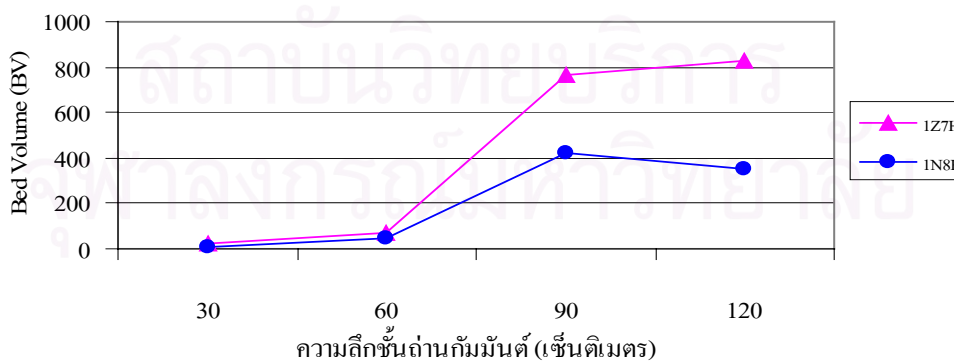
ความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ (cm)	ถ่านกัมมันต์ 1Z7H			ถ่านกัมมันต์ 1N8H		
	เวลาใช้งาน (ชั่วโมง.นาท)	ปริมาตรน้ำเสีย (ลิตร)	Bed Volume (BV)	เวลาใช้งาน (ชั่วโมง.นาท)	ปริมาตรน้ำเสีย (ลิตร)	Bed Volume (BV)
30	1.20	4	27.16	0.29	1.21	8.21
60	7.10	21.5	72.98	5.40	14.17	48.10
90	112.25	337.25	763.01	74.25	186.04	420.90
120	276.30	829.50	829.50	83.40	209.17	354.95



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบเวลาใช้งานของถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H ที่จุด Breakthrough



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H ที่จุด Breakthrough



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบปริมาณ Bed Volume ของน้ำเสียที่ไหลผ่านถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H ที่จุด Breakthrough

จากข้อมูลในตารางที่ 4.17 และกราฟในรูปที่ 4.22-4.24 เมื่อนำไปคำนวณวิเคราะห์ผลทางด้านสถิติพบว่า ประสิทธิภาพการใช้งานของถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H ที่จุด Breakthrough มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งเวลาการใช้งาน ปริมาณน้ำเสียที่บำบัดโดยไหลผ่านถังดูดซับแบบแท่ง และ Bed Volume โดยถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ 1Z7H จะให้ผลของการใช้งานกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีค่า pH 7 และมีอัตราการไหล 3.0 ลิตร/ชั่วโมง ได้ดีกว่า ถังดูดซับแบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ 1N8H ในการใช้งานกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีค่า pH 8 และมีอัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและวิเคราะห์ผลในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าโดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าโดยการกระตุ้นด้วย NaCl สภาวะที่เหมาะสมคือ การแช่ขี้เถ้าในสารละลาย NaCl (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ขี้เถ้า : NaCl เท่ากับ 1 : 1) นานประมาณ 1 วัน จากนั้นนำไปอบแห้ง และทำการเผากระตุ้นในสภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับการเตรียมโดยการกระตุ้นด้วย ZnCl₂ สภาวะที่เหมาะสมคือ การแช่ขี้เถ้าในสารละลาย ZnCl₂ (อัตราส่วนน้ำหนัก ขี้เถ้า : ZnCl₂ เท่ากับ 1 : 1) นานประมาณ 1 วัน ทำการอบแห้งแล้วเผากระตุ้นในสภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทั้งสองชุดล้างสารเคมีออกด้วยน้ำจืดและน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการดูดซับสีดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้และถ่านกัมมันต์จากการค้า

คุณสมบัติ	ถ่านกัมมันต์ กระตุ้นด้วย NaCl	ถ่านกัมมันต์ กระตุ้นด้วย ZnCl ₂	ถ่านกัมมันต์ การค้า CO-A
ไอโอดีนัมเบอร์ (mg/g)	519.4	1021.3	-
พื้นที่ผิว (m ² /g)	593.79	1572.51	1220.11

จากตารางที่ 5.1 พบว่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ จะมีค่ามากกว่าถ่านกัมมันต์การค้า CO-A และมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl ตามลำดับ

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

2.1 ผลของ pH

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl : pH มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับและการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย คือ ที่ pH 6, 7, 8 และ 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับร้อยละ 43.03, 55.49, 39.96 และ -25.83 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีค่าเท่ากับร้อยละ 55.33, 84.60, 90.63 และ 94.97 ตามลำดับ

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$: pH ที่ 6, 7, 8 และ 9 นั้นมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไม่มากนัก คือ มีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับร้อยละ 99.69, 99.75, 97.64 และ 97.80 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย ค่า pH ในช่วงดังกล่าวแทบจะไม่มีผลเลย คือ มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วร้อยละ 99.76, 99.91, 99.63, 99.91 ตามลำดับ

2.2 ผลของเวลาสัมผัส

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl : เวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์กับน้ำเสียในช่วงเวลา 15 - 120 นาที มีผลไม่มากนัก คือ มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วร้อยละ 89.17 - 93.83

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$: เวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์กับน้ำเสีย ในช่วงเวลา 15 - 120 นาที ไม่มีผล คือ มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วร้อยละ 99.70 - 99.80

2.3 ผลของความแรงไอออน

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl : ความแรงไอออนในช่วง 0.010 - 0.10 M มีผลไม่มากนัก คือ มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วร้อยละ 88.03 - 91.40

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$: ความแรงไอออนในช่วง 0.010 - 0.10 M ไม่มีผล คือ มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วร้อยละ 99.72 - 99.81

3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในถังดูดซับแบบแท่ง

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl : ที่ระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร พบว่าน้ำเสียซึ่งมีค่า $pH_{(เริ่มต้น)}$ ประมาณ 8 ด้วยอัตราการไหลของน้ำเสีย 2.5 ลิตร/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่จุด Breakthrough (ปริมาณตะกั่วไม่เกิน 0.05 mg/L) จะมีระยะเวลาการใช้งาน 0.29, 5.40, 74.25 และ 83.40 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นปริมาตรของน้ำเสียที่ไหลผ่านจะได้ 1.21, 14.17, 186.04 และ 209.17 ลิตร หรือเท่ากับ 8.21, 48.10, 420.90 และ 354.95 Bed Volume (BV) ตามลำดับ

- ถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$: ที่ระดับความลึกชั้นถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร พบว่าน้ำเสียซึ่งมีค่า pH_(เริ่มต้น) ประมาณ 7 ด้วยอัตราการไหลของน้ำเสีย 3.0 ลิตร/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่จุด Breakthrough (ปริมาณตะกั่วไม่เกิน 0.05 mg/L) จะมีระยะเวลาการใช้งาน 1.20, 7.10, 112.25 และ 276.30 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นปริมาตรของน้ำเสียที่ไหลผ่านจะได้ 4, 21.5, 337.25 และ 829.5 ลิตร หรือเท่ากับ 27.16, 72.98, 763.01 และ 1407.60 Bed Volume (BV) ตามลำดับ

4) เปรียบเทียบการเตรียมถ่านกัมมันต์และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ของผู้วิจัยต่างๆ

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

ปี	ผู้วิจัย / ผู้เขียน	วัตถุดิบ (RM)	การกระตุ้น			คุณสมบัติ	
			สารเคมี และอัตราส่วน	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hrs.)	ค่าไอโอดีน (mg/g)	พื้นที่ผิว (m ² /g)
2532	มอก. 900-2532	ถ่านกัมมันต์	-	-	-	600	-
2533	ดำรง ขุนมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล	กะลามะพร้าว	RM : NaCl (1:3)	700	1	525.33	-
		ขี้เถ้า	RM : NaCl (1:4)	600	1	423	-
2537	บุญชัย ตระกูลมหชัย	กะลา-ตาล โตนด	RM : 60% $ZnCl_2$ (3:2)	500	1	1100-1200	1600-1700
2538	พงศธร โส้วทษาภรณ์	ซังข้าวโพด	RM : $ZnCl_2$ (1:2)	400	3	800-900	1000
		ซังข้าวโพด	RM : $ZnCl_2$ (1:4)	600	3	960-1075	1140-1300
2542	ปิยะพร บารมี	ยางเหลือทิ้ง	70% $ZnCl_2$ (aq)	500	2	351.52	237.17
2544	สุนีย์ คู่เสงี่ยม	กะลามะพร้าว	RM : NaCl (1:3)	800	1	532.29	492.42
		กะลาปาล์ม	RM : NaCl (1:3)	800	1	486.45	385.91
2544	ลลิตา นิต์สนจากรุก	เปลือกทุเรียน	RM : NaCl (sat. sol ⁿ)	800	1	567	387
		เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์	RM : NaCl (sat. sol ⁿ)	800	1	532	489
2545	มานพ ตีระรัตนสมโภช	ขี้เถ้า	RM : NaCl (1:1)	800	1	519.4	593.79
		ขี้เถ้า	RM : $ZnCl_2$ (1:2)	700	1	1021.3	1572.51
1998	Teng และคณะ	ถ่านหิน BW	RM : $ZnCl_2$ (1:2)	500	1	-	1300
		ถ่านหิน MT	RM : $ZnCl_2$ (1:2)	500	1	-	1080

จากตารางที่ 5.2 แสดงการรวบรวมผลงานวิจัยบางส่วนของผู้วิจัยหลากหลายท่านที่มีการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้สาร NaCl และ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้นนั้น จะเห็นได้ว่ามีการใช้วัตถุดิบหรือสภาวะและสารเคมีที่แตกต่างกัน ก็จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันไปด้วย โดยส่วนมากแล้วการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดีกว่าการกระตุ้นด้วย NaCl

อย่างไรก็ตามสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับชาวบ้านทั่วไปนั้นการเลือกใช้สาร NaCl เป็นตัวกระตุ้นก็เป็นทางเลือกที่เหมาะสมทางหนึ่ง เพราะไม่ต้องกังวลในเรื่องของความเป็นพิษและสารตกค้างในถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ อีกทั้งราคาของ NaCl ก็ถูกกว่า $ZnCl_2$ ในขณะที่การเลือกใช้สาร $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้นนั้นเหมาะที่จะผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับการค้าหรือระดับอุตสาหกรรมมากกว่า ทั้งนี้เพราะจะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดีกว่า ซึ่งจะช่วยให้มูลค่าทางเศรษฐกิจได้ดีกว่าด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้วัตถุดิบชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบที่เหลือใช้หรือของทิ้งทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรม ที่สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ เพื่อเป็นการแปรรูปวัสดุให้มีคุณค่าและคุณประโยชน์สูงขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปัญหาเรื่องของทิ้งของเสียทางการเกษตรและอุตสาหกรรมในสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย
- 2) ศึกษาวิธีการล้างสารเคมีออกจากถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงและเหมาะสมต่อการใช้งานที่ต้องการ ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้กรดเจือจาง HCl ในการล้างร่วมด้วย ควรจะมีการทดลองใช้กรดเจือจางชนิดอื่นๆ ในการล้างด้วย เช่น กรดเจือจาง HNO_3 เป็นต้น แล้วทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้
- 3) การทดลองกำจัดตะกั่วในน้ำเสียในถังดูดซับแบบแท่ง ควรมีศึกษาถึงผลของการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราไหลของน้ำเสียในคอลัมน์เพิ่มเติมด้วย
- 4) ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานกำจัดโลหะหนักแล้ว ควรหาวิธีการจัดการที่เหมาะสม เช่น การนำกลับมาใช้ใหม่ หรือการฝังกลบอย่างถูกวิธี เพื่อไม่ให้เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ชนิตา เสมรัตน์. ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสีทอด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- ดำรง ขุนมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น. วิศวกรรมสาร 43 (พฤศจิกายน – ธันวาคม 2533) 96 – 99.
- ปิยะพร บารมี. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ประกฤต เลิศจรส์อร่ามดี. การกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ขี้เถ้า ฟางข้าว และขุยมะพร้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- พงศธร โส้วชาภรณ์. ถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- พงศ์ศักดิ์ โอซารส. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพดโดยใช้เกลือแกลงเป็นตัวกระตุ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2539.
- ลลิตา นิต์สนจรรกุล. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

สุจนิษฐ์ คู่ยเสงี่ยม. การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จาก
กะลาปาล์มและกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์-
มหาวิทยาลัย, 2544.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ (มอก.
900-2532). กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532.

สุวรรณา เรื่องกาญจนเศรษฐ์. ตะกั่ว มหันตภัยต่ออนาคตของชาติ. จดหมายข่าว มุลินธิรามาศิเบคิ.
Vol. 4 No. 3 (กรกฎาคม-กันยายน 2537): 1-4.

อริชัย นพแก้ว. การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับฟิวโรโหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก.
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

- Allport, H.B. Activated carbon. McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology. Volume 1. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1997.
- American Society for Testing Materials. Standard Test Method for Iodine Number of Activated Carbon (D 4607-94). Annual book of ASTM Standards Vol. 15.01. Philadelphia: ASTM, 1996.
- American Society for Testing Materials. Standard Test Method for Particle Size Distribution of Granular Activated Carbon (D 2862-92). Annual book of ASTM Standards Vol. 15.01. Philadelphia: ASTM, 1996.
- Baker, F. S., Miller, C. E., Repik, A.J., Tolles. Activated Carbon. In D.M. Ruthven (ed) Encyclopedia of Separation Technology. Volume 1. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- Bunnaul, P., Saejen, R., Arrykul, S. and Kooptarnond, K. Study on the preparation of activated carbon using for arsenic removal and its adsorption characteristics. FEISEAP'99 Inter-Regional Symposium on Sustainable Development (ISSD) (May 18-20, 1999): 301-311.
- Cheremisinoff, P.N. and Morresi, A.C. Carbon adsorption application. In P.N. Cheremisinoff, and F. Ellerbusch (eds.). Carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor Science, 1978.
- Cookson, J. T. Jr. Adsorption mechanisms: the chemistry of organic adsorption on activated carbon. In P.N. Cheremisinoff, and F. Ellerbusch (eds.). Carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor Science, 1978.
- Faust, S. D., and Aly, O. M. Adsorption Process for Water Treatment. MA.: Butterworth Publishers, 1987.
- Harrison, R. M. and Laxen, D. P. H. Lead pollution : causes and control. London: Chapman and Hall, 1981.
- Hassler, J. W. Purification with activated carbon. 3rd ed. New York: Chemical Publishing, 1974.

Lewis, R. J. Carbon, activated. Hawley's Condensed Chemical Dictionary. 13th ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

Reed, B.E., Jamil, M. and Thomas B. Effect of pH, empty bed contact time and hydraulic loading rate on lead removal by granular activated carbon columns. Water Environment Research Vol. 8 No. 5. (July/August 1996): 877-882.

Ruthven, M.D. Adsorption. In D.M. Ruthven (ed) Encyclopedia of Separation Technology. Volume 1. New York: John Wiley & Sons, 1997.

Zanitsch, R. H. and Stenzel, M. H. Economics of granular activated carbon water and wastewater treatment systems. In P.N. Cheremisinoff, and F. Ellerbusch (eds.). Carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor Science, 1978.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การทดสอบหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ตามมาตรฐาน ASTM D 4607-94

1. เครื่องมือ

- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- บิวเรต ขนาด 5 ml หรือ 10 ml
- ขวดปริมาตรรูปชมพู่ ขนาด 250 ml
- ขวดปริมาตรรูปชมพู่ ขนาด 250 ml พร้อมจุกแก้วสำหรับปิด
- ปีกเกอร์
- ขวดสีชา สำหรับเก็บสารละลายไอโอดีน และสารละลายโซอิลเฟต
- กรวยกรอง
- กระดาษกรอง เบอร์ 2V หรือ เบอร์ที่เทียบเท่ากัน
- ปิเปต ขนาด 5.0, 10.0, 25.0, 50.0 และ 100 ml
- ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 L
- กระบอกตวงปริมาตร ขนาด 100 ml และ 500 ml

2. สารเคมีและการเตรียม

2.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก)

- ผสมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น จำนวน 70 ml ลงในน้ำกลั่น 550 ml แล้วเขย่าให้เข้ากัน

2.2 สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโปตัสเซียมไอโอเดต (ความเข้มข้น 0.1000 N)

- ชั่งโปตัสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น จำนวน 3.5667 ± 0.1 mg ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 100 ml ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 L ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L

2.3 สารละลายมาตรฐานโซเดียมโซอิลเฟต (ความเข้มข้น 0.100 N)

- ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 24.820 g ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75 ± 25 ml เติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.10 ± 0.01 g ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชาอย่างน้อย 4 วัน ก่อนนำมาทำการตรวจหาความเข้มข้นโดยการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานไอโอดีน

2.4 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน (ความเข้มข้น 0.100 N)

- ชั่งสารไอโอดีน 12.7 g และโพตัสเซียมไอโอไดน์ (KI) 19.1 g ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 ml ทำการคนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆเติมน้ำที่ละน้อย (ครั้งละประมาณ 5 ml) จนกระทั่งได้สารละลายประมาณ 40 ml ปล่อยให้เย็นอย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะ เพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 L แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา แล้วทำการตรวจหาความเข้มข้นโดยการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต

2.5 สารละลายแป้ง

- ละลายแป้ง (Soluble starch) 1.0 ± 0.5 g ในน้ำกลั่น 5-10 ml คนสารละลายพร้อมกับเติมน้ำกลั่นอีก 25 ± 5 ml เทสารละลายลงในน้ำเดือด 1 L แล้วต้มต่อให้เดือดอีก 4-5 นาที

3. การตรวจหาความเข้มข้นของสารละลาย

3.1 การตรวจหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

- ใช้ปิเปตตูดสารละลายมาตรฐานปฏิกิริยาโพตัสเซียมไอโอไดน์ 25 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมโพตัสเซียมไอโอไดน์ (KI) $2.0 + 0.01$ g เขย่าจนละลาย ปิดตกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 5 ml ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.100 N เมื่อสีของสารละลายจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยคน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ทำการไตเตรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยใช้สูตร

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

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (N)

P = ปริมาตรสารละลายโปตัสเซียมไอโอเดต (ml)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโปตัสเซียมไอโอเดต (N)

S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (ml)

3.2 การตรวจหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีน

- ใช้ปิเปตดูดสารละลายไอโอดีน 25 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ แล้วไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.100 N เมื่อสีของสารละลายจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยคน้ำแข็ง 2-3 หยด สารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ทำการไตเตรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน โดยใช้สูตร

$$N_2 = (S.N_1)/I$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)

S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (ml)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (N)

I = ปริมาตรสารละลายไอโอดีน (ml)

4. วิธีการหาค่าไอโอดีนนมเบอร์

- 4.1 บดถ่านกัมมันต์ที่ต้องการทดสอบหาค่าไอโอดีนนมเบอร์ให้ละเอียด จนสามารถร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 100 เมช ได้ 95% และสามารถร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 325 เมช ได้ 60%
- 4.2 นำถ่านกัมมันต์ที่บดแล้ว มาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 145-155 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น
- 4.3 ประมาณค่าไอโอดีนนมเบอร์ ของถ่านตัวอย่าง เพื่อนำไปคำนวณหา carbon dosages หรือค่าน้ำหนักของถ่านที่จะใช้ในการทดลอง 3 ค่าน้ำหนัก โดยใช้สูตรในข้อที่ 4.7 (หรือตามค่าประมาณน้ำหนักตัวอย่างในตารางที่ ก. 1) ชั่งถ่านที่อบแห้งแล้วตามน้ำหนักที่คำนวณได้ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml
- 4.4 ปิเปต 5% สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง จำนวน 10 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่แต่ ละใบ ปิดจุก เขย่าเบาๆ เพื่อให้ตัวอย่างเปียกอย่างทั่วถึง ปิดจุก แล้วนำไปตั้งบน hot

- plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งสารละลายเดือด ทิ้งให้เดือดต่อประมาณ 30 ± 2 วินาที เพื่อไล่ซัลเฟอร์ในตัวอย่าง หลังจากนั้นนำตัวอย่างออก ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 4.5 ปิเปตสารละลายไอโอดีน 0.100 N จำนวน 100 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกขวดทันที แล้วเขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 30 ± 1 วินาที เปิดจุก แล้วกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองพับจีบเบอร์ 2V หรือ เบอร์ที่เทียบเท่ากัน
- 4.6 ปิเปตสารละลายที่กรองได้ 50 ml ใส่ลงในขวดเปล้ารูปชมพู่ ทำการไตเตรตด้วย 0.100 N สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไซโอซัลเฟต จนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน หยดน้ำแป้ง 2 ml ทำการไตเตรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตที่ใช้
- 4.7 การคำนวณ

- การคำนวณหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ใช้สูตร

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

โดยที่ X/M = Iodine adsorption per gram of carbon (mg/g)

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

$$B = (N_1) (126.93) \quad \text{เมื่อ } N_1 = \text{ความเข้มข้นโซเดียมไซโอซัลเฟต (N)}$$

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

$$S = \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต ที่ใช้ (ml)}$$

$$M = \text{น้ำหนักถ่านตัวอย่าง (g)}$$

- การคำนวณหาค่า carbon dosages ใช้สูตร

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

โดยที่ M = น้ำหนักถ่าน (g)

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

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

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

$$E = \text{ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ โดยประมาณ}$$

ตารางที่ ก.1 ^๖น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์

FIND M FOR CALCULATE IODINE NUMBER BY USING ASTM D 4607

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	0.488
550	2.054	1.800	1.546	1800	0.628	0.550	0.472
600	1.883	1.650	1.417	1850	0.610	0.535	0.460
650	1.738	1.523	1.308	1900	0.594	0.521	0.447
700	1.614	1.414	1.215	1950	0.579	0.508	0.436
750	1.506	1.320	1.134	2000	0.565	0.495	0.425
800	1.412	1.237	1.063	2050	0.551	0.483	0.415
850	1.329	1.164	1.000	2100	0.538	0.471	0.405
900	1.255	1.100	0.945	2150	0.525	0.460	0.396
950	1.189	1.042	0.895	2200	0.513	0.450	0.388
1000	1.130	0.990	0.850	2250	0.502	0.440	0.378
1050	1.076	0.943	0.810	2300	0.491	0.430	0.370
1100	1.027	0.900	0.773	2350	0.481	0.421	0.362
1150	0.982	0.861	0.739	2400	0.471	0.412	0.354
1200	0.941	0.825	0.709	2450	0.461	0.404	0.347
1250	0.904	0.792	0.680	2500	0.452	0.396	0.340
1300	0.869	0.761	0.654	2550	0.443	0.388	0.333
1350	0.837	0.733	0.630	2600	0.434	0.381	0.327
1400	0.807	0.707	0.607	2650	0.426	0.374	0.321
1450	0.799	0.683	0.586	2700	0.418	0.367	0.315
1500	0.753	0.666	0.567	2750	0.411	0.360	0.309

ภาคผนวก ข

บันทึกข้อมูลผลการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข. 1 ผลผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าโดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl₂ ที่เตรียมได้

อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ขี้เถ้า : สารเคมี	กระตุ้นด้วย NaCl				กระตุ้นด้วย ZnCl ₂			
		ขี้เถ้า (g)	NaCl (g)	ผลผลิต (g)	ผลผลิต (%)	ขี้เถ้า (g)	ZnCl ₂ (g)	ผลผลิต (g)	ผลผลิต (%)
500	1 : 1	80.0406	80.0065	36.2423	45.28	80.0091	80.0	32.8869	41.10
	1 : 2	80.0059	160.0196	39.6899	49.61	80.0084	160.0	33.1572	41.44
	1 : 3	80.0024	240.0118	34.2205	42.77	80.0075	240.0	34.7584	43.44
	1 : 4	80.0381	320.0099	34.818	43.50	80.0077	320.0	36.6639	45.83
600	1 : 1	80.0103	80.0049	30.3634	37.95	80.0100	80.0	35.2604	44.07
	1 : 2	80.0019	160.0001	35.2213	44.03	80.0073	160.0	38.7425	48.42
	1 : 3	80.0086	240.0096	31.7607	39.70	80.0022	240.0	40.2105	50.26
	1 : 4	80.0036	320.0097	29.4233	36.78	80.0011	320.0	40.2930	50.37
700	1 : 1	80.0211	80.0135	26.2573	32.81	80.0612	80.0	37.0844	46.32
	1 : 2	80.0084	160.0099	27.8650	34.83	80.0669	160.0	38.4730	48.05
	1 : 3	80.0144	240.0070	25.5991	31.99	80.0963	240.0	40.5376	50.61
	1 : 4	80.0047	320.0725	26.4418	33.05	80.0092	320.0	40.3883	50.48
800	1 : 1	80.0741	80.0064	22.4245	28.00	80.0025	80.0	38.8366	48.54
	1 : 2	80.0629	160.0041	25.1096	31.36	80.0071	160.0	40.4257	50.53
	1 : 3	80.0801	240.0084	24.2072	30.23	80.0019	240.0	40.4795	50.60
	1 : 4	80.0032	320.0105	22.8092	28.51	80.0025	320.0	40.3493	50.44

ตารางที่ ข. 2 การทดสอบหาค่า Iodine Number ของถั่วกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และล้างด้วยน้ำ

Chemical	#1	#2	เฉลี่ย
0.1000 N KIO ₃ (ml)	25.0	25.0	25.0
Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	25.05	25.10	25.08

Chemical	#1	#2	เฉลี่ย
Iodine solution (ml)	25.0	25.0	25.0
Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	20.10	20.05	20.08

อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ซีลีเนียม : NaCl (w/w)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			C			Iodine Number (mg/g)
		ถั่วกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	ถั่วกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	ถั่วกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	C1	C2	C3	
500	1 : 1	3.7797	15.06	158.0	3.3022	17.10	163.6	2.8271	19.80	164.5	0.0300	0.0341	0.0395	143.9
	1 : 2	2.8851	17.45	183.9	2.4420	19.90	189.3	2.1504	21.70	191.7	0.0348	0.0397	0.0433	173.0
	1 : 3	2.8299	16.40	197.8	2.4982	18.50	200.7	2.1338	20.15	213.4	0.0327	0.0369	0.0402	170.3
	1 : 4	3.7821	15.70	153.2	3.3947	17.60	155.0	2.8794	20.05	159.1	0.0313	0.0351	0.0400	145.0
600	1 : 1	3.2823	10.45	221.0	2.8319	13.40	227.1	2.4464	16.20	231.1	0.0208	0.0267	0.0323	220.5
	1 : 2	3.2415	15.55	180.0	2.8871	17.50	183.3	2.4390	20.10	187.3	0.0310	0.0349	0.0401	171.2
	1 : 3	3.2228	12.75	205.2	2.8176	15.10	211.5	2.4242	17.25	221.1	0.0254	0.0301	0.0344	194.9
	1 : 4	3.2319	9.45	233.1	2.8153	11.70	245.3	2.4094	14.70	252.0	0.0188	0.0233	0.0293	236.3
700	1 : 1	3.2205	7.25	252.9	2.8269	10.20	259.1	2.4281	12.25	278.1	0.0145	0.0203	0.0244	263.9
	1 : 2	2.5232	10.20	290.2	2.2847	12.25	295.6	1.8162	17.15	296.7	0.0203	0.0244	0.0342	291.6
	1 : 3	2.1685	12.10	313.3	2.2517	11.00	315.3	1.8421	15.30	320.5	0.0241	0.0219	0.0305	312.4
	1 : 4	2.8515	8.00	278.3	2.4112	12.00	282.9	2.1804	14.10	286.1	0.0159	0.0239	0.0281	280.7
800	1 : 1	1.8321	8.80	421.0	1.6324	11.80	421.3	1.4074	15.00	425.4	0.0175	0.0235	0.0299	421.2
	1 : 2	2.5106	6.25	335.5	2.2086	8.75	349.9	1.8354	13.05	355.8	0.0125	0.0174	0.0260	348.9
	1 : 3	2.2937	6.40	365.4	1.9986	9.60	374.8	1.7409	12.30	387.1	0.0128	0.0191	0.0245	377.8
	1 : 4	2.0602	6.80	401.4	1.8131	9.65	412.4	1.5886	12.80	415.4	0.0136	0.0192	0.0255	410.3

ตารางที่ ข. 3 การทดสอบหาค่า Iodine Number ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และล้างด้วยกรดเจือจาง

Chemical	#1	#2	เฉลี่ย
0.1000 N KIO ₃ (ml)	25.0	25.0	25.0
Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	25.05	25.10	25.08

Chemical	#1	#2	เฉลี่ย
Iodine solution (ml)	25.0	25.0	25.0
Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	23.70	23.80	23.75

อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ซีลีเนียม : NaCl (w/w)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			C			Iodine Number (mg/g)
		ถ่านกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	ถ่านกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	ถ่านกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	C1	C2	C3	
500	1 : 1	3.7884	15.40	204.1	3.3681	17.20	214.7	2.8298	19.75	230.5	0.0307	0.0343	0.0394	171.5
	1 : 2	2.8134	17.95	249.6	2.4551	19.85	264.5	2.1317	21.90	277.9	0.0358	0.0396	0.0437	193.5
	1 : 3	3.2348	14.40	247.7	2.8140	17.05	258.5	2.4244	18.95	278.2	0.0287	0.0340	0.0378	217.2
	1 : 4	2.8393	18.60	241.0	2.4645	21.10	249.4	2.1621	23.15	257.9	0.0371	0.0421	0.0462	209.0
600	1 : 1	2.5481	15.15	306.2	2.2187	17.20	326.0	1.8571	20.20	344.5	0.0302	0.0343	0.0403	269.7
	1 : 2	2.8690	17.25	251.6	2.4979	19.35	265.6	2.1341	21.70	280.2	0.0344	0.0386	0.0433	205.4
	1 : 3	2.8549	15.80	267.0	2.4838	17.65	286.1	2.1913	20.40	289.4	0.0315	0.0352	0.0407	244.5
	1 : 4	3.2292	9.40	291.2	2.8368	12.30	303.0	2.4242	15.45	318.4	0.0187	0.0245	0.0308	293.6
700	1 : 1	2.8324	10.90	317.3	2.4320	14.05	333.4	2.1972	15.80	346.9	0.0217	0.0280	0.0315	311.5
	1 : 2	2.5203	10.75	358.2	2.2163	13.60	371.5	1.8443	17.10	393.6	0.0214	0.0271	0.0341	353.3
	1 : 3	2.8751	6.80	352.2	2.4097	10.35	379.3	2.1085	12.80	401.1	0.0136	0.0206	0.0255	378.0
	1 : 4	2.8629	8.50	337.2	2.4328	11.70	360.2	2.1601	14.35	371.5	0.0169	0.0233	0.0286	347.6
800	1 : 1	1.8695	8.85	511.2	1.6099	12.25	534.8	1.4003	15.65	547.3	0.0176	0.0244	0.0312	519.4
	1 : 2	2.8185	5.05	376.6	2.4312	8.50	397.1	2.1082	11.10	423.6	0.0101	0.0169	0.0221	413.1
	1 : 3	1.7313	13.00	485.3	1.5110	16.30	495.2	1.3438	18.90	503.0	0.0259	0.0325	0.0377	476.4
	1 : 4	2.2561	5.35	466.8	1.9135	9.10	495.8	1.7088	11.70	512.8	0.0107	0.0181	0.0233	501.4

ตารางที่ ข. 4 การทดลองหาค่า Iodine Number ของถั่วกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ และล้างด้วยน้ำ

Chemical	#1	#2	เฉลี่ย
0.1000 N KIO ₃ (ml)	25.0	25.0	25.0
Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	25.40	25.40	25.40

Chemical	#1	#2	เฉลี่ย
Iodine solution (ml)	25.0	25.0	25.0
Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	24.60	24.65	24.63

อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ซีลีเนียม : NaCl (w/w)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			C			Iodine Number (mg/g)
		ถ่านกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	ถ่านกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	ถ่านกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	C1	C2	C3	
500	1 : 1	1.1914	9.00	825.5	1.0479	11.40	875.6	0.9026	13.85	941.9	0.0179	0.0227	0.0276	850.5
	1 : 2	2.5179	13.05	346.4	2.2077	14.60	375.7	1.9109	15.85	416.1	0.0260	0.0291	0.0316	272.2
	1 : 3	1.4126	8.50	705.9	1.2399	10.95	749.9	1.0712	13.00	815.5	0.0169	0.0218	0.0259	741.0
	1 : 4	2.5110	15.00	326.0	2.2163	17.10	343.3	1.9163	19.30	365.5	0.0299	0.0341	0.0385	280.7
600	1 : 1	1.1332	8.50	880.0	0.9968	10.95	932.8	0.8720	13.05	1000.2	0.0169	0.0218	0.0260	919.7
	1 : 2	1.2778	6.80	817.0	1.1097	8.95	887.5	0.9563	11.40	959.4	0.0136	0.0178	0.0227	922.0
	1 : 3	1.2699	9.75	758.2	1.1126	11.35	825.9	0.9641	13.95	879.0	0.0194	0.0226	0.0278	718.2
	1 : 4	1.1890	9.15	823.7	1.0567	10.95	880.0	0.9094	13.65	940.9	0.0182	0.0218	0.0272	853.2
700	1 : 1	1.1998	6.30	881.5	1.0603	8.50	940.5	0.9139	11.55	999.4	0.0126	0.0169	0.0230	970.8
	1 : 2	1.1811	6.20	897.8	0.9956	9.15	983.7	0.8713	11.85	1038.8	0.0124	0.0182	0.0236	1000.5
	1 : 3	1.1925	6.90	873.1	1.0557	8.55	943.3	0.9191	11.05	1008.7	0.0138	0.0170	0.0220	984.0
	1 : 4	1.1471	8.75	863.3	1.0023	11.25	919.5	0.8561	13.90	991.5	0.0174	0.0224	0.0277	896.1
800	1 : 1	1.1895	6.60	882.2	1.0558	9.55	917.2	0.9073	12.25	985.5	0.0132	0.0190	0.0244	940.6
	1 : 2	1.3180	6.20	804.6	0.9916	9.40	980.7	0.8548	12.45	1039.6	0.0124	0.0187	0.0248	971.9
	1 : 3	1.0995	6.40	959.5	0.9556	8.60	1040.7	0.8435	11.00	1100.8	0.0128	0.0171	0.0219	1079.0
	1 : 4	1.1655	6.40	905.1	1.0061	9.35	967.9	0.8633	12.30	1034.1	0.0128	0.0186	0.0245	986.5

ตารางที่ ข. 5 การทดลองหาค่า Iodine Number ของถั่วกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ และล้างด้วยกรดเจือจาง

Chemical	#1	#2	เฉลี่ย
0.1000 N KIO ₃ (ml)	25.0	25.0	25.0
Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	25.05	25.10	25.08

Chemical	#1	#2	เฉลี่ย
Iodine solution (ml)	25.0	25.0	25.0
Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	20.10	20.05	20.08

อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ซีลีเนียม : NaCl (w/w)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			C			Iodine Number (mg/g)
		ถ่านกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	ถ่านกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	ถ่านกัมมันต์ (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)	X/M	C1	C2	C3	
500	1 : 1	1.4165	7.60	568.1	1.2298	9.05	621.5	1.0685	9.75	697.1	0.0152	0.0180	0.0194	905.7
	1 : 2	1.4176	19.20	339.9	1.2294	21.50	339.8	1.0633	22.85	357.6	0.0383	0.0429	0.0456	323.9
	1 : 3	1.4081	8.10	561.6	1.2147	10.45	597.2	1.0839	12.35	620.4	0.0161	0.0208	0.0246	764.4
	1 : 4	1.4128	18.25	359.7	1.2004	21.10	357.3	1.0112	22.40	388.4	0.0364	0.0421	0.0447	345.8
600	1 : 1	1.1821	6.60	704.3	1.0470	8.50	744.6	0.8880	11.20	793.3	0.0132	0.0169	0.0223	1000.8
	1 : 2	1.3394	5.80	638.2	1.1610	7.05	706.3	1.0008	9.20	759.6	0.0116	0.0141	0.0183	1026.2
	1 : 3	1.3166	7.95	603.8	1.1609	10.00	635.6	1.0019	12.50	667.0	0.0158	0.0199	0.0249	822.3
	1 : 4	1.2555	6.40	667.5	1.1098	8.00	715.1	0.9470	10.20	773.3	0.0128	0.0159	0.0203	996.7
700	1 : 1	1.2509	5.15	697.8	1.1015	7.10	743.2	0.9470	9.85	783.6	0.0103	0.0142	0.0196	1021.3
	1 : 2	1.1833	4.80	745.9	1.0411	6.80	794.3	0.8917	9.40	846.2	0.0096	0.0136	0.0187	1113.1
	1 : 3	1.1300	6.15	747.8	0.9935	7.75	805.8	0.8509	10.20	860.7	0.0123	0.0155	0.0203	1113.1
	1 : 4	1.1355	7.00	723.4	0.9907	9.10	770.1	0.8597	11.80	800.0	0.0140	0.0181	0.0235	1006.5
800	1 : 1	1.2590	5.00	696.6	1.1126	7.15	734.5	0.9460	10.55	763.8	0.0100	0.0143	0.0210	985.0
	1 : 2	1.2569	5.30	691.2	1.1055	7.35	734.2	0.9429	10.60	764.9	0.0106	0.0147	0.0211	985.4
	1 : 3	1.1300	3.95	802.0	0.9910	7.45	816.2	0.8589	10.45	844.5	0.0079	0.0149	0.0208	1085.2
	1 : 4	1.1311	6.40	741.0	0.9908	8.80	778.5	0.8553	11.70	807.4	0.0128	0.0175	0.0233	1023.0

ตารางที่ ข. 6 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ pH ต่างๆ (ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น = 10.0 mg/L)

Sample	pH(เริ่มต้น) 6.0			pH(เริ่มต้น) 7.0			pH(เริ่มต้น) 8.0			pH(เริ่มต้น) 9.0		
	น้ำหนัก (g)	pH(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
1Z7H	0.1003	6.25	0.0257	0.1019	6.86	0.0086	0.1016	6.61	0.0289	0.1008	6.96	0.0085
	0.1013	6.29	0.0227	0.1006	6.86	0.0076	0.1004	6.74	0.0401	0.1003	7.04	0.0090
	0.1014	6.53	0.0241	0.1010	6.94	0.0099	0.1002	6.98	0.0412	0.1006	7.11	0.0088
1N8H	0.1004	4.65	4.41	0.1014	5.85	1.54	0.1000	5.71	0.94	0.1010	6.13	4.41
	0.1003	4.83	4.62	0.1023	5.80	1.44	0.1015	5.68	0.95	0.1008	6.28	4.62
	0.1016	4.99	4.37	0.1020	5.88	1.64	0.0999	5.71	0.92	0.1011	6.25	4.37
Co-A	0.1013	3.59	5.91	0.1002	3.70	2.93	0.1011	3.72	2.86	0.1006	3.90	2.75
	0.1011	3.58	5.98	0.1007	3.68	2.98	0.1009	3.69	2.72	0.0997	3.89	2.74
	0.1007	3.59	5.95	0.1014	3.66	3.06	0.1020	3.69	2.78	0.1003	3.89	2.74

ตารางที่ ข. 7 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ 1Z7H ที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน

ถ่านกัมมันต์ 1Z7H									
เวลา สัมผัส (min.)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1		
	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
0	0.0000	6.95	3.20	0.0000	6.95	3.47	0.0000	6.95	3.72
15	0.1000	7.02	0.0500	0.1002	7.17	0.0207	0.1004	7.13	0.0190
30	0.1003	7.03	0.0256	0.1006	6.98	0.0216	0.0999	6.88	0.0145
45	0.1010	6.80	0.0277	0.1001	6.98	0.0212	0.1016	6.93	0.0174
60	0.1008	7.07	0.0257	0.1009	7.10	0.0169	0.1004	7.13	0.0180
90	0.1008	6.90	0.0262	0.1005	7.02	0.0210	0.1000	7.07	0.0285
120	0.1012	7.21	0.0159	0.1002	7.18	0.0272	0.1000	7.16	0.0308

ตารางที่ ข. 8 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ 1N8H ที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน

ถ่านกัมมันต์ 1N8H									
เวลา สัมผัส (min.)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1		
	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
0	0.0000	8.02	1.67	0.0000	8.02	1.62	0.0000	8.02	1.38
15	0.1010	6.27	0.87	0.1007	6.30	0.91	0.1008	6.28	0.90
30	0.1003	6.23	0.58	0.1012	6.18	0.60	0.1005	6.19	0.67
45	0.1003	6.39	0.67	0.1006	6.36	0.91	0.1008	6.41	0.83
60	0.1001	6.36	1.05	0.1002	6.36	0.99	0.1012	6.37	0.89
90	0.1007	6.36	1.06	0.1005	6.41	0.95	0.1007	6.39	0.95
120	0.1010	6.34	1.07	0.1014	6.39	0.90	0.1011	6.39	1.28

ตารางที่ ข. 9 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ CO-A ที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน

ถ่านกัมมันต์ CO-A									
เวลา สัมผัส (min.)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1		
	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
0	0.0000	6.95	3.20	0.0000	6.95	3.47	0.0000	6.95	3.72
15	0.1004	3.81	3.82	0.1009	3.80	3.74	0.1001	3.84	3.75
30	0.1000	3.79	3.81	0.0997	3.80	3.86	0.1014	3.80	3.92
45	0.1011	3.77	3.30	0.1000	3.77	3.28	0.0998	3.76	3.28
60	0.1001	3.79	3.44	0.1000	3.81	3.44	0.1011	3.80	3.30
90	0.0999	3.81	3.44	0.1013	3.80	3.46	0.1005	3.79	3.41
120	0.1010	3.81	3.82	0.1006	3.81	3.83	0.1001	3.81	3.85

ตารางที่ ข. 10 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่เติม NaNO_3 ความเข้มข้นต่างกัน

ถ่านกัมมันต์ 1Z7H									
NaNO_3 (M)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1		
	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
0	0.1001	7.13	0.0125	0.0998	7.14	0.0439	0.1010	7.16	0.0118
0.010	0.1009	7.14	0.0105	0.1010	7.15	0.0297	0.1008	7.16	0.0426
0.025	0.1002	7.15	0.0136	0.1004	7.14	0.0179	0.1008	7.16	0.0242
0.050	0.1008	7.14	0.0103	0.1009	7.16	0.0103	0.0999	7.11	0.0434
0.075	0.0999	7.16	0.0186	0.1007	7.13	0.0269	0.1001	7.12	0.0170
0.100	0.1002	7.14	0.0122	0.1000	7.18	0.0191	0.1004	7.19	0.0323

ถ่านกัมมันต์ 1N8H									
NaNO_3 (M)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1		
	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
0	0.1007	6.15	1.17	0.1002	5.92	1.19	0.1004	5.97	1.23
0.010	0.1007	6.04	1.08	0.1008	6.06	1.23	0.1001	6.09	1.20
0.025	0.1003	6.10	1.13	0.1008	6.12	1.06	0.1006	6.17	1.04
0.050	0.1002	6.11	1.00	0.1002	6.16	0.88	0.1005	6.22	0.87
0.075	0.1004	6.25	0.82	0.1001	6.30	0.88	0.1005	6.29	0.88
0.100	0.1002	6.30	0.84	0.1006	6.29	0.95	0.1009	6.29	0.74

ถ่านกัมมันต์ CO-A									
NaNO_3 (M)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 1		
	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
0	0.1002	3.71	3.24	0.1002	3.70	3.12	0.1000	3.72	3.12
0.010	0.1001	3.73	3.11	0.1002	3.72	3.15	0.1008	3.71	3.04
0.025	0.1005	3.74	3.17	0.1004	3.72	3.06	0.1005	3.72	3.07
0.050	0.1004	3.62	2.46	0.1005	3.64	2.40	0.1002	3.66	2.41
0.075	0.1004	3.70	2.60	0.1006	3.70	2.67	0.1004	3.71	2.70
0.100	0.1003	3.71	2.70	0.1000	3.70	2.59	0.1000	3.70	2.69

ตารางที่ ข. 11 การทดสอบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ 1Z7H และ 1N8H

ถ่านกัมมันต์ 1Z7H								
ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
0	6.95	3.20	0	6.95	3.47	0	6.95	3.72
0.0097	7.03	1.29	0.0108	7.08	0.94	0.0106	7.12	0.88
0.0198	7.22	0.45	0.0198	7.03	0.27	0.0212	7.09	-
0.0399	7.22	0.33	0.0406	7.04	0.29	0.0409	7.10	0.20
0.0805	7.25	0.23	0.0802	7.13	0.13	0.0807	7.08	-
0.1011	7.26	0.0066	0.1006	7.14	0.0235	0.1004	7.11	0.0530

ถ่านกัมมันต์ 1N8H								
ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)	น้ำหนัก (g)	pH _(สุดท้าย)	ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
0	8.02	1.67	0	8.02	1.62	0	8.02	1.38
0.1004	6.19	1.20	0.1007	6.24	0.81	0.1000	6.16	1.07
0.2006	6.05	0.46	0.2012	5.95	0.41	0.2008	6.03	0.44
0.4008	5.88	0.18	0.4005	5.78	0.14	0.3996	5.75	0.13
0.5996	5.86	0.12	0.6014	5.68	0.09	0.6007	5.60	0.06
0.9997	5.77	0.07	1.0008	5.61	0.04	1.001	5.43	0.02

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข. 12 การกำจัดตะกั่วในถังดูดติดยูวีแบบแท่งของถ่านกัมมันต์ 1Z7H

1Z7H														
time (hrs.min)	depth 0 cm.		depth 30 cm.			depth 60 cm.			depth 90 cm.			depth 120 cm.		
	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal
1.00	7.03	7.26	7.96	0.05	99.31	7.78	0.04	99.45	7.57	0.02	99.72	7.66	0.00	100.00
3.00	7.61	5.20	7.92	0.06	98.85	7.76	0.03	99.42	7.64	0.01	99.81	7.56	0.00	100.00
5.00	7.66	4.84	7.85	0.09	98.14	7.84	0.03	99.38	7.71	0.02	99.59	7.62	0.02	99.59
7.00	7.72	4.41	7.78	0.11	97.51	7.87	0.04	99.09	7.78	0.00	100.00	7.73	0.01	99.77
9.00	7.86	3.34	7.76	0.37	88.92	7.81	0.09	97.31	7.70	0.02	99.40	7.57	0.02	99.40
11.00	7.90	2.56	7.65	0.46	82.03	7.68	0.14	94.53	7.64	0.04	98.44	7.57	0.02	99.22
13.00	7.99	2.15	7.69	0.44	79.53	7.59	0.16	92.56	7.60	0.03	98.60	7.54	0.00	100.00
15.00	7.74	4.13	7.81	0.41	90.07	7.67	0.17	95.88	7.66	0.04	99.03	7.44	0.01	99.76
24.00	8.02	1.86	8.04	0.17	90.86	7.98	0.06	96.77	7.92	0.01	99.46	7.87	0.00	100.00
28.00	8.14	0.95	8.05	0.24	74.74	8.00	0.08	91.58	7.97	0.02	97.89	7.88	0.00	100.00
34.00	7.89	2.17	7.89	0.24	88.94	7.78	0.06	97.24	7.69	0.01	99.54	7.63	0.00	100.00
53.00	7.84	2.54	7.59	0.20	92.13	7.69	0.06	97.64	7.77	0.01	99.61	7.80	0.01	99.61
71.00	7.27	3.62	6.52	0.12	96.69	7.40	0.04	98.90	7.52	0.00	100.00	7.50	0.00	100.00
90.30	7.60	1.80	7.56	0.31	82.78	7.56	0.07	96.11	7.59	0.02	98.89	7.57	0.00	100.00
109.30	7.35	4.67	7.33	0.63	86.51	7.32	0.09	98.07	7.35	0.04	99.14	7.42	0.01	99.79

ตารางที่ ข. 12 การกำจัดตะกั่วในถังดูดติดยวแบบแห้งของถ่านกัมมันต์ 1Z7H (ต่อ)

1Z7H														
time (hrs.min)	depth 0 cm.		depth 30 cm.			depth 60 cm.			depth 90 cm.			depth 120 cm.		
	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal
121.00	7.30	5.69	7.28	0.95	83.30	7.16	0.10	98.24	7.16	0.07	98.77	7.23	0.02	99.65
145.00	7.74	1.08	7.47	0.76	29.63	7.30	0.08	92.59	7.17	0.03	97.22	7.09	0.00	100.00
164.00	7.30	3.09	7.41	1.37	55.66	7.27	0.12	96.12	7.21	0.03	99.03	7.20	0.00	100.00
171.00	7.22	5.26	7.18	1.64	68.82	7.14	0.12	97.72	7.12	0.06	98.86	7.04	0.02	99.62
182.00	7.62	1.61	7.37	1.43	11.18	7.21	0.07	95.65	7.16	0.03	98.14	7.17	0.02	98.76
206.00	7.76	1.98	7.70	1.27	35.86	7.49	0.43	78.28	7.39	0.08	95.96	7.32	0.03	98.48
220.30	7.79	1.89	7.60	1.11	41.27	7.48	0.55	70.90	7.41	0.11	94.18	7.37	0.04	97.88
243.30	8.13	1.47	7.91	1.04	29.25	7.79	0.67	54.42	7.75	0.10	93.20	7.68	0.05	96.60
256.00	7.74	1.15	7.62	0.96	16.52	7.53	0.66	42.61	7.46	0.07	93.91	7.45	0.03	97.39
281.30	7.80	6.25	7.74	1.16	81.44	7.63	0.78	87.52	7.55	0.08	98.72	7.52	0.04	99.36
291.00	7.72	1.26	7.70	0.92	26.98	7.67	0.78	38.10	7.60	0.10	92.06	7.57	0.07	94.44
305.00	7.83	1.01	7.75	0.93	7.92	7.68	0.79	21.78	7.63	0.14	86.14	7.67	0.10	90.10

ตารางที่ ข. 13 การกำจัดตะกั่วในถังดูดติตผิวแบบแท่งของถ่านกัมมันต์ 1N8H

1N8H														
time (hrs.min)	depth 0 cm.		depth 30 cm.			depth 60 cm.			depth 90 cm.			depth 120 cm.		
	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal
0.20	7.98	3.22	7.83	0.01	99.69	7.69	0.02	99.38	7.57	0.03	99.07	7.46	0.02	99.38
0.40	8.02	3.61	7.88	0.09	97.51	7.77	0.01	99.72	7.63	0.00	100.00	7.50	0.01	99.72
1.00	7.97	3.90	7.75	0.21	94.62	7.80	0.04	98.97	7.69	0.03	99.23	7.55	0.02	99.49
2.00	7.98	5.16	7.97	0.49	90.50	7.89	0.02	99.61	7.82	-	-	7.66	0.02	99.61
6.00	7.98	4.54	7.81	0.72	84.14	7.72	0.06	98.68	7.64	0.04	99.12	7.70	0.03	99.34
9.00	7.98	3.48	7.94	1.03	70.40	7.87	0.06	98.28	7.79	0.02	99.43	7.68	0.04	98.85
12.00	8.03	2.78	7.99	0.92	66.91	8.02	0.14	94.96	7.96	0.02	99.28	7.90	0.03	98.92
16.00	8.20	2.34	8.15	0.72	69.23	8.1	0.17	92.74	8.04	0.01	99.57	7.99	0.02	99.15
20.00	8.13	2.96	8.09	0.83	71.96	8.04	0.23	92.23	7.97	0.01	99.66	7.89	0.02	99.32
23.00	8.12	4.53	7.93	0.39	91.39	7.83	0.06	98.68	7.84	0.01	99.78	7.85	0.03	99.34
29.00	8.13	3.70	8.09	0.95	74.32	7.93	0.17	95.41	7.84	0.02	99.46	7.76	0.02	99.46
35.00	8.17	2.91	8.15	0.96	67.01	8.12	0.29	90.03	8.07	0.00	100.00	7.99	0.00	100.00
47.00	8.10	1.16	8.07	0.34	70.69	8.02	0.21	81.90	7.96	0.00	100.00	7.85	0.01	99.14
59.00	7.91	0.63	7.74	0.27	57.14	7.65	0.13	79.37	7.53	-	-	7.36	0.01	98.41
74.00	8.23	0.95	8.27	0.39	58.95	8.26	0.15	84.21	8.20	0.04	95.79	8.10	0.01	98.95

ตารางที่ ข. 13 การกำจัดตะกั่วในถังดูดติตผิวแบบแท่งของถ่านกัมมันต์ 1N8H (ต่อ)

1N8H														
time (hrs.min)	depth 0 cm.		depth 30 cm.			depth 60 cm.			depth 90 cm.			depth 120 cm.		
	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal	pH _(สุดท้าย)	[Pb ²⁺] (mg/g)	%removal
82.30	7.96	1.46	8.06	0.46	68.49	8.08	0.36	75.34	8.04	0.22	84.93	7.98	-	-
92.00	7.90	2.13	7.90	1.34	37.09	7.91	0.70	67.14	7.89	0.36	83.10	7.86	0.09	95.77
97.30	7.75	1.62	7.77	1.27	21.60	7.76	0.70	56.79	7.75	0.31	80.86	7.75	0.08	95.06
103.30	7.88	1.55	7.84	0.73	52.90	7.79	0.48	69.03	7.45	0.29	81.29	7.67	0.07	95.48
127.30	8.03	0.76	7.98	0.37	51.32	7.96	0.26	65.79	7.97	0.11	85.53	7.85	0.04	94.74
139.30	7.86	3.38	7.86	0.66	80.47	7.89	0.31	90.83	7.89	0.19	94.38	7.93	0.06	98.22
146.00	7.86	2.26	7.82	0.64	71.68	7.73	0.54	76.11	7.65	0.15	93.36	7.51	0.04	98.23
153.00	7.78	2.65	7.77	0.78	70.57	7.73	0.65	75.47	7.64	0.36	86.42	7.58	0.16	93.96
164.30	7.93	2.41	7.73	0.92	61.83	6.85	0.57	76.35	7.65	0.30	87.55	7.54	0.14	94.19
176.00	7.95	0.75	7.83	0.67	10.67	7.79	0.53	29.33	7.69	0.36	52.00	7.72	0.20	73.33

ภาคผนวก ค

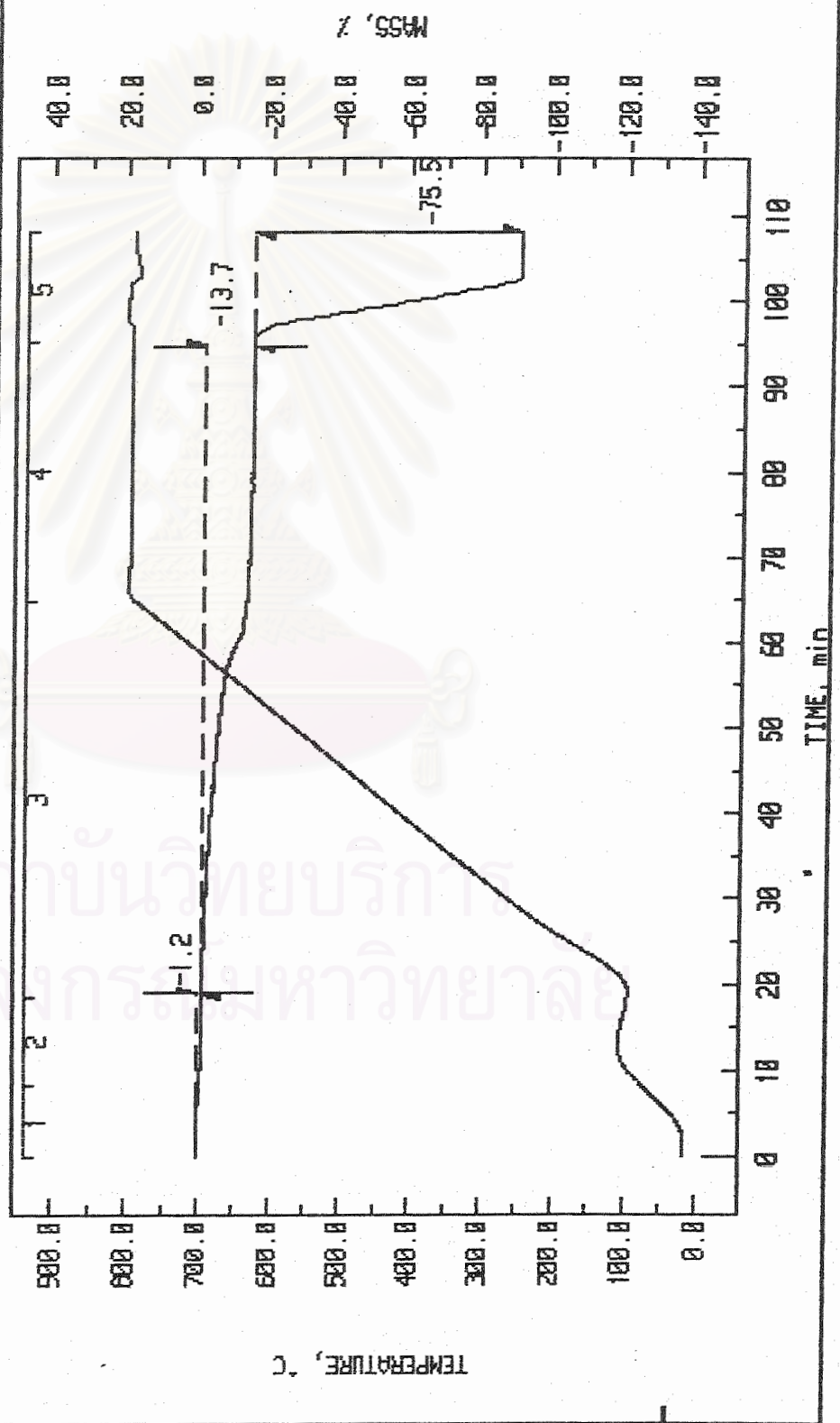
ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง TGA



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

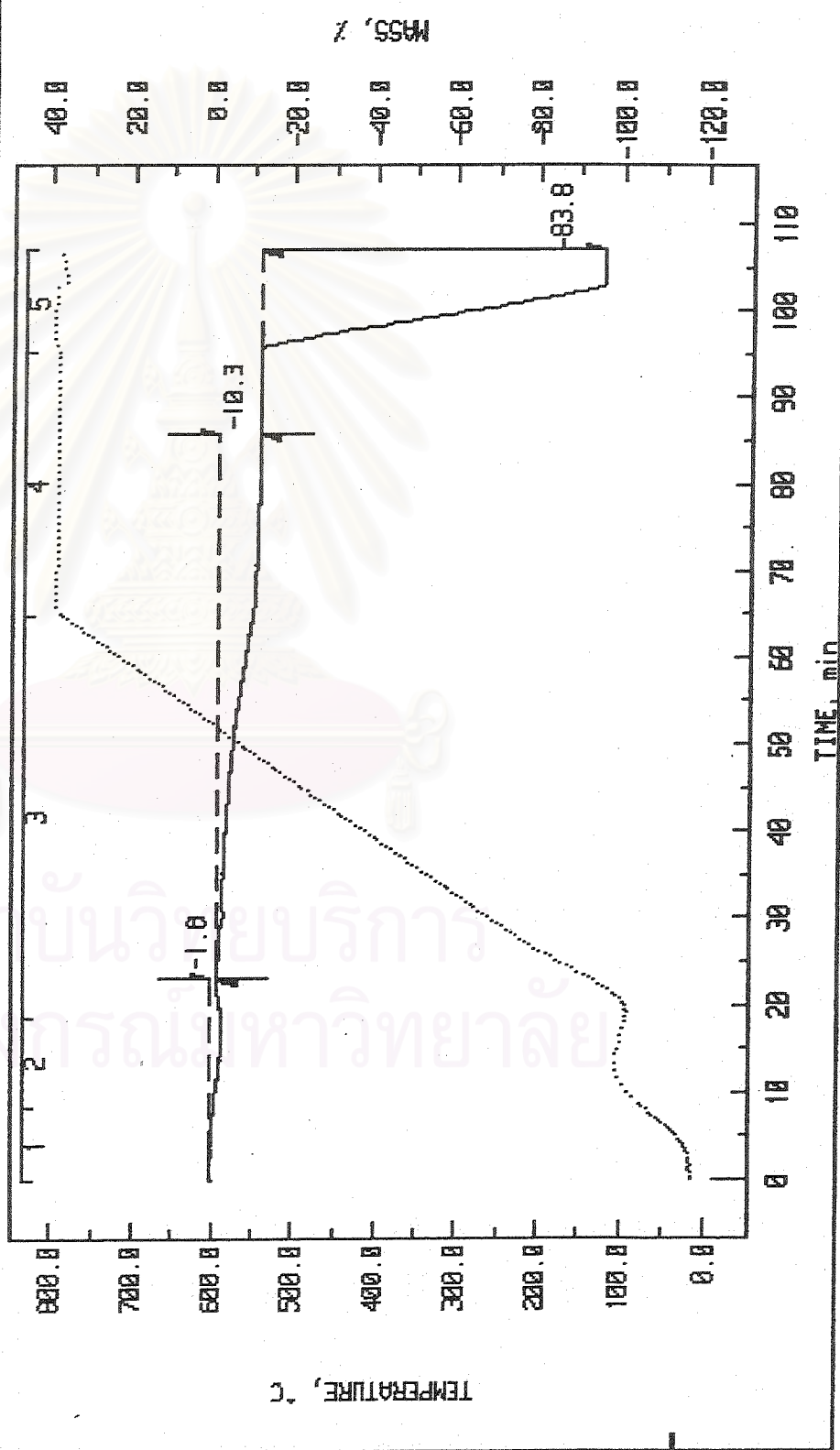
DATE	: 22 Jan 2002	DESCRIPTION	SAMPLE	REFERENCE
TIME	: 13:26:24	WEIGHT	mg	16.3
PROJECT I.D.	: NANOPI	CHANNEL	RANGE	RAW
TEST I.D.	: N27	TEMPERATURE	4000	X
SAMPLE	: No 1	MASS	500	
REFERENCE	: EMPTY			
HEATING RATE	: 10/0/15/0/0			
TENP RANGE	: 20/000			
ATNOSPHERE	: N2			
FLOW RATE	: 50/50			
INSTRUMENT	: NETZSCH STA 400 C			

ถ่านกัมมันต์ 1NB



DATE	: 23 Jan 2002	DESCRIPTION	SAMPLE	REFERENCE
TIME	: 11:58:16	WEIGHT	17.7	8.0
PROJECT I.D.	: MANDP	CHANNEL	RANGE	COR.
TEST I.D.	: N29	TEMPERATURE	4000	
SAMPLE	: 1N 0H	MASS	500	010001
REFERENCE	: EMPTY			
HEATING RATE	: 10/0/15/0/0			
TEMP RANGE	: 20/000			
ATMOSPHERE	: N2			
FLOW RATE	: 50/50			
INSTRUMENT	: NETZSCH STA 409 C			

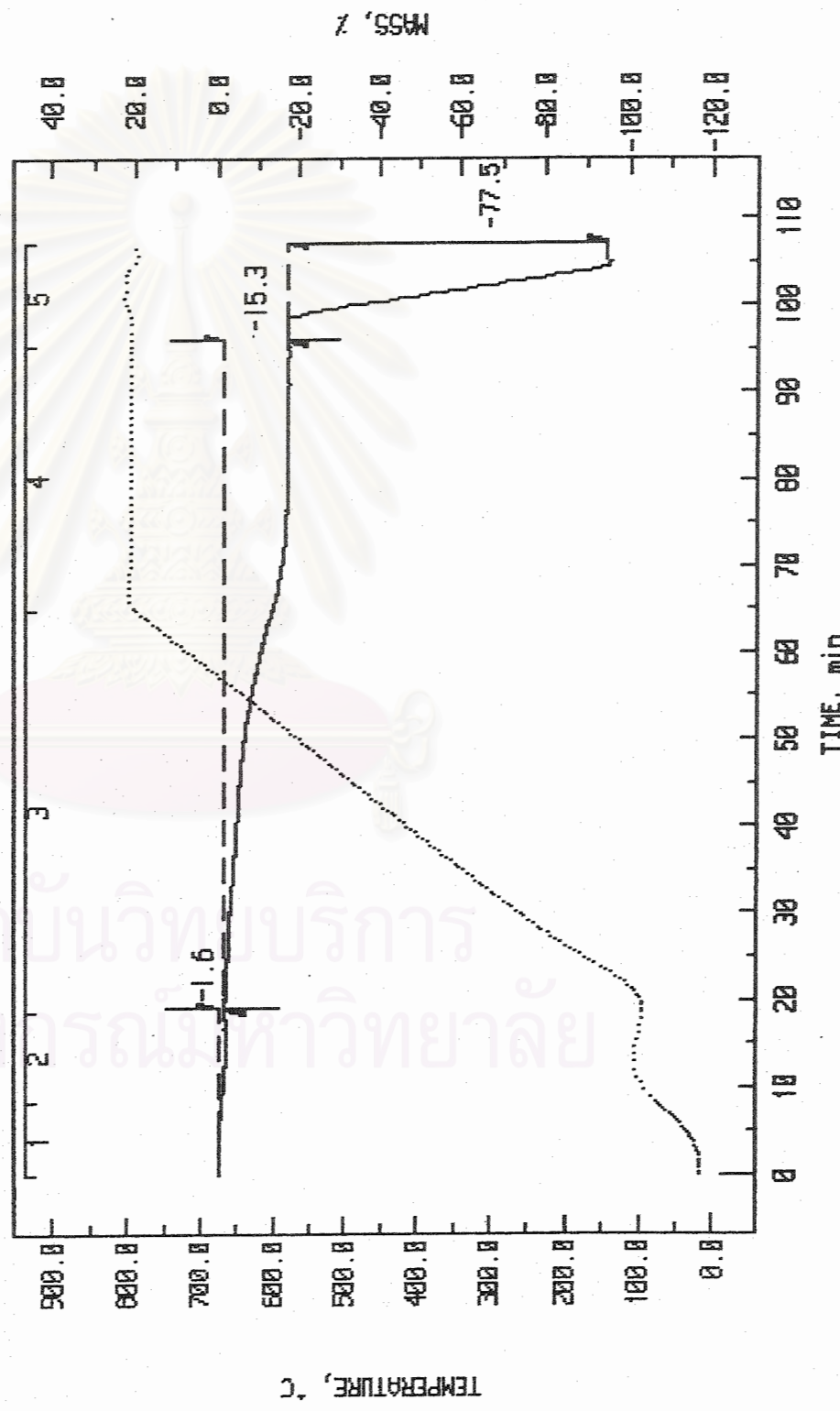
1 17.7 8.0 1N8H



DATE : 25 Jan 2002
 TIME : 16:37:38
 PROJECT I.D. : MANDP
 TEST I.D. : N31
 SAMPLE : 127
 REFERENCE : EMPTY
 HEATING RATE : 18/8/15/0/0
 TEMP RANGE : 20/000
 ATMOSPHERE : N2
 FLOW RATE : 50/58
 INSTRUMENT : NETZSCH STA 489 C

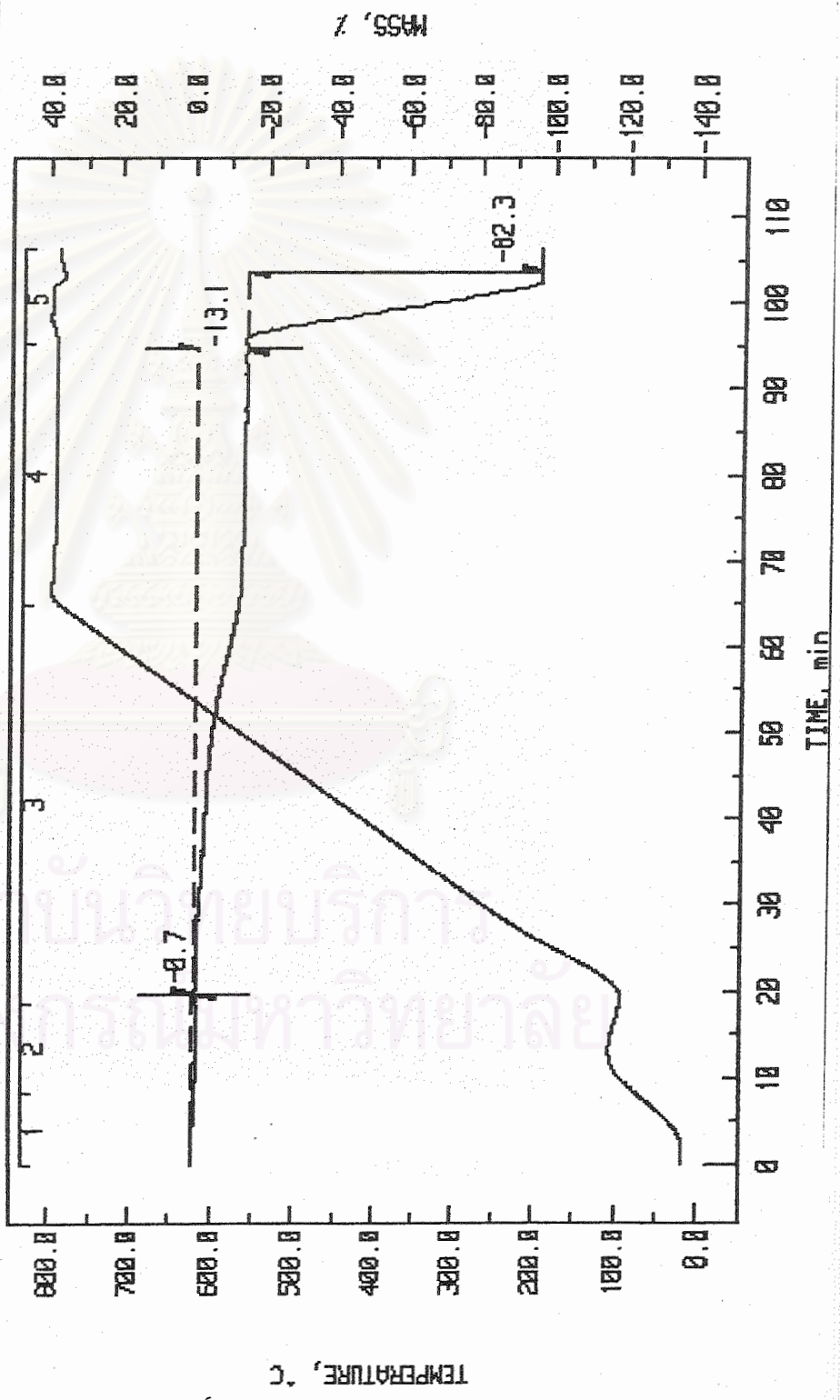
DESCRIPTION :
 WEIGHT : mg
 CHANNEL : RANGE : 4000
 TEMPERATURE : MASS : 500
 SAMPLE : 18.0
 RAW : X
 COR. : 010000
 REFERENCE : 0.0

สารกึ่งนำของ 127



DATE	: 28 Jan 2002	DESCRIPTION	SAMPLE	REFERENCE
TIME	: 14:37:47	WEIGHT	16.3	0.0
PROJECT I.D.	: NANO	CHANNEL	RANGE	COR.
TEST I.D.	: N32	TEMPERATURE	4000	X
SAMPLE	: 127H	MASS	500	010000
REFERENCE	: EMPTY			
HEATING RATE	: 10/0/15/0/0			
TEMP RANGE	: 20/000			
ATMOSPHERE	: N2			
FLOW RATE	: 50/50			
INSTRUMENT	: NETZSCH STA 489 C			

สำนักงานเขต 127H



ภาคผนวก ง

รูปภาพอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



หม้อดินที่ใช้ในการเผากระตุน



เตาเผา (multiple furnace) : VALCAN, Model 3-1750, USA.



ตู้อบ (Oven) : WTB Binder, Germany



เครื่องเขย่า (shaker) ยี่ห้อ K รุ่น VRN-360



เครื่อง pH Meter : DKK, Model pHL-20, Japan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี (AAS) : Varian, Model SpectrAA-300, USA.



กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) : JEOL, Model JSM-6400, Japan.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายมานพ ตีระรัตนสมโภช เกิดวันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2506 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2533

เมื่อจบการศึกษาระดับปริญญาตรีได้เข้าทำงานในบริษัทเอกชน 2 แห่ง คือ บริษัท จงสถิตย์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทและโรงงานขนาดใหญ่ในการผลิตสิ่งทอและการฟอกย้อมสีให้กับตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ ในตำแหน่งหัวหน้าห้องแล็บ ทำหน้าที่ควบคุมและออกสูตรสีย้อม ตามความต้องการของลูกค้าให้กับฝ่ายผลิต ระยะเวลาทำงานที่บริษัทแห่งนี้ประมาณ 1 ปีครึ่ง และอีกแห่งคือ บริษัท ไชยทรอนิกส์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทจำหน่ายเครื่องมืออุปกรณ์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งสารเคมีพิเศษบางประเภท ในระหว่างทำงานที่บริษัทแห่งนี้ ได้มีโอกาสไปเข้าร่วมสัมมนาและฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการทางด้านเทคนิคการติดตั้งและการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ รวมทั้งเทคนิคการขายสินค้าเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ ณ ต่างประเทศหลายครั้ง ตำแหน่งสุดท้ายคือ ผู้จัดการฝ่ายบริการเทคนิค (Technical Service Manager) รวมระยะเวลาทำงานที่บริษัทแห่งนี้ประมาณ 3 ปี

ในปี 2537 เข้ารับราชการที่ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 ปัจจุบันยังคงรับราชการอยู่ที่ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย