

**การดูดซับโลหะหนักตะกั่ว ด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกที่ผลิต
จากกากชาและกากกาแฟ**

Lead adsorption with absorbing ceramic from coffee and tea waste

นุรีย์ฮัน สามะ

Nurgeehan sama

**วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช**

Bachelor of Science in Chemistry

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

2553

ชื่อการวิจัย การดูดซับโลหะหนักตะกั่ว ด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกที่ผลิตจากกากชาและ
กากกาแฟ

Lead adsorption with absorbing ceramic from coffee and tea waste

ผู้ทำวิจัย นางสาวนุรีย์ฮัน สามะ

สาขา เคมี

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์รุ่งนภา พิมเสน)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์รุ่งนภา พิมเสน)

.....กรรมการ

(อาจารย์ประวิทย์ เนืองมัจฉา)

.....กรรมการ

(อาจารย์ปวีณา ปรวัฒน์กุล)

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อนุมัติให้โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

.....

(อาจารย์เน่งน้อย แสงเสน่ห์)

ประธานหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ชื่อโครงการวิจัย	การดูดซับโลหะหนักตะกั่ว ด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกที่ผลิตจากกากชาและกากกาแฟ Lead Adsorption with absorbing ceramic from coffee and tea waste
สาขา	เคมี
ชื่อผู้วิจัย	นางสาวนุรีย์อัน สามะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์รุ่งนภา พิมเสน
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชาและกากกาแฟ เพื่อมาศึกษาการกำจัดตะกั่ว เม็ดดูดซับเซรามิกผลิตจาก กากชา กากกาแฟ และดินเหนียวโดยนำวัสดุทั้ง 3 ชนิด มาบดแล้ว ร่อนคัดขนาดให้มีขนาดเล็กกว่า 212 ไมโครเมตรหรือ 70 เมช ผสมกากชา กับดินเหนียวในอัตราส่วน 80:20 และ ผสมกากกาแฟกับดินเหนียว ในอัตราส่วน 80:20 เมื่อผสมกันดีแล้วนำไปอัดเม็ดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วด้วยการเขย่า โดยทำการศึกษาเวลาในการเขย่า พีเอช และไอโซเทอมของการดูดซับค่าความจุของวัสดุ ซึ่งพบว่า เวลาในการดูดซับตะกั่วของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาเข้าสู่สมดุลในเวลา 30 และ 90 นาที ตามลำดับ พีเอช ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะตะกั่วของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาเท่ากับ พีเอช 5 และศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะตะกั่วเพื่อหาค่าความจุของการดูดซับของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา ผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ ดังนั้นจึงหาค่าความจุการดูดซับโดยอาศัยสมการไอโซเทอมแลงเมียร์ ซึ่งพบว่า เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาสามารถดูดซับตะกั่วได้สูงสุดเท่ากับ 0.6788 และ 1.4106 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

คำนำ

รายงานการวิจัยเรื่อง การดูดซับโลหะหนักด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกที่ผลิตจากกากชาและกากกาแฟ เป็นงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ คือ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเวลา ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมผลของพีเอช และศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกั่ว ที่เหมาะสมต่อการดูดซับ และหาค่าความจุในการดูดซับของวัสดุ โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้นำวัสดุที่เหลือทิ้ง นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์

ข้อมูลและผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำเสีย ที่มาจากแหล่งต่างๆ ได้

นุรีย์ฮัน สามะ

มีนาคม 2554

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่อง การดูดซับโลหะหนัก ด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกที่ผลิตจากกากชาและกากกาแฟ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์รุ่งนภา พิมเสน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนวทางและแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดการวิจัยในครั้งนี้จนรายงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชและเจ้าหน้าที่สาขาวิชาเคมี ที่ให้การสนับสนุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงานตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้คำปรึกษาแนะนำวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยด้วยความเมตตากรุณา จนผู้วิจัยประสบความสำเร็จ

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ แม่ พี่น้องและเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

นุรีย์ฮัน สามะ

มีนาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
คำนำ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญภาพ	(7)
 บทที่ 1 บทนำ	 1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	3
 บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	 4
ความรู้เกี่ยวกับกาแฟ	4
ความรู้เกี่ยวกับชา	6
ความรู้เกี่ยวกับเซรามิค	11
ความรู้เกี่ยวกับดิน	15
การดูดซับ	21
คุณสมบัติของสารดูดซับที่ดี	25
ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	25
สถานะสมดุลและไอโซเทอมของการดูดซับ	27
ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับตะกั่ว	33
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	41
เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี	41
การเตรียมวัสดุชุดขับ	42
การหาสภาวะที่เหมาะสมและความสามารถในการดูดซับโลหะตะกั่ว	42
 บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	 44
ผลการทดลอง	44
อภิปรายผลการทดลอง	53
 บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	 54
สรุปผล	54
ข้อเสนอแนะ	54
 บรรณานุกรม	 55
ภาคผนวก	58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของเม็ถัดกาแฟเขียว
2.2	คุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนไปในการเพาะยะต่างๆ
4.1	ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุเม็ถดูดซับเซรามิก ผลิตจากกากชาและกากกาแฟที่เวลาแตกต่างกัน
4.2	ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วที่ระดับพีเอชของสารละลาย แตกต่างกัน
4.3	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการ ดูดซับเม็ถดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรูนดลิช
4.4	ค่า $\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการ ดูดซับ เม็ถดูดซับเซรามิกจากกากชาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรูนดลิช
4.5	ค่า $1/q$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $1/C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการ ดูดซับ เม็ถดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์
4.6	ค่า $1/q$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $1/C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการ ดูดซับ เม็ถดูดซับเซรามิกจากกากชาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์
4.7	ค่าความจุของการดูดซับของวัสดุดูดซับตามวิธีการดูดซับแบบเขย่า ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของเมล็ดกาแฟ	4
2.2 องค์ประกอบหลักทางชีวเคมีของชา	7
2.3 ลักษณะชาอัสสัม	9
2.4 ลักษณะของชาจีน	10
2.5 ลักษณะของชาเขมร	10
2.6 โครงสร้างเม็ดเดี่ยว	16
2.7 โครงสร้างเป็นผลึก	16
2.8 โครงสร้างเป็นรวงผึ้ง	17
2.9 โครงสร้าง Silica Tetrahedral Unite	17
2.10 โครงสร้าง Alumina Octahedral Unite	18
2.11 ลักษณะการกระจายตัวของประจุบวก-ลบ บนผิวดิน	18
2.12 ขั้นตอนการเคลื่อนตัวของตัวถูกดูดซับ (adsorption) ในขบวนการ Adsorption	22
2.13 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต	24
2.14 รูปแบบ Adsorption Isotherm	29
2.15 ของ Langmuir Adsorption Isotherm	31
2.16 ลักษณะของ Linearized Langmuir Adsorption Isotherm	31
2.17 ลักษณะของ Freundlich adsorption isotherm	31
4.1 ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสกับเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชาและกากกาแฟ	45
4.2 ผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับโลหะตะกั่วด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชาและกากกาแฟ	46
4.3 จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรูนดลิช	50
4.4 จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุดูดซับเซรามิกจากกากชาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรูนดลิช	51
4.5 จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.6	จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุดูดซับ เซรามิกจากกากกาชาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันนั้นโรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นมากมาย เช่น โรงงานชุบโลหะ โรงงานทำสี โรงงานผลิตแบตเตอรี่ และโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น สิ่งที่มาถึงก็คือน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการผลิตซึ่งได้ผ่านการชะล้างผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบทำให้น้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาประกอบไปด้วยสารเคมีต่าง ๆ ที่ตกค้างอยู่ซึ่งจะเกิดมลพิษทางน้ำตามมาเสมอและที่สำคัญสารเคมีเหล่านั้นมักจะก่อโทษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำหรือแม้กระทั่งมนุษย์ โลหะหนักเป็นสารเคมีอีกตัวหนึ่งในสารตกค้างเหล่านั้น ซึ่งจะเจือปนอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ เช่น เกลือของปรอท ทองแดง แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี เป็นต้น (ศิริรัตน์ ศรีเกษเพชร, 2543) เกลืออินทรีย์เหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็นโดยตรงหรือโดยทางอ้อมก็ตาม

ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากเป็นโลหะอ่อน มีจุดหลอมเหลวต่ำ แต่ขณะเดียวกันตะกั่วปนเปื้อนได้ง่ายทั้งในดิน น้ำ และอากาศ มีโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทที่มีโลหะตะกั่วเจือปนในปริมาณที่สูง เช่น โรงงานชุบโลหะ โรงงานพิมพ์หนังสือ โรงงานผลิตแก้ว โรงงานประกอบรถยนต์ โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานทำเครื่องถม เป็นต้น ถ้าโรงงานเหล่านี้ปล่อยน้ำเสียออกสู่แหล่งน้ำ โดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด ตะกั่วก็จะมีโอกาสเข้าสู่สิ่งแวดล้อมและร่างกายของมนุษย์ได้ ซึ่งโดยปกติตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทั้งทางผิวหนัง การหายใจและการกินอาหารที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วตะกั่วบางส่วนจะถูกสะสมในอวัยวะต่างๆ เช่น เลือด ตับ และไต และอาจส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติขึ้น และความเป็นพิษ มีผลต่อรูปร่างทารกในครรภ์ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดตะคริว มีผลต่อระบบประสาททำให้มีประสาทอ่อนเพลีย ความจำเสื่อม และมีผลต่อประสาทการรับรส โดยเกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยที่ผู้ป่วยไม่รู้ตัว (อัญญา ดวงเดือน, 2545)

ปัจจุบันประชาชนจึงให้ความสำคัญกับการกำจัดโลหะเพิ่มมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นการใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอน หรือการสกัดด้วยสารอินทรีย์ และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นต้น โดยเฉพาะการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มาใช้ในการดูดซับโลหะหนักในขั้นตอนสุดท้ายของการบำบัดน้ำทิ้ง แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้นถ่านกัมมันต์จะไปดูดซับสารอินทรีย์มากกว่าสารอนินทรีย์ อย่างไรก็ตามแต่ก็ไม่ได้หมายความว่าถ่านกัมมันต์ไม่สามารถดูดซับโลหะได้เลย

ปัจจุบันคนนิยมมาบริโภคกาและกาแฟสดเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก นั่นคือกาและกากกาแฟสด โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ผู้วิจัยจึงได้นำกาและกากกาแฟเหลือทิ้งเหล่านี้มาดัดแปลงเป็นวัสดุดูดซับตะกั่วโดยการตรึงกับดินเหนียวทำเป็นเม็ดเซรามิก เซรามิกสิ่งที่ถูกเผา ซึ่งวัสดุหลักคือดินเหนียว (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้ได้นำกาและกากกาแฟที่เหลือทิ้งจากการใช้งานมาตรึงกับดินเหนียว นำไปอัดเม็ดและผ่านกระบวนการเผาจนได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเม็ด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะตะกั่ว โดยใช้เม็ดดูดซับเซรามิกจากกาและกากกาแฟเป็นวัสดุดูดซับ
2. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว ได้แก่ เวลาในการเข้าสู่สมดุล พีเอชที่เหมาะสม และ ศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุของการดูดซับ ของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากกา
3. เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบและประสิทธิภาพของการดูดซับ ระหว่างเม็ดดูดซับจากกากกา กับกากกาแฟ

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาและกากกาแฟที่เหลือทิ้งให้เป็นวัสดุที่มีค่า
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนั้น ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ เช่น การปรับปรุงดิน ใช้เป็นสารดูดซับ และ กลิ่นไอเสียในอากาศ เป็นต้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. วิเคราะห์หาค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด (V_m) ต่อไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) ของเม็ดดูดซับที่ผลิตได้
2. ศึกษาสภาวะต่างๆ ในการดูดซับตะกั่วด้วยวิธีการเขย่า ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว และ ศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุของการดูดซับ ของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากกา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำเสีย
2. พัฒนาวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์
3. เป็นผลงานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุอื่นๆ

อีกต่อไป

1.6 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

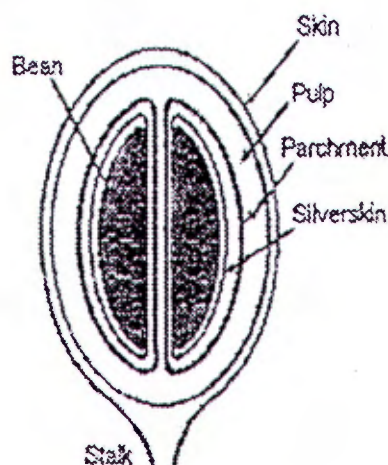
ระหว่างเดือนมีนาคม 2553 – มีนาคม พ.ศ. 2554

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับกาแฟ

กาแฟเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Rubiaceae สายพันธุ์ Coffea มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Coffea Arabica L. กาแฟเป็นไม้ยืนต้น ส่วนใหญ่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและกึ่งร้อนของทวีปแอฟริกา ซึ่งเป็นที่รู้จักกันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1820 ผลของกาแฟแต่ละผลจะให้สองเมล็ด ลักษณะผลเมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีขาว เมื่อแก่จัดแล้วสีจะเข้มขึ้นแล้วเมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม แสดงลักษณะของเมล็ดกาแฟได้ดังนี้



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเมล็ดกาแฟ

ที่มา: (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2542)

เมื่อผลสุกแล้วกะเทาะเปลือกออก จะได้เมล็ดกาแฟที่มีเปลือกสีขาว (Parchment) หุ้มอยู่ ซึ่งเมื่อขัดออกแล้วจะเหลือเยื่อบางๆ สีขาวที่เรียกว่า Silver Skin หุ้มอยู่ในอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งถ้าผ่านกระบวนการขัดอีกชั้นหนึ่ง จะได้เมล็ดกาแฟที่ใช้บริโภคที่เรียกว่า กาแฟเขียว (Green Coffee) หรือ Clean Coffee

พืชในสายพันธุ์ Coffea มีสองพันธุ์ใหญ่ๆ ที่นิยมปลูกกันมาก คือ พันธุ์อะราบิกา (Coffea Arabica) และพันธุ์โรบัสตาต่างๆ (Coffea Canephora Var Robusta) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 กาแฟพันธุ์อะราบิกา (*Coffea Arabica*)

กาแฟพันธุ์อะราบิกาเป็นพันธุ์ที่ปลูกทั่วไปตามลาดเขาของบิสซิเนีย และเยเมนให้ผลผลิตสูงมีปริมาณคาเฟอีนต่ำและรสชาติหอมอร่อย จึงเป็นที่นิยมบริโภคมากกว่าพันธุ์อื่นๆ โดยนิยมนำมาผลิตเป็นกาแฟคั่วบดผล (Roast coffee) กาแฟอะราบิกายังแบ่งได้อีกอย่างชนิด ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ปลูก เช่น Bourbon Maragogype ปลูกบริเวณประเทศบราซิล และMocha ปลูกบริเวณคาบสมุทรอาราเบีย นอกจากนี้ยังปลูกได้บริเวณ โคลัมเบีย และอเมริกากลาง

2.1.2 กาแฟพันธุ์โรบัสตา (*Coffea Canephora*)

กาแฟพันธุ์โรบัสตาเป็นพันธุ์ที่ถูกค้นพบตอนปลายศตวรรษที่ 19 มีถิ่นกำเนิดจากแอฟริกากลางมีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ โรคพืช และแมลงได้ดี มีปริมาณคาเฟอีนค่อนข้างสูงและสามารถคงกลิ่นไว้ได้นานกว่าพันธุ์อะราบิกา ให้ผลผลิตสูง แต่รสชาติและกลิ่นของพันธุ์โรบัสตาไม่เป็นที่นิยมเท่ากับพันธุ์อะราบิกา จึงนิยมนำไปผลิตเป็นกาแฟผงสำเร็จรูป (Instant Coffee) พันธุ์โรบัสตานี้ พบมากในแถบหมู่เกาะชวา และอินโดนีเซีย

ในประเทศไทยก็เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกกาแฟค่อนข้างมาก โดยร้อยละ 97 ของการปลูกทั้งหมดในประเทศ เป็นพันธุ์โรบัสตาซึ่งปลูกบริเวณแถบภาคใต้ คือจังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช กระบี่ ยะลา ะนอง และตรัง ส่วนพันธุ์อะราบิกาปลูกเป็นร้อยละ 3 ของการปลูกทั้งหมดในประเทศ ซึ่งปลูกบริเวณทางภาคเหนือ ตามลาดเขาในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน จนภาคเหนือตอนล่าง โดยองค์ประกอบทางเคมีของกาแฟทั้งสองพันธุ์นี้จำแนกได้ดังนี้

ส่วนเปลือก คือที่เป็น Parchment กับ Skin (รูปที่ 2.1) ซึ่งในส่วนนี้กาแฟทั้งสองพันธุ์ มีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกัน คือประกอบด้วย Cellulose, Hemicellulose, Pectins, lignin, Gums, Pigment และ wax ซึ่งคล้ายๆ กับส่วนเปลือกของพืชทั่วไป

ส่วนเมล็ด คือส่วนที่นำไปบริโภค หรือเรียกว่า Bean (รูปที่ 2.1) อันประกอบด้วยสารระเหย (Volatile matter) คือสารพวก aromatic และ heterocyclic โดยเฉพาะคาเฟอีน (Caffeine) และยังประกอบด้วยแร่ธาตุ (Minerals) หลายชนิดแต่ที่เป็นหลักๆ คือโพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) และแมงกานีส (Mn) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบปลีกย่อยอีกมาก ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟเขียว

สาร	%Wt	
	Arabica	Robusta
- Carbohydrates	55-65.5	40-55.5
- Acid and Phenols (Volatile , Chlorotinic , Lignin)	8-11	9-17
- Lipids (Wax , Oil)	15-18	12-18
- Nitrogen Compounds (amino , trigonelline)	1-2	1-2
- Minerals (K , Mg , Mn)	3-5.4	3-5.4
- Poteins	8.5-12	8.5-12
- Caffeine	0.8-1.4	1.5-3.0

ที่มา : (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

2.2 ความรู้เกี่ยวกับชา

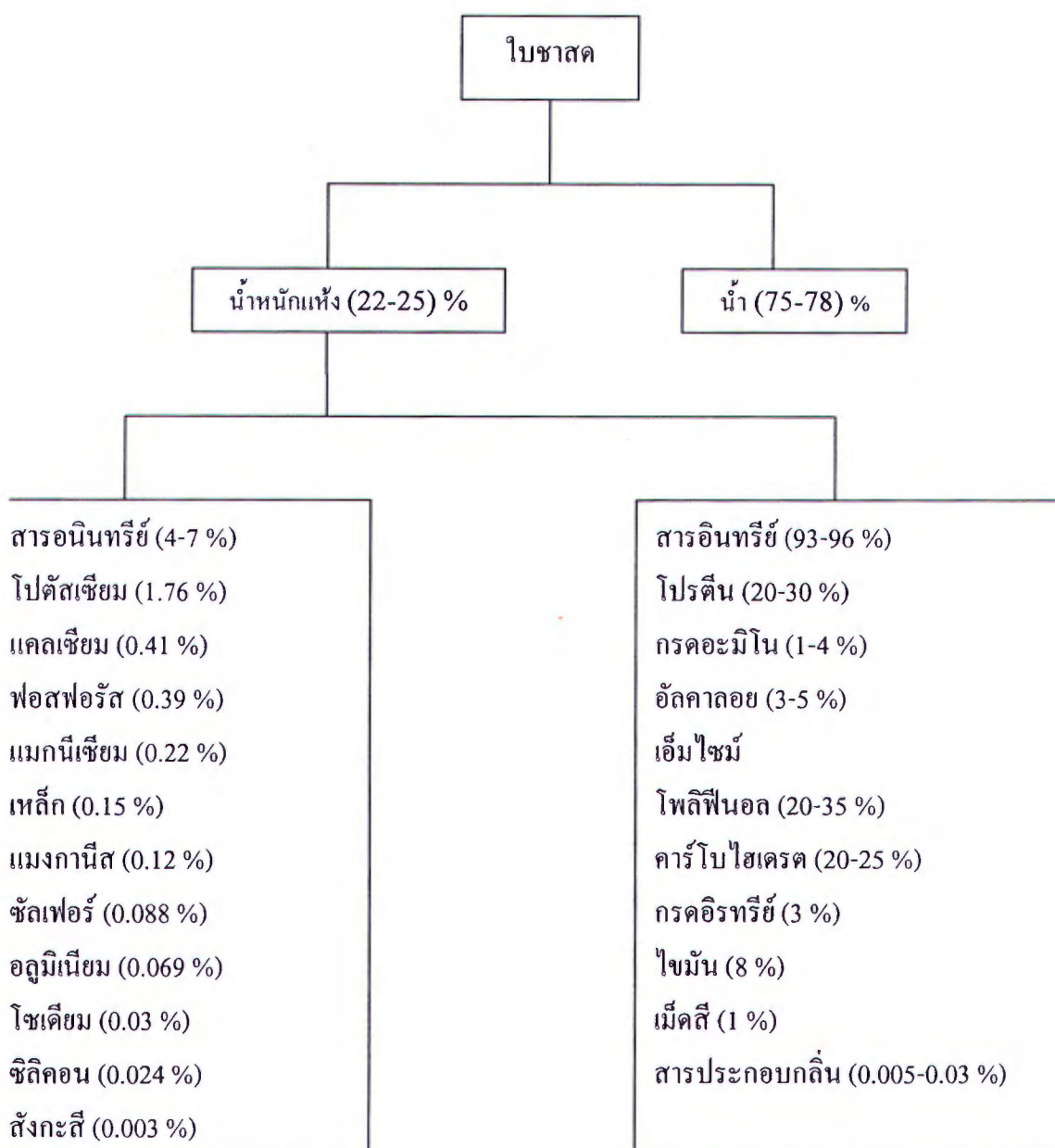
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของชา

ชาเป็นพืชที่นำมาทำเป็นเครื่องดื่ม เป็นที่นิยมบริโภคของคนทั่วโลก เช่นเดียวกับกาแฟและโกโก้ โดยจีนเป็นประเทศแรกที่เริ่มนำชามาทำเป็นเครื่องดื่มเมื่อกว่า 2,000 ปีที่แล้ว จากนั้นความนิยมในการดื่มชาก็ได้แพร่กระจายไปทั่วโลก ทั้งในทวีปอเมริกา ยุโรป เอเชีย และในบางประเทศของทวีปแอฟริกาด้วย ในบรรดานักดื่มชาทั่วโลก ชาวอังกฤษถือได้ว่าการดื่มชามากที่สุดคือ ดื่มคนละ 3.06 กิโลกรัม/ปี รองลงมาได้แก่ สาธารณรัฐไอร์แลนด์ อีรัก สหราชอาณาจักร ญี่ปุ่น อินเดีย และไทย ตามลำดับ

ชาเป็นพืชกึ่งร้อน สามารถขึ้นได้ดีในเขตอบอุ่น และมีฝน จึงทำให้แหล่งชากระจายอยู่ตั้งแต่ละติจูดที่ 45 องศาเหนือในรัสเซีย ถึง 50 องศาใต้ในทวีปแอฟริกา ปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความสูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000-2,000 เมตร ผลผลิตชาส่วนใหญ่จะอยู่ในทวีปเอเชียโดยพื้นที่ที่มีการปลูกชามากจะอยู่ระหว่างแนวเหนือใต้ ตั้งแต่ประเทศญี่ปุ่นถึงอินโดนีเซีย และแนวตะวันออก จากประเทศอินเดียถึงญี่ปุ่น เนื่องจากพื้นที่เหล่านี้จะอยู่ในเขตร้อนมีอากาศอบอุ่นและมีปริมาณน้ำฝนมากเหมาะสมกับต้นชาที่กำลังเจริญเติบโต

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของชา

ชาเป็นไม้ยืนอายุยืน ประกอบด้วยสารโพลีฟีนอล (Polyphenols) มากถึง 20-35 % ซึ่งมีผลต่อรสฝาดและสีของน้ำชา ข้อมูลจากการหมัก (Decomposition) และการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าชามีองค์ประกอบทางอินทรีย์ (Organic Matter) ไม่น้อยกว่า 450 ชนิด ยังพบสารอนินทรีย์ (Inorganic Matter) ไม่น้อยกว่า 15 ชนิด



ภาพที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบหลักทางชีวเคมีของชา

ที่มา: (สุพจน์ ชื่นทวี, 2547)

2.2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชา

ชื่อสามัญ : Tea

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Camellia sinensis* (L.) Okuntze

ต้นชา : เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก สูงประมาณ 30 ฟุต ทรงพุ่มเป็นรูปกรวย

ระบบราก : ต้นชาที่เพาะจากเมล็ดจะมีรากแก้ว และมีรากฝอยหาอาหาร รากชาจะมีการสะสมของคาร์โบไฮเดรตในรูปของแป้ง ซึ่งมีการแตกยอดใหม่ (flushing) ของต้นชา จะขึ้นกับการลำเลียงคาร์โบไฮเดรตในราก โดยทั่วไปต้นชาที่งอกจากเมล็ดจะมีรากยังลึกในดินเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร แต่อาจมีความยาวถึง 3 เมตร หรือมากกว่าก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของต้นชาและสภาพดิน

ใบ : เป็นใบเดี่ยว การจัดเรียงตัวของใบเป็นแบบสลับ 1 ใบต่อ 1 ข้อ โดยพัฒนาจากตาที่มุมใบ ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย ปลายใบแหลม แผ่นหนา หน้าใบเป็นมัน ใบยาวประมาณ 7-30 เซนติเมตร ใต้ใบมีขนอ่อนปกคลุม ปลายใบมีมากบริเวณใต้ใบ ชาอัสสัมจะมีใบสีอ่อนขนาดใหญ่ ส่วนชาจีน มีใบแคบ และสีค่อนข้างคล้ำกว่าชาอัสสัม

ดอก : จะเกิดออกมาจากตาระหว่างลำต้นกับใบมีทั้งดอกเดี่ยว และดอกช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีทั้งเกสรตัวผู้และตัวเมีย เกสรตัวผู้มีสีเหลืองจำนวนมาก ก้านเกสรตัวผู้ยาวประมาณ 8-10 มิลลิเมตร อับเกสรตัวผู้มี 2 ช่อง ก้านชูเกสรตัวเมียสั้น ยอดเกสรตัวเมียมี 3-5 กลีบดอกชามีสีขาว จำนวน 5-8 กลีบ ลักษณะโค้งงอ กลีบเลี้ยงสีขาว 5-6 กลีบ

ผล : เป็นแคปซูล (capsule) เปลือกหนาสีน้ำตาลอมสีเขียว แบ่งเป็น 3 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5-2.0 เซนติเมตร จากเริ่มติดผลถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 9-12 เดือน เมื่อผลแก่เต็มที่ ผลจะแตกทำให้เมล็ดหล่นลงดินได้

เมล็ด : มีรูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8-1.6 เซนติเมตร มีใบเลี้ยง 2 ใบ อวบน้ำมีน้ำมันมากลักษณะหุ้มต้นอ่อนไว้ ผันเมล็ดแข็งหนาเชื่อมติดกับเปลือกหุ้มเมล็ด (testa) ซึ่งมีลักษณะบางเหนียว เมล็ดจะสามารถงอกได้ใน 2-3 อาทิตย์ ต้นอ่อนตั้งตรง ในผล 1 กิโลกรัม จะมีเมล็ดชา 400-600 เมล็ด

2.2.4 พันธุ์ชา

ชาแบ่งออกได้เป็น 3 พันธุ์ใหญ่ ๆ คือ

2.2.4.1 ชาอัสสัม (Assam Tea)

ชาอัสสัมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Camellia sinensis* Var. *assamica* (Mast.) ลักษณะเป็นลำต้นเดี่ยว สูงประมาณ 6-18 เมตร ใบใหญ่เจริญเติบโตเร็ว ทนแล้ง ดอกออกเป็นช่อๆ ละ 2-4 ดอก ชาอัสสัมสามารถแบ่งออกเป็นพันธุ์ย่อยได้ 5 สายพันธุ์คือ

1. พันธุ์อัสสัมใบจาง (Light leaved Assam jat) ต้นมีขนาดเล็ก ยอดและใบมีสีเขียวอ่อนลักษณะใบเป็นมันวาว ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อยเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอ ให้ผลผลิตต่ำ เมื่อนำมาทำชาจีนจะมีสีน้ำตาล
2. พันธุ์อัสสัมใบเข้ม (Dark leaved Assam jat) ยอดและใบมีสีเขียวเข้ม ใบนุ่มเป็นมัน มีขนปกคลุมขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี เมื่อนำมาทำชาจีน จะมีสีดำ
3. พันธุ์มานิปุรี (Manipuri jat) เป็นพันธุ์ที่แข็งแรง ให้ผลผลิตสูง ใบมีสีเขียวเข้ม เป็นประกาย ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย ทนแล้งได้ดี
4. พันธุ์พม่า (Burma jat) ใบมีสีเขียวเข้ม ใบแก่มีสีเขียวแกมน้ำเงินใบกว้างแผ่นใบรูปไข่ ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีมาก
5. พันธุ์ลูไช (Lushai jat) ขอบใบหยักลึก ปลายใบเห็นได้ชัด



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะชาอัสสัม (Assam Tea)

ที่มา: (เกษตรวิสัย เหล่าวัชรธรรม, 2550)

2.2.4.2 ชาจีน (Chaina Tea)

ชาจีนมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Camellia sinensis* Varsinensis ลักษณะลำต้นเป็นพุ่มเตี้ย สูงประมาณ 2-3 เมตร ใบมีสีเขียวเข้ม ขนาดเล็ก ยาวแคบ ขนาดใบยาว 3.8-6.4 เซนติเมตร ตั้งตรง ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย เส้นใบมองเห็นไม่ชัด ขั้วติดปล้องสั้น ทนทาน ต่ออุณหภูมิต่ำและสภาพแวดล้อม ที่ผันแปรได้ดี ผลผลิตต่ำเมื่อเทียบกับกลุ่มพันธุ์ชาอัสสัม ชาพันธุ์นี้ปลูกมากในประเทศจีน สายพันธุ์ที่นิยมปลูกจะแตกต่างกันไป ในแต่ละท้องที่ เช่น สายพันธุ์ชิงอูหลง



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะของชาจีน (Chaina Tea)

ที่มา: (เกษตรวิสัย เหล่าวิชระสุวรรณ, 2550)

2.2.4.3 ชาเขมร (Indo-China Tea)

ชาเขมรชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Camellia sinensis* Var *Indo-China* ลักษณะลำต้นเดี่ยว สูงประมาณ 5 เมตร ใบแข็งเป็นมัน ใบยาว ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย แผ่นใบมีขนอ่อนเป็นรูปคล้ายตัววี ก้านใบสีแดง ในฤดูแล้งใบจะมีสีแดงเรื่อๆ ยอดอ่อนรสฝาดจัดมีแทนนินสูง ทนแล้งได้ดี



ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะของชาเขมร (Indo-China Tea)

ที่มา : (เกษตรวิสัย เหล่าวิชระสุวรรณ, 2550)

2.2.5 แหล่งกำเนิดและประวัติการปลูกชา

แหล่งกำเนิดชาตามธรรมชาติ มีจุดศูนย์กลางอยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของจีน ใกล้ต้นน้ำ อีระหวัด แล้วแพร่กระจายพันธุ์ไปตามพื้นที่ ลักษณะคล้ายรูปพัด จากด้านทิศตะวันตก ระหว่างเทือกเขานากา มานิปูรี และอุซไบ ตามแนวชายแดนของรัฐอัสสัม และสหภาพพม่า ไปยังมณฑลชี่เกียงของจีนทางด้านทิศตะวันออก แล้วลงสู่ทิศใต้ตามเทือกเขาของสหภาพพม่า ตอนเหนือของไทยไปสิ้นสุดที่เวียตนาม โดยมีอาณาเขตจากด้านทิศตะวันออกจรดทิศตะวันตกกว้างถึง 1,500 ไมล์ หรือ 2,400 กิโลเมตร ระหว่างเส้นลองจิจูด 95-120 องศาตะวันออก และจากทิศเหนือจรดทิศใต้ ยาว 1,200 ไมล์ หรือ 1,920 กิโลเมตร ระหว่างเส้นละติจูดที่ 29-11 องศาเหนือ

ประวัติการปลูกชาในประเทศไทย ในสมัยสุโขทัย ช่วงที่มีการแลกเปลี่ยนวัฒนธรรมกับจีน พบว่าได้มีการดื่มชากัน แต่ไม่ปรากฏหลักฐานว่านำเข้ามาอย่างไร และเมื่อใด แต่จากจดหมายของท่านลาอูแบร์ ในสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช กล่าวไว้ว่า คนไทยได้รู้จักการดื่มชาแล้ว โดยนิยมชงชาเพื่อรับแขก การดื่มชาของคนไทยสมัยนั้นดื่มแบบชาจีนไม่ใส่น้ำตาล

สำหรับการปลูกชาในประเทศไทยนั้น แหล่งกำเนิดเดิมอยู่ตามภูเขาทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยกระจายอยู่ในหลายจังหวัดแถบภาคเหนือที่สำคัญ ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน แพร่ น่าน ลำปาง และตาก จากการสำรวจของคณะทำงานโครงการหลวงวิรัชชา ได้พบแหล่งชาป่าที่บ้านไม้สูง กิ่งอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน บริเวณเขตติดต่อชายแดนประเทศพม่า ต้นชาป่าที่พบเป็นชาอัสสัม (Assam tea) อายุหลายร้อยปี เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 0.5 เมตร ชาวบ้านละแวกนั้นเรียกว่าต้นชาพันปี เข้าใจว่าต้นชาป่าขนาดใหญ่สามารถพบได้อีกตามบริเวณเทือกเขาสูงของจังหวัดแพร่ และน่าน โดยสวนชาส่วนใหญ่ทางภาคเหนือจะเป็นสวนเก่าที่ได้จากการถางต้นไม้อื่นๆออก เหลือไว้แต่ต้นชาป่าที่ชาวบ้านนิยมเรียกว่า ต้นเมี่ยง จำนวนต้นต่อไร่ต่ำ ประมาณ 50-200 ต้น/ไร่ ผลผลิตใบชาสดต่ำเพียง 100-140 กิโลกรัม/ไร่ ชาวบ้านจะเก็บใบชาป่าด้วยมือโดยการรูดใบทั้งกิ่ง แล้วนำใบมาผลิตเป็นเมี่ยง ในปัจจุบันช่วงใดที่เมี่ยงมีราคาสูง ใบชาป่าจะถูกนำมาผลิตเป็นเมี่ยง แต่เมื่อเมี่ยงมีราคาถูก ใบชาป่าจะถูกนำไปจำหน่ายให้กับโรงงานผลิตชาจีนขนาดเล็ก ทำให้ชาจีนที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำ

2.3 ความรู้เกี่ยวกับเซรามิก

2.3.1 ความหมายของเซรามิก (Ceramic)

เซรามิก (ceramic) เซรามิกมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก keramos มีความหมายว่า สิ่งที่ถูกเผา ในอดีตวัสดุเซรามิกที่มีการใช้งานมากที่สุดคือ เซรามิกดั้งเดิม ทำมาจากวัสดุหลักคือ ดินเหนียว โดยในช่วงแรกเรียกผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ว่า ไชน่าแวร์ เพื่อเป็นเกียรติให้กับคนจีนซึ่งเป็นผู้บุกเบิกการผลิตเครื่องปั้นดินเผาครั้งแรกๆ

วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกสามารถแบ่งกลุ่มอย่างกว้างๆ ได้ดังนี้คือ

1. วัตถุดิบประเภทดินเหนียว (Plastic Materials) และ
2. วัตถุดิบประเภทที่ไม่มีความเหนียว (Non-plastic Materials) ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองกลุ่ม

ดังกล่าวอาจจะจำแนกออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีก

นอกจากการจำแนกตามลักษณะข้างต้นแล้ว ในอุตสาหกรรมการผลิตเซรามิก ประเภท Whiteware นิยมแบ่งกลุ่มของวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ ด้วยกัน ได้แก่

1. วัตถุดิบประเภทดิน (Clays) เป็นตัวให้ความเหนียวและช่วยให้สามารถขึ้นรูปเนื้อดินได้ง่าย และช่วยทำให้เนื้อดินมีความแข็งแรงเพียงพอหลังการเผาซึ่งทำให้สามารถหยิบจับชิ้นงานในขั้นตอนการขึ้นรูปและการเผาได้

2. วัตถุดิบประเภทสารช่วยหลอม (Fluxes) เป็นแร่ที่ประกอบด้วยอัลคาไลน์หรืออัลคาไลน์เอิร์ทซึ่งจะหลอมตัวระหว่างเผา และทำปฏิกิริยากับสารประกอบตัวอื่นๆ เพื่อฟอร์มตัวเป็นแก้วซึ่งจะทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับชิ้นงานหลังเผา ดังนั้นสารประกอบฟลักซ์จะเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นงานลง

3. วัตถุดิบประเภทตัวเติม (Fillers) โดยทั่วไปแล้วทรายแก้ว (Silica) ที่ใช้ในส่วนผสมของเนื้อดิน Whiteware จะทำหน้าที่หลักในการควบคุมค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนของเนื้อดินหลังการเผา

4. วัตถุดิบประเภทอื่น นอกจากวัตถุดิบใน 3 กลุ่มหลักข้างต้นแล้วปูนปลาสเตอร์ หรือ Plaster of Paris รวมทั้งเคลือบและสีต่างๆ ก็จัดว่าเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยเช่นกัน

2.3.2 ประเภทของเซรามิก

เราสามารถจำแนกผลิตภัณฑ์เซรามิกตามคุณภาพเนื้อของผลิตภัณฑ์ ได้ดังนี้

2.3.2.1 พอร์ซเลน (Porcelain)

พอร์ซเลนเป็นเซรามิกที่มีเนื้อสีขาว เคลือบผิวเป็นมัน โปร่งแสงมีความแข็งแรงเหมือนแก้วไม่ดูดซึมน้ำ เคาะมีเสียงดังกังวานส่วนผสมของเนื้อดินที่ใช้คือ ดินขาว ดินเหนียว หรือบอลเคลย์ หินไชน่าสโตน แร่ฟันม้าและแร่ควอร์ตซ์ ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนใช้ในงาน ได้หลากหลายทั้งในชีวิตประจำวันและงานอื่นๆ

2.3.2.2 โบนไชน่า (Bone China)

โบนไชน่า เป็นเครื่องปั้นดินเผาชั้นดีที่สุดมีราคาแพงสุดมีความขาวและเคลือบ เป็นมันวาวมาก เนื้อละเอียด บางเบา และโปร่งแสงมากมีความแข็งแรงดีมาก ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้แก่ ถ้วย ชาม เครื่องประดับ เป็นต้น

2.3.2.3 เอิร์ธเร็นแวร์ (Earthenware)

เอิร์ธเร็นแวร์เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกเคลือบผิวทึบแสง มีความพรุนสามารถดูดซึมน้ำได้เนื้อละเอียดสีไม่ขาวมาก ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ หม้อดินเผา คนโท กระถางต้นไม้ กระเบื้องมุงหลังคา

2.3.2.4 สโตนแวร์ (Stoneware)

สโตนแวร์เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกเคลือบผิวมีความพรุนตัวต่ำทึบแสง เนื้อแข็งแกร่งและหนากว่าพอร์ซเลน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ได้แก่ถ้วย ชาม ที่มีเนื้อทึบแสง เครื่องสังคโลก โอ่งมังกร

2.3.2.5 เทอราคอตตา (Terra Cotta)

เทอราคอตตาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีดินเหนียวผิวดินเผาแล้วมักมีสีแดง เนื้อไม่แกร่ง มีความพรุนตัวสูง มักไม่เคลือบผิวนิยมเคลือบด้วยสีต่างๆ ส่วนมากผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง กระเบื้องปูผนัง

2.3.2.6 แก้ว (Glass)

แก้วเป็นเซรามิกที่โปร่งแสง บางชนิดขุ่น ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ได้แก่หลอดไฟ แก้วน้ำ ขวด กระบอก

2.3.2.7 วัสดุทนไฟ (Refractories)

วัสดุทนไฟเป็นวัสดุประเภทอนินทรีย์พวกดิน หิน แร่ธาตุที่หลอมตัวได้ยากในอุณหภูมิสูง ต้องทนอุณหภูมิได้อย่างน้อย 1,600 องศาเซลเซียสตัวอย่างได้แก่ อิฐทนไฟ อิฐฉนวนทนไฟ

2.3.3 กระบวนการผลิตเซรามิก

2.3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

2.3.3.2 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์มีหลายวิธี เช่น

1. การเทแบบ

การเทแบบมี 2 ลักษณะคือ

- การเทแบบโดยให้น้ำดินแข็งตัวอยู่ในแบบ เรียก Solid Casting ซึ่งเหมาะกับการเทแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาและรูปร่างแปลกๆ

- การเทแบบโดยมีการเทน้ำดินที่เหลือทิ้ง เรียก Drain Casting ซึ่งเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผนังบางและต้องการความหนาสม่ำเสมอ

2. การขึ้นรูปโดยใช้แรงอัด

การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ใช้แพร่หลายในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดพิเศษแรงอัดจะอัดลงบนแบบ ซึ่งมีผงเนื้อดินปั้นแห้งๆ หรือความชื้นเล็กน้อยอยู่ภายในแบบแบบที่ใช้เป็นโลหะแข็ง การขึ้นรูปโดยวิธีนี้มีหลายสิ่งหลายอย่างที่จะต้องคำนึงถึงขนาดและรูปร่างและการกระจายตัวของอนุภาคของเนื้อดินปั้น

2.3.3.3 การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเนื้อดินปั้นแห้งๆ (Dry and Dust Pressing)

ใช้กับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในงานประยุกต์ทั้งทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้าเป็นวิธีการอัด ผงกลมๆ ของเนื้อดินปั้นแห้งภายในแบบโลหะด้วยแรงอัดที่สูง ความชื้นภายในผงเนื้อดิน ปั้นไม่เกิน 4 % ผงเนื้อดินปั้นกลมๆเคลื่อนที่ได้อิสระแต่มีความเหนียวไม่ฉีกขาดแต่ เมื่อถูกแรงอัด จะอัดตัวกันได้หนาแน่นดี

2.3.3.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการหลอมเหลวแล้วเทลงแบบ

การขึ้นรูปวิธีนี้จะใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์วัสดุทนไฟมีความหนาแน่นสูงและทนทาน ต่อการกัดกร่อนของซัลฟิวไรด์โดยหลอมเนื้อผลิตภัณฑ์ด้วยเตาไฟฟ้า แล้วเทลงในแบบโลหะหรือ แบบทรายแต่จะเกิดช่องว่าง ขึ้นในระหว่าง ปล่อง ให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง

2.3.3.5 การเผาและการเคลือบเซรามิก

การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกครั้งแรกเรียกว่าเผาดิบโดยเพิ่มอุณหภูมิของเตาเผาให้ สูงขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์คงรูปไม่แตกชำรุดผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผ่านการเผาดิบแล้วบางชนิดนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องเคลือบ เช่น กระถางดิน ไม้ อิฐ ไม้เครื่องกรองน้ำแต่ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะต้องเคลือบผิวเพื่อ ให้เกิดความ สวยงามมีความคงทนและป้องกันการเกิดรอยขีดข่วนบนผิว

2.3.3.6 การเคลือบ

เคลือบคือชั้นของแก้วบางๆ หลอมละลายติดอยู่กับผิวดินซึ่งขึ้นรูปเป็นภาชนะทรงต่างๆ สารที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกเรียกว่าน้ำเคลือบซึ่งเป็นสารผสมระหว่างซิลิกา กับสารช่วยหลอมละลายวัตถุดิบที่เป็นน้ำยาเคลือบถูก บดจนละเอียดมากกว่าดินหลายเท่าก่อนนำมาเคลือบบนดินเผา เป็นชั้น หนา 1-1.5 มิลลิเมตร เมื่อเคลือบแล้วต้องทิ้งให้ผลิตภัณฑ์แห้ง เช็ดกันผลิตภัณฑ์ให้สะอาดก่อนเข้าเตาเผาผลิตภัณฑ์ที่เคลือบแล้ว โคนเผาผ่านความร้อนอุณหภูมิสูง วัตถุดิบที่เป็นแก้วในเคลือบเมื่อถึงจุดหลอม ละลายชั้นของเคลือบจะกลายเป็นแก้วมันวาวติดอยู่กับผิวดิน เคลือบช่วยให้การล้างภาชนะสะดวกเนื่องจากเคลือบมีสมบัติลื่นมือสามารถทำความสะอาดง่าย กว่า ผิวดินที่มีลักษณะค่อนข้างหยาบ เคลือบ มีคุณสมบัติเป็นแก้วไม่ดูดซึมน้ำและยังเพิ่มความแข็งแรงทนทาน ทำให้ภาชนะดินเผาไม่บิ่นง่ายเมื่อกระทบกันบ่อยๆขณะล้างทำความสะอาดและสามารถใส่ของเหลวได้โดยไม่รั่วซึม

2.3.4 คุณสมบัติของดินที่มีต่องานเซรามิก

การวัดค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนจะทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบและพฤติกรรมของวัตถุดิบต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผา เหตุที่เรียกว่าการขยายตัวแบบไม่กลับคืน เนื่องจากเมื่อนำวัตถุดิบไปใช้งานแล้วจะไม่สามารถเอาน้ำกลับไปได้ เนื่องจากขึ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่คืนกลับ (Irreversibly Converted)

ประโยชน์ของค่าการขยายเนื่องจากความร้อนแบบ ไม่คืนกลับจะทำให้เราทราบถึงวิธีการจำแนก ดินเหนียวออกเป็นกลุ่มเฉพาะ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในส่วนผสมของเนื้อดินสูตรหนึ่งอาจจะ

สามารถใช้ดินตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่มเดียวกันแทนที่ดินอีกตัวหนึ่งได้เนื่องจากดินที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมักจะแสดงคุณสมบัติคล้ายๆ กันเมื่อผ่านกระบวนการเดียวกัน แต่เนื่องจากดินในกลุ่มเดียวกันอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้นได้ค่อนข้างมาก เมื่อต้องการจะนำดินตัวใดตัวหนึ่งมาใช้แทนที่อีกตัวหนึ่งจึงควรพิจารณาดินที่มีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพที่คล้ายกันมากที่สุด ดินทนไฟ (Fireclays) เช่นเดียวกับดินขาว (China Clays) และดินเหนียว (Ball Clays) ดินทนไฟ (Fireclays) จะเกิดมาจากการสลายตัวกลายเป็นดิน (Kaolinisation) ของเฟลด์สปาร์ โดยดินชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มของดินทุติยภูมิ (Secondary Clays) ซึ่งถูกพัฒนามาจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะทางที่ไกลมาก ดังนั้นจึงทำให้มีคุณสมบัติบางประการที่คล้ายคลึงกับดินเหนียว (Ball Clays) กล่าวคือ มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดมากและมีปริมาณของสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็กๆ เจือปนอยู่ค่อนข้างสูง ดินทนไฟถูกพบอยู่ในชั้นของถ่านหินซึ่งมีอยู่แพร่หลายในแถบตอนกลาง และทางตอนเหนือของประเทศอังกฤษ และในประเทศสกอตแลนด์ เดิมทีนั้นอาจจะเป็นแหล่งกำเนิดของพืชผักต่างๆ ที่ต่อมาเกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นชั้นของถ่านหินขึ้นและมีการดึงเอาอัลคาไลน์ จากดินออกมาทำให้ดินเหล่านั้นมีคุณสมบัติเป็นดินทนไฟ ดินทนไฟ (Fireclays) ที่นำมาใช้ในการผลิตเนื้อสุกกันบ้างประเภท จะมีการใช้งานอย่างจำกัด แต่ด้วยข้อดีของตัวมันเองจึงนิยมนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทนไฟมากกว่า ดินสโตนแวร์ (Stoneware Clays)

ดินเหล่านี้ เป็นดินที่มีความเหนียว สูงมาก และเป็นดินที่ให้ สีน้ำตาลหลังเผาโดยจะมีสารประกอบฟลักซ์ ที่มีในธรรมชาติเจือปนอยู่ และเนื่องจากมีสารประกอบฟลักซ์ในธรรมชาติเจือปนอยู่แล้วดินชนิดนี้ จึงถูกนำมาใช้ในการ ผลิตผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารประกอบฟลักซ์ใดๆ ลงไปอีก นอกจากนี้ หากต้องการผลิตเนื้อดินสโตนแวร์ที่มีลักษณะคล้ายๆ กันนี้ ก็สามารถทำได้โดยการเติมสารประกอบฟลักซ์ เช่น เฟลด์สปาร์ลงไปผสมกับดินเหนียว (Ball Clays) นั่นเอง

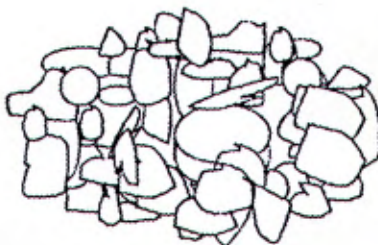
2.4 ความรู้เกี่ยวกับดิน

ในทางวิศวกรรม ดินหมายถึง กรวด(Gravel) ทราย(Sand) ทรายเม็ดปน(Silt) และดินเหนียว (Clay) หรือส่วนผสมของสิ่งเหล่านี้ ซึ่งอาจเป็นพวกที่มีและไม่มี ความเชื่อมแน่น ดินเกิดจากเม็ดของแร่ธาตุต่างๆ มารวมตัวกันแต่สามารถแยกให้ออกจากกันได้โดยวิธีง่ายๆ เช่น การนำไปละลายน้ำเป็นดิน วัฏจักรของดินนี้เชื่อว่าเกิดจากการที่ภูเขาไฟระเบิด และพ่นหินละลายที่ร้อนแรงออกมาที่เรียกว่าแมกมา(Magma) เมื่อแมกมาเย็นตัวลงจะจับตัวเป็นก้อนแข็ง(Crystallization) กลายเป็นหินอัคนี(Igneous Rock) เมื่อถูกอิทธิพลจากดินฟ้าอากาศ(Weathering) จะเกิดการผุกร่อน และแตกกระจัดกระจายไป(Erosion Transportation) เป็นหินและดิน สังเกตได้ว่าบริเวณภูเขาจะมีแต่ก้อนหินและกรวดทรายที่มีขนาดใหญ่ ส่วนที่มีขนาดเล็กคือทรายเม็ดปน(Silts) และดินเหนียว(Clays) จะถูกนำไปไปยังและอยู่บริเวณที่ไกลกว่า

2.4.1 โครงสร้างของดิน

2.4.1.1 โครงสร้างเม็ดเดี่ยว (Single-Grained Structure)

เป็นโครงสร้างของทรายส่วนใหญ่ ซึ่งปกติจะอยู่ในสภาพหลวมๆ โดยเรียงเม็ดต่อเม็ดซ้อนกันอยู่ แต่เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก หรือสั่นสะเทือนจะขยับตัว และอยู่ในสภาพแน่น

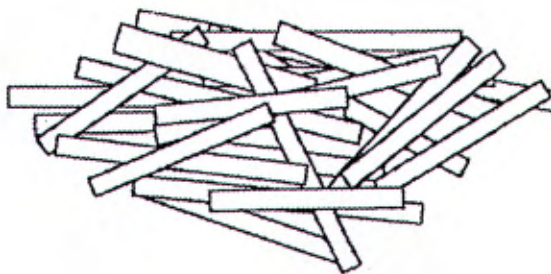


ภาพที่ 2.6 แสดงโครงสร้างเม็ดเดี่ยว(Single-Grained Structure)

ที่มา : (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

2.4.1.2 โครงสร้างเป็นผลึก (Flocculent Structure)

ได้แก่ โครงสร้างของพวกดินเหนียว ที่มีขนาดของอนุภาคเล็กมากแต่ละอนุภาคจะมีน้ำห่อหุ้มอยู่ และมีประจุไฟฟ้าซึ่งมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา

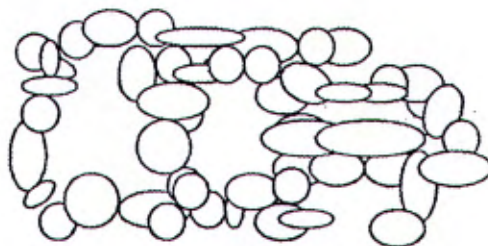


ภาพที่ 2.7 แสดงโครงสร้างเป็นผลึก(Flocculent Structure)

ที่มา : (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

2.4.1.3 โครงสร้างเป็นรวงผึ้ง (Honey-combed Structure)

เป็นโครงสร้างที่มีเนื้อละเอียดมาก มีลักษณะการเกิดคล้ายกับโครงสร้างที่เป็นผลึก แต่มีน้ำหนักเบากว่า



ภาพที่ 2.8 แสดงโครงสร้างเป็นรวงผึ้ง(Honey-combed Structure)

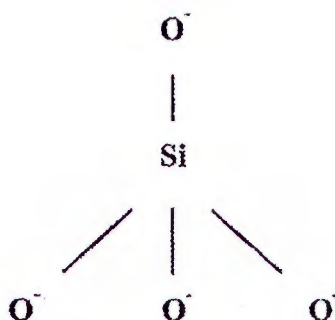
ที่มา : (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

2.4.2 ลักษณะอนุภาคดิน

แบ่งได้ตามหน่วยพื้นฐานดังนี้

2.3.2.1 Silica Tetrahedral Unite

ประกอบด้วย Silica 1 อะตอมล้อมรอบด้วยOxygen 4 อะตอม อัดตัวกันเป็นรูปทรงที่มีสี่ด้าน คือมีอะตอม Oxygen เกาะรวมกันอยู่พื้นฐานทำให้เกิดเป็นแผ่น ที่มีช่องรูปหกเหลี่ยมอยู่ทั่วไป แผ่นนี้เรียกว่า silica Tetrahedral Sheet

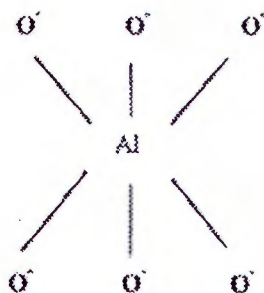


ภาพที่ 2.9 แสดงโครงสร้าง Silica Tetrahedral Unite

ที่มา : (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

2.3.2.2 Alumina Octahedral Unit

ประกอบด้วย Alumina 1 อะตอม ล้อมรอบด้วย Oxygen 6 อะตอมอัดตัวกันเป็นรูปทรงที่มีแปดด้าน และจะเกาะกันเป็นแผ่นในแนวระดับและเกิดการเกาะรวมกันของ Oxygen เช่นเดียวกับ silica Tetrahedral Sheet

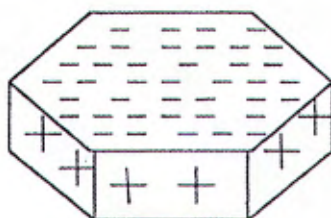


ภาพที่ 2.10 แสดงโครงสร้าง Alumina Octahedral Unit

ที่มา : (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

2.4.3 ความเป็นประจุของดิน

โดยทั่วไปประจุของดินจะมีทั้งประจุบวก(Cation) และประจุลบ(Anion) แต่มีจำนวนประจุลบมากกว่า ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ดินเป็นก้อนของ Anion ดีๆ นี่เอง แต่ผิวด้านนอกจะดูดซับไอออนได้อย่างหลวมๆ คือพวก โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม(Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีในดินทั่วไปทำให้สภาพปกติของดินเป็นแบบที่เรียกว่า Ionic Double Layer กล่าวคือ เป็นสภาพที่มีประจุ 2 ชั้น ชั้นใน เป็นประจุลบของดิน ส่วนชั้นนอก เป็นประจุบวกที่ถูกดูดซับไว้ดังที่กล่าวมาแล้วและจากการจับอย่างหลวมๆ นี้เอง ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยน Cation ชนิดอื่นๆ ได้ เราเรียก Cation พวกนี้ว่า “Exchangeable Cation”



ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะการกระจายตัวของประจุบวก-ลบ บนผิวดิน

ที่มา : (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

ดังนั้นพอจะสรุปสาเหตุของการเกิดประจุลบของดินได้ดังนี้

2.4.3.1 เกิดขึ้นจากบริเวณของขอบผลึก (Exposed crystal edges)

กล่าวคือ บริเวณของขอบผลึกที่แตกหักออกไปทำให้ ออกซิเจน (O) ซึ่งแต่เดิมเคยเกาะอยู่กับ ซิลิกอน(Si) และ อลูมิเนียม (Al) เมื่อไม่มี ซิลิกอน(Si) และ อลูมิเนียม (Al) จับแล้ว เนื่องจากการที่ขอบของผลึกแตกออกไปนี้ จึงทำให้ Oxygen ยังมี Electronegative Charge ค้างอยู่ ส่วนอีกด้านหนึ่งของ Oxygen ก็ยังคงจับอยู่กับ Si และ Al เมื่อ Oxygen ตามบริเวณขอบผลึกอยู่ในสภาพนี้มากๆ เข้า Electronegative Charge นี้ก็มากพอที่จะดูดซับประจุบวกได้

2.4.3.2 เกิดจากกระบวนการ Isomorphous Substitution

เป็นกระบวนการที่มีการแทนที่ ของไอออนธาตุหนึ่งเข้าไปแทนที่ไอออนเดิม ซึ่งไอออนที่แทนที่นั้นจะมีขนาดใกล้เคียงหรือเท่ากัน แต่ Valence อาจไม่เท่ากันก็ได้ประจุลบจะเกิดกรณีที่ Cation ที่มี valence สูงกว่าเท่านั้นเช่น ใน Montmorillonite จะมี Mg^{2+} โดยเฉลี่ย 0.66 อะตอม เข้าไปแทนที่ Al^{3+} ในจำนวนเท่ากัน ใน Al-sheet ประจุลบก็จะตกค้างอยู่ เท่ากับ -0.86 ดังนั้นเมื่อมีปรากฏการณ์การไล่ที่ ดังนี้มากๆ ประจุลบก็จะมีอำนาจสูงพอที่จะดูดซับประจุบวกได้

2.4.4 การให้ความร้อนแก่ดิน

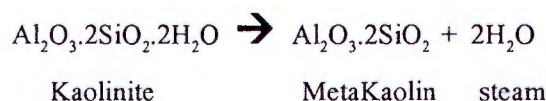
จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ทางกายภาพและทางเคมีต่ออนุภาคดินตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ระยะ ดังนี้

2.4.4.1 Dehydration Period

แบ่งเป็น 2 ระยะ

1. Mechanical Dehydration หรือ Water smoking เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 20-150 องศาเซลเซียส ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น คือน้ำที่ผสมในดินจะเริ่มระเหยออกมาเป็นควั่นลอยขึ้นจนกว่าดินจะแห้งสนิท และไม่มีน้ำดังกล่าวเหลืออีก ดินจะมีสภาพแข็งกว่าเดิม ถ้าหยุดให้ความร้อนและนำดินนั้นมาผสมกับน้ำอีกครั้งหนึ่ง ดินจะอ่อนและมีความเหนียวเหมือนเดิม

2. Chemical Dehydration หรือ Chemical water smoking เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 15-350 องศาเซลเซียส ถ้าให้ความร้อนแก่ดินต่อจากระยะแรก โมเลกุลของดินจะแตกและส่วนที่เป็นน้ำของโมเลกุลจะระเหยออกไป เหลือดินในรูปของ Meta Kaoline ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) ถ้าหยุดเผาแล้วนำดินไปผสมน้ำอีกครั้งหนึ่ง ดินจะยังคงแข็งแรงและไม่มีความเหนียวอีกต่อไปดังสมควร



2.4.4.2 Oxidation Period

เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 350-950 องศาเซลเซียส สิ่งต่างๆ ที่ปะปนมากับดิน เช่น เศษไม้ ใบหญ้า จะถูกเผาไหม้ให้หมดไป นอกจากนี้เศษแร่ต่างๆ เช่น พวกคาร์บอนेट ซัลไฟด์ และซัลเฟตจะแตกตัวออกด้วย ในช่วงนี้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินจะเปลี่ยนไปซึ่งเกี่ยวกับน้ำหนัก ขนาดสี และความพรุน

2.4.4.3 Vitrification Period

เริ่มตั้งแต่ 900 องศาเซลเซียสขึ้นไป เป็นระยะที่ประกอบด้วยปรากฏการณ์ ดังต่อไปนี้

1. ส่วนผสมในเนื้อดินบางชนิด เริ่มหลอมละลาย
2. ส่วนที่หลอมละลายจะพยายามละลายส่วนที่ไม่หลอม ให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. ส่วนที่ละลายจะไหลไปตามช่องว่าง ทำให้เนื้อดินแน่นทึบ
4. ถ้าหากมีส่วนผสม และอุณหภูมิที่พอเหมาะ อาจเกิดการตกผลึกใหม่ในเนื้อดินได้ เพราะอะลูมินาและซิลิกาในเนื้อดินรวมตัวกันเป็น Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม ทำให้ดินมีความแข็งแรงขึ้น

ทั้ง 3 ช่วงของกระบวนการเผา จะทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์เปลี่ยนแปลงไปดังแสดงจากตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนไปในการเผาระยะต่างๆ

คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป	ระยะในการเผาและช่วงอุณหภูมิ		
	Dehydration 20-350 องศาเซลเซียส	Oxidation 350-950 องศาเซลเซียส	Vitrification มากกว่า 900 องศาเซลเซียส
สี	สีอ่อนลง	1. ดินที่มีเหล็กจะมีสีเข้มขึ้น 2. ดินที่มี carbonaceous matter จะมีสีอ่อนลง	สีเข้มขึ้น
ความพรุนตัว	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ลดลง
การหดตัว	เพิ่มขึ้น	ขยายตัวเล็กน้อย	เพิ่มขึ้น
น้ำหนัก	ลดลง	ลดลง	เกือบคงที่
ความแข็งแรง	เพิ่มขึ้น	ลดลงเล็กน้อย	เพิ่มขึ้น

ที่มา : (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

2.5 การดูดซับ (Adsorption)

2.5.1 นิยามของการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายมวลสาร (mass transfer) มาสะสม (accumulation) ที่ผิวหน้าหรือระหว่างผิว โดยให้สารละลายที่มีตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ไหลสัมผัสกับของแข็งที่เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) องค์ประกอบแต่ละชนิดของสารละลาย จะมีความสามารถในการกระจาย ที่ผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้าง พื้นที่ผิว และรูพรุน ของตัวดูดซับ ประกอบกับความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย (lyphobic, solventdisliking) และความชอบของตัวถูกละลายที่มีต่อตัวดูดซับ (specific affinity) แต่การดูดซับไม่รวมถึงขบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (surface precipitation process) หรือขบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization process) ซึ่งหากไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย เกิดจากการดูดซับ หรือการตกตะกอนที่พื้นผิว หรือขบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน หรือขบวนการอื่นๆ ที่เกิดขึ้นที่ผิวแล้ว โดยทั่วไปจะใช้คำว่า sorption

2.5.2 กลไกการดูดซับ (Adsorption Mechanism)

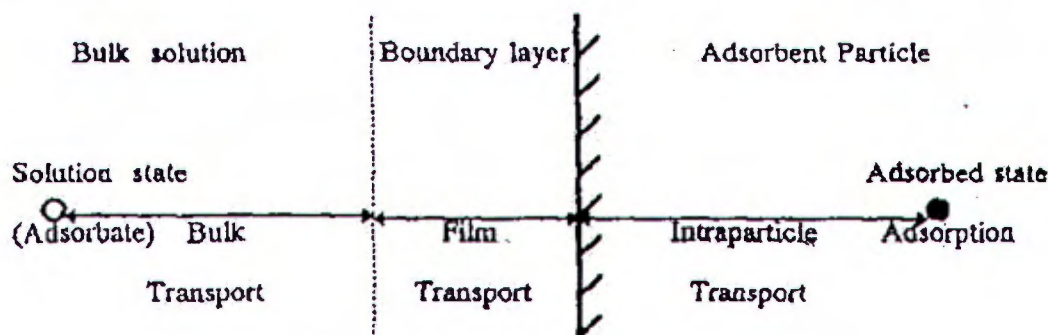
กลไกการดูดซับเป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับเข้าไปในตัวดูดซับ เกิดขึ้นเป็นขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอนติดต่อกัน ดังรูปที่ 2.10

ขั้นตอนที่ 1 (Bulk Transport) เป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับ (mass transfer) จากสารละลาย (bulk solution) ไปยังผิวฟิล์มน้ำหรือโมเลกุลน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 (Film Transport) เป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับ (mass transfer) ข้ามฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 (Intraparticle Transport หรือ Pore Transport) เป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับ (mass transfer) เข้าไปภายในรูพรุนของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 4 (Adsorption) เป็นการดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับกับ active sites บนผิวตัวดูดซับ เกิดขึ้นเร็วมากและอาจดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพและทางเคมี หรือทั้ง 2 แรงพร้อมกัน



ภาพที่ 2.12 ขั้นตอนการเคลื่อนตัวของตัวถูกดูดซับ (adsorption) ในขบวนการ Adsorption
ที่มา : (โกสส ลีสงษ์ และคณะ, 2549)

2.5.3 ลักษณะของการดูดซับ

2.5.3.1 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption)

เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ถูกดูดซับ มีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ทำให้องค์ประกอบยึดติดแน่นบนผิวของตัวดูดซับด้วยแรงทางกายภาพ ได้แก่ แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับสารที่ไม่มีขั้วหรือกับสารที่มีขั้ว และแรงแวนเดอร์วาลส์

2.5.3.2 การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

เกิดจากการสร้างพันธะเคมีบนผิวของตัวดูดซับด้วยการให้ และใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ความร้อนที่เกิดหรือต้องใช้ในปฏิกิริยาสูงกว่าการดูดซับทางกายภาพ และการเกิดจะขึ้นกับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม องค์ประกอบบางชนิดที่อุณหภูมิปกติไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้โดยการดูดซับจะเกิดบนพื้นผิวเฉพาะบางแห่งเท่านั้น ต่างจากการดูดซับทางกายภาพที่สามารถเกิดได้บนพื้นผิวทั้งหมด การดูดซับแบบนี้ไม่สามารถเกิดการคายการดูดซับ เพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้

2.5.4 แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ

ในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลาย จะเกิดการดูดซับด้วยแรงทางกายภาพ (physical force) และแรงทางเคมี (chemical force) โดยแรงทางกายภาพ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ และแรงไฟฟ้าสถิตย์ เกิดที่บริเวณผิวรอบนอกของสารประกอบ เช่น ion exchange ส่วนแรงทางเคมีจะเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) เกิดเป็นสารประกอบติดผิวตัวดูดซับด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bonding) และพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding)

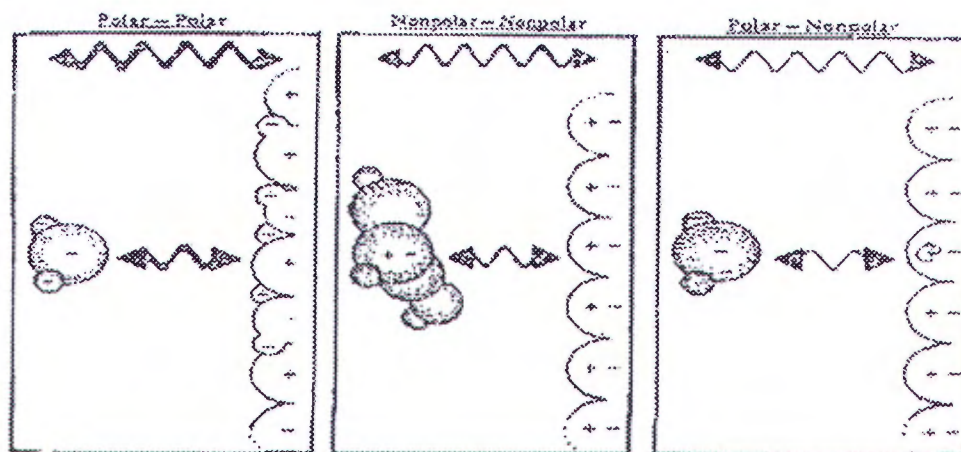
2.5.4.1 แรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waal's force) อะตอมที่อยู่อย่างอิสระหรือโมเลกุลที่อยู่ในสภาพไม่มีขั้ว สามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆ ได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากันมีผลให้เกิดสภาพขั้วขึ้น และสามารถถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำ จึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้นการคายการดูดซับจะสามารถกระทำได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย

2.5.4.2 แรงทางไฟฟ้าสถิตย (Electrostatic force) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเข้าด้วยกัน หรือระหว่างสารที่ไม่มีขั้วกับสารที่ไม่มีขั้ว ซึ่งการเกาะจับของโมเลกุลชนิดต่างๆ เหล่านี้ เกิดจากผล 3 อย่าง (ภาพที่ 2.11) ดังนี้

1. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล (orientation effect) ที่มีขั้ว 2 โมเลกุล คือ ขั้วลบของโมเลกุลหนึ่งกับขั้วบวกของอีกโมเลกุลหนึ่ง ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

2. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (non-polar molecule) เกิดจากผลของการกระจายตัว (dispersion effect) ซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามาก็จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันและมักเป็นแรงที่อ่อน เช่นอินทรีย์สารและถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เนื่องจากอินทรีย์สารส่วนใหญ่ จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ (induction effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาอยู่ใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว แล้วเหนี่ยวนำ ให้เกิดประจุที่ตรงกันข้ามซึ่งจะทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน



ภาพที่ 2.13 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต

ที่มา : (โกศส ลิสงษ์ และคณะ, 2549)

2.5.4.3 แรงทางเคมี

เป็นการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนกับตัวดูดซับ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ที่ผิวของตัวดูดซับกับไอออนของโลหะหนักแล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน แรงทางเคมีมีลักษณะดังนี้

1. เป็นพันธะที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน หรือให้อิเล็กตรอนหรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน มีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันแรงกว่าแรงทางฟิสิกส์
2. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ (irreversible) เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มากและมีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี

2.5.5 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางเคมีและกายภาพ

การดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ มีความแตกต่างกัน ดังนี้

1. การแยกโมเลกุลที่ถูกดูดซับทางเคมีออกจากตัวดูดซับไม่สามารถทำได้หรือทำได้ยากในขณะที่โมเลกุลซึ่งถูกดูดซับทางกายภาพสามารถแยกออกได้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดัน
2. ในการดูดซับทางเคมี โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะสร้างพันธะเคมีที่ผิวของตัวดูดซับด้วยการให้และใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน ส่วนการดูดซับทางกายภาพ จะเกิดจากผลของแรงดึงดูดระหว่างขั้วของโมเลกุล และอิทธิพลของการแพร่
3. การดูดซับทางเคมีนั้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะยึดเกาะผิวของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว(monolayer) และการดูดซับจะหยุดลง เมื่อบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาที่ผิวของตัวดูดซับหมดไป

ในขณะที่การดูดซับทางกายภาพ ซึ่งเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์นั้น ตัวถูกดูดซับจะยึดเกาะบนผิวของตัวดูดซับได้หลายชั้น (multilayer)

4. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ อัตราการดูดซับทางเคมีจะเพิ่มขึ้น แต่อัตราการดูดซับทางกายภาพจะลดลง

2.6 คุณสมบัติของสารดูดซับที่ดี

การกำจัดไอออนโลหะหนัก ออกจากสารละลายโดยใช้สารดูดซับ เป็นตัวดูดซับนั้นควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถถูกดูดซับไอออนโลหะหนัก ออกจากสารละลายได้ในปริมาณสูงและรวดเร็ว
2. มีความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะหนักได้หลายชนิด ไม่จำเพาะเจาะจงต่อไอออนโลหะหนักชนิดใดชนิดหนึ่ง เพราะ ในน้ำทิ้งส่วนใหญ่มีไอออนโลหะหนักหลายชนิดปะปนกันอยู่
3. สามารถแยกออกจากสารละลายได้ง่าย รวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ
4. กระบวนการไอออนโลหะหนัก ออกจากสารดูดซับควรทำได้ง่าย และรวดเร็ว ส่วนสารเคมีที่ใช้ ควรมีราคาถูกและหาได้ง่าย
5. สารดูดซับที่ถูกชะไอออนโลหะหนักออกแล้ว ควรสามารถนำกลับมาใช้เป็นวัสดุดูดซับได้อีกหลายครั้ง

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

กระบวนการดูดซับจะมีประสิทธิภาพมากน้อยเท่าใด สิ่งที่กำหนดคือปัจจัยต่อไปนี้

2.7.1 ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ Film Diffusion หรือ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก(เพราะไม่ถูกรบกวน) ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารถูกดูดซับที่เข้าไปหาสารดูดซับทำให้ Film Diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวเป็นฟิล์มหนา เป็นผลทำให้โมเลกุลสารดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาสารดูดซับได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรงทำให้กรณี Pore Diffusion จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.7.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดซับ คือขนาด และพื้นที่ผิวนอกของสารดูดซับ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผัน กับขนาดของสารดูดซับ ส่วนพื้นที่ผิวของสารดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรง กับความสามารถในการดูดซับ (Adsorptive Capacity) นั่นคือสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลสารดูดซับได้มากกว่าสารดูดซับ ที่มีพื้นที่ผิวน้อย

2.7.3 ความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดซับบนผิวของสารดูดซับ

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลสารดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนผิวของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้(หรือแตกตัวเป็นไอออน) ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นจึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดซับ สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย มักสามารถเกาะติดบนผิวของสารดูดซับได้ดี อย่างไรก็ตามเกณฑ์ข้างบนไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีสารละลายน้ำได้น้อยหลายชนิด เกาะติดผิวของสารดูดซับได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่า เกิดมีความสัมพันธ์อย่างแน่นนอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดซับ และความสามารถในการละลายน้ำ

2.7.4 ขนาดของสารที่ถูกลดซับบนผิวของสารดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลสารดูดซับมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นโพรงของสารดูดซับจากการวิจัยพบว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อโมเลกุลสารดูดซับมีขนาดเล็กกว่า ขนาดของโพรงเล็กน้อย(พอดีเข้าไปในโพรงได้) ทั้งนี้ เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสารดูดซับเข้าไป

2.7.5 ค่าพีเอช(pH)

ค่าพีเอช มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฮโดรเนียมไอออน เนื่องจากที่มีค่า pH ต่ำๆ จะมีปริมาณไฮโดรเนียมไอออนมากกว่า ที่ค่า pH สูงๆ ซึ่งจะมีผลต่อค่าการดูดซับหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของโมเลกุลสารดูดซับ กล่าวคือในกรณีที่เป็นสารละลายไอออน ถ้าสารละลายที่มีค่า pH ต่ำๆ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการแก่งแย่งกันที่จะถูกดูดซับของไอออนในสารละลาย กับไฮโดรเนียมไอออน ซึ่งจะได้ผลในทางตรงกันข้ามกับ เมื่อเป็นการดูดซับในสารละลายที่มีค่า pH สูงๆ

2.7.6 อุณหภูมิ

ขึ้นอยู่กับว่าการดูดซับในระบบเป็นประเภทใด คือถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากหรือคงที่ ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อน จะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น เช่นเดียวกับ

2.8 สภาวะสมดุลและไอโซเทอมของการดูดซับ (Equilibrium Adsorption and Adsorption Isotherm)

เมื่อเกิดการดูดซับตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่ออกจากสารละลายไปเกาะบนผิวของตัวดูดซับ ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับจะดำเนินไปเรื่อย ๆ แต่จะไม่ได้ค่า maximum capacity เพราะมีผลของการถ่ายเทมวลสารเข้ามาเกี่ยวข้องกับการสัมผัสระหว่างของไหลและของแข็ง ทำให้ตัวถูกละลายเกิดการดูดซับและการคายการดูดซับไปพร้อม ๆ กัน จนกระทั่งอัตราการดูดซับ (adsorption) เท่ากับอัตราการคายการดูดซับ (desorption) ซึ่งเรียกว่า ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับ (equilibrium adsorption) ที่อุณหภูมิคงที่ ณ สภาวะสมดุลนี้ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของตัวดูดซับ จะคงที่ สามารถอธิบายสมดุลที่เกิดขึ้นด้วยไอโซเทอมของการดูดซับที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (q_e) กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลาย ที่สภาวะสมดุล (C_e) ณ อุณหภูมิคงที่

2.8.1 ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นเส้นที่ลากขึ้นมาเพื่อบอกถึงปริมาณการดูดซับสาร หรือไอออนบนผิวของตัวดูดซับต่างๆ เส้นนี้เกิดจากการลากเส้นต่อกันระหว่างจุดต่างๆ ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารหรือไอออนที่ถูกดูดซับไว้ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ กับความเข้มข้นของสารหรือไอออนที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่ โดยทั่วไปการศึกษาการดูดซับมักพบไอโซเทอมใน 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งจำแนกจากลักษณะ ความโค้งของความชันของเส้นไอโซเทอมในช่วงเริ่มต้น

Type I Isotherm (รูปที่ 2.14 a) พบมากที่สุดเป็นการดูดซับโดยที่มีชั้นของตัวถูกละลายชั้นหนึ่งที่ผิวของตัวดูดซับได้หนาหนึ่งโมเลกุล (single layer adsorption) พบทั้งการดูดซับทางเคมี และการดูดซับทางฟิสิกส์ จะเป็นปรากฏการณ์การดูดซับของ microporous powders ซึ่งปริมาณของการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความดันสัมพัทธ์ (relative pressure) ต่ำ ๆ และที่ความดันสัมพัทธ์สูงเข้าใกล้หนึ่ง จะมีการดูดซับเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งถ้ามีการดูดซับแบบนี้ แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีรูพรุนเป็น microporous และมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์

Type II Isotherm (รูปที่ 2.14 b) พบมากในปรากฏการณ์การดูดซับที่มีชั้นของตัวถูกละลายหนาขึ้นเรื่อย ๆ (ปริมาณที่ถูกดูดซับเข้าสู่ค่าอนันต์) โดยจะเกิดบน nonporous powder ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนกว้างกว่า microporous (1.5 นาโนเมตร) ที่จุดเปลี่ยนกราฟ (inflection point or knee of isotherm) เกิดขึ้น เมื่อการดูดซับบนพื้นผิวชั้นแรกเกิดเกือบสมบูรณ์ แล้ว (เป็น monolayer เกือบสมบูรณ์) และถ้าเพิ่ม relative pressure จะทำให้การดูดซับเกิดมากกว่า ชั้น ดังนั้นการดูดซับแบบนี้จะเป็นการดูดซับแบบ multilayer

Type III Isotherm (รูปที่ 2.14 c) การดูดซับคล้าย Type II แต่การดูดซับของชั้นแรกนั้นให้ความร้อนออกมาน้อยกว่าความร้อนของการควบแน่น เป็นลักษณะเฉพาะของการเกิดความร้อนของการดูดซับ (heat of adsorption) มีน้อยกว่าความร้อนของการจับตัวกันของตัวถูกดูดซับที่เป็นของเหลว (the adsorbate heat of liquefaction) ดังนั้นการดูดซับที่เพิ่มขึ้น เกิดเพราะตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากับชั้นของตัวถูกดูดซับมากกว่าเกิดปฏิกิริยากับผิวของตัวดูดซับ

Type IV Isotherm (รูปที่ 2.14 d) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดบนตัวดูดซับที่มีรูพรุนประมาณ 15-1,000 อังสตรอม การดูดซับคล้าย Type II สำหรับความหนาของชั้นโมเลกุลชั้นแรก ๆ แต่การดูดซับจะถึงจุดอิ่มตัวเนื่องจากรูพรุนแคปิลารีภายในตัวดูดซับเต็มหมดแล้ว ความชันที่เพิ่มขึ้นเมื่อ relative pressure เพิ่มขึ้นชี้ให้เห็นว่าตัวถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนได้มากขึ้นปรากฏการณ์ที่มีจุดเปลี่ยนของเส้นกราฟนี้เกิดเช่นเดียวกับใน Isotherm Type II คือเกือบเป็น monolayer สมบูรณ์

Type V Isotherm (รูปที่ 2.14 e) การดูดซับคล้าย Type III ในช่วงความเข้มข้นต่ำ แต่การดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะเข้าสู่อันดับสูงสุดหนึ่งเช่นเดียวกับ Type IV เป็นปรากฏการณ์การดูดซับที่เป็นผลจากแรงดึงดูดและตัวดูดซับมีค่าน้อยๆ โดยขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วงประมาณ 15-1,000 อังสตรอม

2. เมื่อดูดซับแล้ว ตัวถูกดูดซับจะไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งกันในพื้นที่ผิวสัมผัส และตัวถูกดูดซับจะไม่มีผลกระทบต่อกัน

3. พื้นที่ผิวในการดูดซับ มีตำแหน่งและกลไกการดูดซับเหมือนกัน ทำให้โครงสร้างของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเหมือนกัน เป็น homogeneous surface

4. พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆพื้นที่ของตัวดูดซับ

สมการของ Langmuir มีเงื่อนไขว่าการดูดซับจะคิดเฉพาะผิวชั้นเดียว และโมเลกุลของสารถูกดูดซับ ไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว

$$q = \frac{q_m K_A C}{1 + K_A C} \quad (2.1)$$

เมื่อ q = ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ

q_m = ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ ณ สภาวะสมดุล

K_A = ค่าคงที่ของการดูดซับ อัตราของตัวดูดซับต่อมิลลิกรัม ของสารถูกดูดซับ

C = ความเข้มข้นของสารละลาย มิลลิกรัมต่อลิตร

เพื่อให้สามารถหาค่า q_m และ K_A ได้ด้วยวิธีกราฟ จึงต้องจัดรูปแบบสมการใหม่ให้เป็นสมการดังนี้

$$1/q = 1/q_m + [1/K_A q_m] 1/C \quad (2.2)$$

$$C/q = C/q_m + 1/K_A q_m \quad (2.3)$$

จากสมการดังกล่าว สามารถเขียนกราฟได้ดังนี้

ชนิดอื่นทดแทนในอุตสาหกรรมสี และสารเคมี ใช้สารประกอบตะกั่วมาก เช่น สีแดง ของตะกั่วออกไซด์ (Red lead) สีเหลือง จากตะกั่วโครเมต (Lead chromate) สีขาว จากตะกั่วคาร์บอเนต (Lead carbonate) และตะกั่วซัลเฟต (Lead sulfate) สารฆ่าแมลงจากตะกั่วอาร์เซนเนทใช้ผสมสีทาอาคาร ซึ่งสีที่มีตะกั่วเหล่านี้อาจผสมในสีของเล่นสำหรับเด็กสีวาดภาพสีที่ใช้พิมพ์ในวารสาร หนังสือพิมพ์ ซึ่งเป็นสีซึ่งต้องสัมผัสเสมอในชีวิตประจำวัน ทำให้บุคคลที่สัมผัส มีโอกาสได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้สูง

นอกจากนี้ ยังมีการนำตะกั่วออกไซด์ มาใช้เป็นเครื่องสำอางด้วย กองพิษวิทยา เคยตรวจพบแป้งโรยตัวเด็ก เป็นผงสีขาว และ สีแดงอ่อน มีตะกั่วปนอยู่ร้อยละ 74 ซึ่งอันตรายต่อเด็กมาก เนื่องจากผิวหนังเด็กดูดซึมตะกั่วได้ดีกว่าผู้ใหญ่ สำหรับบุคคลทั่วไป ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ ทางปาก โดยรับประทานอาหาร และ น้ำดื่มที่ปนเปื้อนตะกั่ว ทางการหายใจ โดยเฉพาะจากไอเสียรถยนต์ ส่วนการดูดซึมทางผิวหนัง ส่วนมากเกิดกับ บุคคลที่มีอาชีพ เกี่ยวข้องกับตะกั่วเป็นส่วนใหญ่ โดยตะกั่วอินทรีย์ ถูกดูดซึมเข้าผิวหนังได้ดี เคยมีการสำรวจดิน และฝุ่นบริเวณริมถนน ที่เป็นชุมชนหนาแน่น พบว่ามีปริมาณตะกั่วสูงถึง 7,500 พีพีเอ็ม ขณะที่ค่าเฉลี่ยของผิวดินโลกเพียง 5-25 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.9.4 พิษเฉียบพลัน

อาการสำคัญที่พบคือ การของโรคเนื้อสมองเสื่อมเฉียบพลัน มักเกิดเมื่อระดับตะกั่วในเลือดสูงเกิน 120 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร และมักพบในเด็กที่อายุต่ำกว่า 3 ปี อาการอาจเริ่มด้วยชักและหมดสติ หรือมีอาการอื่นร่วม เช่น เบื่ออาหาร ชีด กระวนกระวาย ซึม เล่นน้อยลง กระสับกระส่าย อาเจียน อาจจะมีมากขึ้นเรื่อยๆ ใน 3-6 สัปดาห์ จากนั้นจึงมีอาการของโรคสมองเสื่อมตามมาใน 2-5 วัน เริ่มด้วยอาการเดินเซ อาเจียนมาก ซึม หมดสติและชักควบคุมลำบาก แต่จะไม่พบอาการปลายประสาทเสื่อม

2.9.5 พิษเรื้อรัง

พิษเรื้อรังของตะกั่ว คือ ค่อยๆแสดงอาการออกมา ภายหลังจากได้รับสารตะกั่วทีละน้อย เข้าสู่ของเหลว ในร่างกาย และ ค่อยๆสะสม ในร่างกาย จนถึงระยะเวลาหนึ่ง อาจนานเป็นปี จึงแสดงอาการ ส่วนมาก เกิดกับบุคคลที่มีอาชีพที่สัมผัสกับตะกั่ว ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ไม่ว่าทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ไปจับกับเม็ดเลือดแดง แทนที่เหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็น ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง (Anaemia) และมีผลให้ ปริมาณเหล็กในน้ำเหลือง เพิ่มขึ้นผิดปกติ ตะกั่วบางส่วน ไปสะสมในกระดูก ตะกั่ว (Pb^{2+}) จะเข้าไปแทนที่ แคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งเป็นโลหะ ที่จำเป็นในการสร้างกระดูก และฟัน ทำให้มีอาการปวดตามข้อกระดูก และหักง่าย ถ้าไปสะสมที่รากฟัน ทำให้เห็นสีม่วง หรือสีดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่า เส้นตะกั่ว (Lead line) ฟันหลุดได้ง่าย มีผู้วิจัย พบว่าตะกั่ว สามารถเกาะกับกระดูกในร่างกาย ได้

นานถึง 32 ปี และยังสะสมในไขมัน ระบบประสาท สมอง ระบบน้ำเหลือง ตับ และไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดการปวดท้อง น้ำหนักลด เมื่ออาหารคลั่งได้ อาเจียน ท้องผูก อาการพิษทางประสาท และสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ เกิดอาการประสาทหลอน ชี้นไม้รู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้

2.9.6 การรักษา

อาการพิษเฉียบพลัน จากสารตะกั่ว ส่วนมากเกิดจากการรับประทาน ฉะนั้นแพทย์จะต้องล้างท้อง โดยใช้สารละลาย 3 เปอร์เซนต์โซเดียม หรือ แมกนีเซียมซัลเฟต และหรือให้ผงถ่าน (Activated charcoal) เพื่อป้องกันการดูดซึม แล้วรักษาตามอาการ อาการพิษเรื้อรัง อาการเริ่มแรกของพิษตะกั่ว สังเกตค่อนข้างยาก เช่น อาการปวดหัว กระสับกระส่าย ซึ่งมีหลายสาเหตุ จึงมักใช้ผลวิเคราะห์ทางเคมีในเลือด และปัสสาวะ เป็นข้อบ่งชี้ ร่วมกับสังเกตอาการทางคลินิก การรักษาทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ แพทย์ใช้หลักการเดียวกันคือพยายามเร่งการขับตะกั่วออกจากร่างกาย โดยการให้สารเคมีเกาะ แล้วดึงตะกั่วออกจากร่างกายทางปัสสาวะ (Chelating agent) ส่วนมากใช้แคลเซียมโซเดียมเอดีเตด ($\text{CaNa}_2\text{EDTATE}$) ฉีดเข้าเส้นเลือดดำ 1 - 2 กรัม ต่อวัน

2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตตินันท์ คงสืบชาติ. (2546) ได้ศึกษาปัจจัยการผลิตดินเผาดูดซับจากดินเหนียวและขี้เถ้าเยลลี่ ประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนแคดเมียมของดินเผาดูดซับที่ผลิตได้ โดยการแปรผันค่าพีเอช (pH) การชะไอออนออกด้วยสารละลายกรดและน้ำกลั่น หาลักษณะทางกายภาพและทางเคมี การหาประสิทธิภาพในคอลัมน์ดูดซับและได้ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมดูดซับระหว่างถ่าน กัมมันต์ กับดินเผาดูดซับที่ผลิตได้ ทำการศึกษาปัจจัยการผลิตดินเผาดูดซับ โดยการแปรผันอุณหภูมิการเผา ปริมาณสัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่างดินเหนียวและขี้เถ้าเยลลี่ และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในการเผา พบว่าดินเผาดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับจาก 120 ตัวอย่างในเงื่อนไขที่สามารถดูดซับไอออนแคดเมียมได้ดีและมีความคงรูป คือดินเผาดูดซับที่ผลิตจากปริมาณสัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่างดินเหนียวและขี้เถ้าเยลลี่ที่ 10 ต่อ 90 ซึ่งผ่านการเผาแบบไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยสามารถกำจัดไอออนแคดเมียมได้ร้อยละ 83.95 ซึ่งมากกว่าถ่านกัมมันต์อยู่ร้อยละ 23.05 ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่าสามารถดูดซับไอออนแคดเมียมได้ภายในเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด ($q_{\max}$) ซึ่งผลการทดลองการดูดซับเหมาะสมกับสมการการดูดซับแบบฟรุนดริช (Freundlich equation) ดินเผาดูดซับสามารถดูดซับไอออนแคดเมียมที่พีเอช 3.28, 6, 7, 8 และ 9 ได้ 4.079, 2.909, 1.724, 3.257 และ 6.304 มิลลิกรัม/กรัมดินเผาดูดซับ ตามลำดับส่วนที่พีเอช 3.28 ถ่านกัมมันต์มีค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด ($q_{\max}$) เท่ากับ 3.516 มิลลิกรัม/กรัมถ่านกัมมันต์ การศึกษาการชะละลาย

ของดินเผาดูดซับหลังจากใช้งานแล้ว โดยการชะด้วยสารละลายกรดอ่อน (pH 5) และน้ำกลั่นที่ 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อชะด้วยสารละลายกรดอ่อน (pH 5) มีแคดเมียมถูกชะออกมาสูงสุดเพียงร้อยละ 2.7 และไม่สามารถถูกชะออกมาได้เลยด้วยน้ำกลั่น พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 8 ความเข้มข้นแคดเมียม 1 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยคอลัมน์ที่ระดับความลึกของดินเผาดูดซับ 30 , 60 และ 90 เซนติเมตร พบว่าที่จุดหมดสภาพมีน้ำเสียไหลผ่านชั้นดินเผาดูดซับไปทั้งสิ้น 2395.9, 2985.7 และ 2408.2 เท่าของปริมาตรของคอลัมน์ ตามลำดับ

โกศล สีสั่งข.(2549) ได้ศึกษาการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ด้วยเส้นแกลบขาวและ เส้นแกลบขาวที่ปรับปรุงด้วย DETA – silane จากข้อมูลอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นแกลบขาวพบพีคที่ 3,500-3,300 1,625 1,250-1,000 และ 803 ต่อเซนติเมตร ตรงกับหมู่ฟังก์ชัน O-H (stretching) หรือ Si-OH H-O-H Si-O-Si Si-O(stretching) ตามลำดับ และเส้นแกลบขาวปรับปรุงพบพีคเพิ่มที่ 3000-2,800 และ 1,600 เซนติเมตร ตรงกับหมู่ฟังก์ชัน NH_2 หรือ CH_2 และ N-H เมื่อนำมาศึกษาการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} พบว่าเส้นแกลบขาวและเส้นแกลบขาวปรับปรุงให้ไอโซเทอร์มการดูดซับชนิดแอล (กลุ่มย่อยที่สอง) พฤติกรรมการดูดซับเป็นแบบกายภาพชั้นเดียวสำหรับเส้นแกลบขาว ส่วนเส้นแกลบขาวปรับปรุงมีพฤติกรรมการดูดซับทางเคมีร่วมด้วยสำหรับวิธีการดูดซับแบบคอลัมน์ ให้ค่าความจุ การดูดซับมากกว่าวิธีแบบถังแช่ และเส้นแกลบขาวปรับปรุงให้ค่าความจุการดูดซับมากกว่า เส้นแกลบขาวทั้งวิธีแบบคอลัมน์และแบบถังแช่

คงศักดิ์ ปัตตาฤทธิ์. (2546) ได้ทำการศึกษาการผลิตซิลิกาเจลจากเถ้าดิน เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับ พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติของซิลิกาเจลที่ผลิตได้ แล้วนำมาศึกษาการดูดซับโลหะด้วยวิธีแบบถังแช่ และแบบคอลัมน์ จากการทดลองการดูดซับแบบถังแช่พบว่าปริมาณการดูดซับโลหะโครเมียม แคดเมียมและตะกั่ว เท่ากับ 3.80 10.96 และ 11.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่า การดูดซับจะลดลง เมื่อมีไอออนของโลหะอื่นอยู่ด้วยในสารละลาย สำหรับการศึกษาการดูดซับโลหะด้วยวิธีแบบคอลัมน์ พบว่าปริมาณการดูดซับโลหะโครเมียม แคดเมียมและตะกั่ว เท่ากับ 4.34 ,12.08 และ 12.95 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อนำซิลิกาเจลที่ผลิตได้จากเถ้าดินมาศึกษาการกำจัดตะกั่วจากตัวอย่าง น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบคอลัมน์ พบว่าปริมาณการกำจัดตะกั่ว มีค่า 6.50 และ 6.51 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยวิธีการแบบคอลัมน์มีอัตราการดูดซับตะกั่วได้เร็วกว่าวิธีการแบบถังแช่

ประกาศ คุณนาม. (2545) ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักผสมของแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) ในน้ำทิ้ง (น้ำเสียสังเคราะห์) โดยใช้กระดองปู ปังจัญที่ศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของโลหะหนักน้ำทิ้ง ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำทิ้งขนาดของผกกระดองปู และกระดองปูที่เผาและไม่เผา ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ศึกษาอยู่ในช่วง 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช ตั้งแต่ 2 ถึง 10 และขนาดของกระดองปูที่ศึกษามีสองขนาด คือที่ 16 เมช และ 20 เมช การเผากระดองปูทำที่ 650 องศาเซลเซียส พบว่ากระดองปูที่

เผาคูดซับโลหะหนักได้ดีกว่ากระดองปูที่ไม่เผา สามารถคูดซับโลหะหนักได้เกือบทุกตัวยกเว้นโครเมียม ค่า pH ที่ดีสำหรับการคูดซับคือ 4 ถึง 6 ที่พีเอช 2 จะเกิดการคูดซับได้ไม่ดีเพราะมีโลหะหนักเหลือเกือบทุกตัวโครเมียม จะมีเหลืออยู่ในทุกค่าพีเอช สำหรับกระดองปูที่ไม่เผาจะเกิดการคูดซับดีที่ pH 4 และที่ pH ค่าอื่นๆ พบว่ามีโลหะหนักทุกตัวเหลืออยู่ขนาดของผงกระดองปูที่ 16 เมช สามารถคูดซับได้ดีกว่า 20 เมช เล็กน้อย ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยจากน้ำทิ้งจริง และสามารถคูดซับได้ดีที่ พีเอช 4 ถึง 6

มูฮำหมัดซอแห๊ะ บินคุเหล็ม. (2547) ได้ทำการศึกษาการคูดซับโลหะหนักในน้ำด้วยเส้นผม เป็นการศึกษาความสามารถในการคูดซับโลหะหนักในน้ำตัวอย่างด้วยเส้นผม ซึ่งทำการศึกษาประสิทธิภาพการคูดซับตะกั่วและทองแดงด้วยวิธีหาค่าแอมซอร์พแบนซ์ โดยศึกษาที่ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก เวลา และปริมาณสารคูดซับที่ต่างกัน เพื่อหาปริมาณและเวลาที่เหมาะสมที่เส้นผม สามารถคูดซับโลหะหนักได้ ผลการศึกษาพบว่า เส้นผมมีประสิทธิภาพในการคูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 97.51 ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง โดยมีปริมาณเส้นผม 6 กรัมต่อน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิตร ส่วนเส้นผมมีประสิทธิภาพในการคูดซับทองแดงได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 59.30 ที่เวลา 2 ชั่วโมง โดยปริมาณเส้นผม 2 กรัม ต่อน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิตร และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการคูดซับตะกั่วและทองแดงด้วยเส้นผม พบว่า เส้นผมสามารถคูดซับตะกั่วได้ดีกว่าทองแดง ส่วนค่า พีเอช ที่ได้หลังการคูดซับโลหะหนัก พบว่า มีค่าพีเอช เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นข้อมูล ที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ สำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาถูก

ยุวรัตน์ ปรมีสนาภรณ์. (2544) ได้ศึกษาความสามารถในการคูดซับไอออนของแคดเมียมของเปลือกไข่ 2 ชนิด คือ เปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ทำการศึกษาพฤติกรรม การคูดซับของเปลือกไข่แบบกะโดยแบ่งเป็น 2 การทดลองคือ ศึกษาการคูดซับ ณ สภาวะสมดุล ด้วยเปลือกไข่ขนาด 20-40, 40-60 และ 60-80 เมช และศึกษาจลนพลศาสตร์ของการคูดซับ พบว่า ณ สภาวะสมดุลที่ 120 นาที เปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ขนาด 60-80 เมช มีค่าปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่ถูกคูดซับต่อกรัมของเปลือกไข่ (q_{max}) มากที่สุด เท่ากับ 1.6028 และ 1.3170 มิลลิโมลต่อกรัม ของเปลือกไข่ ตามลำดับ ตามสมการ Langmuir Adsorption Isotherm โดยเปลือกไข่ขนาดเล็กคูดซับแคดเมียมได้มากกว่าขนาดใหญ่ และการคูดซับของเปลือกไข่ทั้งสองชนิดเกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออน แต่เปลือกไข่ธรรมชาติ อาจจะมีเยื่อโปรตีนในเปลือกไข่ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล หมู่เอมีน และกลุ่มซัลเฟตของโปรตีนร่วมจับโลหะหนักแคดเมียม จึงทำให้เปลือกไข่ธรรมชาติคูดซับแคดเมียมได้มากกว่าเปลือกไข่ปลอดโปรตีน สำหรับจลนพลศาสตร์ของการคูดซับ พบว่าการคูดซับแคดเมียมของเปลือกไข่ทั้ง 2 ชนิดเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 มีขั้นกำหนดอัตราเร็วของการคูดซับอยู่ในขั้นการแพร่ภายในอนุภาคตั้งแต่เวลา 30-90 นาที โดยอัตราเร็วการแพร่แคดเมียมผ่านชั้นฟิล์มและภายในอนุภาคเปลือกไข่จะแปรผันตรงกับความเร็ว

เข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแคดเมียม และอุณหภูมิ และพบว่าการละลายของเปลือกไข่ทำให้ค่าพีเอช ของสารละลายสูงขึ้น และทำให้สารละลายมีความเป็นบัฟเฟอร์มากขึ้น จึงช่วยให้การดูดซับแคดเมียมมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

วาสนา เจริญคำ.(2536) ได้ศึกษาการหาพื้นที่ผิวของดินขาวและดินเหนียวดำ โดยใช้วิธีการดูดซับทางกายภาพของก๊าซไนโตรเจนและวิธีบีอีที (BET) ดินขาวตัวอย่างได้แก่ ดินขาวดิบจากปางคำ ดินขาวล้างเกรดเอ (A) และเกรดเอเอ (AA) จากห้างหุ้นส่วนไทยจำกัดเกาหลิน จังหวัดลำปาง และดินเหนียวดำจากสุราษฎร์ธานี นำดินขาวตัวอย่างมาร่อนแยกขนาดอนุภาคในช่วง $-80+115$, $-115+250$, $-250+325$ และ -325 เมช และทำการเผาที่อุณหภูมิ 150, 300, 400, 500, 600, 700, 850, 950 และ 1050 องศาเซลเซียส ดินเหนียวดำนำไปบดให้ละเอียด โดยไม่ผ่านการร่อนแยกขนาดทำการเผาที่อุณหภูมิ 600, 700, 850 และ 1050 องศาเซลเซียส ก่อนทำการวัด พบว่า ร้อยละของการลดลงของน้ำหนักดินตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเผาพื้นที่ผิวจำเพาะของดินตัวอย่างจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเผาและไม่ขึ้นกับคุณภาพ หรือขนาดของอนุภาคดินยกเว้นตัวอย่างที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และพบว่าที่อุณหภูมิการเผาที่ ดินตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า

ศิโรรัตน์ ศรีเกษเพ็ชร. (2543) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้แก่ ตะกั่วไนเตรต ($Pb(NO_3)_2$) สังกะสีไนเตรต ($Zn(NO_3)_2$) แคดเมียมไนเตรต ($Cd(NO_3)_2$) และโครเมียมไนเตรต ($Cr(NO_3)_3$) ด้วยตัวดูดซับ 5 ชนิด ได้แก่ แร่ดินเหนียว 2 ชนิด คือ kaolinite และ bentonite ตัวอย่างดินเหนียว 3 แห่ง คือ ดินเหนียวจากอำเภอยะบะดาล จังหวัดลพบุรี (S1) จากอำเภอบางกล่ำ จังหวัดยะลา (S2) และจากเหมือง MRD-ECC จังหวัดลำปาง (S3) โดยดินเหนียว S1 ประกอบไปด้วยแร่ดินเหนียว montmorillonite และ kaolinite ช่นเดียวกับดินเหนียว S2 แต่ต่างกันที่ดินเหนียว S1 มีความเป็นกลาง (pH 7.00) ในขณะที่ดินเหนียว S2 มีความเป็นกรดรุนแรง (pH 3.20) ส่วนดินเหนียว S3 ประกอบไปด้วยแร่ดินเหนียว muscovite ความเป็นกรดปานกลาง (pH 5.00) นอกจากนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอินทรีย์สารและเหล็กออกไซด์ในดินเหนียวต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก โดยทำการศึกษาดังวิธี batch experiment adsorption isotherm พบว่า เมื่อเพิ่ม pH ของสารละลายโลหะหนักความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับชนิดต่างๆ เพิ่มขึ้นและความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของแร่ดินเหนียว bentonite > ดินเหนียว S1 > ดินเหนียว S2 > แร่ดินเหนียว kaolinite ตามลำดับ ซึ่งตัวดูดซับส่วนมากสามารถดูดซับ $Cr > Pb > Cd > Zn$ ตามลำดับ และพบว่าอินทรีย์สารและสารประกอบเหล็กออกไซด์ในดินเหนียวส่วนใหญ่ช่วยเพิ่มการดูดซับโลหะหนัก

สุพจน์ ชื่นทวี. (2546) ได้ศึกษาหาปริมาณโลหะหนักตกค้างในชาเขียว เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชาเขียวพร้อมดื่ม 5 ชนิด คือ A1, A2, A3, A4 และ A5 ทำการสกัดโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว, แคดเมียม และโครเมียม ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างโดยวิธีการย่อยสลาย

แบบเปียก และเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชาเขียวสำหรับชง 5 ชนิด คือ B1 , B2 , B3 , B4 และ B5 ทำการสกัดโลหะหนัก 3 ชนิด ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างโดยวิธีการเผาให้เป็นเถ้า แล้วทำการวิเคราะห์โลหะหนักด้วยอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จากผลการศึกษาพบว่าตัวอย่าง ชาเขียวพร้อมดื่ม 5 ชนิดไม่พบโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมตกค้าง พบโลหะหนักโครเมียมที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.052-0.273 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งโลหะหนักโครเมียมที่วิเคราะห์พบมีค่าเกินค่ามาตรฐานทั้งห้าผลิตภัณฑ์ คือ A1 , A2 , A3 , A4 และ A5 มีค่าเท่ากับ 0.273 , 0.052 , 0.167 และ 0.233 และในตัวอย่างชาเขียวสำหรับชง 5 ชนิดพบโลหะหนักตะกั่ว , แคดเมียมและโครเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 0-87.488 มิลลิกรัมต่อลิตร , 0-0.084 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.204-20.204 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยโลหะหนักตะกั่วที่พบมีค่าเกินค่ามาตรฐานอยู่ที่ผลิตภัณฑ์ คือ B1 , B2 , B3 และ B4 มีค่าเท่ากับ 2.536 , 67.936 , 1.56 และ 87.488 ตามลำดับ แคดเมียมมีค่าเกินค่ามาตรฐานอยู่สองผลิตภัณฑ์ คือ B2 และ B4 มีค่าเท่ากับ 0.084 และ 0.078 ตามลำดับ และโครเมียมมีค่าเกินค่ามาตรฐานอยู่ที่ห้าผลิตภัณฑ์ คือ A1 , A2 , A3 , A4 และ A5 มีค่าเท่ากับ 0.204 , 5.058 , 0.608 , 20.204 และ 1.226

อรรวรรณ กิมภากรณ์. (2544) ได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงดินเบา ทั้งวิธีทางกายภาพและทางเคมี จากนั้นนำเอาดินเบาที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วมาตรวจสอบความสามารถในการดูดซับ ด้วยสารละลาย CuSO_4 และศึกษาการดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิดคือ โลหะแคดเมียม (Cd) และโลหะตะกั่ว (Pb) การปรับปรุงดินเบาทำโดยการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส , 800 องศาเซลเซียส และ 900 องศาเซลเซียส แล้วนำไปผสมกับกรดและเบสชนิดต่างๆ พร้อมทั้งให้ความร้อน 70-80 องศาเซลเซียส ขณะที่กวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อวินาที นาน 7-8 ชั่วโมง และล้างดินให้เป็นกลางและอบให้แห้งที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง นำไปทดสอบการดูดซับกับ 5% น้ำหนักต่อปริมาตร CuSO_4 โดยใช้ UV-Vis Spectrophotometer (UV-1601) ปรากฏว่าตัวอย่างดินที่มีการดูดซับดีที่สุดมี 4 ตัวอย่าง มีค่าการดูดซับเท่ากัน จากนั้นได้นำตัวอย่างดินทั้ง 4 ตัวอย่างไปทดสอบการดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิด คือ แคดเมียม และตะกั่ว จากสารละลายที่เตรียมไว้ ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่า ดินเบาที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส แล้วนำมาผสมกับ $\text{KOH} + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ สามารถดูดซับโลหะแคดเมียมได้ดีที่สุดคือ 4.5510 ไมโครกรัมต่อลิตร จากสารละลายโลหะหนักแคดเมียม ที่มีความเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตร และดินเบาที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส แล้วนำไปผสมกับ $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ สามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้ดีที่สุดคือ 19.9998 ไมโครกรัมต่อลิตร จากสารละลายโลหะหนักตะกั่ว ที่มีความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อลิตร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมืออุปกรณ์

1. Atomic Absorption Spectroscopy ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 3110
2. pH-Meter ยี่ห้อ Schott Instruments รุ่น D-55122
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Artorius รุ่น BP 210 S
4. ตู้ดูดควัน ยี่ห้อ Memmert รุ่น BP 210 S
5. เครื่องเขย่า
6. เตาเผา ยี่ห้อ Carbolite
7. เตาอบ ยี่ห้อ Binder รุ่น FD 115
8. ขวดปริมาตร ขนาด 100, 250, 500, 1000 มิลลิลิตร
9. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
10. ปิเปต ขนาด 0.5, 1, 5, 10, 20, 25 และ 100 มิลลิลิตร
11. บีกเกอร์ ขนาด 100, 250, 500, และ 1000 มิลลิลิตร
12. แท่งแก้วคน
13. กรวย
14. กระดาษกรอง เบอร์ 1
15. ช้อนตักสาร
16. กระดาษอลูมิเนียมฟอยด์
17. กระบอกตวง
18. หลอดหยด
19. สแตนดาร์ด
20. ลูกยาง

3.1.2. สารเคมีและวัสดุดูดซับ

1. สารละลายมาตรฐานไอออนตะกั่ว
2. สารละลายไอออนตะกั่ว
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
5. กรดไนตริก
6. กากชา กากกาแฟ และ ดินเหนียว
7. น้ำกลั่น

3.2 การเตรียมวัสดุดูดซับ

1. นำกากกาแฟ กากชาและ ดินเหนียว นำไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. หลังจากผ่านการอบแห้ง นำกากกาแฟ กากชาและดินเหนียวมาบดและนำไปร่อน

3.2.1 การผลิตเม็ดดูดซับ

1. นำกากกาแฟผง กากชาผงและดิน ที่ผ่านการเตรียมมาแล้ว มาผสมกันตามสัดส่วน 80:20 กรัม

2. เติมน้ำกลั่นให้ท่วมส่วนผสม พร้อมกับคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 15 นาที

3. นำส่วนผสมที่ผสมดีแล้วเข้าตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

4. จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้จากตู้อบ แล้วนำไปอัดเม็ด ให้ได้ขนาด 0.5 มิลลิเมตร

5. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.3 การหาสถานะที่เหมาะสมและความสามารถในการดูดซับโลหะตะกั่ว

จากการศึกษาสถานะต่างๆในการดูดซับตะกั่วด้วยการเขย่า ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว และไอโซเทอมของการดูดซับ ของความเข้มข้นตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุในการดูดซับของวัสดุ

3.3.1. การหาสถานะที่เหมาะสมและความสามารถในการดูดซับโลหะตะกั่วด้วยการเขย่า

1. ศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว

ชั่งเม็ดดูดซับเขรามิกจากกากกาแฟและกากชาหนัก 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดเตาสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 15, 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที ตามลำดับ นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดพลาสติก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2. ศึกษาผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว

ซึ่งเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาหนัก 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตะกั่วที่ปรับพีเอชมีค่าแตกต่างกันดังนี้ ดังนี้ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเวลาที่เหมาะสม ข้อที่ 1 นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดพลาสติก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3. ศึกษาผลของความเข้มข้นตะกั่วเพื่อหาค่าความจุการดูดซับ

ซึ่งเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาหนัก 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ปิเปตสารละลายตะกั่วที่ปรับพีเอชที่เหมาะสม ข้อที่ 2 และเตรียมสารละลายตะกั่วให้มีความเข้มข้นต่างๆ กันดังนี้ 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเวลาที่เหมาะสม ข้อที่ 1 นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดพลาสติก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และนำข้อมูลที่ได้ไปหาความจุของการดูดซับในรูปของสมการ Langmuir และสมการ Freudlich โดยดูจากค่า r^2 ของสมการที่ได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสมการทั้ง 2 ว่ามีความน่าเชื่อถือหรือสอดคล้องกับสมการใด

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวัสดุดูดซับเม็ดเซรามิก

จากการศึกษาสภาวะต่างๆในการดูดซับตะกั่วด้วยการเขย่า ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว และผลของความเข้มข้นของตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุในการดูดซับของวัสดุ ได้ผลดังนี้

1. เวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว

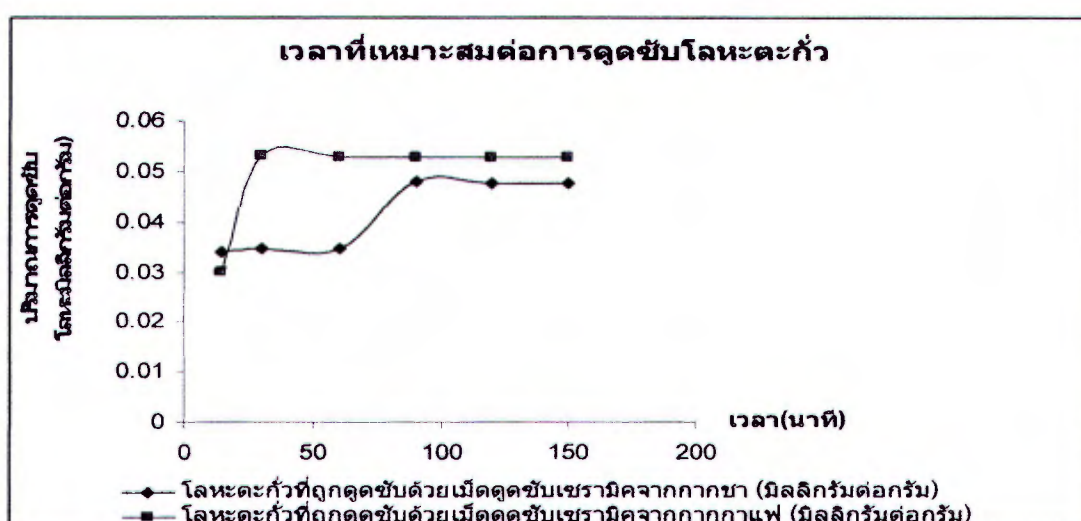
นำเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาหนัก 1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร และบีเปิดสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 15, 30, 60, 90, 120, และ 150 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำมากรอง ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และนำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่ว ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าที่เวลา 30, 60, 90, 120, และ 150 นาที มีปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.0305, 0.0534, 0.0533, 0.0532, 0.0531 และ 0.0531 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชาเฉลี่ย เป็นมิลลิกรัมต่อกรัมเท่ากับ 0.0345, 0.0349, 0.0350, 0.0483, 0.0481 และ 0.0480 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุเม็ดดูดซับเซรามิกผลิตจากกากชาและกากกาแฟที่เวลาแตกต่างกัน

เวลา (นาที)	โลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยกากชา (มิลลิกรัมต่อกรัม)	โลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยกาก กาแฟ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
15	0.0345	0.0305
30	0.0349	0.0534
60	0.0350	0.0533

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุเม็ดดูดซับเซรามิกผลิตจากกากชาและกากกาแฟที่เวลาแตกต่างกัน (ต่อ)

เวลา (นาท)	โลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยกากชา (มิลลิกรัมต่อกรัม)	โลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยกาก กาแฟ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
90	0.0483	0.0532
120	0.0481	0.0531
150	0.0480	0.0531



ภาพที่ 4.1 ปริมาณ โลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสกับเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชาและกากกาแฟ

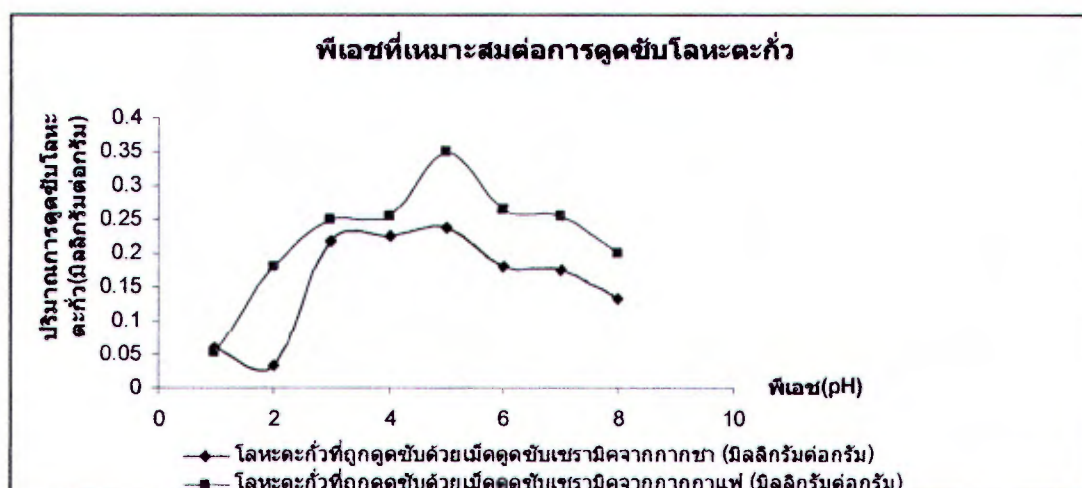
2. ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่วด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชาและกากกาแฟ

ซึ่งเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา น้ำหนัก 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เปิดสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรพีเอช 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ 30 และ 90 นาที ตามลำดับ แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดพลาสติก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่อง อะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่า ที่พีเอช 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟสามารถดูดซับโลหะตะกั่วเมื่อเฉลี่ยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมต่อเท่ากับ 0.0613, 0.0352, 0.2289, 0.2289, 0.2407, 0.1825, 0.1972 และ 0.2646

มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อดูดซับเซรามิกจากกากชาสามารถดูดซับ โลหะตะกั่วเมื่อเฉลี่ย เป็นมิลลิกรัมต่อกรัม เท่ากับ 0.0547, 0.1829, 0.2537, 0.2577, 0.3522, 0.2678, 0.2567 และ 0.2027 มิลลิกรัมต่อกรัมเท่ากับ ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วที่ระดับพีเอชของสารละลายแตกต่างกัน

พีเอช (pH)	โลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชา (มิลลิกรัมต่อกรัม)	โลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
1	0.0613	0.0547
2	0.0352	0.1829
3	0.2189	0.2537
4	0.2264	0.2577
5	0.2407	0.3522
6	0.1825	0.2678
7	0.1772	0.2567
8	0.1346	0.2027



ภาพที่ 4.2 ผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับโลหะตะกั่วด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชา และกากกาแฟ

3. ศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุของการดูดซับ ของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา

ของการทดลองหาความเข้มข้นของตะกั่วเพื่อหาค่าความจุการดูดซับของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา นำเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาหนัก 1 กรัมลงในขวดพลาสติก ปิดฝิตสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่างๆกันดังนี้ 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชที่เหมาะสมดังผลการศึกษาล้างต้น และนำไปเขย่าเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาเป็นเวลา 30 และ 90 นาที นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่ว ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

การศึกษา adsorption isotherm ของการดูดซับโลหะตะกั่ว ด้วยตัวดูดซับต่างชนิดกันสามารถศึกษาในรูปของสมการ Langmuir และสมการ Freundlich โดยดูจากค่า r^2 ของสมการที่ได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสมการทั้ง 2 ว่ามีความน่าเชื่อถือหรือสอดคล้องกับสมการใด โดยสมการ Freundlich จะเป็นกราฟความสัมพันธ์แบบลอการิทึม ระหว่างความเข้มข้นของโลหะที่เหลือในสารละลายในสภาวะสมดุล ($\log C$ มิลลิกรัมต่อลิตร) และปริมาณของโลหะที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ ($\log q$ มิลลิกรัมต่อกรัม) ดังตารางที่ 4.3, 4.4, และภาพที่ 4.3 และ 4.4 สำหรับสมการ Langmuir จะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะที่เหลือในสารละลายในสภาวะสมดุล ($1/C$ มิลลิกรัมต่อลิตร) และปริมาณของโลหะที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ ($1/q$ หรือ X/m มิลลิกรัมต่อกรัม) ดังตารางที่ 4.5, 4.6, และภาพที่ 4.5 และ 4.6 สามารถนำมาคำนวณหาค่าความจุได้ ผลจากการศึกษาพบว่าผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา สามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 0.6788 และ 1.4106 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า $\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการดูดซับเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิช

กากกาแฟ	
$\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
-0.839	-1.073
-0.717	-1.052
0.293	-1.027
0.837	-0.944

ตารางที่ 4.3 ค่า $\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการดูดซับเมื่อดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิช (ต่อ)

กากกาแฟ	
Log C (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
1.060	-0.922
1.219	-0.842
1.542	-0.707
1.595	-0.645
1.619	-0.613
1.709	-0.575
1.911	-0.549
1.998	-0.544

ตารางที่ 4.4 ค่า $\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการดูดซับ เมื่อดูดซับเซรามิกจากกากชาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิช

กากชา	
$\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
-0.932	-1.733
-0.607	-1.017
-0.369	-0.927
0.702	-0.840
0.701	-0.736
1.044	-0.724
1.212	-0.702
1.547	-0.649
1.605	-0.630
1.606	-0.545
1.911	-0.513

ตารางที่ 4.4 ค่า $\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการดูดซับ เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิช (ต่อ)

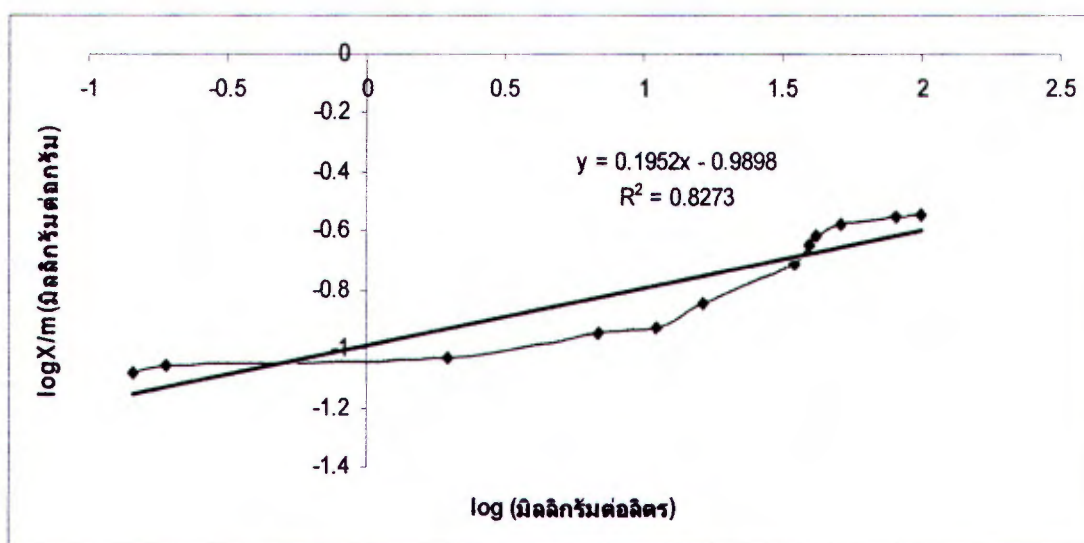
กากชา	
$\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
1.998	-0.333

ตารางที่ 4.5 ค่า $1/q$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $1/C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการดูดซับ เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

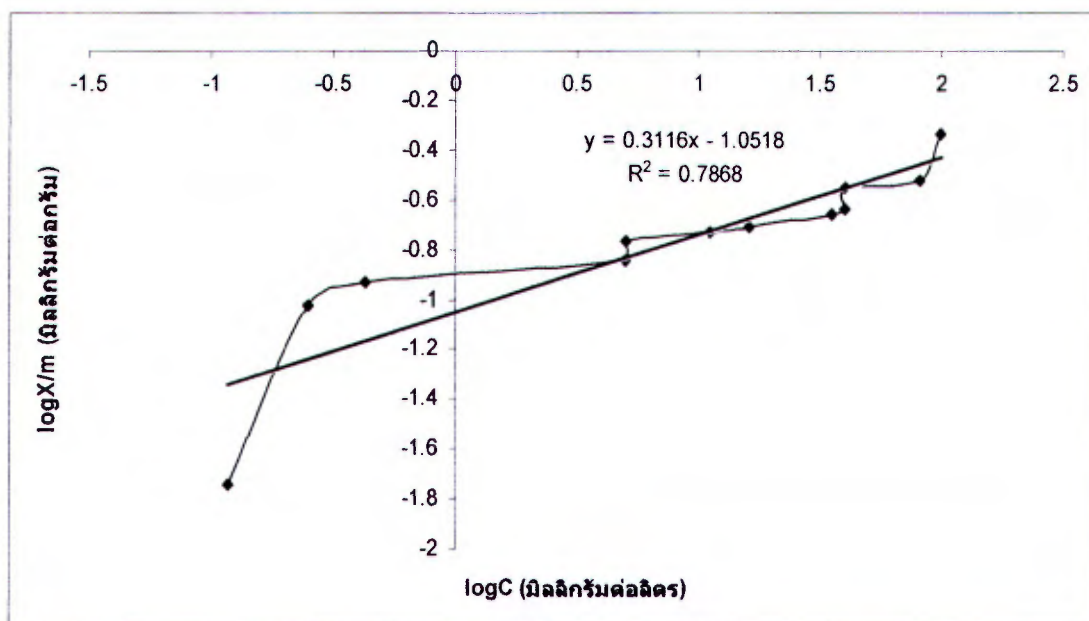
กากกาแฟ	
$1/C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$1/q$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
11.7647	11.7647
10.8696	11.2360
10.4167	10.6383
8.6957	8.8496
8.1967	8.7719
6.9444	7.4074
5.0761	5.6497
4.3478	4.7170
4.0161	4.5249
3.5211	3.9682
3.5088	4.0000
3.4602	3.9526

ตารางที่ 4.6 ค่า $1/q$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ $1/C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อหาความจุการดูดซับ เมื่อดูดซับเซรามิกจากกากชาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

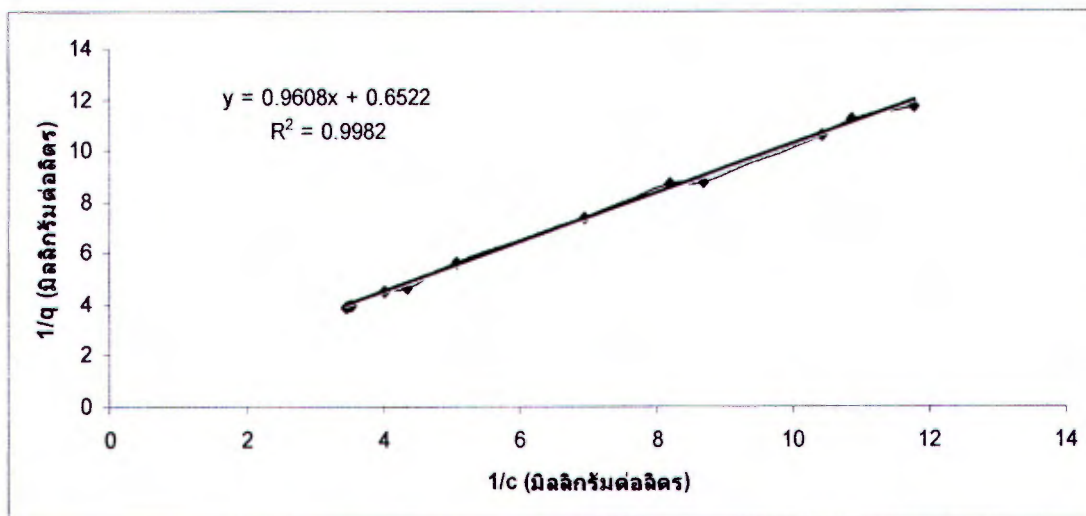
กากชา	
$1/C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$1/q$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
62.5000	52.6316
10.4167	10.4167
8.4034	9.0909
6.8493	6.8966
5.2910	5.9880
4.9020	5.4054
4.3478	5.0505
3.4483	4.5045
3.1746	3.8610
2.2620	2.5126
2.1322	2.2989



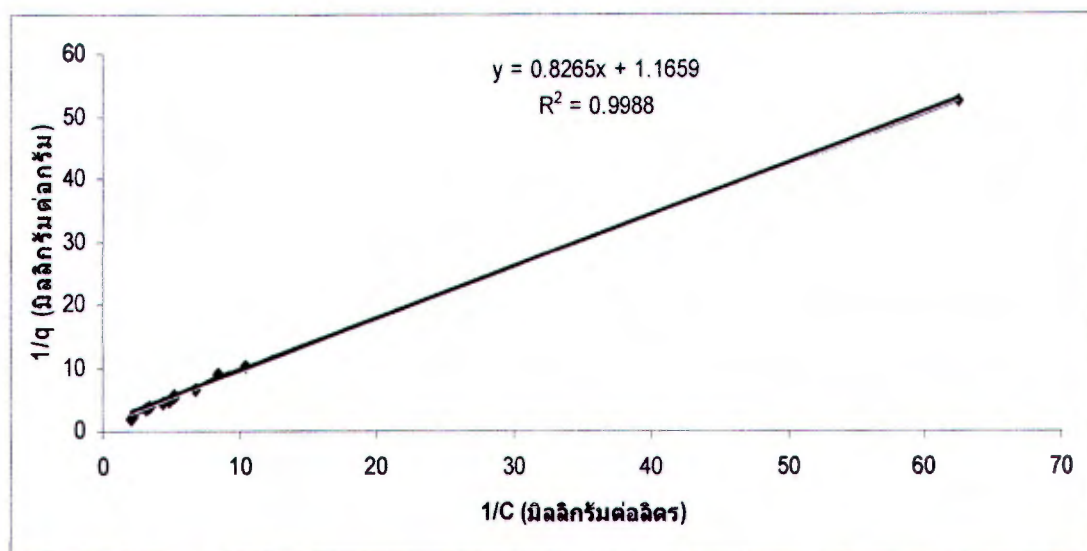
ภาพที่ 4.3 จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนคลิช



ภาพที่ 4.4 จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุดูดซับเซรามิก จากการศึกษาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนดลิช



ภาพที่ 4.5 จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุดูดซับเซรามิก จากการศึกษาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์



ภาพที่ 4.6 จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุดูดซับเซรามิกจากกากกาชาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

ตารางที่ 4.7 ค่าความจุของการดูดซับของวัสดุดูดซับตามวิธีการดูดซับแบบเขย่าที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

วัสดุดูดซับ	ความจุการดูดซับ (K) (มิลลิกรัมต่อกรัม)
เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ	0.6788
เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาชา	1.4106

4.2 อภิปรายผลการทดลอง

4.2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวัสดุดูดซับเม็ดเซรามิก

1. เวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว

จากการศึกษาพบว่าเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา ใช้เวลาการดูดซับตะกั่วเข้าสู่สมดุลที่ 30 และ 90 นาที ปริมาณการดูดซับตะกั่วที่กำจัดด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาอยู่ระหว่าง 0.0345 – 0.0480 และ 0.0305 – 0.0531 มิลลิกรัมต่อกรัม จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการดูดซับตะกั่ว จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นและจะคงที่หรือเข้าสู่สมดุลที่เวลา 30 และ 90 นาที ดังนั้นจึงเลือกเวลาใช้ในการเขย่าเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาที่เวลา 30 และ 90 นาที

2. ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว

จากการทดลองจะเลือกศึกษาในช่วงพีเอช ระหว่างพีเอช 1.00 – 8.00 จากภาพที่ 4.2 พบว่า เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาสามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้ในปริมาณสูงสุด เมื่อสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 5.00 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ โดยเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาได้มีค่า เท่ากับ 0.35220 และ 0.24070 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกปรับพีเอชของสารละลายตะกั่วให้มีค่าเท่ากับ 5.00

3. ศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุของการดูดซับ ของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา

ผลของความเข้มข้นของตะกั่วเพื่อหาค่าความจุการดูดซับของวัสดุ โดยทั่วไปแล้วการบ่งชี้ถึงลักษณะหรือพฤติกรรมในการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนวัสดุดูดซับนั้น จะนิยมในการใช้ไอโซเทอมการดูดซับเป็นหลักอ้างอิงเช่น ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ ของฟรุนดลิช หรือ ของบีอีที ซึ่งการที่จะนำไอโซเทอมมาอธิบายพฤติกรรมการดูดซับบนวัสดุดูดซับใดๆนั้นขึ้นอยู่กับผลการทดลองที่ได้ว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบใด และในการวิจัยนี้ พบว่าผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ ดังนั้นจึงหาค่าความจุการดูดซับโดยอาศัยสมการไอโซเทอมแลงเมียร์ ซึ่งพบว่า เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาสามารถกำจัดตะกั่วได้สูงสุด เท่ากับ 0.6788 และ 1.4106 มิลลิกรัมต่อกรัม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเมื่อดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ และชา โดยการเตรียม วัสดุนำเมื่อดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ, กากชา และดินเหนียวโดยนำวัสดุทั้ง 3 ชนิด มาบดแล้ว ร่อนคัดขนาดให้มีขนาดเล็กกว่า 212 ไมโครเมตรหรือ 70 แเมช ผสมกากชา กับดินเหนียวใน อัตราส่วน 80:20 และ ผสมกากกาแฟกับดินเหนียว ในอัตราส่วน 80:20 เมื่อผสมกันดีแล้วนำไปอัดเม็ดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วของเม็ดดูดซับเซรามิกจาก กากกาแฟและกากชา พบว่า เวลาในการดูดซับตะกั่วของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา เข้าสู่สมดุลในเวลา 30 และ 90 นาที ตามลำดับ และพีเอชที่เหมาะสม ในการดูดซับโลหะตะกั่วของ เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา จะเท่ากับ พีเอช 5 และศึกษาผลของความเข้มข้นตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุการดูดซับของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากกาแฟ ด้วยการดูดซับแบบเขย่า สามารถศึกษาในรูปของสมการ แลงเมียร์ และสมการฟรุนดลิช โดยดูจากค่า r^2 ของสมการที่ได้จาก การสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสมการทั้ง 2 จากทดลองพบว่า ผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้อง กับไอโซเทอมของแลงเมียร์ ดังนั้นจึงหาค่าความจุการดูดซับโดยอาศัยสมการ ไอโซเทอมแลงเมียร์ ซึ่งพบว่า เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาสามารถดูดซับตะกั่วได้สูงสุด เท่ากับ 0.6788 และ 1.4106 มิลลิกรัมต่อกรัม

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้ เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงควรเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ ควรศึกษาวิธีการเตรียมวัสดุ เพื่อสามารถประยุกต์ใช้ ในพื้นที่จริงได้ต่อไป

บรรณานุกรม

- เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์. (2542). การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร
- เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์. (2546). ของเสียอันตราย. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรังสิต.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา.(2541). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.กรุงเทพมหานคร:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์. (2539). การกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้ขี้เถ้าลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชฎิล ฉายรัศมี, เมธี ชลไมตรี และ สุนทรี เพื่องฟู. (2541). การดูดซับโลหะหนักโดยวัสดุชีวมวลผสม
ดินเหนียว. รายงานโครงการ ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. (2522). หลักเคมี 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์กราฟิกอาร์ต.
- ไชยยันต์ ไชยยะ. (2542). การพัฒนาออกแบบเม็ดดูดซับเซรามิกส์ผลิตจากกากกาแฟ.วิทยานิพนธ์
ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี.
- ดำรงค์ ขุนมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล. (2543). การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น.
วิศวกรรมสาร.
- แดน อินทร์มา. (2539). พลศาสตร์การดูดซับความชื้นจากอซิโตนโดยสารดูดซับโมเลกุลาร์ซีฟชนิด
สาม เอ็นโฮดูดซับ. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมีคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวี พรหมพุกษ์. วิชาเครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. (2523). กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์โอเดียน
สโตร์.
- ธิดิพันธ์ กว้างสุขสถิตย์. (2535). คุณสมบัติเบื้องต้นของสารเซรามิก. เชียงใหม่:คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประกฤต เลิศจรสอร่ามดี. 2539. การกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ขี้เถ้า
ฟางข้าว และขุยมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์
สภาวะแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประเทือง เขาว์วันกลาง. (2534). คุณภาพน้ำทางการประมง. กรุงเทพมหานคร: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2527). เชรามิกส์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2535). เชรามิกส์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). เชรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่4, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะพร บารมี. (2542). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงศ์ศักดิ์ โอชารส. (2539). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้ข้าวโพดโดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). เนื้อดินเชรามิก. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- มันสิน ดันจุลเวศม์. (2538.) การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ เล่ม1 การจัดการคุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ดันจุลเวศม์. (2543). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: บริษัท แซน.อี 68 แลป.
- มันสิน ดันจุลเวศม์. (2538). วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานพ ติระรัตนสมโภช. (2545). การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมสหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. (2535). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพมหานคร: ชวนชมการพิมพ์.
- ลลิตา นิต์สนจารุกุล. (2544). การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดซับผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เล็ก สีคง. (2540). วัสดุวิศวกรรมและอุตสาหกรรม. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วรพจน์ กนกกันตพงษ์. (2544). การเพิ่มประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ในการดูดซับอูมิเนียมและเหล็กโดยเปอร์แมงกาเนตไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- วลัยภรณ์ อะนุ และ สุจิตรา พงศ์ธรรณพานิช. (2543). พอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างขยะพลาสติก พอลิโพรพิลีนและซีลีย. โครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริรัตน์ ศรีเกษเพชร. (2543). การดูดซับสารละลายโลหะหนักด้วยดินเหนียวและดินเหนียวปรับปรุง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยี. เทคโนโลยีเซรามิกเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2532). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900-2532). กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สุเจนี๋ ค่ายแสงยม. (2544). การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมถึงทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดวงเดือน ดวงเดือน. (2546). การกำจัดตะกั่วโดยใช้ถ่านกลบดำ. วิศวกรรมสาร มก

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์

เกศศิริ เหล่าวัชรสุวรรณ. ความรู้เกี่ยวกับชา. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:

<http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/m3-3/no13/page02.html> -

10 ตุลาคม 2553

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่ว ด้วยวิธีแบบเขย่า

สารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่านำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดพลาสติก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ วัสดุดูดซับหนัก 1.01 g สามารถคำนวณได้ดังนี้

วิธีการคำนวณ

ดังนั้นจากสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความเข้มข้นสารละลายตะกั่วที่วัดได้ เท่ากับ 19.6515 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากดูดซับวัสดุวัดค่าได้ เท่ากับ 19.2340 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ เท่ากับ 0.4175 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{จากนั้น} \quad \text{mg} &= \text{ppm} \times \text{L} \\ &= 0.4175 \times 100/1000 \\ &= 0.0418 \text{ mg} \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวดูดซับ 1.01 g ปริมาณที่ถูกดูดซับตะกั่ว เท่ากับ 0.0418 mg

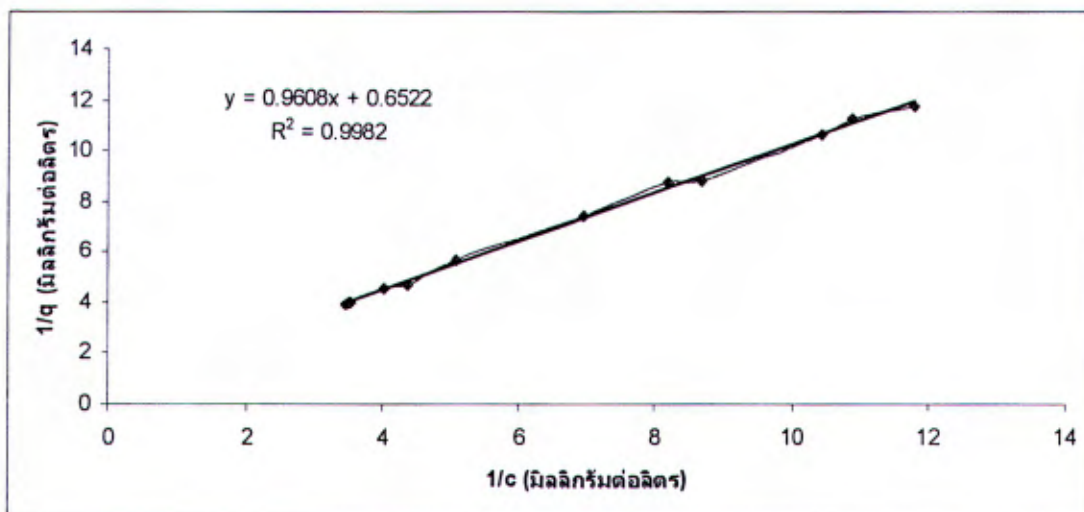
$$\text{ดังนั้น ตัวดูดซับ 1 g ปริมาณที่ถูกดูดซับตะกั่ว เท่ากับ } \frac{1 \times 0.0418}{1.01} = 0.0414 \text{ mg/g}$$

2. การคำนวณหาค่าความจุของการดูดซับ

สารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่านำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดพลาสติก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ วัสดุดูดซับหนัก 1.01 g สามารถคำนวณได้ดังนี้

วิธีคำนวณ

จากสมการ $1/q = 1/q_m + (1/K_A q_m)(1/C)$ นำมาสร้างกราฟเส้นตรงของสมการแลงเมียร์ ระหว่าง $1/q$ และ $1/C$ ดังนี้



ภาพที่ ก จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะตะกั่วบนวัสดุดูดซับเซรามิก

จากกราฟกาแฟโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

ดังนั้น นำมาคำนวณ จากสมการ $1/q = 1/q_m + (1/K_A q_m)(1/C)$ ได้ดังนี้

จากภาพ ก ได้สมการ คือ $y = 0.9608x + 0.6522$

$$\text{เมื่อ } 1/q_m = 0.6522$$

$$1/K_A q_m = 0.9608$$

$$1/q_m = 1/0.6522$$

$$= 1.5333$$

$$1/K_A q_m = 0.9608$$

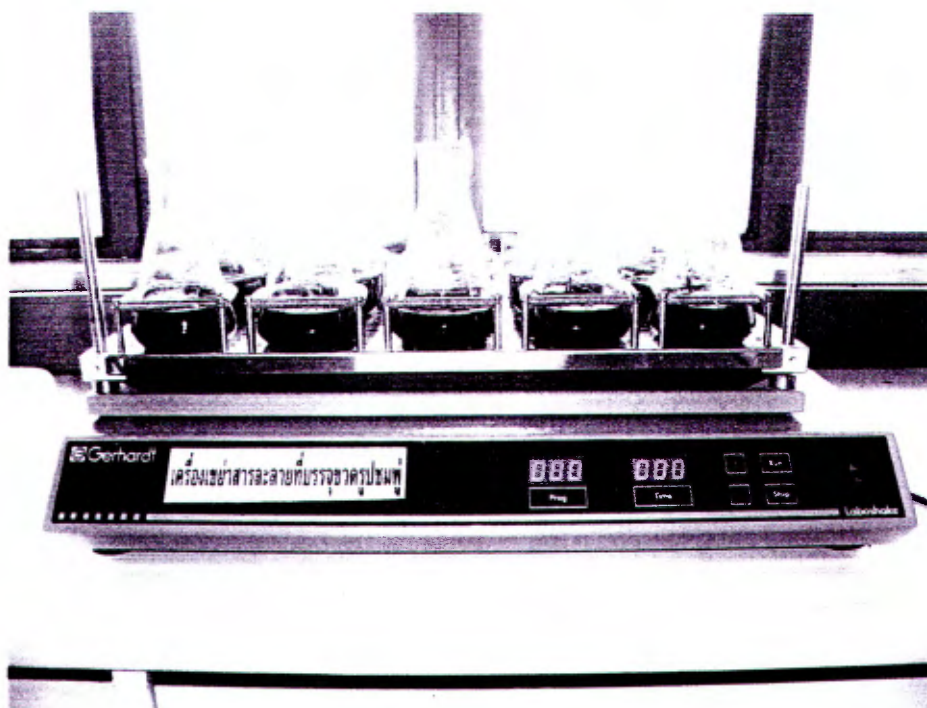
$$\text{ดังนั้น } K_A = 1/0.9608 \times 1.5333$$

$$= 0.6788 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัม}$$

ภาคผนวก ข
แสดงลักษณะรูปภาพต่างๆ



ภาพ ค เครื่องอะตอมมิกแอฟฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 3110



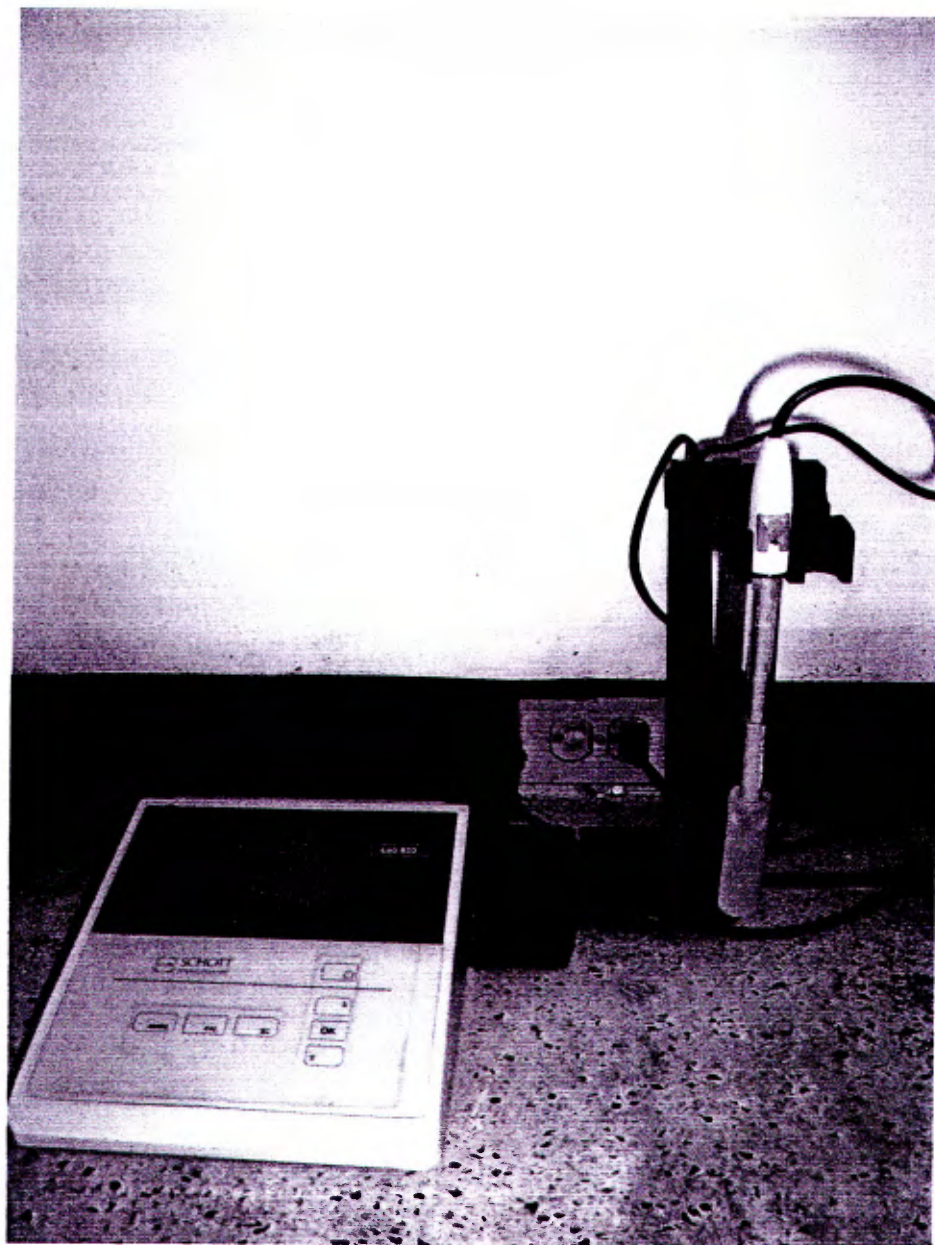
ภาพ ง เครื่องเขย่าสารละลาย



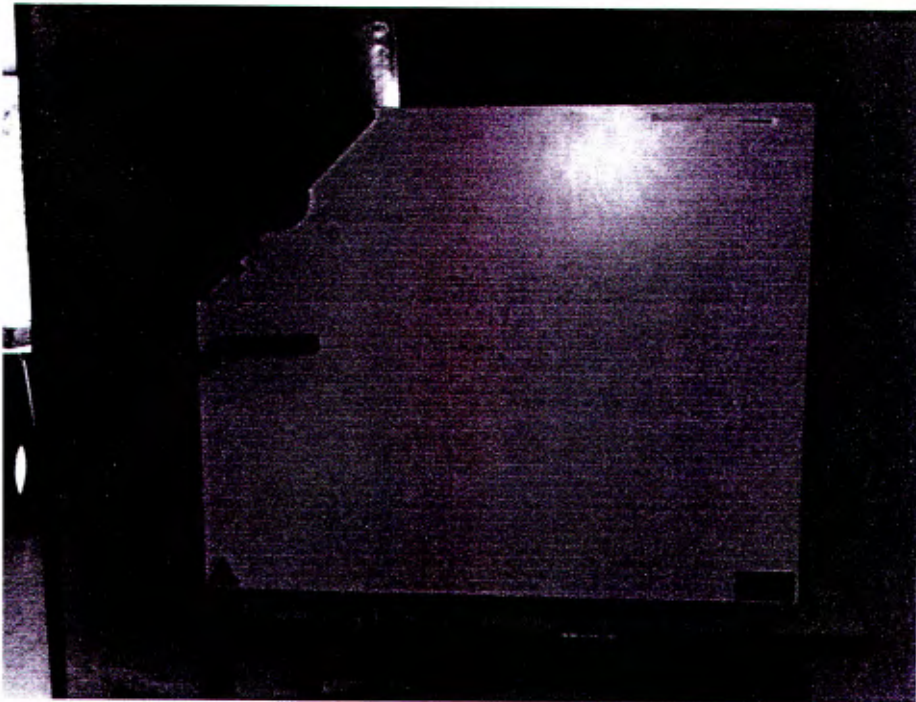
ภาพ จ เตาเผา ยี่ห้อ Carbolite



ภาพ ฉ เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Artorius รุ่น BP 210 S



ภาพ ข pH-Meter ยี่ห้อ Schott Instruments รุ่น D-55122



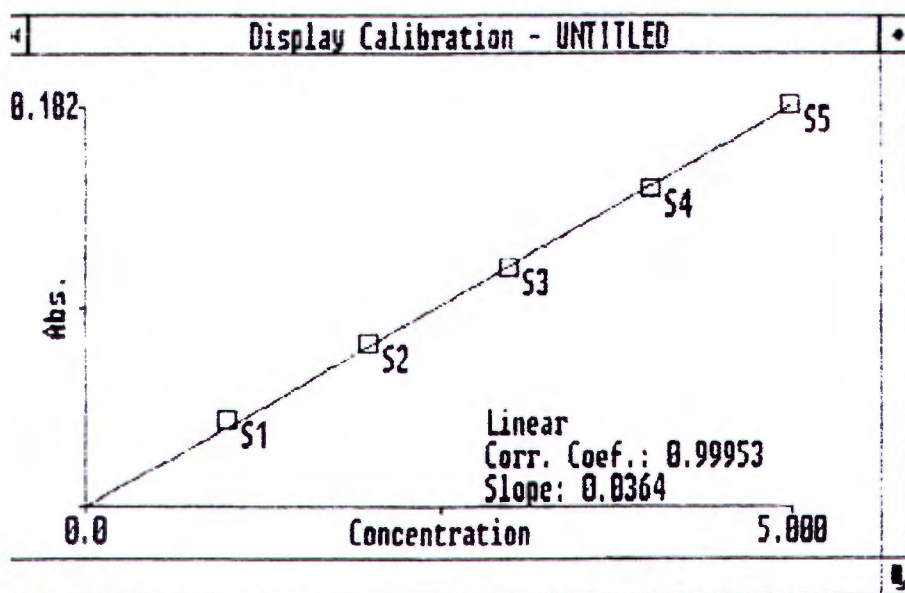
ภาพ ข เตาอบ ยี่ห้อย Binder รุ่น FD 115



ภาพ ฅ เม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟ



ภาพ ฃ เม็ดคูดัฒัเชรามีคจากกากชฃ



ภาพ ฃ กราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะตะกั่ว

ภาคผนวก ก.

โครงร่างวิจัย

เค้าโครงงานวิจัย

ชื่อโครงการ	การดูดซับโลหะหนัก ด้วยเม็ดดูดซับเซรามิกที่ผลิตจากกากชาและกากกาแฟ Lead Adsorption With absorbing ceramic from coffee and tea waste
ประเภทของงานวิจัย	วิจัยเพื่อพัฒนา
สาขาที่ทำการวิจัย	สาขาเคมี
ผู้ดำเนินการวิจัย	นางสาวนุรีย์ฮัน สามะ Miss. Nurgeehan sama
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์รุ่งนภา พิมเสน
สถานที่ทำการทดลอง	โปรแกรมวิชาเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันนี้โรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นมากมาย เช่น โรงงานชุบโลหะ โรงงานทำสี โรงงานผลิตแบตเตอรี่ และ โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น สิ่งก็ตามมาก็คือน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการผลิตซึ่งได้ผ่านการชะล้างผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบทำให้น้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาประกอบไปด้วยสารเคมีต่าง ๆ ที่ตกค้างอยู่ซึ่งจะเกิดมลพิษทางน้ำตามมาเสมอและที่สำคัญสารเคมีเหล่านั้นมักจะก่อโทษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำหรือแม้กระทั่งมนุษย์ โลหะหนักเป็นสารเคมีอีกตัวหนึ่งในสารตกค้างเหล่านั้น ซึ่งจะเจือปนอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ เช่น เกลือของปรอท ทองแดง แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี เป็นต้น (ศิริรัตน์ ศรีเกษเพชร, 2543) เกลืออินทรีย์เหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็นโดยตรงหรือโดยทางอ้อมก็ตาม

ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากเป็นโลหะอ่อน มีจุดหลอมเหลวต่ำ แต่ขณะเดียวกันตะกั่วปนเปื้อนได้ง่ายทั้งในดิน น้ำ และอากาศ มีโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทที่มีโลหะตะกั่วเจือปนในปริมาณที่สูง เช่น โรงงานชุบโลหะ โรงงานพิมพ์หนังสือ โรงงานผลิตแก้ว โรงงานประกอบรถยนต์ โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานทำเครื่องถม เป็นต้น ถ้าโรงงานเหล่านี้ปล่อยน้ำเสียออกสู่แหล่งน้ำ โดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด ตะกั่วก็จะมีโอกาสเข้าสู่สิ่งแวดล้อมและร่างกายของมนุษย์ได้ ซึ่งโดยปกติตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทั้งทางผิวหนัง การหายใจและการกินอาหารที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว เมื่อเข้าสู่

ร่างกายแล้วตะกั่วบางส่วนจะถูกสะสมในอวัยวะต่างๆ เช่น เลือด ตับ และไต และอาจส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติขึ้น และความเป็นพิษ มีผลต่อรูปร่างทารกในครรภ์ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดตะคริว มีผลต่อระบบประสาทตา ทำให้มีนัยตา อ่อนเพลีย ความจำเสื่อม และมีผลต่อประสาทการรับรส โดยเกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยที่ผู้ป่วยไม่รู้ตัว (อังฉรา ดวงเดือน, 2545)

ปัจจุบันประชาชนจึงให้ความสำคัญกับการกำจัดโลหะเพิ่มมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นการใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอน หรือการสกัดด้วยสารอินทรีย์ และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เป็นต้น โดยเฉพาะการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มาใช้ในการดูดซับโลหะหนักในขั้นตอนสุดท้ายของการบำบัดน้ำทิ้ง แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้นถ่านกัมมันต์จะไปดูดซับสารอินทรีย์มากกว่าสารอนินทรีย์ อย่างไรก็ตามแต่ก็ไม่ได้หมายความว่าถ่านกัมมันต์ไม่สามารถดูดซับโลหะได้เลย

ปัจจุบันคนนิยมมาบริโภคชาและกาแฟสดเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก นั่นคือกากชาและกากกาแฟสด โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ผู้วิจัยจึงได้นำกากชาและกากกาแฟเหลือทิ้งเหล่านี้มาคิดแปรรูปเป็นวัสดุดูดซับตะกั่วโดยการตรึงกับดินเหนียวทำเป็นเม็ดเซรามิก เซรามิกสิ่งที่ถูกเผา ซึ่งวัสดุหลักคือดินเหนียว (ไชยยันต์ ไชยยะ, 2549)

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้ได้นำกากชาและกากกาแฟที่เหลือทิ้งจากการใช้งานมาตรึงกับดินเหนียว นำไปอัดเม็ดและผ่านกระบวนการเผาจนได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเม็ด ผู้วิจัยหวังว่าของงานวิจัยนี้ที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของโลหะตะกั่ว

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะตะกั่วโดยใช้เม็ดดูดซับเซรามิกกากชาและกากกาแฟเป็นวัสดุดูดซับ
2. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะตะกั่วได้แก่ เวลาในการเข้าสู่สมดุล พีเอชที่เหมาะสม และ ศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุของการดูดซับ ของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา
3. เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบและประสิทธิภาพของการดูดซับ ระหว่างเม็ดดูดซับจากกากชา กับกากกาแฟ

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากชาและกากกาแฟที่เหลือทิ้งให้เป็นวัสดุที่มีค่า

2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนั้น ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ เช่น การปรับปรุงดิน ใช้เป็นสารดูดซับ และ กลิ่นไอเสียในอากาศ เป็นต้น

ขอบเขตของการวิจัย

1. วิเคราะห์หาค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด (V_m) ต่อไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) ของเม็ดดูดซับที่ผลิตได้
2. ศึกษาสภาวะต่างๆ ในการดูดซับตะกั่วด้วยการเขย่า ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว และ ศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุของการดูดซับ ของเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำเสีย
2. พัฒนาวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์
3. เป็นผลงานที่สามารถ นำไปประยุกต์ใช้ในการหาประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุอื่นๆ อีกต่อไป

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตตินันท์ คงสืบชาติ. (2546) ได้ศึกษาปัจจัยการผลิตดินเผาดูดซับจากดินเหนียวและขี้เถ้าเยื่อประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนแคดเมียมของดินเผาดูดซับที่ผลิตได้ โดยการแปรผันค่าพีเอช (pH) การชะไอออนออกด้วยสารละลายกรดและน้ำกลั่น หาลักษณะทางกายภาพและทางเคมี การหาประสิทธิภาพในคอลัมน์ดูดซับและได้ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการดูดซับระหว่างถ่าน กัมมันต์ กับดินเผาดูดซับที่ผลิตได้ ทำการศึกษาปัจจัยการผลิตดินเผาดูดซับ โดยการแปรผันอุณหภูมิการเผา ปริมาณสัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่างดินเหนียวและขี้เถ้าเยื่อ และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในการเผา พบว่าดินเผาดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับจาก 120 ตัวอย่างในเงื่อนไขที่สามารถดูดซับไอออนแคดเมียมได้ดีและมีความคงรูป คือดินเผาดูดซับที่ผลิตจากปริมาณสัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่างดินเหนียวและขี้เถ้าเยื่อที่ 10 ต่อ 90 ซึ่งผ่านการเผาแบบไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยสามารถกำจัดไอออนแคดเมียมได้ร้อยละ 83.95 ซึ่งมากกว่าถ่านกัมมันต์อยู่ร้อยละ 23.05 ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่าสามารถดูดซับไอออนแคดเมียมได้ภายในเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด (q_{max}) ซึ่งผลการทดลองการดูดซับเหมาะสมกับสมการการดูดซับแบบฟรุนดริช (Freundlich

equation) ดินเผาดูดซับสามารถดูดซับไอออนแคดเมียมที่พีเอช 3.28, 6, 7, 8 และ 9 ได้ 4.079, 2.909, 1.724, 3.257 และ 6.304 มิลลิกรัม/กรัมดินเผาดูดซับ ตามลำดับส่วนที่พีเอช 3.28 ถ่านกัมมันต์มีค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด (q_{max}) เท่ากับ 3.516 มิลลิกรัม/กรัมถ่านกัมมันต์ การศึกษาการชะละลายของดินเผาดูดซับหลังจากใช้งานแล้ว โดยการชะด้วยสารละลายกรดอ่อน (pH 5) และน้ำกลั่นที่ 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อชะด้วยสารละลายกรดอ่อน (pH 5) มีแคดเมียมถูกชะออกมาสูงสุดเพียงร้อยละ 2.7 และไม่สามารถถูกชะออกมาได้เลยด้วยน้ำกลั่น พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 8 ความเข้มข้นแคดเมียม 1 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยคอลัมน์ที่ระดับความลึกของดินเผาดูดซับ 30, 60 และ 90 เซนติเมตร พบว่าที่จุดหมดสภาพมีน้ำเสียไหลผ่านชั้นดินเผาดูดซับไปทั้งสิ้น 2395.9, 2985.7 และ 2408.2 เท่าของปริมาตรของคอลัมน์ ตามลำดับ

โกศล สีสังข์. (2549) ได้ศึกษาการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ด้วยเส้นแกลบขาวและเส้นแกลบขาวที่ปรับปรุงด้วย DETA – silane จากข้อมูลอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นแกลบขาวพบพีคที่ 3500-3300 1625 1250-1000 และ 803 ต่อเซนติเมตร ตรงกับหมู่ฟังก์ชัน O-H (stretching) หรือ Si-OH H-O-H Si-O-Si Si-O(stretching) ตามลำดับ และเส้นแกลบขาวปรับปรุงพบพีคเพิ่มเติมที่ 3000-2800 และ 1600 เซนติเมตร ตรงกับหมู่ฟังก์ชัน NH_2 หรือ CH_2 และ N-H เมื่อนำมาศึกษาการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} พบว่าเส้นแกลบขาวและเส้นแกลบขาวปรับปรุงให้ไอโซเทอร์มการดูดซับชนิดแอล (กลุ่มย่อยที่สอง) พฤติกรรมการดูดซับเป็นแบบกายภาพชั้นเดียวสำหรับเส้นแกลบขาว ส่วนเส้นแกลบขาวปรับปรุงมีพฤติกรรมการดูดซับทางเคมีร่วมด้วยสำหรับวิธีการดูดซับแบบคอลัมน์ ให้ค่าความจุ การดูดซับมากกว่าวิธีแบบถังแช่ และเส้นแกลบขาวปรับปรุงให้ค่าความจุการดูดซับมากกว่าเส้นแกลบขาวทั้งวิธีแบบคอลัมน์และแบบถังแช่

คงศักดิ์ ปัตตาฤทธิ์. (2546) ได้ทำการศึกษาการผลิตซิลิกาเจลจากเถ้าถ่าน เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับ พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติของซิลิกาเจลที่ผลิตได้ แล้วนำมาศึกษาการดูดซับโลหะด้วยวิธีแบบถังแช่ และแบบคอลัมน์ จากการทดลองการดูดซับแบบถังแช่พบว่าปริมาณการดูดซับโลหะโครเมียม แคดเมียมและตะกั่ว เท่ากับ 3.80 10.96 และ 11.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่าการดูดซับจะลดลง เมื่อมีไอออนของโลหะอื่นอยู่ด้วยในสารละลาย สำหรับการศึกษาการดูดซับโลหะด้วยวิธีแบบคอลัมน์ พบว่าปริมาณการดูดซับโลหะโครเมียม แคดเมียมและตะกั่ว เท่ากับ 4.34, 12.08 และ 12.95 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อนำซิลิกาเจลที่ผลิตได้จากเถ้าถ่านมาศึกษาการกำจัดตะกั่วจากตัวอย่าง น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบคอลัมน์ พบว่าปริมาณการกำจัดตะกั่ว มีค่า 6.50 และ 6.51 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยวิธีการแบบคอลัมน์มีอัตราการดูดซับตะกั่วได้เร็วกว่าวิธีการแบบถังแช่

ประกาศ คุณนาม. (2545) ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักผสมของแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) ในน้ำทิ้ง (น้ำเสียสังเคราะห์) โดยใช้กระดองปู ปังจัญที่ศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของโลหะหนักน้ำทิ้ง ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของ

น้ำทิ้งขนาดของผงกระดองปู และกระดองปูที่เผาและไม่เผา ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ศึกษา อยู่ในช่วง 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช ตั้งแต่ 2 ถึง 10 และขนาดของกระดองปูที่ศึกษามี สองขนาด คือที่ 16 เมช และ 20 เมช การเผากระดองปูทำที่ 650 องศาเซลเซียส พบว่ากระดองปูที่ เผาดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่ากระดองปูที่ไม่เผา สามารถดูดซับ โลหะหนักได้เกือบทุกตัวยกเว้น โครเมียม ค่า pH ที่ดีสำหรับการดูดซับคือ 4 ถึง 6 ที่ พีเอช 2 จะเกิดการดูดซับได้ไม่ดีเพราะมีโลหะ หนักเหลือเกือบทุกตัวโครเมียม จะมีเหลืออยู่ในทุกค่าพีเอช สำหรับกระดองปูที่ไม่เผ่าจะเกิดการดูด ซับดีที่ pH 4 และที่ pH ค่าอื่นๆ พบว่ามีโลหะหนักทุกตัวเหลืออยู่ขนาดของผงกระดองปูที่ 16 เมช สามารถดูดซับได้ดีกว่า 20 เมช เล็กน้อย ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น ความเข้มข้นเฉลี่ยจากน้ำทิ้งจริง และสามารถดูดซับได้ดีที่ พีเอช 4 ถึง 6

มูอำหมัดซอแห๊ะ บินดุเหถ็ม. (2547) ได้ทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนักในน้ำด้วย เส้นผม เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในน้ำด้วยเส้นผม ซึ่ง ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วและทองแดงด้วยวิธีหาค่าแอมบอร์พแบนซ์ โดยศึกษา ที่ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก เวลา และปริมาณสารดูดซับที่ต่างกัน เพื่อหาปริมาณและเวลา ที่เหมาะสมที่เส้นผม สามารถดูดซับโลหะหนักได้ ผลการศึกษาพบว่า เส้นผมมีประสิทธิภาพใน การดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 97.51 ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง โดยมีปริมาณเส้นผม 6 กรัมต่อน้ำ ตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ส่วนเส้นผมมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 59.30 ที่เวลา 2 ชั่วโมง โดยปริมาณเส้นผม 2 กรัม ต่อน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร และเมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและทองแดงด้วยเส้นผม พบว่า เส้นผมสามารถดูดซับตะกั่ว ได้ดีกว่าทองแดง ส่วนค่า พีเอช ที่ได้หลังการดูดซับโลหะหนัก พบว่า มีค่าพีเอช เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็น ข้อมูล ที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ สำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยวัสดุ ธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาถูก

ยัวร์คัน ปรมีสนาภรณ์. (2544) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนของแคดเมียม ของเปลือกไข่ 2 ชนิด คือ เปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ทำการศึกษากฎการ การดูดซับของเปลือกไข่แบบกะโดยแบ่งเป็น 2 การทดลองคือ ศึกษาการดูดซับ ณ สภาวะสมดุล ด้วยเปลือกไข่ขนาด 20-40, 40-60 และ 60-80 เมช และศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ พบว่า ณ สภาวะสมดุลที่ 120 นาที เปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ขนาด 60-80 เมช มีค่า ปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่ถูกดูดซับต่อกรัมของเปลือกไข่ (q_{max}) มากที่สุด เท่ากับ 1.6028 และ 1.3170 มิลลิโมลต่อกรัม ของเปลือกไข่ ตามลำดับ ตามสมการ Langmuir Adsorption Isotherm โดยเปลือกไข่ขนาดเล็กดูดซับแคดเมียมได้มากกว่าขนาดใหญ่ และการดูดซับของเปลือกไข่ทั้งสอง ชนิดเกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออน แต่เปลือกไข่ธรรมชาติ อาจจะมีเยื่อโปรตีนในเปลือกไข่ ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล หมู่เอมีน และกลุ่มซัลเฟตของโปรตีนร่วมจับโลหะหนักแคดเมียม จึงทำให้เปลือกไข่ธรรมชาติดูดซับแคดเมียมได้มากกว่าเปลือกไข่ปลอดโปรตีน สำหรับ

จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ พบว่าการดูดซับแคดเมียมของเปลือกไข่ทั้ง 2 ชนิดเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 มีขั้นกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับอยู่ในขั้นการแพร่ภายในอนุภาคตั้งแต่เวลา 30-90 นาที โดยอัตราเร็วการแพร่แคดเมียมผ่านชั้นฟิล์มและภายในอนุภาคเปลือกไข่จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแคดเมียม และอุณหภูมิ และพบว่าการละลายของเปลือกไข่ทำให้ค่าพีเอช ของสารละลายสูงขึ้น และทำให้สารละลายมีความเป็นบัฟเฟอร์มากขึ้น จึงช่วยให้การดูดซับแคดเมียมมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

วาสนา เจริญคำ.(2536) ได้ศึกษาการหาพื้นที่ผิวของดินขาวและดินเหนียวดำ โดยใช้วิธีการดูดซับทางกายภาพของก๊าซไนโตรเจนและวิธีบีอีที (BET) ดินขาวตัวอย่างได้แก่ ดินขาวดิบจากปางดำ ดินขาวล้างเกรดเอ (A) และเกรดเอเอ (AA) จากห้างหุ้นส่วนไทยจำกัดเกาลินจังหวัดลำปาง และดินเหนียวดำจากสุราษฎร์ธานี นำดินขาวตัวอย่างมาร่อนแยกขนาดอนุภาคในช่วง -80+115, -115+250, -250+325 และ -325 เมช และทำการเผาที่อุณหภูมิ 150, 300, 400, 500, 600, 700, 850, 950 และ 1050 องศาเซลเซียส ดินเหนียวดำนำไปเผาให้ละเอียด โดยไม่ผ่านการร่อนแยกขนาดทำการเผาที่อุณหภูมิ 600, 700, 850 และ 1050 องศาเซลเซียส ก่อนทำการวัด พบว่า ร้อยละของการลดลงของน้ำหนักดินตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเผาพื้นที่ผิวจำเพาะของดินตัวอย่างจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเผาและไม่ขึ้นกับคุณภาพ หรือขนาดของอนุภาคดินยกเว้นตัวอย่างที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และพบว่าที่อุณหภูมิการเผาครั้งที่ ดินตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า

ศิริวรรณ ศรีเกษเพ็ชร. (2543) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้แก่ ตะกั่วไนเตรต ($Pb(NO_3)_2$) สังกะสีไนเตรต ($Zn(NO_3)_2$) แคดเมียมไนเตรต ($Cd(NO_3)_2$) และโครเมียมไนเตรต ($Cr(NO_3)_3$) ด้วยตัวดูดซับ 5 ชนิด ได้แก่ แร่ดินเหนียว 2 ชนิด คือ kaolinite และ bentonite ตัวอย่างดินเหนียว 3 แห่ง คือ ดินเหนียวจากอำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี (S1) จากอำเภอบางกล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา (S2) และจากเหมือง MRD-ECC จังหวัดลำปาง (S3) โดยดินเหนียว S1 ประกอบไปด้วยแร่ดินเหนียว montmorillonite และ kaolinite ช่นเดียวกับดินเหนียว S2 แต่ต่างกันที่ดินเหนียว S1 มีความเป็นกลาง (pH 7.00) ในขณะที่ดินเหนียว S2 มีความเป็นกรดรุนแรง (pH 3.20) ส่วนดินเหนียว S3 ประกอบไปด้วยแร่ดินเหนียว muscovite ความเป็นกรดปานกลาง (pH 5.00) นอกจากนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอินทรีย์สารและเหล็กออกไซด์ในดินเหนียวต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก โดยทำการศึกษาดังวิธี batch experiment adsorption isotherm พบว่า เมื่อเพิ่ม pH ของสารละลายโลหะหนักความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับชนิดต่างๆ เพิ่มขึ้นและความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของแร่ดินเหนียว bentonite > ดินเหนียว S1 > ดินเหนียว S2 > แร่ดินเหนียว kaolinite ตามลำดับ ซึ่งตัวดูดซับส่วนมากสามารถดูดซับ $Cr > Pb > Cd > Zn$ ตามลำดับ และพบว่าอินทรีย์สารและสารประกอบเหล็กออกไซด์ในดินเหนียวส่วนใหญ่ช่วยเพิ่มการดูดซับโลหะหนัก

สุพจน์ ชื่นทวี. (2546) ได้ศึกษาหาปริมาณโลหะหนักตกค้างในชาเขียว เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชาเขียวพร้อมดื่ม 5 ชนิด คือ A1 , A2 , A3 , A4 และ A5 ทำการสกัดโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว , แคดเมียม และ โครเมียม ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างโดยวิธีการย่อยสลายแบบเปียก และเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชาเขียวสำหรับชง 5 ชนิด คือ B1 , B2 , B3 , B4 และ B5 ทำการสกัดโลหะหนัก 3 ชนิด ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างโดยวิธีการเผาให้เป็นเถ้า แล้วทำการวิเคราะห์โลหะหนักด้วยอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จากผลการศึกษาพบว่าตัวอย่าง ชาเขียวพร้อมดื่ม 5 ชนิด ไม่พบโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมตกค้าง พบโลหะหนักโครเมียมที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.052-0.273 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งโลหะหนักโครเมียมที่วิเคราะห์พบมีค่าเกินค่ามาตรฐานทั้งห้าผลิตภัณฑ์ คือ A1 , A2 , A3 , A4 และ A5 มีค่าเท่ากับ 0.273 , 0.052 , 0.167 และ 0.233 และในตัวอย่างชาเขียวสำหรับชง 5 ชนิดพบโลหะหนักตะกั่ว , แคดเมียมและโครเมียม มีค่าอยู่ในช่วง 0-87.488 มิลลิกรัมต่อลิตร , 0-0.084 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.204-20.204 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยโลหะหนักตะกั่วที่พบมีค่าเกินค่ามาตรฐานอยู่ที่ผลิตภัณฑ์ คือ B1 , B2 , B3 และ B4 มีค่าเท่ากับ 2.536 , 67.936 , 1.56 และ 87.488 ตามลำดับ แคดเมียมมีค่าเกินค่ามาตรฐานอยู่สองผลิตภัณฑ์ คือ B2 และ B4 มีค่าเท่ากับ 0.084 และ 0.078 ตามลำดับ และโครเมียมมีค่าเกินค่ามาตรฐานอยู่ทั้งห้าผลิตภัณฑ์ คือ A1 , A2 , A3 , A4 และ A5 มีค่าเท่ากับ 0.204 , 5.058 , 0.608 , 20.204 และ 1.226

อรรพรรณ กิมภากรณ์. (2544) ได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงดินเบา ทั้งวิธีทางกายภาพและทางเคมี จากนั้นนำเอาดินเบาที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วมาตรวจสอบความสามารถในการดูดซับ ด้วยสารละลาย CuSO_4 และศึกษาการดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิดคือ โลหะแคดเมียม (Cd) และโลหะตะกั่ว (Pb) การปรับปรุงดินเบาทำโดยการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส , 800 องศาเซลเซียส และ 900 องศาเซลเซียส แล้วนำไปผสมกับกรดและเบสชนิดต่างๆ พร้อมทั้งให้ความร้อน 70-80 องศาเซลเซียส ขณะที่กวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที นาน 7-8 ชั่วโมง และล้างดินให้เป็นกลางและอบให้แห้งที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง นำไปทดสอบการดูดซับกับ 5% น้ำหนักต่อปริมาตร CuSO_4 โดยใช้ UV-Vis Spectrophotometer (UV-1601) ปรากฏว่าตัวอย่างดินที่มีการดูดซับดีที่สุดมี 4 ตัวอย่าง มีค่าการดูดซับเท่ากัน จากนั้นได้นำตัวอย่างดินทั้ง 4 ตัวอย่างไปทดสอบการดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิด คือ แคดเมียม และตะกั่ว จากสารละลายที่เตรียมไว้ ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่า ดินเบาที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส แล้วนำมาผสมกับ $\text{KOH} + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ สามารถดูดซับโลหะแคดเมียมได้ดีที่สุดคือ 4.5510 ไมโครกรัมต่อลิตร จากสารละลายโลหะหนักแคดเมียม ที่มีความเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตร และดินเบาที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส แล้วนำไปผสมกับ $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ สามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้ดีที่สุดคือ 19.9998 ไมโครกรัมต่อลิตร จากสารละลายโลหะหนักตะกั่ว ที่มีความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อลิตร

อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย

1. Beaker
 2. ช้อนตักสาร
 3. ครุฑเปิด
 4. Erlenmeyer flask
 5. Syringe
 6. ขวดวัดปริมาตร
 7. แท่งแก้ว
 8. กระบอกตวง
 9. ตะแกรงร่อน
 10. ขวดน้ำกลั่น
 11. กระดาษกรอง
 12. แผ่นเหล็ก
 13. ครก
 14. แมกเนติกส์ บาร์
 15. คู่เผา
 16. คู่อบ
 17. คู่ดูดควัน
 18. เครื่องเขย่า
 19. เครื่องบด
 20. เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 3110
- สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานไอออนตะกั่ว
2. สารละลายไอออนตะกั่ว
3. สารละลายกรดซัลฟิวริก
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
5. กรดไนตริก
6. กากชา กากกาแฟ และ ดินเหนียว
7. น้ำกลั่น

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัสดุดูดซับ

1. นำกากกาแฟ กากชาและ ดินเหนียว นำไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. หลังจากผ่านการอบแห้ง นำกากกาแฟ กากชาและดินเหนียวมาบดและนำไปร่อน

การผลิตเม็ดดูดซับ

1. นำกากกาแฟผง กากชาผงและดิน ที่ผ่านการเตรียมมาแล้ว มาผสมกันตามสัดส่วน 20:80 กรัม
2. เติมน้ำกลั่นให้ท่วมส่วนผสม พร้อมกับคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 15 นาที
3. นำส่วนผสมที่ผสมดีแล้วเข้าตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
4. จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้จากตู้อบ แล้วนำไปอัดเม็ด ให้ได้ขนาด 0.5 มิลลิเมตร
5. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การหาสถานะที่เหมาะสมและความสามารถในการดูดซับโลหะตะกั่ว

จากการศึกษาสถานะต่างๆในการดูดซับตะกั่วด้วยการเขย่า ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว และไอโซเทอมของการดูดซับ ของความเข้มข้นตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุในการดูดซับของวัสดุ

การหาสถานะที่เหมาะสมและความสามารถในการดูดซับโลหะตะกั่วด้วยการเขย่า

1. ศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะตะกั่ว

ซึ่งเม็ดดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาหนัก 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดฝาทารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 15, 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที ตามลำดับ นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดพลาสติก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2. ศึกษาผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว

ซังเมื่อดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาหนัก 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร บีบอัดสารละลายตะกั่วที่ปรับพีเอชมีค่าแตกต่างกันดังนี้ ดังนี้ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเวลาที่เหมาะสม ข้อที่ 1 นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดพลาสติก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3. ศึกษาผลของความเข้มข้นตะกั่วเพื่อหาค่าความจุการดูดซับ

ซังเมื่อดูดซับเซรามิกจากกากกาแฟและกากชาหนัก 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ บีบอัดสารละลายตะกั่วที่ปรับพีเอชที่เหมาะสม ข้อที่ 2 และเตรียมสารละลายตะกั่วให้มีความเข้มข้นต่างๆ กันดังนี้ 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเวลาที่เหมาะสม ข้อที่ 1 นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใส ใส่ในขวดพลาสติก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และนำข้อมูลที่ได้ไปหาความจุของการดูดซับในรูปของสมการ Langmuir และสมการ Freudlich โดยดูจากค่า r^2 ของสมการที่ได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสมการทั้ง 2 ว่ามีความน่าเชื่อถือหรือสอดคล้องกับสมการใด

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ระหว่างเดือนมีนาคม 2553 – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2554

แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน (2553)						
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→						
เขียนเค้าโครงงานวิจัย			←→				
ทำการทดลอง	←→						
รวบรวมข้อมูลวิเคราะห์						←→	
วิเคราะห์ข้อมูล แปลผล และสรุปงานวิจัย						←→	
จัดทำเอกสาร รายงานผลการวิจัย							←→

สถานที่ทำวิจัย

ภาควิชาเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ลงชื่อผู้ทำวิจัย

(นางสาวนุรีย์ฮัน สามะ)

ความคิดเห็นของอาจารย์ที่ปรึกษา

.....

.....

.....

ลงชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์รุ่งนภา พิมเสน)

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อผู้วิจัย	นางสาวนุรีย์อัน สามะ
วัน เดือน ปีเกิด	23 ธันวาคม 2531
อายุ	22 ปี
ภูมิลำเนา	78/1 ม.6 ต.กาליซา อ.ระแงะ จ.นราธิวาส 96130
ประวัติการศึกษา	- ระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 ณ โรงเรียนบ้านกาเด็ง ต. กาลิซา อ. ระแงะ จ.นราธิวาส - ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนคารุสลาตาม เทศบาล 8 ต.ตันหยงมัส อ.ระแงะ จ.นราธิวาส - ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนคารุสลาตาม เทศบาล 8 ต.ตันหยงมัส อ.ระแงะ จ.นราธิวาส - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช