

การดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้วัสดุเหลือทิ้ง
Heavy metal adsorption in waste water by waste materials

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุพัฒนา พายไธสง 56010370031

สุรีพร สารจันทร์ 56010370032

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบ ปริญญาโท ได้พิจารณาปริญญาโทฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญาโท

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชร เพ็งชัย)

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.นพพล เสี่ยมศักดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้อนุมัติให้รับปริญญาโทฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรพัฒน์ ชมภูคำ)

หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จสมบูรณ์ไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากบุคลากรใน คณะ-
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่
ได้ให้ความช่วยเหลือ ประสาทความรู้ การให้คำปรึกษาและข้อมูลตลอดระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์
ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่คอยให้
คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่อง และแนวทางแก้ไขปัญหามาโดยตลอด ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร.เพชร เท่งชัย และ อาจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ที่
ได้สละเวลาในการสอบปริญญานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆในการทำปริญญานิพนธ์ รวมถึง
เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่คอยอำนวยความสะดวก
และช่วยเหลือในการทำการทดลองจนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของผู้จัดทำที่คอยให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจและทุนทรัพย์
ในการทำปริญญานิพนธ์มาตลอดจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

สุพัตนา พายไธสง
สุรพร สารจันทร์



ชื่อเรื่อง	การดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้วัสดุเหลือทิ้ง
ผู้วิจัย	นางสาวสุพัตนา พายไธสง นางสาวสุรพร สารจันทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์
ปริญญา	วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2559

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ทำการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านแกลบและถ่านขาน้อย 3 ขนาด คือ หยาบ ปานกลาง และละเอียด โดยใช้วิธีการทดสอบแบบกะ หาค่าผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย ผลกระทบของระยะเวลาการดูดซับ ไอโซเทอมการดูดซับ พร้อมทั้งการร่างแบบจำลองการดูดซับของฟรอนด์ลิช และแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษากการชะตะกั่วออกจากก้อนมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของถ่านแกลบและถ่านขาน้อยที่ผ่านการดูดซับมาแล้ว

ผลการศึกษาพบว่าถ่านแกลบกับถ่านขาน้อยมีพฤติกรรมในการดูดซับคล้ายกัน โดยประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเพิ่มขึ้น การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นและสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 15 นาที ไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองของฟรอนด์ลิช แต่ไม่สอดคล้องกับแบบจำลองของแลงเมียร์ เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการดูดซับของถ่านแกลบและถ่านขาน้อยทั้ง 3 ขนาดพบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก จากการทดสอบการชะพบว่าไม่มีการชะตะกั่วออกจากก้อนมอร์ตาร์



TITLE	Heavy metal adsorption in waste water by waste material
AUTHOR	Miss Suphattana Phaithaisong Miss Sureeporn Sarakan
ADVISOR	Dr. Noppadol Sangiamsak
DEGREE	B.Eng. (Civil Engineering)
UNIVERSITY	Maharakham University YEAR 2016

ABSTRACT

This research aimed to study the adsorption behaviors of the rice husk ash and the bagasse ash with different size i.e., course, medium and fine on lead using the batch method. The effect of initial concentration, the effect of contact time and adsorption isotherm were investigated. Freundlich model and Langmuir model were used to describe the adsorption isotherm. In addition, leaching of lead from mortar containing the ash which already adsorb was evaluated.

The results revealed that the adsorption behavior of the rice husk ash was similar to the bagasse ash. When the initial concentration increased, the efficiency of the adsorption decreased. The adsorption occurred rapidly in the early stage and reached to equilibrium within 15 minutes. Freundlich model can describe adsorption isotherm as well while Langmuir models could not describe. The adsorption was not different when different sizes of ash were used. From the leaching test, there was no leaching of lead.



สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การดูดซับ	3
2.2 เถ้าแกลบ.....	8
2.3 เถ้าขานอ้อย.....	9
2.4 ตะกั่ว (Pb).....	10
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
3 วิธีการดำเนินการศึกษา.....	14
3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา	14
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา	18
3.3 วิธีการศึกษา	25
3.4 การทดสอบการชะละลาย (Leaching Test) โดยประยุกต์ใช้วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)	33
4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	36
4.1 ผลกระทบความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว	36
4.2 ผลกระทบของระยะเวลาต่อการดูดซับสารละลายตะกั่ว	39
4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ.....	41
4.4 แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์	43
4.5 แบบจำลองการดูดซับของฟรอนด์ลิช	45
5 ผลการทดสอบการชะละลาย	46



สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการศึกษา	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ประวัติย่อผู้วิจัย	51



บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

2.1 สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ	4
3.1 องค์ประกอบทางเคมีเป็นร้อยละของเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อย	26
3.2 คุณสมบัติทางด้านพื้นที่ผิวของเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อย	27
3.3 อัตราส่วนผสมของก้อนมอร์ตาร์สำหรับใช้ทดสอบการชะของเถ้าแกลบ	34
3.4 อัตราส่วนผสมของก้อนมอร์ตาร์สำหรับใช้ทดสอบการชะของเถ้าขานอ้อย	34
4.1 ร้อยละการดูดซับตะกั่วของเถ้าแกลบ	37
4.2 ร้อยละการดูดซับตะกั่วของเถ้าขานอ้อย	38
4.3 ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายตะกั่ว ที่เวลาต่างๆของเถ้าแกลบ	39
4.4 ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายตะกั่ว ที่เวลาต่างๆของเถ้าขานอ้อย	40
4.5 การทดสอบการชะละลายของเถ้าแกลบ	47
4.6 การทดสอบการชะละลายของเถ้าขานอ้อย	47



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 การจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์	7
3.1 ถ้ำเกลือที่ไม่ผ่านการบด	14
3.2 ถ้ำเกลือที่บดปานกลาง	15
3.3 ถ้ำเกลือที่บดละเอียด	15
3.4 ถ้ำชานอ้อยที่ไม่ผ่านการบด	16
3.5 ถ้ำชานอ้อยที่บดปานกลาง	16
3.6 ถ้ำชานอ้อยที่บดละเอียด	17
3.7 เครื่อง Atomic Absorption spectrometer (AAS)	18
3.8 เครื่อง Accelerated Surface Area and Porosimetry (ASAP)	18
3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	19
3.10 เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)	19
3.11 เครื่องเย้า สารเคมี	20
3.12 ขวดพลาสติก	20
3.13 กระบอกตวง	21
3.14 แท่งแก้วคน	21
3.15 เครื่องชั่งละเอียด	22
3.16 ปีกเกอร์	22
3.17 ปีเปิด	23
3.18 ขวดวัดปริมาตร	23
3.19 หลอดหยด	24
3.20 ตัวกรองสาร	24
3.21 อุปกรณ์อื่นๆ	25
3.22 ภาพขยาย SEM ของถ้ำเกลือที่กำลังขยาย 100 เท่า	27
3.23 ภาพขยาย SEM ของถ้ำเกลือที่กำลังขยาย 300 เท่า	28
3.24 ภาพขยาย SEM ของถ้ำเกลือที่กำลังขยาย 500 เท่า	28



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.25 ภาพขยาย SEM ของเส้นขนานอ้อยที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	29
3.26 ภาพขยาย SEM ของเส้นขนานอ้อยที่กำลังขยาย 300 เท่า.....	29
3.27 ภาพขยาย SEM ของเส้นขนานอ้อยที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	30
3.28 ส่วนผสมของซีเมนต์กับสารละลายโลหะหนัก.....	31
3.29 การเขย่าส่วนผสมด้วยเครื่องเขย่า.....	31
3.30 การกรองซีเมนต์ออกจากสารละลายโลหะหนัก.....	32
3.31 แบบหล่อมอร์ตาร์.....	33
3.32 เครื่องผสมมอร์ตาร์.....	33
4.1 ร้อยละการดูดซับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ เมื่อใช้เส้นขนานอ้อยเป็นตัวดูดซับ.....	37
4.2 ร้อยละการดูดซับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ เมื่อใช้เส้นขนานอ้อยเป็นตัวดูดซับ.....	38
4.3 ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายตะกั่วที่เวลาต่างๆของเส้นขนานอ้อย.....	40
4.4 ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายตะกั่วที่เวลาต่างๆของเส้นขนานอ้อย.....	41
4.5 ไอโซเทอมการดูดซับของเส้นขนานอ้อย.....	42
4.6 ไอโซเทอมการดูดซับของเส้นขนานอ้อย.....	43
4.7 แบบจำลองการดูดซับเส้นขนานอ้อยของแลงเมียร์.....	44
4.8 แบบจำลองการดูดซับเส้นขนานอ้อยของแลงเมียร์.....	44
4.9 แบบจำลองการดูดซับเส้นขนานอ้อยของฟรันทซ์.....	45
4.10 แบบจำลองการดูดซับเส้นขนานอ้อยของฟรันทซ์.....	46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โลหะหนักเป็นสารอันตรายชนิดหนึ่งที่พบได้ในน้ำเสีย ทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งชุมชน พื้นที่ทางการเกษตร โลหะหนักเป็นสารที่มีความคงตัว สลายตัวได้ยาก ทำให้มีการสะสมปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม(อยู่ในดิน หินน้ำ พืช สัตว์น้ำ) เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดอาการหรือโรคต่างๆ เช่น ปวดศีรษะ กระหายน้ำ ไอ ท้องร่วงเบื่ออาหารคลื่นไส้ อาเจียน ก่อให้เกิด โรคผิวหนัง โรคกระดูก โรคไต โรคตับ โรคปอด ฯลฯ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้ควบคุมปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงงานให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้น การกำจัดโลหะหนักที่ปะปนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงเป็นเรื่องจำเป็น ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง ที่พบได้ในน้ำเสียและมีความเป็นพิษสูงเมื่อเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่น โดยเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วสารตะกั่วจะถูกดูดซึมและแพร่กระจายไปทั่วตัวทันที ตะกั่ว สามารถเกาะกับกระดูกในร่างกาย ได้นานหลายปี และยังสะสมในไขกระดูก ระบบประสาท สมอง ตับ และไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดการปวดท้อง เบื่ออาหารคลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก อาการพิษทางประสาท และสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ เกิดอาการประสาทหลอน ซึมเศร้ารู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้

ถ่านแกลบและถ่านขานอ้อยเป็นวัสดุชีวมวลที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก แหล่งสำคัญของถ่านขานอ้อยคือ โรงงานผลิตน้ำตาล โดยเกิดจากการเผาขานอ้อยเพื่อนำความร้อนมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงาน ส่วนส่วนถ่านแกลบพบได้ตามโรงสีข้าว โดยเกิดจากการเผาแกลบเพื่อนำความร้อนมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรืออาจพบได้ตามโรงงานผลิตอิฐมวลเบ ซึ่งใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐ ถ่านแกลบและถ่านขานอ้อยมีมูลค่าต่ำและถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ใช้ทำเป็นวัสดุปรับปรุงดิน วัสดุเพาะชำหรือใช้อุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีต อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์ของถ่านทั้งสองชนิดยังมีน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การหาพื้นที่รองรับปัญหาฝุ่นละอองและการถูกชะโดยน้ำฝนไปปนเปื้อนตามแหล่งต่างๆ เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำถ่านแกลบและถ่านขานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุที่มีมูลค่าต่ำ มาใช้เป็นตัวดูดซับตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย แทนการใช้ตัวดูดซับชนิดอื่นที่มีมูลค่าสูง ทั้งนี้ เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์และยังเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการกำจัดตะกั่ว



1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับตะกั่วของถ่านอ้อยและถ่านแกลบ
2. เพื่อศึกษาการชะตะกั่วออกจากถ่านแกลบและถ่านอ้อย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วัสดุที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย
 - ถ่านแกลบจากโรงไฟฟ้าสีสมหมาย จังหวัดร้อยเอ็ด
 - ถ่านอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาลมิตรผล จังหวัดขอนแก่น
 - สารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100, 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. การศึกษาการดูดซับประกอบด้วย
 - การหาไอโซเทอมการดูดซับ การสร้างแบบจำลองการดูดซับของ ฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm) และแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)
 - การหาผลกระทบของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการดูดซับ ได้แก่ ความละเอียดของตัวดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายและระยะเวลาดูดซับ
 - การชะตะกั่วออกจากถ่านอ้อยและถ่านแกลบโดยประยุกต์จากวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)
3. วิธีการทดสอบการดูดซับใช้วิธีแบบกะ (Batch Test)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียและลดปริมาณของถ่านแกลบและถ่านอ้อย



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย การดูดซับ ประเภทการดูดซับ ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ไอโซเทอมการดูดซับแบบจำลองของแลงเมียร์ แบบจำลอง ฟรันทซ์ลิช แก์สแลบ แก์ซชานอ้อย และตะกั่ว สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะนำเสนอ งานวิจัย ที่ศึกษาในเรื่องการดูดซับตะกั่วโดยใช้วัสดุดูดซับชนิดต่างๆ และงานวิจัยเกี่ยวกับการนำ แก์ซชานอ้อย และ แก์สแลบ ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

2.1 การดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง การที่โมเลกุลของสารถูกดึงเข้ามาติดผิวของสารดูดซับหรือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำจะถูกดูดซับได้ แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ พลังงานอิสระที่ผิวของสารดูดซับจะมีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิวและพื้นที่ผิว ดังสมการ (1) เมื่อความตึงผิว (surface tension) หรือพื้นที่ผิว (surface area) เปลี่ยนไปจะเป็นผลทำให้เกิดการ เพิ่มขึ้นหรือลดลงของพลังงานอิสระที่ผิว ($\Delta G_{\text{surface}}$)

$$\Delta G = \gamma A$$

เมื่อ ΔG = พลังงานอิสระที่ผิว
 γ = ความตึงผิว
 A = พื้นที่ผิว

ปริมาณสารถูกดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สัมบูรณ์ ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา (interaction potential energy) ระหว่างสารถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ กับสารดูดซับซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง



2.1.1 ประเภทของการดูดซับ

การดูดซับบนผิวของแข็ง แบ่งออกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption หรือ physisorption) แรงที่ใช้ดูดซับเป็นแรง แวน เดอ วาลส์ (van- der Waals) เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างสารที่อยู่ในช่องเหลวกับสารดูดซับมีมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างสารในช่องเหลวกับของเหลว ทำให้สารที่อยู่ในช่องเหลวเข้าติดอยู่ที่สารดูดซับแทน ตัวอย่างเช่น การดูดซับของแก๊สขานอ้อยและแก๊สแอลบ ซึ่งภายในโครงสร้างของพื้นที่ผิวมีรูพรุนมากทำให้มีการดูดซับบนพื้นที่ผิวของสารดูดซับสูงขึ้น ดังนั้นรูพรุนของสารดูดซับจึงมีความสำคัญส่วนการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption) แรงที่ใช้ดูดซับเป็นพันธะโคเวเลนต์ มักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารที่ถูกดูดซับ โดยมีค่าพลังงานสูงมากในการเกิดพันธะและการดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับอย่างแท้จริง สมบัติการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพแสดงไว้ในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

การดูดซับทางเคมี	การดูดซับทางกายภาพ
ค่าความร้อนของการดูดซับ 100-500 ค่าความร้อนของการดูดซับ kJ/mol	ประมาณ 20 kJ/mol หรือน้อยกว่า
เกิดได้ที่อุณหภูมิสูง	เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ
ไม่เกิดการผันกลับ	เกิดการผันกลับได้เป็นส่วนใหญ่
เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว	เกิดการดูดซับหลายชั้น
แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารถูกอย่างแข็งแรง	แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดแรงดึงดูดอย่างอ่อนๆ

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับ

เมื่อตัวถูกดูดซับละลายเป็นของเหลว การดูดซับจะเพิ่มขึ้นถ้าตัวถูกดูดซับมีความสามารถในการละลายลดลงเนื่องจากในการดูดซับ ตัวถูกละลายจะถูกแยกตัวออกจากตัวทำละลาย ดังนั้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับลดลงจึงทำให้เกิดการดูดซับได้ดี



2. พื้นที่ผิวของสารดูดซับ

ในการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวกับของแข็ง (ของเหลวเป็นตัถูกดูดซับของแข็งเป็นตัวดูดซับ) โมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยที่อยู่ในของเหลวจะไปเกาะติดอยู่บนผิวของของแข็ง โดยโมเลกุลส่วนใหญ่จะเกาะติดอยู่ที่ผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก ตัวดูดซับที่มีโพรงเป็นจำนวนมากจะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้น แต่หากโพรงมีขนาดเล็กเกินไปอาจเป็นอุปสรรคต่อการแพร่ของตัวถูกดูดซับเข้าไปในโพรงได้ ดังนั้น โพรงของตัวดูดซับควรมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ เพื่อให้สารถูกดูดซับสามารถแพร่เข้าไปในโพรงและเกิดการดูดซับขึ้นภายในโพรงได้ (เดชา, 2552)

3. อุณหภูมิ

การดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการดูดซับจะลดลง แต่อัตราเร็วของการดูดซับจะสูงขึ้น และถ้าอุณหภูมิลดลงการดูดซับจะสูงขึ้นแต่อัตราเร็วของการดูดซับจะลดลง

4. ความเป็นกรด - ด่าง (pH)

ความเป็นกรด - ด่างของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการดูดซับเนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง และความเป็นกรด - ด่างยังมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของสารประกอบที่เป็นกรดหรือด่างในการดูดซับ

5. ระยะเวลาในการดูดซับ

ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาในการดูดซับจนกระทั่งถึงจุดสมดุล

6. ความปั่นป่วน

ในระบบที่ของเหลวมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มของของเหลวที่อยู่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ (ณรงค์เดช, 2553) ดังนั้นระบบที่มีความปั่นป่วนมากกว่าจะทำให้อัตราการดูดซับเกิดได้เร็วกว่า

7. ความเข้มข้นของตัวดูดซับ

เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น จะทำให้มีอนุภาคของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้นจึงเกิดการดูดซับได้มากขึ้น โดยอัตราการเพิ่มของปริมาณการดูดซับอาจน้อยกว่าอัตราการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ หรือปริมาณการดูดซับอาจเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนจำกัดเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น

2.1.3 สมดุลการดูดซับ

การดูดซับเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับได้ คือเมื่อสารถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่บนผิวดูดซับ แล้วสารถูกดูดซับนั้นสามารถเคลื่อนกลับออกจากผิวดูดซับได้ ซึ่งเรียกรวม



คายซับ(Desorption) เมื่ออัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ กระบวนการจะเข้าสู่สภาวะสมดุล เรียกว่า สมดุลการดูดซับ

2.1.4 ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm)

เป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่พื้นผิวกับความดันของก๊าซหรือความเข้มข้นของสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ

ไอโซเทอมการดูดซับ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของตัวสารละลายที่ถูกดูดซับ ต่อปริมาณตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของสารละลายในอุณหภูมิที่คงที่ C_{eq} ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (q) สามารถคำนวณได้จาก

$$q = (C_0 - C_{eq}) \frac{V_{sol}}{M_s}$$

เมื่อ q คือปริมาณของโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อปริมาณเถ้าชาน อ้อย (มิลลิกรัม/กรัม)

C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_{eq} คือความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

V_{sol} คือปริมาตรของสารละลายที่ใช้ (ลิตร)

M_s คือมวลของเถ้าชานอ้อยที่ใช้ดูดซับ (กรัม)

ไอโซเทอมการดูดซับ สามารถหาได้จากการทดลองด้วยวิธีแบบกะ โดยนำตัวดูดซับผสมกับสารละลายที่ความเข้มข้นหลายๆค่าปล่อยให้การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วหาความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่ทำการหาค่า q และ (C_{eq}) ที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ

2.1.5 แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ในปี ค.ศ.1916 เฮอร์วีน แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายที่สุด โดยมีสมมติฐานคือ 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน 3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน จากการศึกษาไอโซเทอมของ



$$q = q_m \alpha \frac{C_{eq}}{1} + \alpha C_{eq} \quad (1)$$

เมื่อ q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

α คือ ค่าคงที่การดูดซับของแลงเมียร์ (ลิตร/มิลลิกรัม)

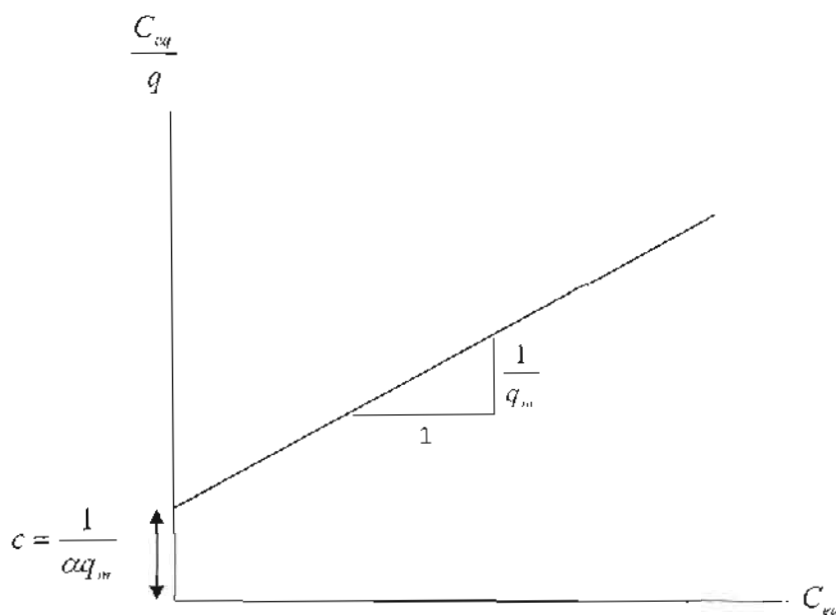
จัดรูปสมการ (1) ให้อยู่ในรูปของเส้นตรง ได้ดังนี้

$$\frac{C_{eq}}{q} = \frac{C_{eq}}{q_m} + \frac{1}{\alpha q_m} \quad (2)$$

จากสมการ (2) เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C_{eq} กับ $\frac{C_{eq}}{q}$ จะได้กราฟที่มีลักษณะ

เป็นเส้นตรงโดยความชันของกราฟจะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ และระยะยัดแกน y จะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{\alpha q_m}$ ดังนั้น

จะได้ว่า $q_m = \frac{1}{\text{slope}}$ และ $\alpha = \frac{1}{C \cdot \text{slope}}$ เมื่อ C คือระยะแกน y



ภาพประกอบ 2.1 การจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์



2.1.6 แบบจำลองการดูดซับของฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm)

ในปี ค.ศ. 1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมี ชาวเยอรมัน Herbert Max Finlay Freundlich ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายตั้งสมการ

$$q = K(C_{eq})^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)
 C_{eq} คือ ความเข้มข้นตัวถูกดูดซับที่ละลายอยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)
 K คือ ค่าคงที่ซึ่งสัมพันธ์กับการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)
 n คือ ค่าคงที่ซึ่งสัมพันธ์กับพลังงานการดูดซับใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอมของการดูดซับโดยทั่วไป n จะมีค่ามากกว่า 1

จากสมการที่ 3 จัดรูปให้อยู่ในรูปของเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมลงไปทั้งสองข้างของสมการจะได้ดังนี้

$$\log q = \log K + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_{eq} \quad (4)$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่การดูดซับ
 $\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

2.2 ถ้ำกลบ

แต่ละปีประเทศไทยมี ถ้ำกลบ ซึ่งเกิดจากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตัน โดยใบแต่ละต้น (1000 กิโลกรัม) ของข้าวเปลือกเมื่อสีแล้วจะมีถ้ำกลบอยู่ประมาณ 200 กิโลกรัม และเมื่อนำถ้ำกลบไปเผาจะได้ ถ้ำกลบ (rice- husk ash) ประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักของถ้ำกลบหรือประมาณ 40 กิโลกรัม เนื่องจากถ้ำกลบมีปริมาณซิลิกา (silica) สูง จึงเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาทำเป็นวัสดุปอซโซลาน ถ้ำกลบมี SiO_2 ในปริมาณที่สูงมาก โดยอาจมีสูงถึงประมาณร้อยละ 90 ทำนองเดียวกันบุงฉัตร และ พิชัย บุงฉัตร และ เชิดพงศ์ และสาโรจน์ และคณะพบว่าถ้ำกลบที่เผาในประเทศไทยมี SiO_2 อยู่ร้อยละ 92.28, 95.36. และ 91.84 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กฟอสฟอรัส และ ซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนัก



ในการเผาแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้ค่าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI ที่อยู่ในแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุคาร์บอนน้ำสูง เมื่อแกลบได้รับความร้อนจะสูญเสียความชื้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลเกิดการเผาไหม้ และถ้ามีอากาศพอจะกลายเป็นเถ้าสีขาวการเผาแกลบในที่ที่มีอากาศไม่เพียงพอ และที่อุณหภูมิต่ำจะได้แกลบที่มีสีดำและมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) สูง การเผาในที่ที่มีอากาศไม่เพียงพอหรือระยะเวลาในการเผาสั้น ถึงแม้มีอุณหภูมิสูง แกลบดำที่ได้ก็ยังคงมี LOI สูงแกลบที่ผ่านการเผาที่สมบูรณ์มี LOI ต่ำและมีซิลิกาสูง ความสามารถในการทำปฏิกิริยาของแกลบจะขึ้นอยู่กับสถานะของซิลิกา ซึ่งมีอยู่ 2 สถานะคือ ออสัณฐาน (amorphous) และผลึก (crystalline) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผา ซิลิกาที่เป็นผลึกค่อนข้างอยู่ตัวและเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน แต่ซิลิกาที่เป็นอสัณฐานซึ่งได้จากการที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิสูง ซิลิกาจะเปลี่ยนรูปไปเป็นผลึกของควอร์ต (quartz) คริสโตบาไลต์ (christobalite) และทรินไต์ (tridymite) ผลของการศึกษาโดยใช้วิธีดีพีเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอานาลิซิส (differential thermal analysis, DTA) และเทอร์โมกราวิเมตริก (thermogravimetric) พบว่าการเปลี่ยนสถานะ (phase transformation) ของแกลบเกิดขึ้นที่ความร้อนประมาณ 7400 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนสถานะของซิลิกานอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแล้วยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการเผา จากการศึกษาการเผาแกลบที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 12-15 ชั่วโมง โดยใช้เอกซเรย์ได้แฟรกชัน (x-ray diffraction, XRD) พบว่าการเผาแกลบที่ 200-6000 องศาเซลเซียส ให้แกลบที่อยู่ในรูปอสัณฐานการเป็นผลึกจะเกิดขึ้นมากและเห็นได้ชัดเจนเมื่ออุณหภูมิสูงการ 8000 องศาเซลเซียส

2.3 เถ้าขานอ้อย

เถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งใช้ขานอ้อยและใบอ้อย เผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมภายในโรงงานและส่วนที่เหลือสามารถขายให้แก่การไฟฟ้าที่ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 พบว่าประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยทั้งหมดประมาณ 74 ล้านตัน (อ้างอิง) สถิติการเกษตรแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2544/45 และหลังจากกระบวนการผลิตน้ำตาลมีกากอ้อยประมาณ 21 ล้านตัน และหลังจากการเผากากอ้อยเหล่านี้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วพบว่าได้เถ้าขานอ้อยประมาณ 0.8 ล้านตัน เถ้าขานอ้อยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ามีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย เช่น เกษตรกรนำไปใช้เป็นปุ๋ยเพื่อปรับสภาพดินในงานเกษตรกรรม แต่ส่วนใหญ่ของเถ้าขานอ้อยต้องนำไปทิ้งโดยไม่เกิดประโยชน์ เถ้าขานอ้อยมีรูปทรงเป็นเหลี่ยมมุม ไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และมีรูพรุนสูง



ลักษณะอนุภาคคล้ายกันกับเถ้าแกลบหรือเถ้าแกลบหรือน้ำมันหลังจากการบดทั่วไป คือ เป็น เหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอน อนุภาคมีขนาดและความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับเถ้าชานอ้อยก่อนบด สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยพบว่าเถ้าชานอ้อยมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกับ เถ้าแกลบบดละเอียดและเถ้าปาล์มน้ำมันโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 65-75 มีปริมาณ SO_3 ต่ำ แต่ปริมาณ ของ LOI ค่อนข้างสูงซึ่งอาจสูงถึงร้อยละ 20-30 การที่ LOI ของเถ้าชานอ้อยมีค่าค่อนข้างสูงมักเกิดขึ้น เช่นเดียวกับเถ้าชีวมวลทั่วไป ตารางที่ 19.5 เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยในประเทศไทย ที่มี LOI สูง และ LOI ต่ำ หากเถ้าชานอ้อยมี LOI สูง มักจะมี SiO_2 ต่ำกว่าเถ้าชานอ้อยที่มี LOI ต่ำ

2.4 ตะกั่ว (Pb)

โลหะหนักตะกั่ว (Lead Heavy metal) หรือ ตะกั่ว (Lead) จัดเป็นโลหะ เป็นธาตุที่ 5 ของหมู่ 5A มีสัญลักษณ์ Pb เลขอะตอม 82 น้ำหนักอะตอม 207.19 มีจุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1737 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 13.6 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ไอโซโทปที่เสถียรคือ ^{208}Pb และมีโครงสร้างผลึกแบบ FCC (face center cubic) ส่วนสมบัติทางกายภาพ ตะกั่วบริสุทธิ์มีสีเทา จัดเป็นโลหะค่อนข้างอ่อน จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับงานโครงสร้าง โลหะตะกั่วสามารถตีเป็นแผ่นบางๆ และแปรรูปได้ง่ายสมบัติทางเคมี โลหะตะกั่วเป็นโลหะที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยานัก ทนต่อการผุกร่อน เมื่ออยู่ในรูปของสารประกอบจะมีเลขออกซิเดชัน +2 และ +4 ตะกั่วสามารถละลายในกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ได้น้อย เนื่องจากเกิดเป็นตะกอนของ PbSO_4 และ PbCl_2 แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO_3) ตะกั่วเมื่อถูกความชื้นจะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ (Tarnish) เพราะเกิดเป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO) เคลือบอยู่ที่ผิว การปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม กลุ่มผู้เสี่ยงต่อการเกิดโรคพิษตะกั่ว ได้แก่ คนงานที่ทำเหมืองตะกั่ว โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ โรงงานผลิตสี โรงงานผลิตสารพิษกำจัดศัตรูพืช และคนที่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณโรงงานหลอมตะกั่วหรือใกล้โรงงานที่มีการใช้สารตะกั่วเป็นวัตถุดิบ ตำรวจจราจร และคนที่อยู่ในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นเป็นเวลานาน

พิษของตะกั่วมีหลายประการดังนี้

1. อาการทางระบบทางเดินอาหารพบได้บ่อยในผู้ใหญ่โดยเริ่มจากมีอาการเบื่ออาหารคลื่นไส้ อาเจียนท้องผูกบางรายมีอาการท้องเสียอาการที่สำคัญคือปวดท้องอย่างรุนแรงมาที่เรียกว่า “โคลิค”



วินิจฉัยโรคผิดว่าเป็นอาการปวดท้องเนื่องจากสาเหตุทางศัลยกรรมได้เช่นไส้ติ่งอักเสบนอกจากนี้การดื่มสุราหรือภาวะเจ็บป่วยอื่นๆจะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกั่วจากที่เก็บสะสมไว้ออกมากขึ้น นอกจากนี้อาจตรวจพบแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก (Lead line) มีลักษณะเป็นเส้นสีน้ำเงิน-ดำจับอยู่ที่ขอบเหงือกต่อกับฟันห่างจากฟันประมาณ 1 มิลลิเมตรพบบ่อยบริเวณฟันหน้ากรามและฟันกราม

2. อาการทางระบบประสาทส่วนปลายผู้ป่วยมีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อแขนและขา บางครั้งมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อและข้อต่อต่างๆ ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วปริมาณมากๆเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดล้มพาดของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งมักจะเกิดกับกล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อมืออ่อนแรงทำให้เกิดอาการที่เรียกว่าข้อมือตกหรือข้อเท้าตกการเป็นอัมพาตมักจะไม่ใช่ทำให้ประสาทความรู้สึกเสียส่วนมาก มักจะเป็นเฉพาะกล้ามเนื้อข้างใดข้างหนึ่งของแขนหรือขาเท่านั้นและมักจะมีอาการข้างที่เด่นก่อน

3. อาการทางสมองเป็นอาการแสดงที่พบว่ารุนแรงที่สุดมักพบในเด็กที่ได้รับตะกั่วอินทรีย์หรือสูดเอาไอและละอองฝุ่นตะกั่วเข้าไปมากสำหรับผู้ใหญ่พบได้น้อยโดยมากเกิดจากตะกั่วอินทรีย์

4. อาการทางโลหิตผู้ป่วยมักมีอาการซีดเลือดจางอ่อนเพลียนอกจากอาการดังกล่าวแล้ว ผู้ป่วยมักมีอาการปวดศีรษะมึนงงในรายที่เป็นเรื้อรังพบว่ามีอาการตัวเหลืองตาเหลืองได้ด้วยการแก้พิษตะกั่วและการป้องกัน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้โดยแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในน้ำเสียด้วยวิธีต่างๆ และงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเข้าทานอ้อยและเข้ากลบ ไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

ในปัจจุบันมีการหาปริมาณโลหะหนักในน้ำ พิษ ดิน และแบคทีเรีย โดยได้มีนักวิจัยหลายกลุ่ม ทำการศึกษาถึงวิธีการหาปริมาณโลหะหนักอาทิ เช่น

วิษุตาและสุธา (2554) ศึกษาการดูดซับโครเมียม และทองแดงจากกากของเหลวเขียวซึ่งเป็นของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ โดยได้ทำการทดลองแบบกวนผสมสมบูรณ์ในระบบแบตช์ (Batch Test) ระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง และทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในน้ำเสียก่อนและหลังแยกฯ ซึ่งน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม โดยกำหนดความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์คือ ค่าความเข้มข้นของโครเมียมและทองแดงเท่ากับ 200 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และโครเมียมผสมทองแดงที่มีความเข้มข้นเดียวกัน ผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาสัมผัสที่



โครเมียม และทองแดงเท่ากับ 7-9 และไอโซเทอมที่เหมาะสมกับการดูดซับโครเมียมในน้ำเสีย คือ ไอโซเทอมของฟรอนด์ลิชและไอโซเทอมของแลงเมียร์ แต่การดูดซับของทองแดงนั้นไม่เป็นไปตามไอโซเทอมของการดูดซับทั้งสองชนิด เนื่องจากเกิดการตกตะกอนขึ้นเป็นส่วนใหญ่

สุนิรัตน์และศักดิ์ชัย (2550) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไซยาโนแบคทีเรีย *Oscillatoriajasorvensis* และ *Microcystis aeruginosa* เป็นตัวดูดซับเพื่อประเมินความสามารถและศักยภาพของไซยาโนแบคทีเรียทั้งสองชนิดในการกำจัดตะกั่ว ผลการศึกษาพบว่าค่าพีเอชของสารละลายตะกั่วที่ 3.5 และ 4.5 เป็นค่าที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่ว โดย *O.jasorvensis* และ *M.aeruginosa* ตามลำดับ การดูดซับตะกั่วโดย *O.jasorvensis* และ *M.aeruginosa* เกิดอย่างรวดเร็วและถึงจุดสมดุลที่ 30 และ 60 นาที ตามลำดับ แต่ปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นกลับทำให้ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับต่อไซยาโนแบคทีเรีย 1 กรัม ลดลงความสามารถในการดูดซับตะกั่วโดยไซยาโนแบคทีเรียทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์กับสมการการดูดซับของ Langmuir โดยค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่วของ *O.jasorvensis* และ *M.aeruginosa* ที่คำนวณได้จากสมการเท่ากับ 114.94 และ 98.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การใช้เซลล์ไซยาโนแบคทีเรียที่มีชีวิตดูดซับตะกั่วแบบระยะยาวพบว่าไซยาโนแบคทีเรียทั้งสองชนิดดูดซับตะกั่วได้อย่างรวดเร็วในวันแรกและมีการดูดซับอย่างช้าๆ ต่อเนื่องไปจนถึงสิ้นสุดการทดลองที่ 15 วัน โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง *O.jasorvensis* และ *M.aeruginosa* สามารถกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียได้ร้อยละ 95.5 ± 0.2 และ 75.1 ± 0.7 ตามลำดับ

บัญชาและคณะ (2550) ได้ศึกษาการนำเปลือกกล้วยส่วนเกินจากการแปรรูปมาพัฒนา เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับและศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับไอออนของโลหะหนักในสารละลาย โดยการปรับสภาพด้วยวิธีการต่างกัน 3 แบบคือ เปลือกกล้วยแห้งเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นและเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายด่าง ทำให้เกิดความแตกต่างในลักษณะบางประการของเปลือกกล้วยคือปริมาณเยื่อใยแก้วไวนิลความเป็นกรด-ด่างและขนาดของรูพรุนเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยวิธีดังกล่าวสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักได้ดีที่สุดเมื่อความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 4 คือร้อยละ 87.53 - 97.77 ภายในเวลา 1 ชั่วโมงโดยสามารถดูดซับไอออนของโลหะตะกั่วได้ดีกว่าแคดเมียม นอกจากนี้ปัจจัยความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะปริมาณและขนาดของตัวดูดซับมีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะหนักแตกต่างกันและการศึกษาสมมูลของการดูดซับแบบกะทำให้ทราบว่า การดูดซับของเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยวิธีดังกล่าวสอดคล้องในระดับที่ค่อนข้างสูงกับแบบจำลอง

Langmuir Adsorption Isotherm โดยมีความจุสูงสุดของการดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วเท่ากับ 5.7405 1.2680 และ 3.5273 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 8.7032 1.4766 และ 1.0075 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับและเมื่อทดลองกำจัดไอออนของโลหะแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการภายใต้ สภาวะที่เหมาะสมพบว่าเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นสามารถกำจัดโลหะแคดเมียมได้สูงสุดคือร้อยละ 88.75 ส่วนเปลือกกล้วยแห้งและเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายด่างกำจัดโลหะแคดเมียมได้ไม่แตกต่างกันคือร้อยละ 84.45 และ 83.75 ตามลำดับ



2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเถ้าขานอ้อยและเถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์

คมกริช มัตว และ ลักรพล ศรีสมยา ได้ศึกษาคอนกรีตบล็อกที่ใช้เถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยเป็นมวลรวมละเอียด โดยนำเถ้าแกลบ หรือ เถ้าขานอ้อย หรือเถ้าแกลบผสมเถ้าขานอ้อยมาแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 โดยปริมาตรและใช้อัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบกับเถ้าขานอ้อยคือ (25:75) (50:50) และ (75:25) จากนั้นทำการทดสอบ หน่วยน้ำหนัก กำลังรับแรงอัด ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าใช้เถ้าขานอ้อยในการแทนที่ทรายในงานคอนกรีตบล็อก มีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าการใช้เถ้าแกลบในส่วนผสมเดียวกัน แต่การใช้เถ้าแกลบจะมีน้ำหนักที่น้อยกว่าโดยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเถ้าแกลบ และเถ้าขานอ้อยสำหรับการใช้เถ้าแกลบผสมเถ้าขานอ้อยพบว่ากำลังอัดมีค่าสูงกว่าการใช้เถ้าแกลบเพียงชนิดเดียวและมีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าการใช้เถ้าขานอ้อยเพียงชนิดเดียว

บุรฉัตร ฉัตรวีระ (2550:115) ได้ศึกษาการนำเถ้าแกลบไม่บดมาประยุกต์ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลชนิดไม่รับน้ำหนัก คุณสมบัติที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยน้ำหนักการดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด การหดตัวแบบแห้ง ความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้ง และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรด โดยใช้เถ้าแกลบจาก 2 แหล่ง คือ เถ้าแกลบดำจากโรงผลิตไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงและเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว มาแทนมวลรวม (หินปูน) ในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักและควบคุมอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ในช่วงร้อยละ 0.53 ถึง 0.64 โดยน้ำหนัก โดยใช้การขึ้นรูปได้ของคอนกรีตบล็อกเป็นเกณฑ์ สำหรับการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก อะซิติก ไฮโดรคลอริก และไนตริก ที่มีความเข้มข้นกำหนดด้วยค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 1.0 จากการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบมีค่าเพิ่มตามสัดส่วนการแทนที่ของเถ้าแกลบในหินปูนที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน มอก. 58-2530 ในขณะที่หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบมีค่าลดลง นอกจากนั้นเมื่อร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบในหินปูนมากขึ้น ทำให้ความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด ค่าการดูดซึมน้ำ และการหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

ในบทนี้จะอธิบายถึงวิธีการศึกษาซึ่งประกอบด้วยวัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดสอบแบบกะ วิธีการทดสอบแบบต่อเนื่อง วิธีการหาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการดูดซับ (ความละเอียดของตัวดูดซับ ความเข้มข้นของสารละลาย ระยะเวลาดูดซับ) วิธีการทดสอบแบบการชะ โดยมีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 ตัวดูดซับ ประกอบด้วย

1) ถ้ำกลบ นำมาจากโรงไฟฟ้าสีสมหมาย จังหวัดร้อยเอ็ด

2) ถ้ำขานอ้อย นำจากโรงงานผลิตน้ำตาลมิตรผล จังหวัดขอนแก่น

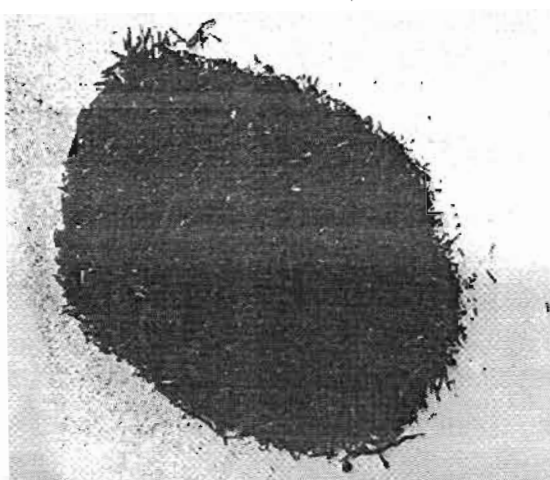
ทั้งถ้ำกลบและถ้ำขานอ้อยจะทำการเตรียมสำหรับใช้ทดสอบการดูดซับโดยแยกเป็น 3 กลุ่ม คือ

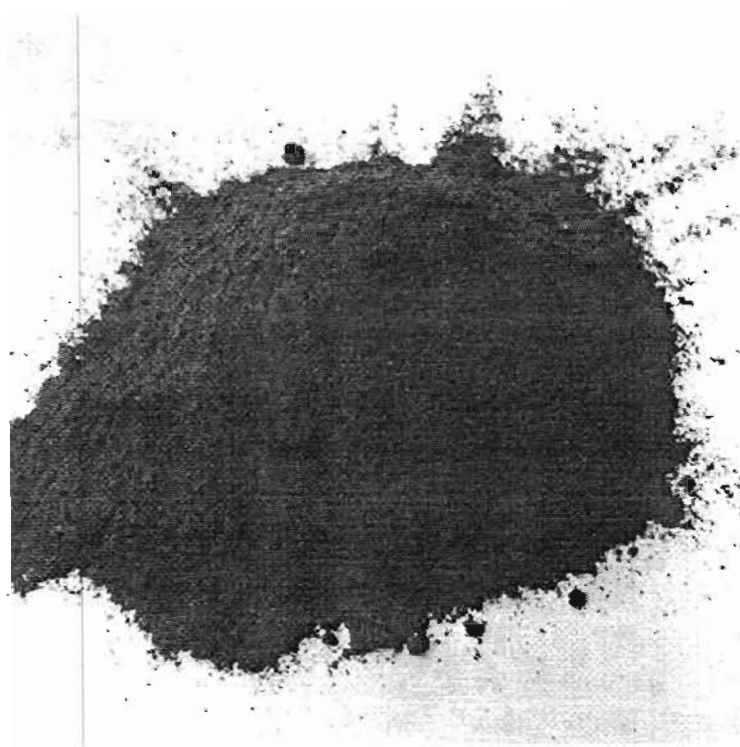
1) ถ้ำสภาพดั้งเดิม โดยไม่ผ่านการบด

2) ถ้ำบดละเอียดปานกลาง นำมาบดให้มีขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 200 ประมาณ 20 – 50 %

3) ถ้ำบดละเอียดมาก นำมาบดให้มีขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 200 < 5 %

ลักษณะของถ้ำกลบและถ้ำขานอ้อยแสดงดังภาพประกอบ



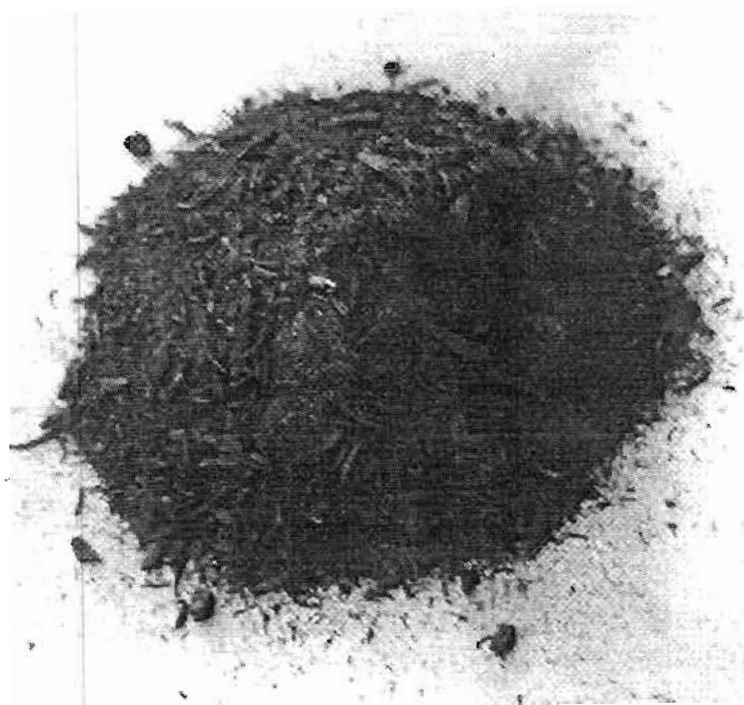


ภาพประกอบ 3.2 เถ้ากลบที่บดปานกลาง

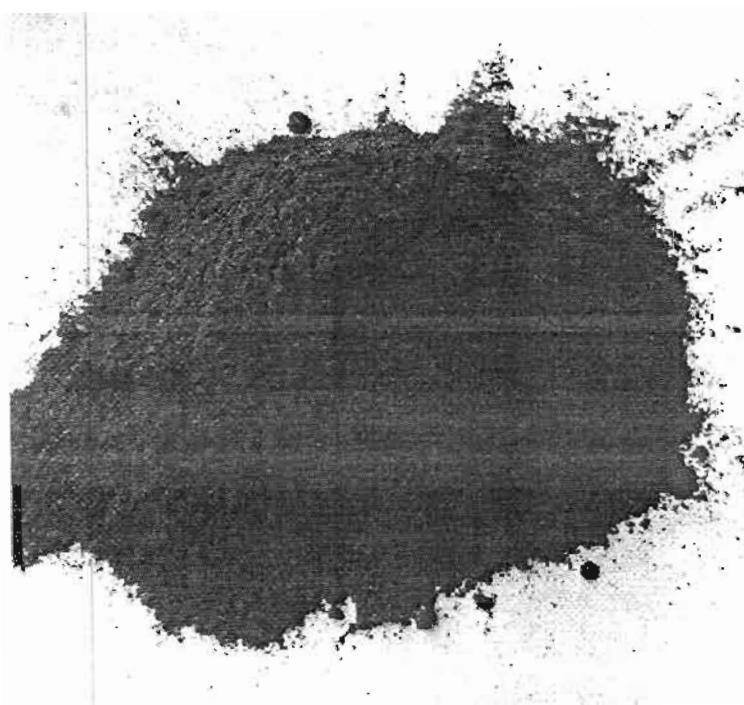


ภาพประกอบ 3.3 เถ้ากลบที่บดละเอียด





ภาพประกอบ 3.4 เถ้าขานอ้อยที่ไม่ผ่านการบด



ภาพประกอบ 3.5 เถ้าขานอ้อยที่บดปานกลาง





ภาพประกอบ 3.6 แก้วชานอ้อยที่บดละเอียด

3) ตัวถูกดูดซับ ได้แก่ ตะกั่ว

3.1.2 สารละลายโลหะหนัก

โลหะหนักที่ใช้เป็นตัวถูกดูดซับในการศึกษานี้ คือ ตะกั่ว (Lead,Pb) โดยเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลายตั้งต้นให้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการละลายผงตะกั่วในน้ำกลั่นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร โดยน้ำหนักของผงตะกั่วจะมีการคำนวณโดยใช้โมเลกุลเพื่อให้ได้สารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใช้เป็นสารละลายตั้งต้นในการเตรียมสารละลายความเข้มข้นอื่นๆต่อไป

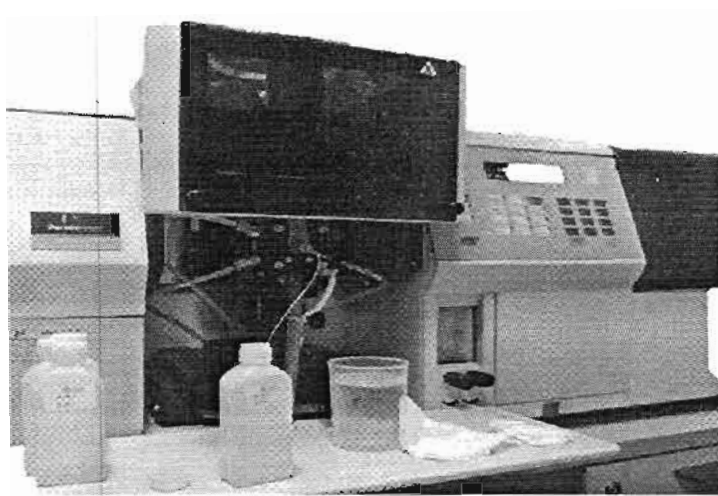
2. นำสารละลายตั้งต้นที่เตรียมไว้มาเจือจางให้มีความเข้มข้นตามต้องการ โดยผสมกับน้ำกลั่นจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการสำหรับทดสอบ โดยความเข้มข้นที่ใช้ในงานวิจัย 1, 10, 50, 100, 200 มิลลิกรัมต่อลิตร



3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

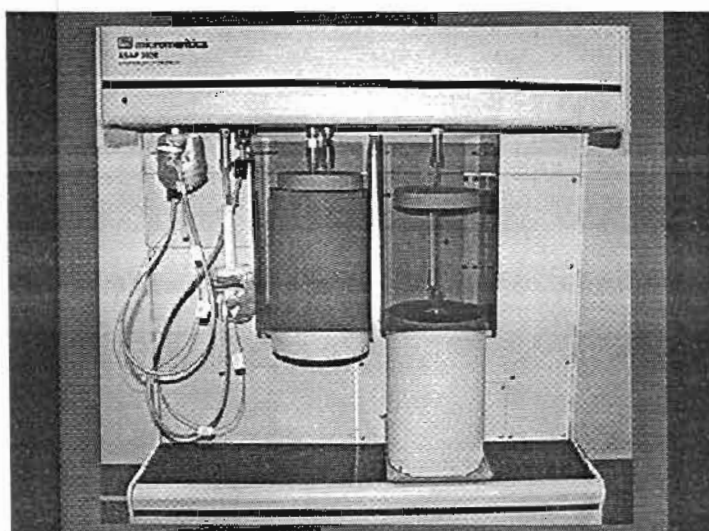
3.2.1. เครื่องวัดความเข้มข้นของโลหะหนัก เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS)

ใช้สำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก



ภาพประกอบ 3.7 เครื่อง Atomic Absorption spectrometer (AAS)

3.2.2 เครื่อง Accelerated Surface Area and Porosimetry (ASAP) สำหรับวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาณรูพรุนของถ้ำขานอ้อยและถ้ำแกลบ



ภาพประกอบ 3.8 เครื่อง Accelerated Surface Area and Porosimetry (ASAP)

3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

สำหรับใช้ถ่ายภาพขยายกำลังสูงของเก้าชาน้อยและเก้ากลับ



ภาพประกอบ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)

3.2.4 เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)

สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเก้าชาน้อยและเก้ากลับ

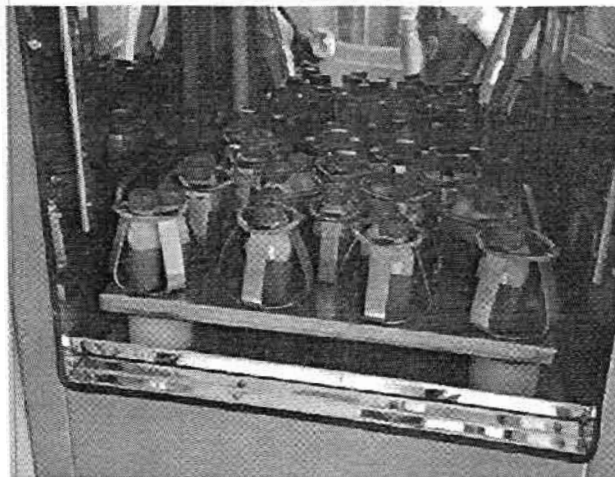


ภาพประกอบ 3.10 เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)



3.2.5 เครื่องเขย่า สารเคมี

ใช้ในการเขย่าส่วนผสมของเก้าชานอ้อยกับสารละลายโลหะหนักที่บรรจุลงในขวดพลาสติก สามารถปรับความเร็วรอบได้ตามต้องการ



ภาพประกอบ 3.11 เครื่องเขย่า สารเคมี

3.2.6 อุปกรณ์

1. ขวดพลาสติก ขนาด 500 ml , 1000 ml (PE)

ขนาดความจุ 60 มิลลิลิตร สำหรับใส่ส่วนผสมของเก้าชานอ้อยกับโลหะหนัก

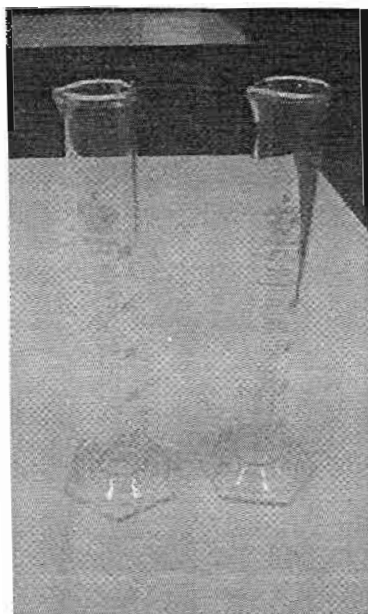


ภาพประกอบ 3.12 ขวดพลาสติก



2. กระบอกตวง

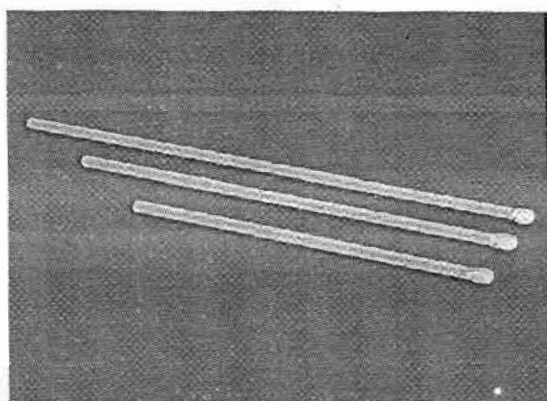
กระบอกตวง ใช้สำหรับวัดปริมาตรของเหลว ขนาดที่ใช้ คือ ความจุ 5 – 2000 ml



ภาพประกอบ 3.13 กระบอกตวง

3. แท่งแก้วคน

ใช้สำหรับคนสารละลายให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และช่วยในการเทสารละลายไปยังภาชนะอื่น โดยเท สารละลายให้ไหลไปตามแท่งแก้วคน วิธีนี้จะทำให้สามารถควบคุมทิศทางการไหลของสารละลาย ได้ดีขึ้นอีกด้วย



ภาพประกอบ 3.14 แท่งแก้วคน



4. เครื่องชั่งละเอียด (ANALYTICAL BALANCE)

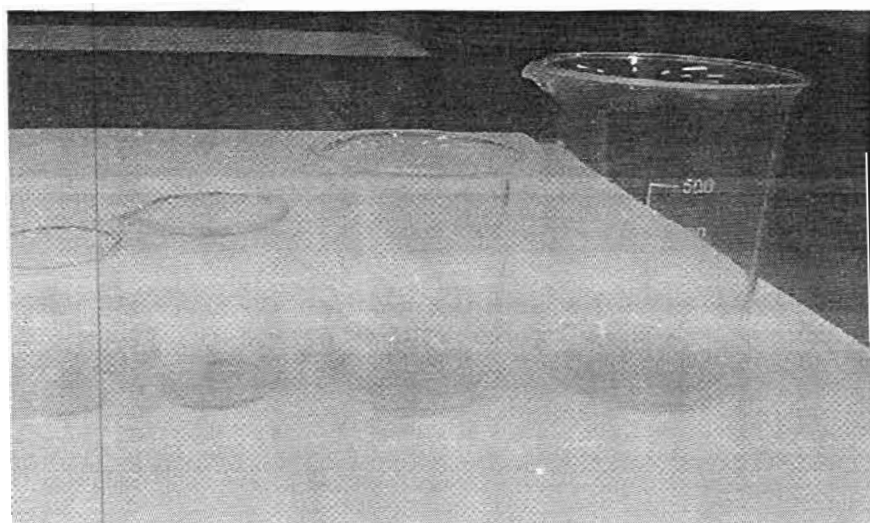
ความละเอียด 0.01 กรัม ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักแก้วชานอ้อยและแก้วกลบ



ภาพประกอบ 3.15 เครื่องชั่งละเอียด

5. ปีกเกอร์ (Beaker)

ใช้สำหรับบรรจุสารละลายหรือของเหลวต่างๆ

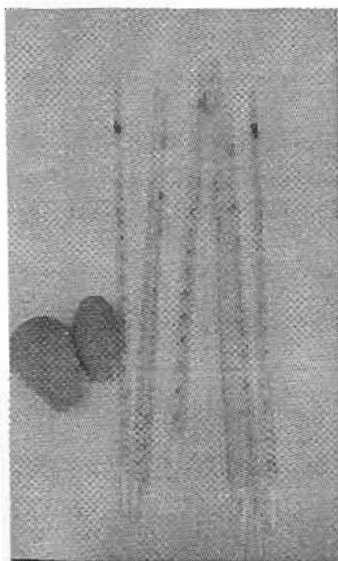


ภาพประกอบ 3.16 ปีกเกอร์



6. ปิเปต (Pipette)

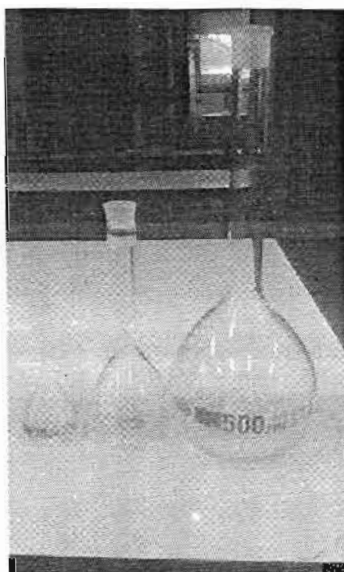
ใช้สำหรับตวงสารละลายให้มีปริมาตรตามต้องการ โดยมีความละเอียดสูง



ภาพประกอบ 3.17 ปิเปต

7. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)

ใช้สำหรับเตรียม หรือเจือจางสารละลาย ให้มีความเข้มข้นตามต้องการ



ภาพประกอบ 3.18 ขวดวัดปริมาตร



8. หลอดหยด (Dropper)

ใช้สำหรับปรับปริมาตรของสารละลาย และสามารถเทียบมาตรฐาน(calibrate)ด้วยกระบอกตวง แล้วใช้เป็นค่า โดยประมาณสำหรับการทดลองต่อไปได้ หลอดหยดจะมีลักษณะเป็นหลอดแก้วที่ปลายข้างหนึ่งยาวเรียวเล็ก และ ปลายอีกข้างหนึ่งมีกระเปาะยางสวมอยู่



ภาพประกอบ 3.19 หลอดหยด

9. ตัวกรองสาร (Filter)

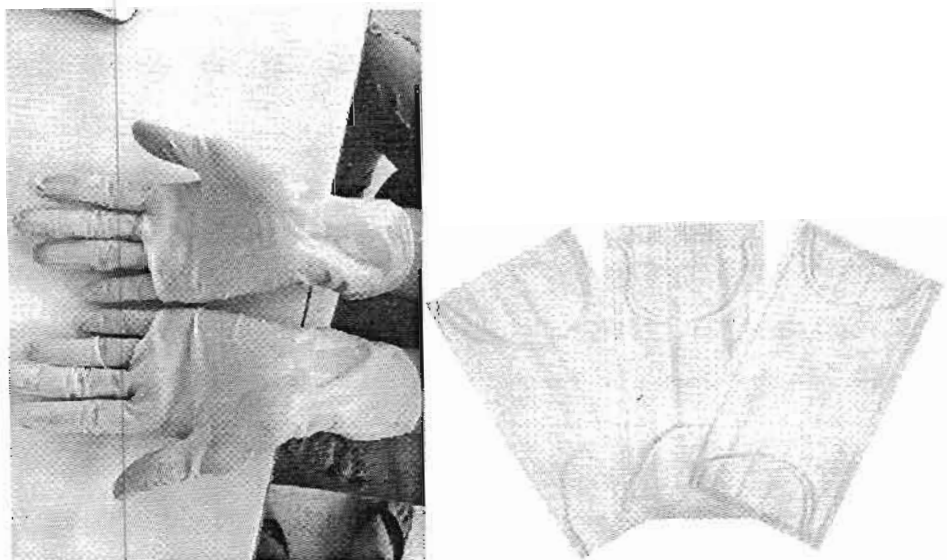
ขนาด 0.45 ไมครอน ใช้สำหรับกรองเอาเถ้าขานอ้อยและเถ้าแกลบออกจากสารละลาย หลังจากสิ้นสุดการดูดซับ



ภาพประกอบ 3.20 ตัวกรองสาร



10.อุปกรณ์อื่นๆที่ เช่น ถุงมือ (Glove) ที่ปิดจมูก



ภาพประกอบ 3.21 อุปกรณ์อื่นๆ

3.3 วิธีการศึกษา

ในการศึกษานี้ จะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของเก้าชานอ้อยและเก้า
แกลบ การทดสอบการดูดซับ โดย วิธีแบบกะ (Batch Test) การดูดซับแบบต่อเนื่อง (Column Test)
และการทดสอบการชะละลาย (Leaching Test)

3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของเก้าชานอ้อยและเก้าแกลบ ประกอบด้วย
องค์ประกอบทางเคมี พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาณรูพรุนของเก้า ภาพขยายกำลังสูง โดยใช้เครื่องมือ
วิเคราะห์ดั่งที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งในการหาคุณสมบัติพื้นฐานบางอย่างจะมีการส่งเก้าชานอ้อยและเก้า
แกลบไปวิเคราะห์ที่หน่วยงานที่ให้บริการ



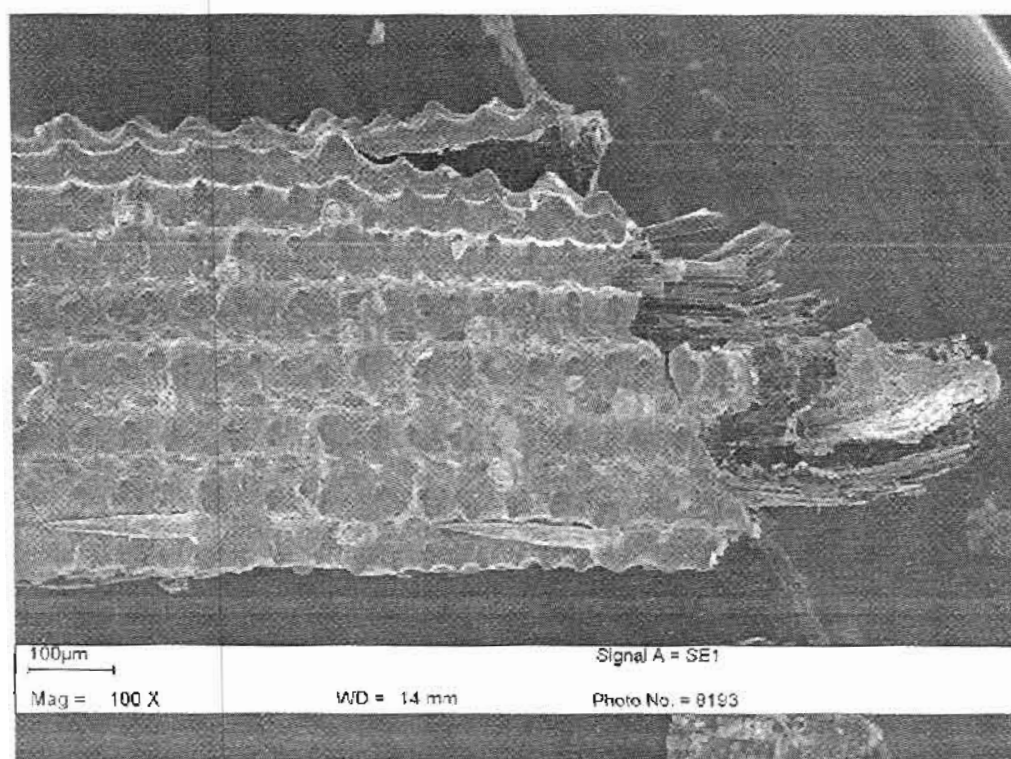
ตาราง 3.1 องค์ประกอบทางเคมีเป็นร้อยละของแก้วเคลือบและแก้วชานอ้อย

สารประกอบ	ปริมาณเป็นร้อยละ	
	แก้วเคลือบ	แก้วชานอ้อย
SiO ₂	57.0	40.0
K ₂ O	2.73	2.36
P ₂ O ₅	1.53	0.759
CaO	1.27	1.07
MgO	0.488	0.451
Fe ₂ O ₃	0.312	0.783
Al ₂ O ₃	0.296	0.874
Cl	0.270	0.140
Mn ₂ O	0.269	0.075
SO ₃	0.169	0.299
Na ₂ O	0.086	0.052
TiO ₂	0.034	0.138
BaO	0.032	0.043
ZnO	0.021	0.011
Rb ₂ O	0.017	0.010
SrO	0.010	0.017
CuO	0.006	0.013
Br	0.004	-
NiO	0.002	0.004
ZrO ₂	53 ppm	0.149
Sum	64.64	47.28
Cr ₂ O ₃	-	0.009



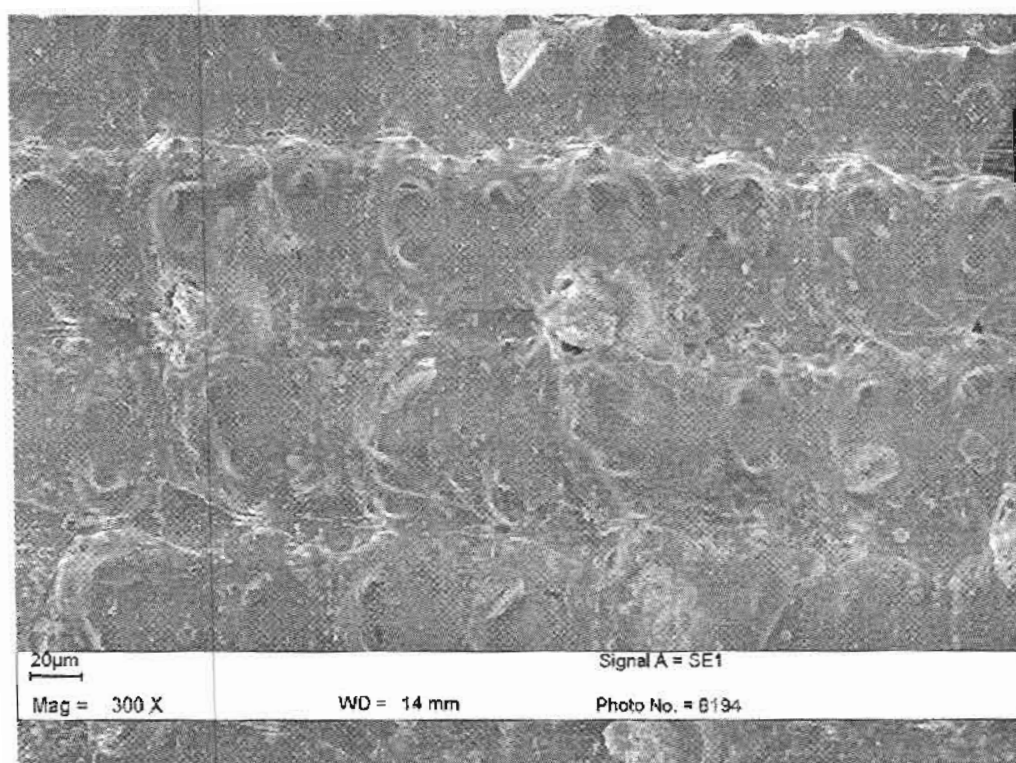
ตาราง 3.2 คุณสมบัติทางด้านพื้นผิวของเถ้าแกลบและเถ้าขาน้อย

ตัวดูดซับ	ขนาด	คุณสมบัติทางด้านพื้นผิว		
		พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	ปริมาตร รูพรุนรวม (cc/g)	ขนาดรูพรุน ($^{\circ}\text{A}$)
เถ้าแกลบ	หยาบ	62.820	0.06088	38.760
	ปานกลาง	50.450	0.05925	46.980
	ละเอียด	58.610	0.06635	45.290
เถ้าขาน้อย	หยาบ	39.930	0.03803	38.100
	ปานกลาง	30.560	0.02553	33.410
	ละเอียด	30.020	0.02796	37.260

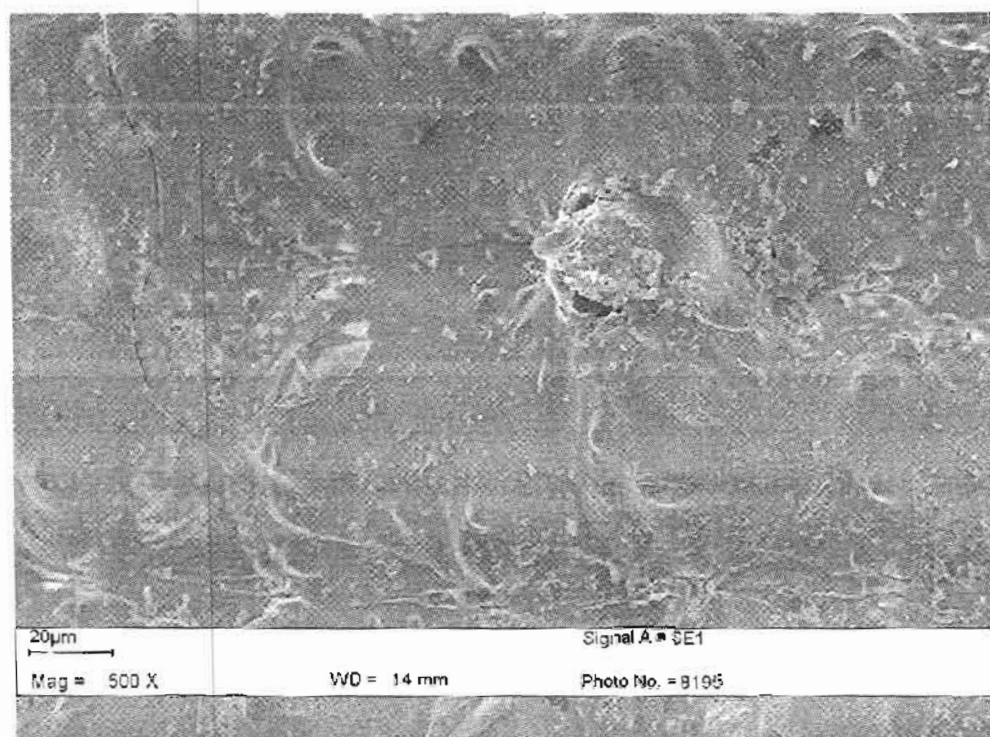


ภาพประกอบ 3.22 ภาพขยาย SEM ของเถ้าแกลบที่กำลังขยาย 100 เท่า



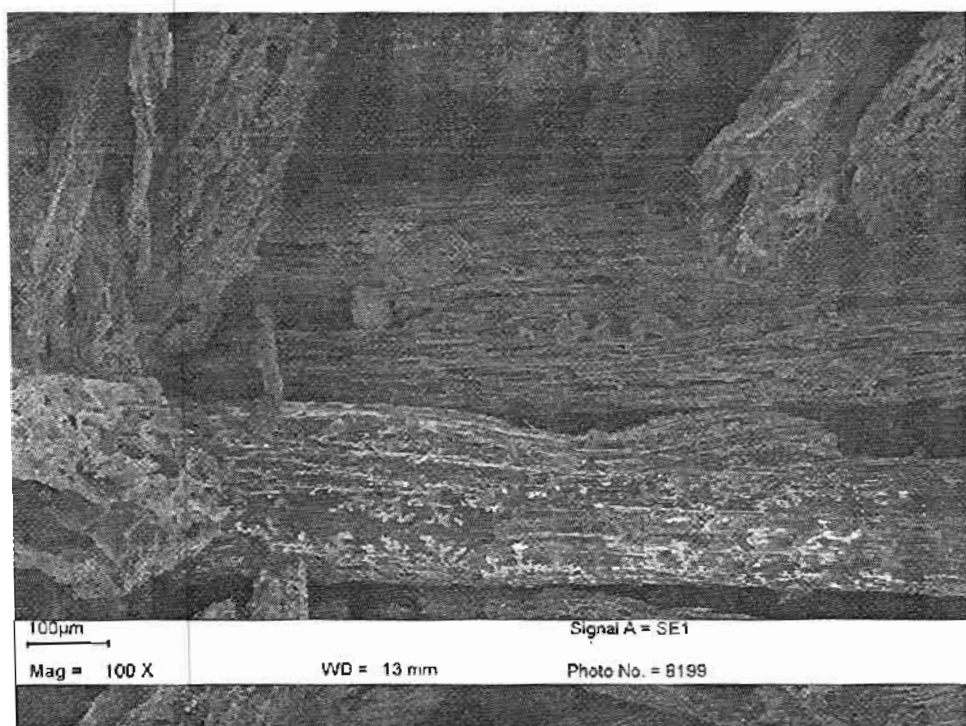


ภาพประกอบ 3.23 ภาพขยาย SEM ของแก้วเคลือบที่กำลังขยาย 300 เท่า

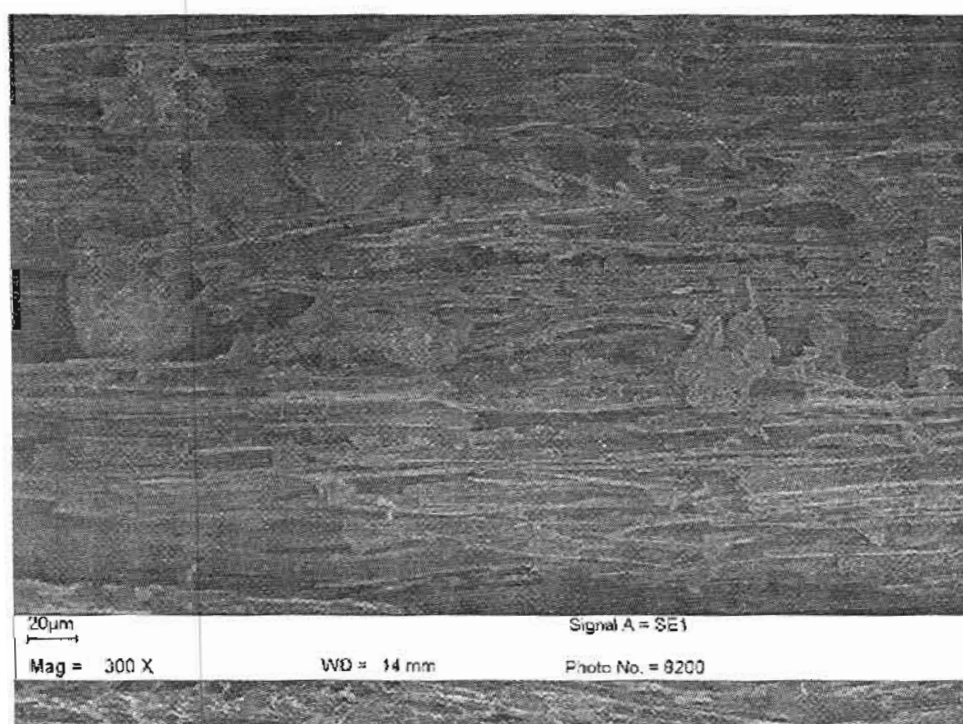


ภาพประกอบ 3.24 ภาพขยาย SEM ของแก้วเคลือบที่กำลังขยาย 500 เท่า



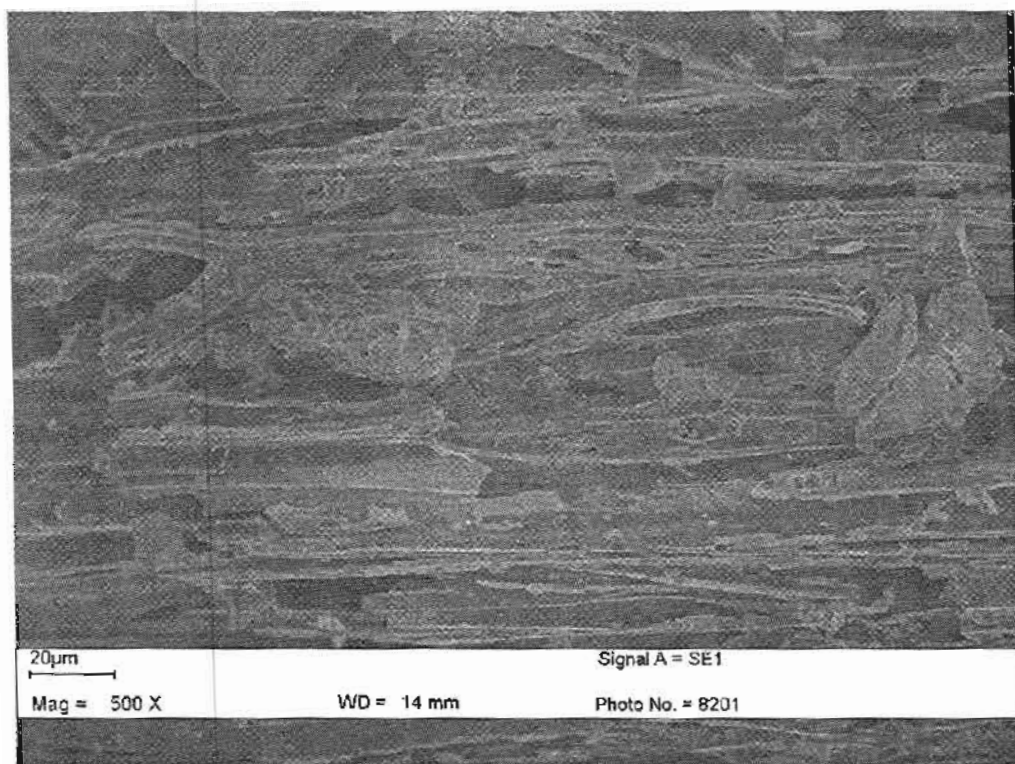


ภาพประกอบ 3.25 ภาพขยาย SEM ของเก้าชันอ้อยที่กำลังขยาย 100 เท่า



ภาพประกอบ 3.26 ภาพขยาย SEM ของเก้าชันอ้อยที่กำลังขยาย 300 เท่า





ภาพประกอบ 3.27 ภาพขยาย SEM ของเก้าขาน้อยที่กำลังขยาย 500 เท่า

3.3.2 การทดสอบการดูดซับโลหะหนัก

การทดลองการดูดซับโลหะหนักในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยวิธีแบบกะ (Batch Method) วิธีแบบต่อเนื่อง (Column Method) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) วิธีแบบกะ (Batch Method)

วิธีทดสอบแบบกะเป็นการนำตัวดูดซับปริมาณเพียงเล็กน้อย ผสมกับตัวถูกดูดซับที่อยู่ในรูปของสารละลายที่ทราบความเข้มข้น แล้วปล่อยให้เกิดการดูดซับโลหะหนักจนถึงระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นนำสารละลายไปวัดความเข้มข้นเพื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งจากวิธีดังกล่าวจะสามารถหาปริมาณการดูดซับได้ ขั้นตอนการทดสอบแบบกะมีดังต่อไปนี้

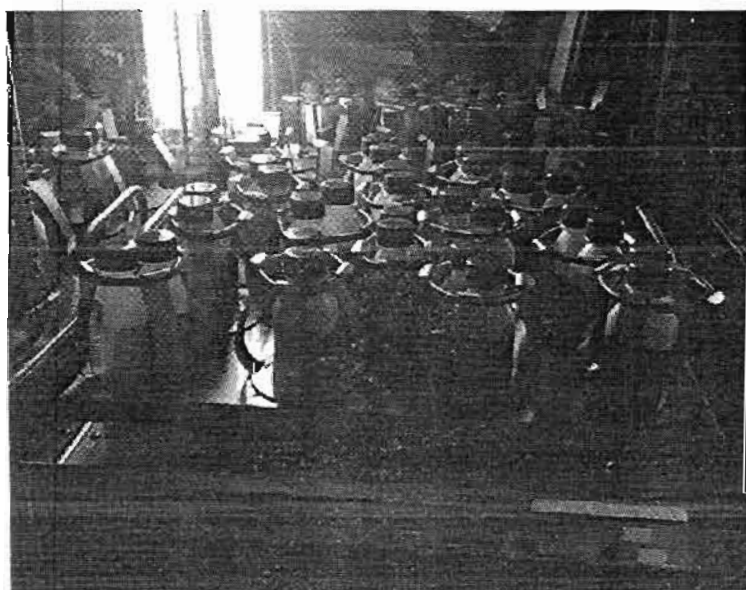
1.1) นำเก้าขาน้อย ปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในขวดยาและเติมสารละลายตะกั่วปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดยาที่บรรจุแล้ว





ภาพประกอบ 3.28 ส่วนผสมของซีเมนต์กับสารละลายโลหะหนัก

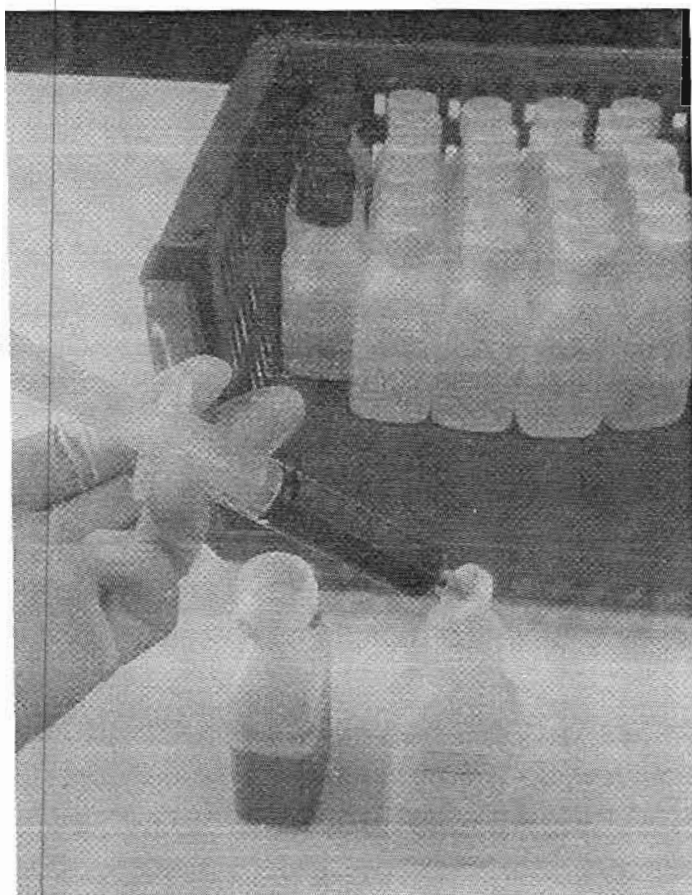
1.2) นำส่วนผสมของซีเมนต์กับสารละลายไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบประมาณ 130 รอบต่อนาที จนถึงระยะเวลาตามที่กำหนด



ภาพประกอบ 3.29 การเขย่าส่วนผสมด้วยเครื่องเขย่า

1.3) นำส่วนผสมออกจากเครื่องเขย่าแล้วกรองเอาออกจากสารละลายตะกั่วด้วยตัวกรอง ขนาด 0.45 ไมโครเมตร โดยใช้กระบอกฉีดยาดูดสารละลายออกจากขวดยา สวมตัวกรองที่ปลายกระบอกฉีด ยาและกดให้สารละลายไหลผ่านตัวกรอง





ภาพประกอบ 3.30 การกรองซีเถ้าออกจากสารละลายโลหะหนัก

1.4) นำสารละลายที่กรองแล้วไปเจือจางโดยผสมกับกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้นร้อยละ 1 ทั้งนี้ เพื่อให้ความเข้มข้นสารละลายมีค่าไม่เกินขีดจำกัดของเครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้น ซึ่งขีดจำกัดขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนัก

1.5) นำสารละลายที่เจือจางแล้วไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS)

การหาผลกระทบของระยะเวลาในการดูดซับ

ในการทดสอบการดูดซับแบบกะ ใช้เวลาในการดูดซับ 15, 30, 60, 180, และ 1440 นาที ซึ่งทำให้ทราบถึงความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายในระยะเวลาสั้นๆ และสามารถหาระยะเวลาการดูดซับการสมดุลได้ ซึ่งระยะเวลาการดูดซับสมดุลเป็นระยะเวลาที่ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก



การหาผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้น

ทำได้ตามขั้นตอนแบบกะ โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายคือ 1, 10, 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลอ่ยให้เกิดการดูดซับจนเข้าสู่สภาวะสมดุลและทำการคำนวณร้อยละการดูดซับ (% Adsorption) ที่แต่ละความเข้มข้น ดังนี้

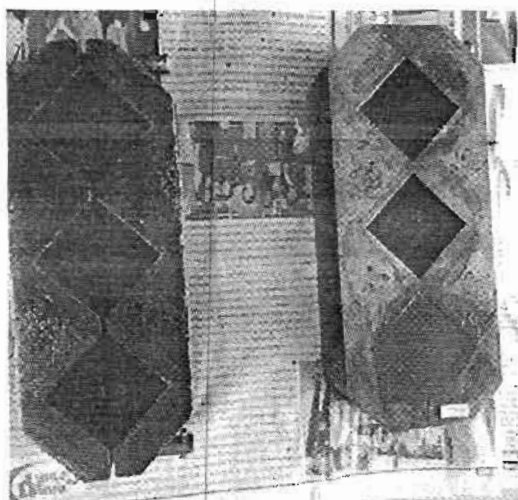
$$\% \text{ Adsorption} = \frac{C_o - C_{eq}}{C_o} \times 100$$

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการดูดซับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแต่ละค่า จะทราบถึงผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นได้

การหาผลกระทบของความละเอียดของตัวดูดซับ

ในการทดสอบการดูดซับ ใช้ความละเอียดของตัวดูดซับ 3 ระดับ คือ เถ้าต้งเดิม เถ้าบดละเอียดปานกลาง เถ้าบดละเอียดมาก โดยที่เถ้าสภาพต้งเดิมจะไม่ผ่านการบด เถ้าบดละเอียดปานกลาง นำมาบดให้มีขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 200 ประมาณร้อยละ 20 - 50 และเถ้าบดละเอียดมากนำมาบดให้มีขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 200 ไม่เกินร้อยละ 5 เมื่อพิจารณาความละเอียดของตัวดูดซับแต่ละระดับแล้ว จะทราบถึงผลการดูดซับว่าเถ้าระดับไหนดูดซับได้ดีที่สุด

3.4 การทดสอบการชะละลาย (Leaching Test) โดยประยุกต์ใช้วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TPCL)



ประกอบ 3.31 แบบหล่อมอร์ตาร์



ภาพประกอบ 3.32 เครื่องผสมมอร์ตาร์

การทดสอบการชะละลายเป็นการหาปริมาณของโลหะหนักที่ชะละลายออกมาจากเถ้าขาน้อยและเถ้าแกลบ ที่ผ่านการดูดซับโลหะหนักมาแล้ว โดยจะนำเถ้าขาน้อยที่ผ่านการดูดซับแล้วผสมกับปูนซีเมนต์ หทราย และน้ำ เพื่อหล่อเป็นก้อนมอร์ตาร์ จากนั้น จะทำการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักออกจากก้อนมอร์ตาร์โดยใช้วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ผสม ปูนซีเมนต์ หทราย เถ้าขาน้อยหรือเถ้าแกลบ ในอัตราส่วน ปูน : หทราย : เถ้า เท่ากับ 4 : 15 : 1 แล้วเทลงแบบหล่อ แต่งผิวให้เรียบ
- 2) ปักก้อนมอร์ตาร์เป็นเวลา 28 วัน
- 3) นำก้อนมอร์ตาร์ที่ปักเรียบร้อยแล้วไป ทดสอบกำลังอัดเพื่อให้ทราบถึงกำลังของมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าขาน้อยและเถ้าแกลบ ที่ผ่านการดูดซับ ตะกั่ว บดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร นำชิ้นส่วนมอร์ตาร์ที่แตก เนื่องจากการกดม่าย่อยจนมีขนาดที่ผ่าน
- 4) นำไปเขย่าด้วยเครื่องแบบหมุนที่มีอัตราหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 5) กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองใยแก้วขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน
- 6) วัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS

ตาราง 3.3 อัตราส่วนผสมของก้อนมอร์ตาร์สำหรับใช้ทดสอบการชะของเถ้าแกลบ

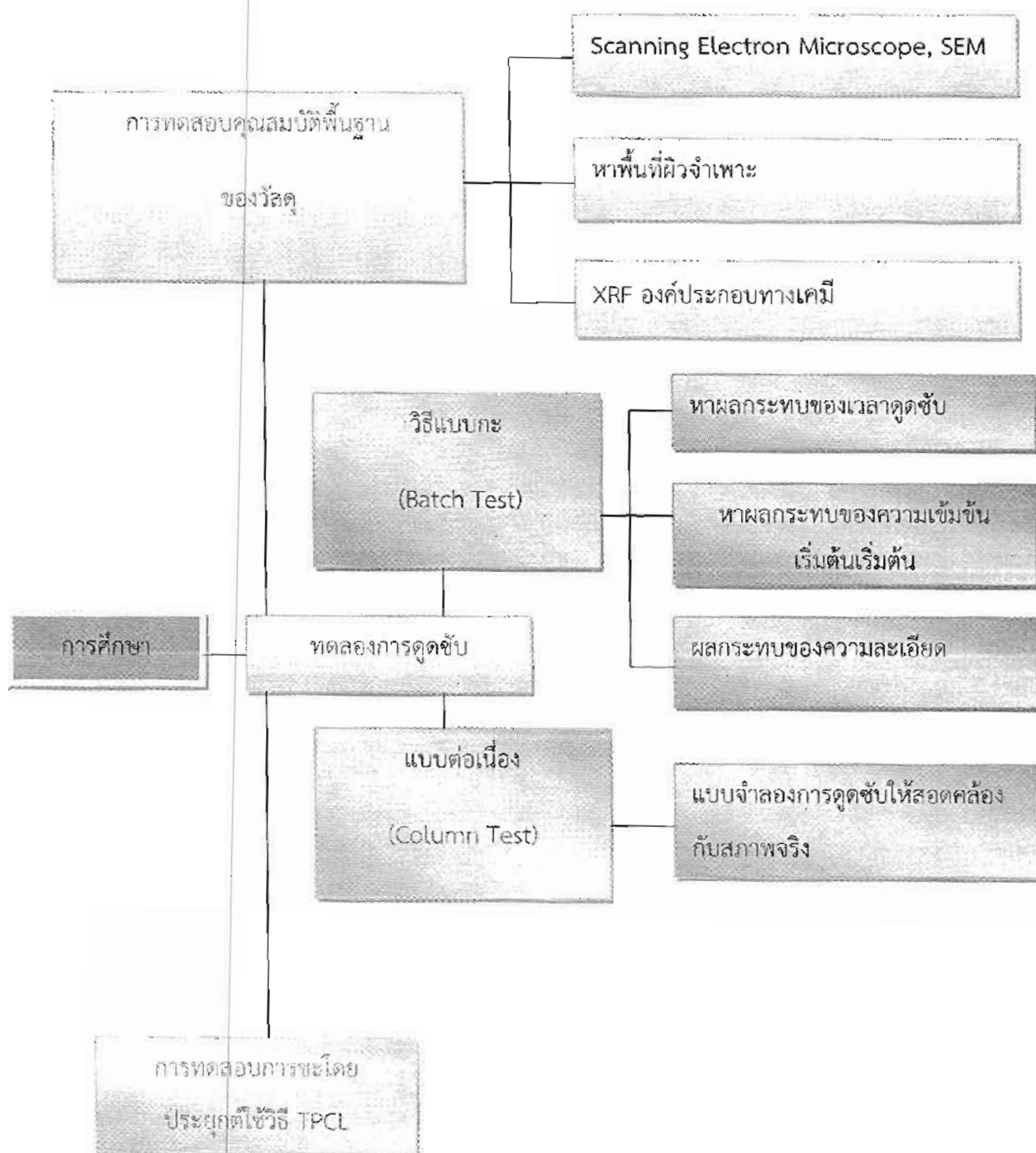
ลำดับที่	ปริมาณเถ้าแกลบ (ร้อยละ)		ปริมาณ ปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	ปริมาณ ทราย (ร้อยละ)	อัตราส่วนน้ำต่อ วัสดุยึดประสาน (w/c)
	บด	ไม่บด			
1	5	5	20	75	0.75
2	5	5	20	75	0.75

ตาราง 3.4 อัตราส่วนผสมของก้อนมอร์ตาร์สำหรับใช้ทดสอบการชะของเถ้าขาน้อย

ลำดับที่	ปริมาณเถ้าขาน้อย (ร้อยละ)		ปริมาณ ปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	ปริมาณ ทราย (ร้อยละ)	อัตราส่วนน้ำต่อ วัสดุยึดประสาน (w/c)
	บด	ไม่บด			
1	5	5	20	75	0.75
2	5	5	20	75	0.75



วิธีการศึกษาสามารถสรุปได้ดังแผนภาพต่อไปนี้



บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้ เป็นการนำเสนอผลการดูดซับพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลการทดสอบ ได้แก่ ผลกระทบต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว ระยะเวลาการดูดซับ ไอโซเทอมการดูดซับ แบบจำลองของฟรุนด์ลิช แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ ตลอดจนการทดสอบการชะตะกั่วออกจากก้อนมอร์ตาร์โดยประยุกต์จากวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ที่ผสมเก้ที่ผ่านการดูดซับแล้ว โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

4.1 ผลกระทบความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว

การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่มีต่อการดูดซับ จะพิจารณาจากประสิทธิภาพการดูดซับหรือร้อยละการดูดซับ (% adsorption) ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\% \text{ Adsorption} = \frac{C_0 - C_{eq}}{C_0} \times 100$$

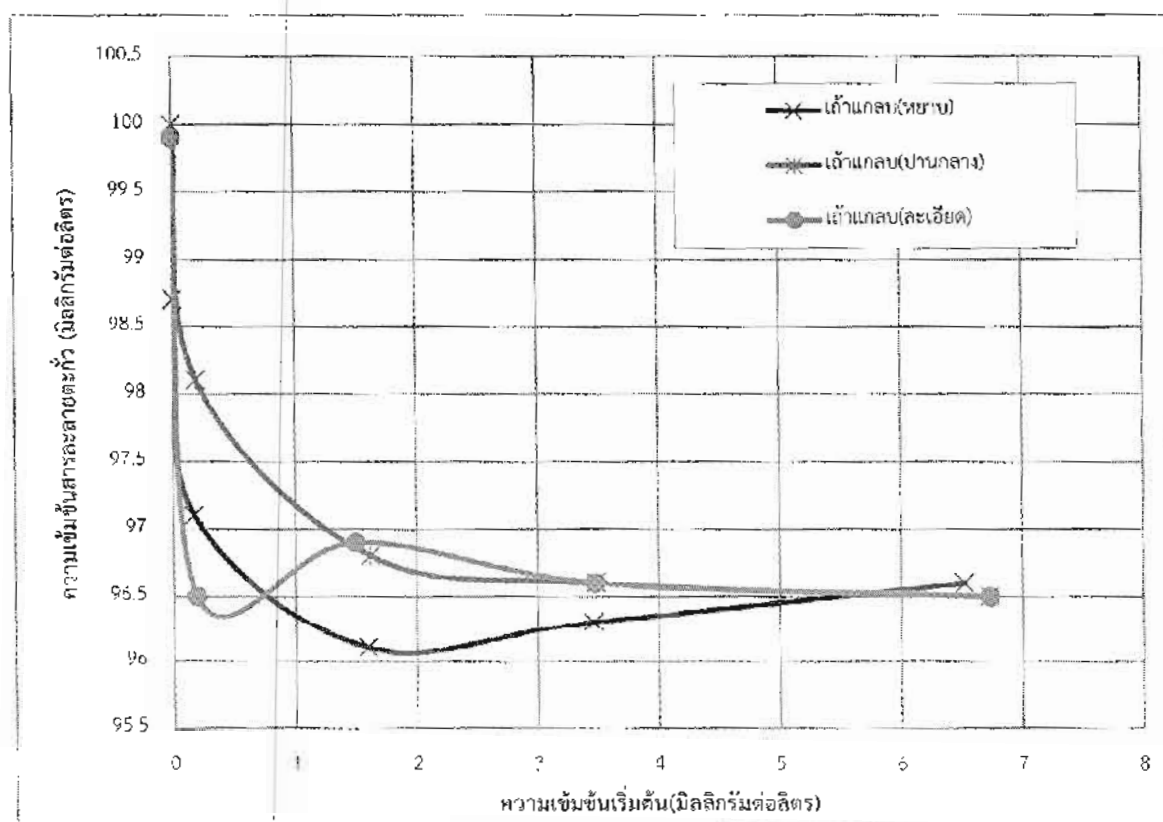
เมื่อ C_0 และ C_{eq} คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

การหาผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นจะใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 1, 10, 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผสมกับตัวดูดซับและปล่อยให้การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุล แล้วหาความเข้มข้นที่เหลืออยู่ ตารางที่ 4.3 แสดงค่าร้อยละการดูดซับตะกั่วที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าร้อยละการดูดซับมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกพื้นที่ในการดูดซับมีอยู่เป็นจำนวนมาก จึงเกิดการดูดซับได้ดี หลังจากนั้นพื้นที่ในการดูดซับจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากมีการสะสมของสารละลายตะกั่วบนพื้นผิวของเถ้าขานอ้อยและเถ้าแกลบมากขึ้น จากการเปรียบเทียบการดูดซับระหว่างเถ้าแกลบกับเถ้าขานอ้อยพบว่าเถ้าขานอ้อยมีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วมากกว่าเถ้าแกลบ และเมื่อเปรียบเทียบเถ้าแต่ละขนาด (หยาบ ปาน กลาง ละเอียด) พบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมากทั้งเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อย



ตาราง 4.1 ร้อยละการดูดซับตะกั่วของถ้ำกลบ

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการดูดซับ		
	หยาบ	ปานกลาง	ละเอียด
1	95.0	100	99.9
10	95.1	98.1	96.5
50	95.2	96.8	96.9
100	95.2	96.6	96.6
200	98.7	96.5	96.5

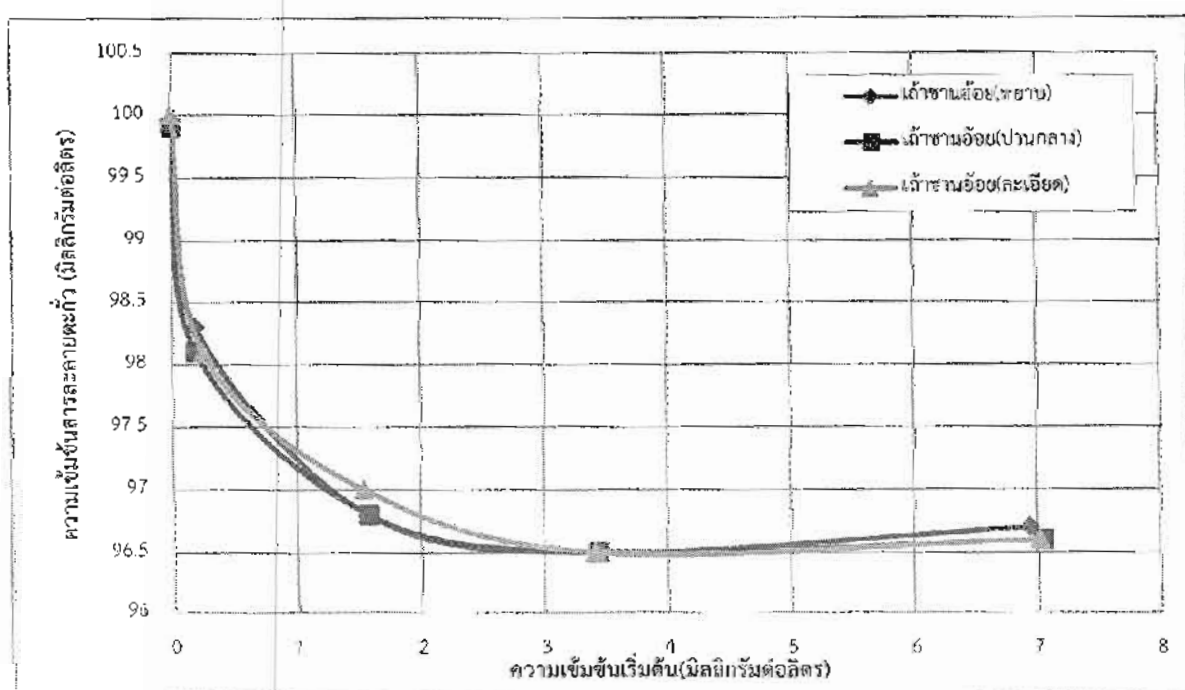


ภาพประกอบ 4.1 ร้อยละการดูดซับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ เมื่อใช้ถ้ำกลบเป็นตัวดูดซับ



ตาราง 4.2 ร้อยละการดูดซับตะกั่วของเถาขานอ้อย

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการดูดซับ		
	หยาบ	ปานกลาง	ละเอียด
1	99.9	99.9	100
10	98.3	98.1	98.1
50	96.8	96.8	97.0
100	96.5	96.5	96.5
200	96.7	96.6	96.6



ภาพประกอบ 4.2 ร้อยละการดูดซับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ เมื่อใช้เถาขานอ้อยเป็นตัวดูดซับ



4.2 ผลกระทบของระยะเวลาต่อการดูดซับสารละลายตะกั่ว

จากการหาความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายตะกั่ว ที่ระยะเวลาการดูดซับ 10, 20, 30, 60, 180 และ 1440 นาที โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ทราบถึงการดูดซับที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลาต่างๆ ของสารละลายตะกั่ว

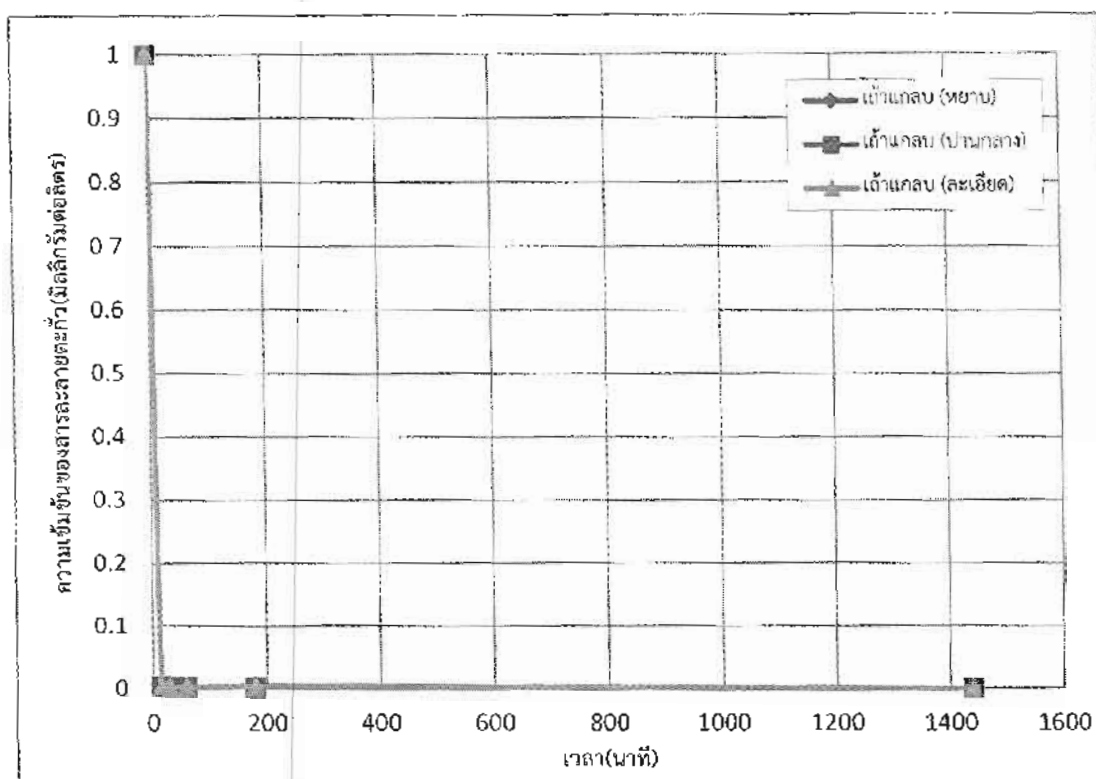
ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นที่เหลืออยู่ที่ระยะเวลาดูดซับต่างๆ โดยใช้ถ้ำแกลบเป็นตัวดูดซับ ส่วน ตารางที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นที่เหลืออยู่ที่ระยะเวลาดูดซับต่างๆ โดยใช้ถ้ำซานอ้อยเป็นตัวดูดซับ จะเห็นได้ว่าการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ้ำแกลบและถ้ำซานอ้อยให้ผลเช่นเดียวกัน คือ การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกแล้วเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในระยะเวลาไม่เกิน 15 นาที ลักษณะที่เกิดขึ้นนี้สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงแรกพื้นที่ในการดูดซับมีอยู่เป็นจำนวนมาก จึงเกิดการดูดซับได้อย่างรวดเร็วหลังจากนั้นพื้นที่ในการดูดซับจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากมีการสะสมของสารละลายตะกั่วบนพื้นผิวของตัวดูดซับมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับของถ้ำแกลบและถ้ำซานอ้อยที่มีขนาดต่างกัน พบว่า ถ้ำทั้ง 3 ขนาด (หยาบ ปานกลาง สะเอียด) มีการดูดซับแตกต่างกันน้อยมาก

ตาราง 4.3 ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายตะกั่ว ที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถ้ำแกลบ

เวลา	ความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่อง AAS (mg/l)			ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (C_t) (mg/l)		
	ไม่บด (หยาบ)	ปานกลาง	ละเอียด	ไม่บด (หยาบ)	ปานกลาง	ละเอียด
10	1	1	1	1	1	1
20	0.0012	0.0048	0.0026	0.0012	0.0048	0.0026
30	0.0024	0.0022	0.0038	0.0024	0.0022	0.0038
60	0.0032	0.0031	0.0037	0.0032	0.0031	0.0037
180	0.0044	0.0031	0.0035	0.0044	0.0031	0.0035
1440	0	0	0	0	0	0





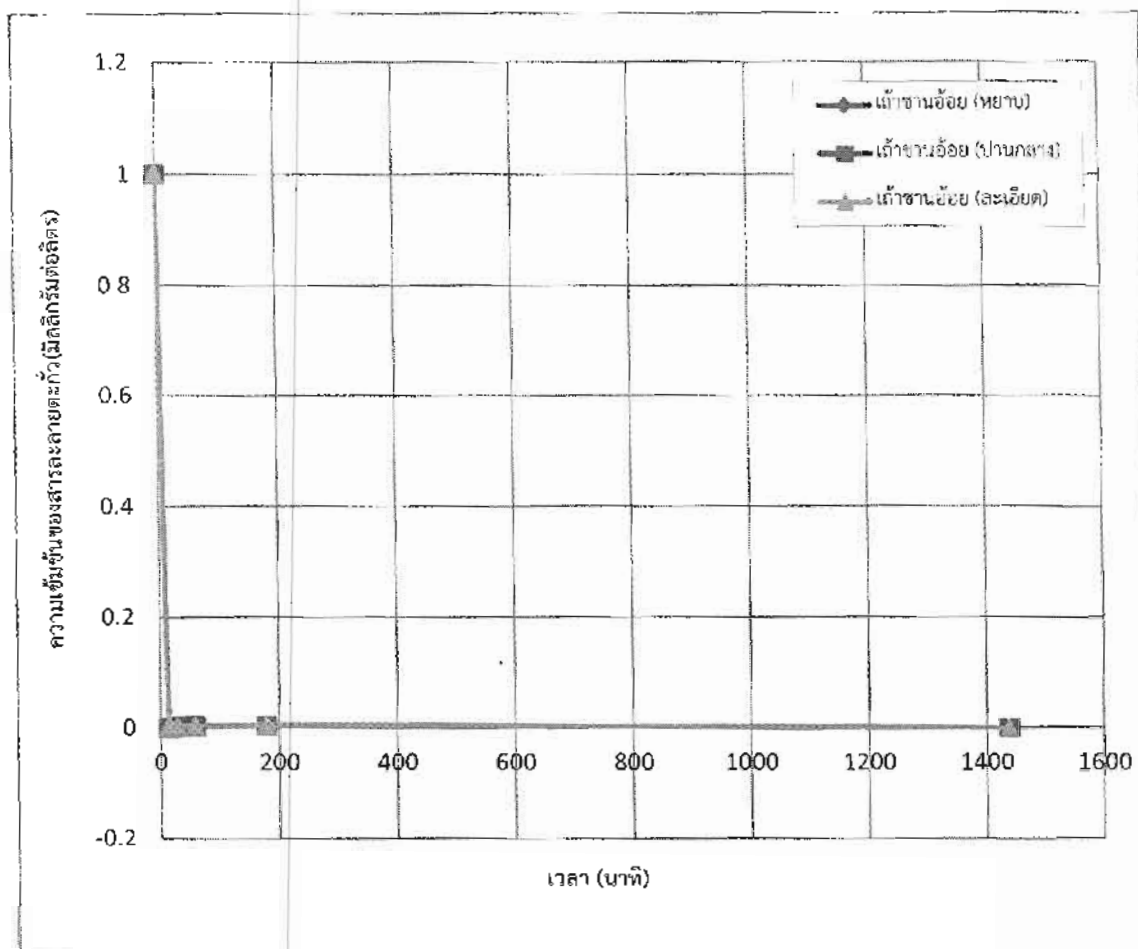
ภาพประกอบ 4.3 ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายตะกั่วที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตาราง 4.4 ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายตะกั่ว ที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

เก้าชานอ้อย

เวลา	ความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่อง AAS (mg/l)			ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (C_t) (mg/l)		
	ไม่บด (หยาบ)	ปานกลาง	ละเอียด	ไม่บด (หยาบ)	ปานกลาง	ละเอียด
10	1	1	1	1	1	1
20	0.0038	0.0009	0.0022	0.0038	0.0009	0.0022
30	0.0032	0.0027	0.0028	0.0032	0.0027	0.0028
60	0.0044	0.0031	0.0037	0.0044	0.0031	0.0037
180	0.0039	0.0037	0.0049	0.0039	0.0037	0.0049
	0	0	0	0	0	0





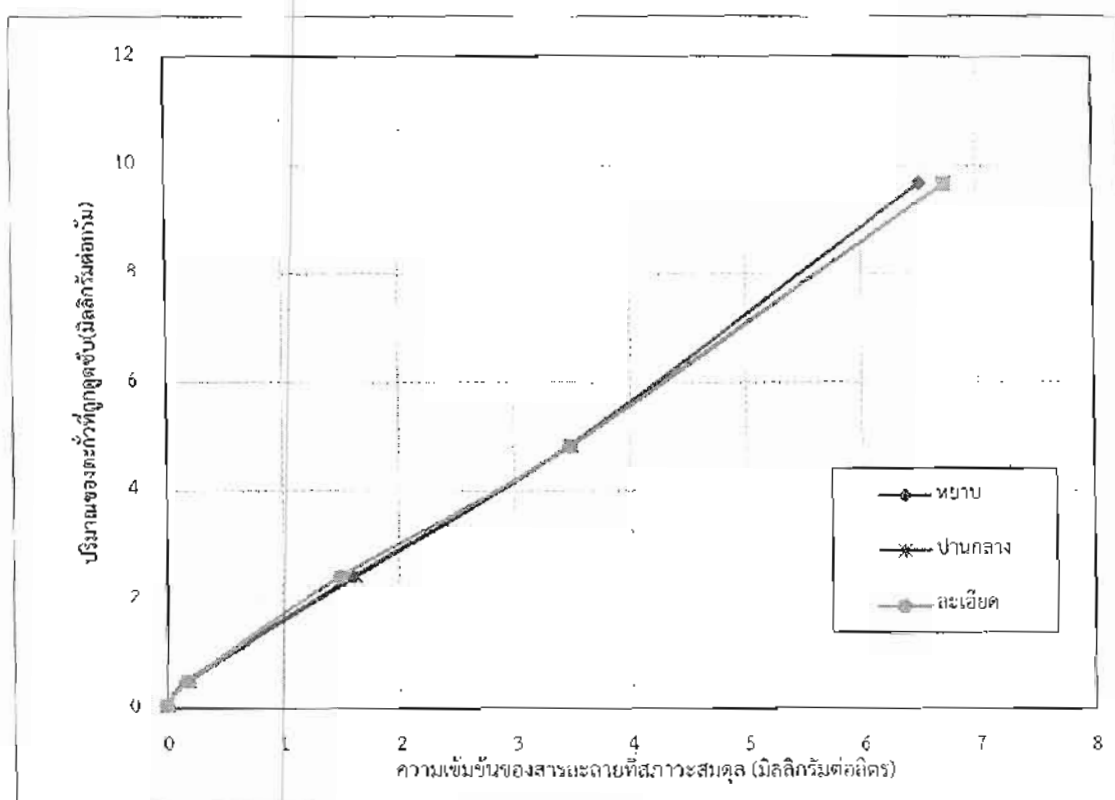
ภาพประกอบ 4.4 ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลายตะกั่วที่เวลาต่างๆเมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ

จากการทดสอบแบบกะโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 1, 10, 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วปล่อยให้การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุล จะสามารถหาไอโซเทอมการดูดซับได้ โดยทำการคำนวณหาปริมาณการดูดซับ (q) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแต่ละค่า นำมาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (C_{eq}) กับปริมาณการดูดซับ จะได้ไอโซเทอมการดูดซับดังภาพประกอบ ซึ่งจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง C_{eq} กับ q ของทั้งถ้ำกลบและถ้ำชานอ้อยมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง โดยเมื่อ C_{eq} เพิ่มขึ้น q ก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วจะ

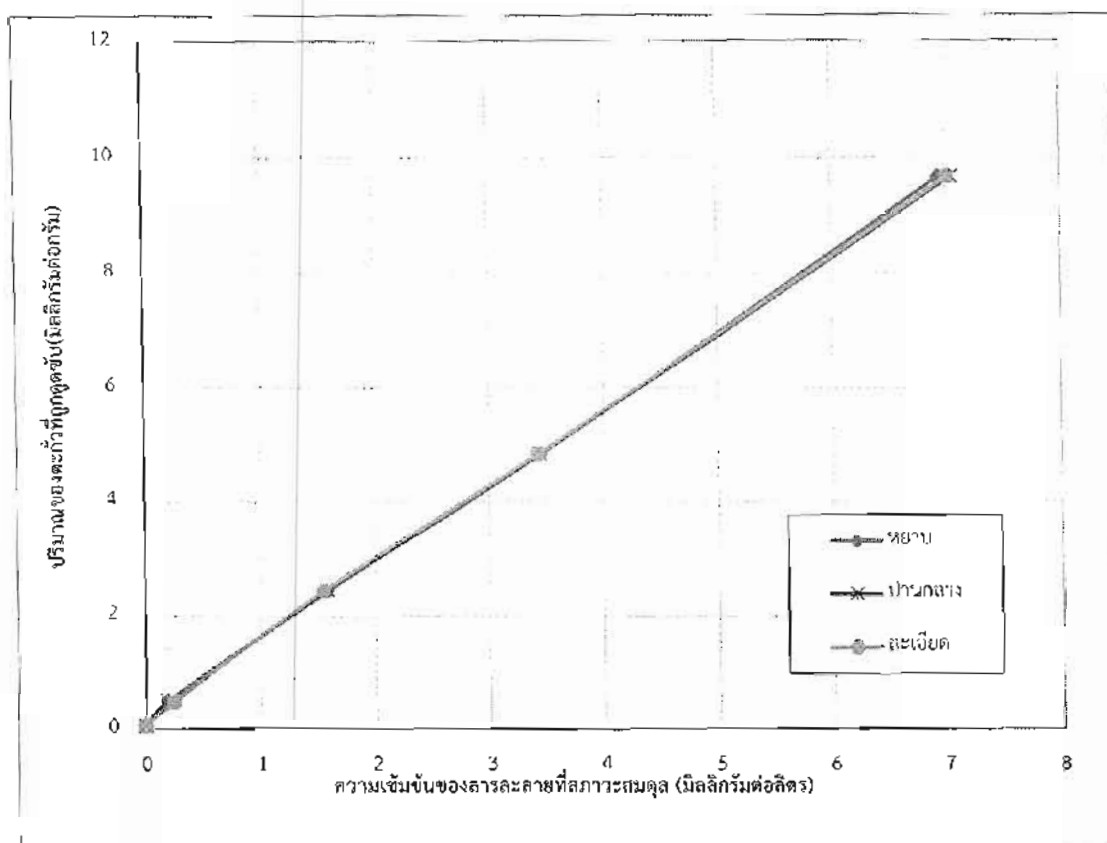


ทำให้มีอนุภาคของตะกั่วไปเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับได้มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยอัตราค่อนข้างคงที่ในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง คือ อยู่ในช่วง 1-200 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม หากใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้นอีก การดูดซับอาจเข้าสู่จุดอิ่มตัวได้ เมื่อเปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วของแก้วที่มีขนาดแตกต่างกันพบว่า แก้วทั้ง 3 ขนาด (หยาบ ปานกลาง ละเอียด) มีไอโซเทอมการดูดซับแตกต่างกันน้อยมาก



ภาพประกอบ 4.5 ไอโซเทอมการดูดซับของแก้วแกลบ



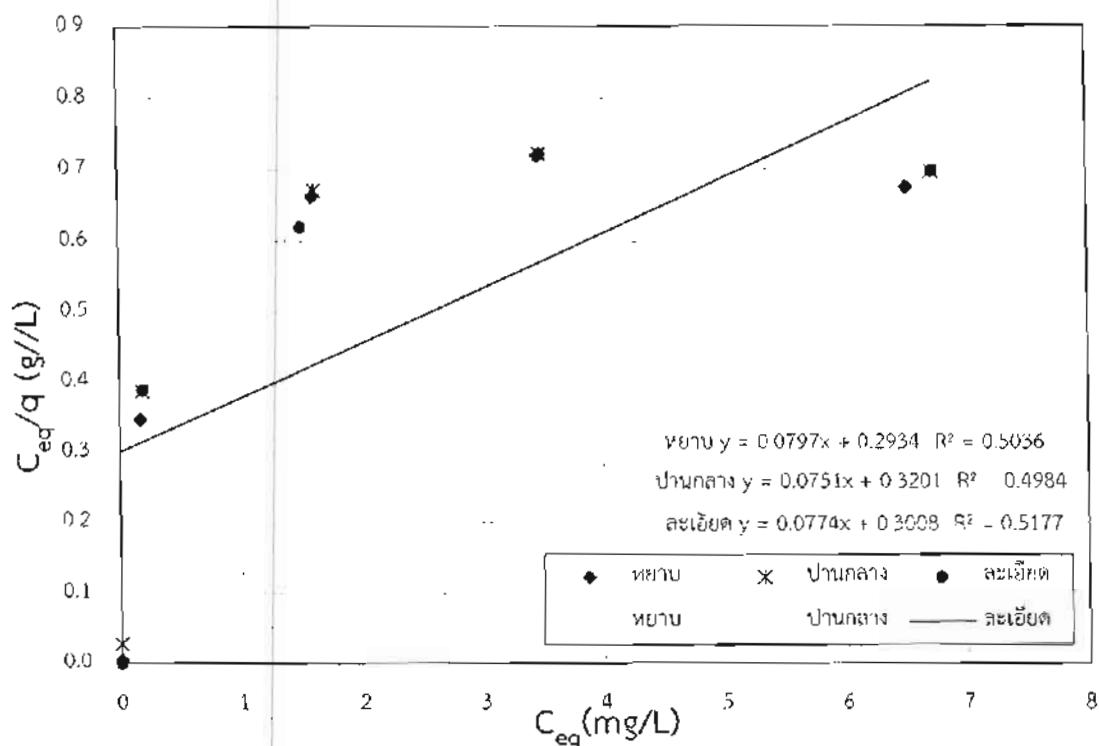


ภาพประกอบ 4.6 ไอโซเทอมการดูดซับของเถาขานอ้อย

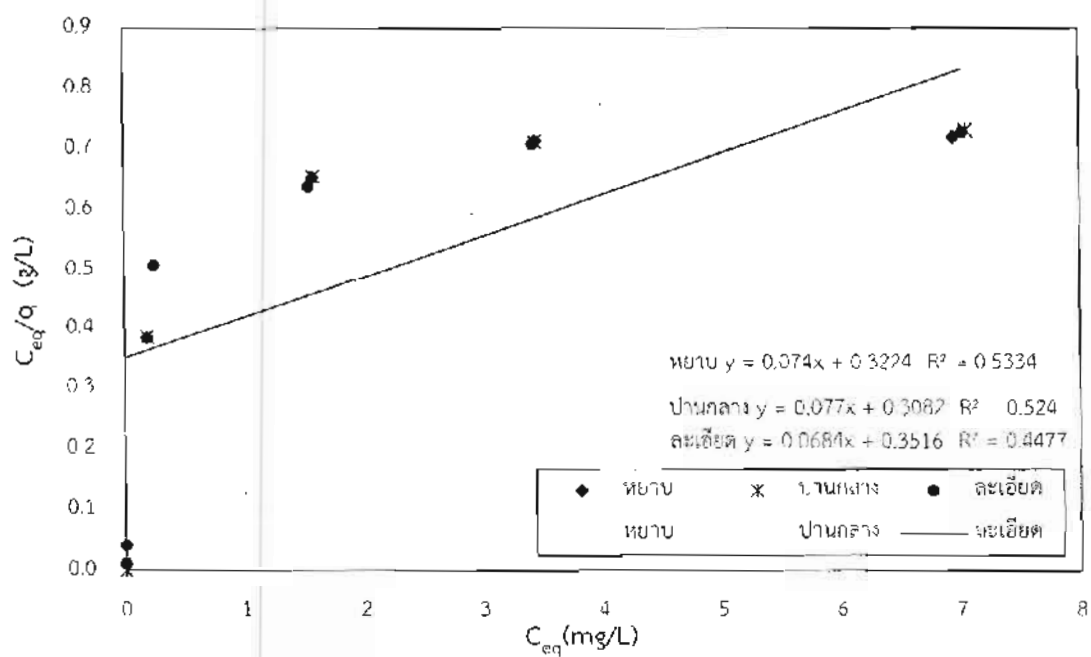
4.4 แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์

จากกราฟไอโซเทอมที่แสดงในหัวข้อที่แล้ว เมื่อทำการปรับค่าในแกนตั้งจาก q ให้เป็น $C_e q / q_m$ จะได้แบบจำลองของแลงเมียร์ดังภาพประกอบ ซึ่งเมื่อลากเส้นตรงเฉลี่ยจุดแล้วได้ค่า R^2 ค่อนข้างต่ำ คือ อยู่ในช่วง 0.45-0.54 จึงกล่าวได้ว่าการดูดซับตะกั่วของเถาแกลบและเถาขานอ้อยไม่เป็นไปตามแบบจำลองของแลงเมียร์ ทั้งนี้ แบบจำลองของแลงเมียร์ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า การดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียวและมีขีดจำกัดในการดูดซับ ดังนั้น การดูดซับตะกั่วของเถาแกลบและเถาขานอ้อยน่าจะเกิดขึ้นได้หลายชั้นและสามารถดูดซับเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ อย่างไม่จำกัด





ภาพประกอบ 4.7 แบบจำลองการดูดซับเข้ากลับของแลงเมียร์

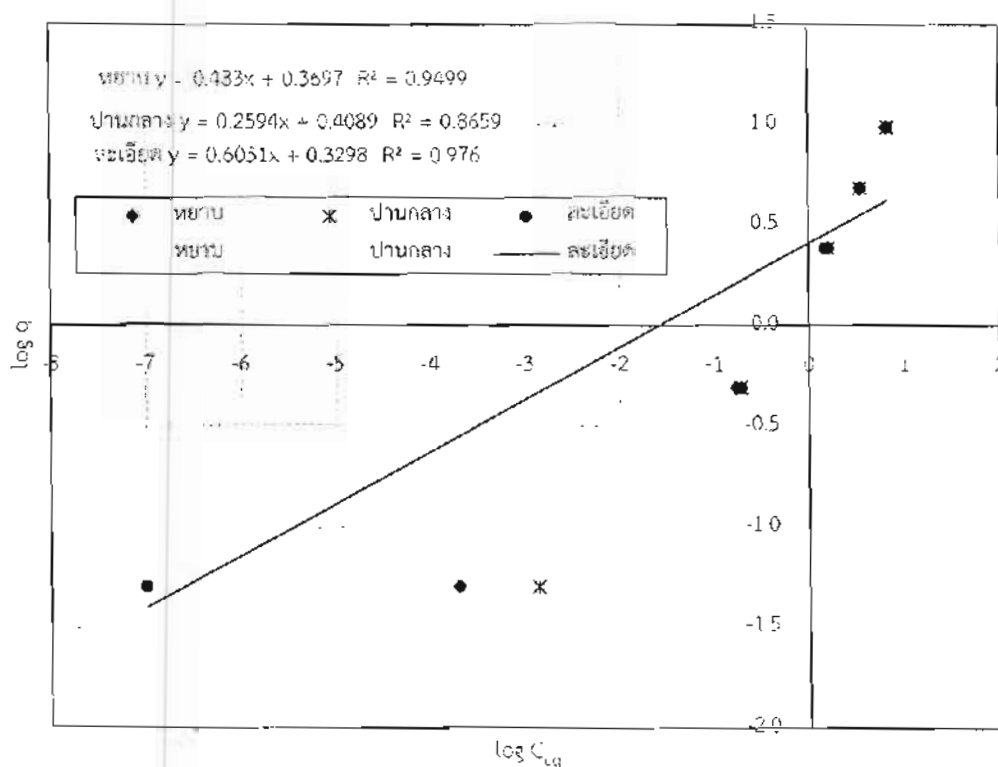


ภาพประกอบ 4.8 แบบจำลองการดูดซับเข้าขานอ้อยของแลงเมียร์



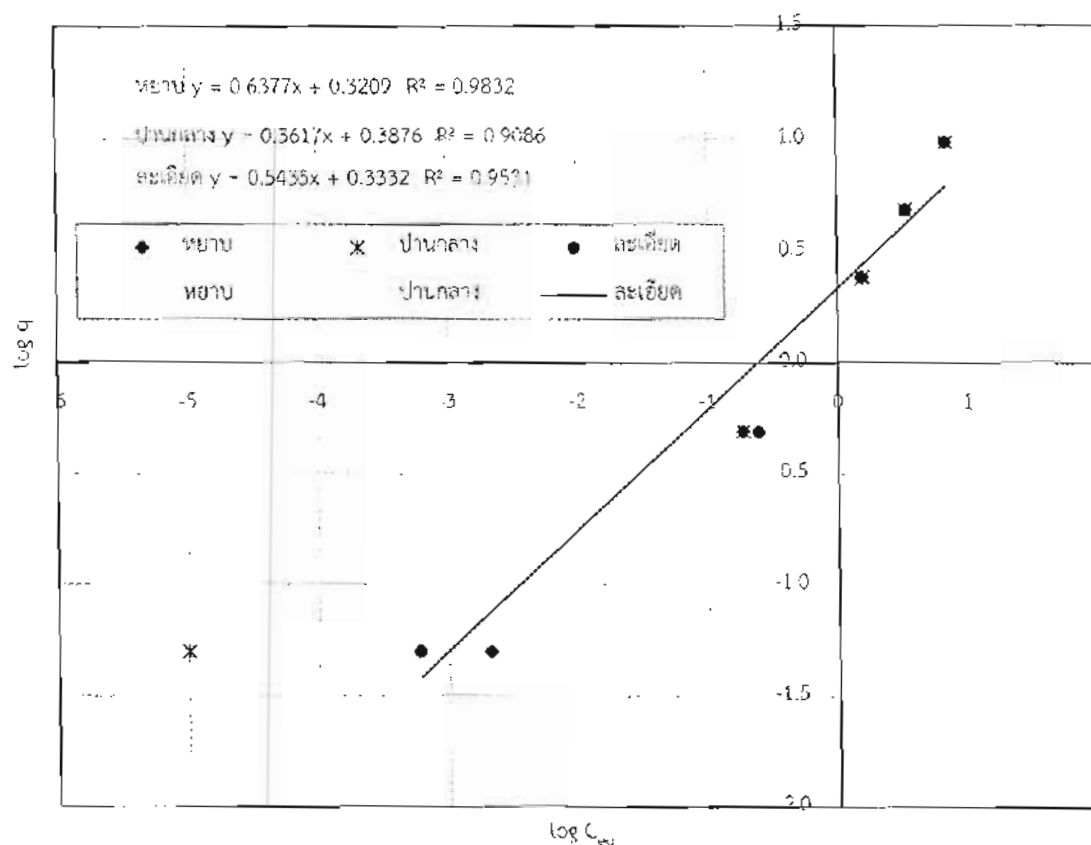
4.5 แบบจำลองการดูดซับของฟรอนด์ลิช

จากกราฟไอโซเทอมที่แสดงในหัวข้อที่ 4.3 เมื่อทำการปรับค่าโนแกนนอนและแกนตั้งให้เป็น $\log C_{eq}$ และ $\log q$ ตามลำดับ จะได้แบบจำลองของฟรอนด์ลิชดังภาพประกอบ เมื่อลากเส้นตรงเฉลี่ยจุดแล้วได้ค่า R^2 ที่สูง คือ อยู่ในช่วง 0.86-0.98 จึงกล่าวได้ว่าการดูดซับตะกั่วของถ้ำกลบและถ้ำชานอ้อยมีความสอดคล้องกับแบบจำลองของแลงเมียร์ ทั้งนี้ ซึ่งแสดงว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้หลายชั้นและสามารถเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ อย่างไม่จำกัด



ภาพประกอบ 4.9 แบบจำลองการดูดซับถ้ำกลบของฟรอนด์ลิช





ภาพประกอบ 4.10 แบบจำลองการดูดซับถ้ำขานอ้อยของฟรอนด์ลิซ

4.6 ผลการทดสอบการชะละลาย (Leaching Test) โดยประยุกต์ใช้วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TPCL)

ในบททดสอบนี้ เป็นการทดสอบการชะละลายโดยเอาถ้ำขานอ้อยและถ้ำกลบที่ผ่านการดูดซับตะกั่วแล้ว นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ หยาบ และน้ำ ในอัตราส่วนต่างๆในตารางที่ 4.5 และ 4.6 เพื่อหล่อเป็นก้อนมอร์ตาร์ ทำการบ่มเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นทำการย่อยก้อนมอร์ตาร์แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิกรัม แล้วนำไปแช่กรดอะซิติก เนื่องจากงบประมาณในการทำวิจัยนี้ไม่เพียงพอ และไม่สามารถหากรดอะซิติกได้ทัน จึงได้ทำการประยุกต์โดยการใช้น้ำเปล่าแทน จากนั้นก็นำไปกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้วขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายที่กรองแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption spectrometer (AAS)



ตาราง 4.5 การทดสอบการชะละลายของเถ้ากลบ

เถ้ากลบ	อัตราส่วน เถ้าขานอ้อย : ปูน : ทราย	กำลังรับแรงอัด (ksc)	ปริมาณตะกั่วที่ถูกชะ (mg/l)
ไม่บด (หยาบ)	1 : 4 : 15	113	0
ละเอียด	1 : 4 : 15	168	0

ตาราง 4.6 การทดสอบการชะละลายของเถ้าขานอ้อย

เถ้าขานอ้อย	อัตราส่วน เถ้าขานอ้อย : ปูน : ทราย	กำลังรับแรงอัด (ksc)	ปริมาณตะกั่วที่ถูกชะ (mg/l)
ไม่บด (หยาบ)	1 : 4 : 15	88	0
ละเอียด	1 : 4 : 15	146	0

จากการศึกษาการดูดซับตะกั่วโดยใช้เถ้ากลบและเถ้าขานอ้อยสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับเกิดขึ้นเร็วใน 15 นาทีแรก การดูดซับสารละลายตะกั่วเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในระยะเวลาไม่เกิน 15 นาที แบบจำลองการดูดซับของของฟรอนด์ลิช จะสามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าและแบบจำลองของแลงเมียร์ และในการทดสอบการชะละลายของสารละลายตะกั่วที่หล่อเป็นก้อนมอร์ตาร์พบว่า ไม่มีการชะละลายตะกั่วออกจากก้อนมอร์ตาร์ และการนำเอากำลังรับแรงอัดของก้อนมอร์ตาร์ที่ผสมซีเมนต์เทียบกับก้อนมอร์ตาร์ทั่วไปได้ จากการศึกษาทำให้ทราบว่าเถ้ากลบมีการดูดซับสารละลายตะกั่วได้ดีกว่าเถ้าขานอ้อยและพบว่า ซีเมนต์ไม่บด บดปานกลาง และบดละเอียดมีการดูดซับใกล้เคียงกัน



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่วของเถาขานอ้อยและเถากล้วย โดยใช้วิธีการทดสอบแบบกะ รวมถึงการศึกษา การชะตะกั่วออกจากก้อนมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเถากล้วยและเถาขานอ้อย ที่ผ่านการดูดซับตะกั่วมาแล้วสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 15 นาทีแรกและเข้าสู่สภาวะสมดุลภายใน 15 นาที
2. ร้อยละการดูดซับหรือประสิทธิภาพการดูดซับที่มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น
3. การดูดซับมีความสอดคล้องกับแบบจำลองของฟรันทซ์ลิชแต่ไม่สอดคล้องกับแบบจำลองของแลงเมียร์
4. เถาแต่ละขนาดมีพฤติกรรมการดูดซับแตกต่างกันน้อยมาก
5. ไม่มีการชะตะกั่วออกจากก้อนมอร์ตาร์ ที่มีส่วนผสมของเถากล้วยและเถาขานอ้อยที่ผ่านการดูดซับตะกั่วมาแล้ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

-ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เถาขานอ้อยและเถากล้วยเป็นตัวดูดซับสารละลายตะกั่ว ซึ่งยังมีเถาชนิดอื่นๆ ที่ควรทำการศึกษาต่อไป เช่น เถาปาล์มน้ำมัน เถาถ่านหิน เป็นต้น

-ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตะกั่วเป็นตัวถูกดูดซับ ซึ่งยังมีโลหะหนักอีกหลายชนิดที่ควรทำการศึกษาต่อไป เช่น ทองแดง นิกเกิล โปรท สังกะสี สารหนู แคดเมียม โครเมียม เป็นต้น

-นำการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อไปในอนาคต



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. คู่มือกฎหมายสิ่งแวดล้อมสำหรับประชาชน มลพิษอื่นและของเสียอันตราย. กรุงเทพฯ : กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2542.
- จันทร์ณี แจ่มแสงทอง. การบำบัดสารมลพิษโดยใช้เทคโนโลยี phytoremediation สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2554
- หุติมา ล้อมมหาวาภิรตี ธวัชชัย แพชมัต และจรรย์ เจริญธีรบูรณ์. การหาปริมาณโลหะหนักในเหง้าหรือรากของพืชสมุนไพรไทยในวงศ์. นครปฐม . สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2553.
- ชูสง่า สุวรรณศรี. พืชของโลหะและสารประกอบโลหะ. วิทยาศาสตร์, 2526.
- ปัญญาพร หาสุข และ ศรีวงศ์วาลย์ เมืองภูงา. พฤติกรรมการดูดซับสังกะสีของแก้วชานอ้อย . คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2558.
- ไพศาล เหล่าสุวรรณ. การทำการเกษตรของ เกษตรกรของประเทศไทย, 2554.



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวสุพัฒนา พายไธสง
วันเกิด	29 เมษายน พ.ศ.2532
สถานที่เกิด	อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด
ที่อยู่ปัจจุบัน	109 หมู่ 9 ตำบลหนองผือ อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45180
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2546	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบ้านหนองแอก จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2549	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2553	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างโยธา วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2558	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวสุรีพร สารขันธ
 วันเกิด 28 สิงหาคม พ.ศ.2536
 สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์
 ที่อยู่ปัจจุบัน 35 หมู่ 1 ตำบลหนองกุง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์
 รหัสไปรษณีย์ 46000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
 พ.ศ. 2554 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคกาฬสินธุ์
 จังหวัดกาฬสินธุ์
 พ.ศ. 2556 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างโยธา วิทยาลัยเทคนิคกาฬสินธุ์
 จังหวัดกาฬสินธุ์
 พ.ศ. 2558 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

