

การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว (II) โครเมียม (III)
และแคดเมียม (II) โดยใช้ผลปาล์ม ผลตาลโตนด
ผลหมากและผลมะพร้าว

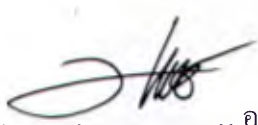
สุเพ็ญพร ปากว้าง
อมรรัตน์ สวาท

รายงานการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชาโครงการวิจัยทางเคมี
สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช
ปีการศึกษา 2546

ชื่อโครงการ การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว (II) โครเมียม (III) และแคดเมียม(II)
โดยใช้ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว

การวิจัยโดย นางสาวสุเพ็ญพร ปากว่าง
นางสาวอมรรัตน์ สวาท

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
โปรแกรมวิชาเคมี

ลงชื่อ  อาจารย์ที่ปรึกษาการวิจัย
(นายประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

ลงชื่อ กรรมการ
(นายสุคนธ์ พิทักษ์วงศ์)

ลงชื่อ กรรมการ
(นางสาวปิยวรรณ สายมโนพันธ์)

ลงชื่อ ประธานโปรแกรมวิชาเคมี
(นายวรวิทย์ บุญอารี)

ชื่องานวิจัย	การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่ว (II) โครเมียม (III) และแคดเมียม (II) โดยใช้ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว
ชื่อผู้วิจัย	นางสาวสุเพ็ญพร ปากว่าง นางสาวอมรรรัตน์ สวาท
การวิจัย	วิทยาศาสตร์บัณฑิต โปรแกรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา
ปีการศึกษา	2546

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูดซับ ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม โดยใช้ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว โดยศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและทางเคมี และตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ ขนาดอนุภาค เวลาที่เหมาะสม ค่าความเป็นกรด-เบส ความเข้มข้นของสารละลายและความจุ อัตราการไหลของสารละลาย ความสูงของคอลัมน์ และความจุของคอลัมน์ รวมทั้งเปรียบเทียบพฤติกรรมการดูดซับแบบถังแช่และแบบต่อเนื่อง ผลจากการถ่ายภาพพบว่า วัสดุทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ผลมะพร้าว ผลปาล์ม ผลตาลโตนด และ ผลหมาก มีพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลางคือ $491.123 \text{ m}^2/\text{g}$, $173.38 \text{ m}^2/\text{g}$, $144.48 \text{ m}^2/\text{g}$ และ $57.73 \text{ m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ เมื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องพบว่า ขนาดอนุภาคที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ด้วยวัสดุดูดซับคือที่ขนาดอนุภาค 60 Mesh เวลาที่เหมาะสม 24 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 5 และความเข้มข้น 100 ppm นอกจากนี้ ค่าอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ $1 \text{ mL}/\text{min}$ ความสูงของคอลัมน์เท่ากับ 15 cm เมื่อเปรียบเทียบความจุของการดูดซับแบบถังแช่และแบบต่อเนื่องปรากฏว่า ปริมาณการดูดซับแบบต่อเนื่องมีค่ามากกว่าแบบถังแช่ที่สถานะเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา อย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นผลทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณบุพการีซึ่งได้ให้กำเนิดข้าพเจ้าได้ให้การศึกษาที่ดี และเป็นกำลังใจอันสำคัญซึ่งเป็นแรงผลักดันให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ คุณจิราพร สังข์ผุด เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่กรุณาช่วยเหลือให้ความสะดวกและแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย เป็นผลทำให้การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินไปตามที่วางไว้

สุเพ็ญพร ปากว้าง

อมรรัตน์ สวาท

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 ความเป็นมาของการดุดซัษ	9
2.3 โลหะหนัก	14
2.4 วัสดุดุดซัษ	22
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	33
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปราย	
4.1 ผลการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของวัสดุดุดซัษ	39
4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการดุดซัษ ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ด้วยวัสดุดุดซัษ	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	
บรรณานุกรม	75
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	33
ตารางที่ 3.2 แสดงชื่อสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์	35
ตารางที่ 4.1 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับก่อนแช่และหลังแช่	40
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า $1/X$ กับ $1/C$ ของวัสดุผลปาล์ม ผลตาลโดนด ผลหมาก และ ผลมะพร้าว	45
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า $1/X$ กับ $1/C$ ของวัสดุผลปาล์ม ผลตาลโดนด ผลหมาก และ ผลมะพร้าว (ต่อ)	46
ตารางที่ 4.3 แสดงพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ โดยใช้วิธีการดูดซับสี	47
ตารางที่ 4.4 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับ ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม	48
ตารางที่ 4.5 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว	49
ตารางที่ 4.6 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับ โครเมียม	50
ตารางที่ 4.7 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม	51
ตารางที่ 4.8 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว	52
ตารางที่ 4.9 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม	53
ตารางที่ 4.10 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม	54
ตารางที่ 4.11 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว	55
ตารางที่ 4.12 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับ โครเมียม	56
ตารางที่ 4.13 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม	57
ตารางที่ 4.14 แสดงผลการแข่งขันของแคทไอออนที่เป็นโลหะหนักต่อการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม	58
ตารางที่ 4.15 แสดงค่า $\log x$ (mg/ g) และ $\log c$ (mg/L) เพื่อหาความจุการดูดซับตะกั่ว	60
ตารางที่ 4.16 แสดงค่า $\log x$ (mg/ g) และ $\log c$ (mg/ g) เพื่อหาความจุการดูดซับ โครเมียม	61
ตารางที่ 4.17 แสดงค่า $\log x$ (mg/ g) และ $\log c$ (mg/ L) เพื่อหาความจุการดูดซับแคดเมียม	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.18 แสดงค่าความจุของการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ของวัสดุดูดซับ ตามวิธี การดูดซับแบบแบทช์ที่ได้จากการคำนวณ	63
ตารางที่ 4.19 แสดงผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อการดูดซับ	64
ตารางที่ 4.20 แสดงผลของความสูงของคอลัมน์ ต่อการดูดซับ	66
ตารางที่ 4.21 แสดงข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาค่าความจุวัสดุดูดซับ	69
ตารางที่ 4.21 แสดงข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาค่าความจุวัสดุดูดซับ (ต่อ)	70
ตารางที่ 4.22 แสดงค่าความจุของวัสดุดูดซับแต่ละชนิด	72
ตารางที่ 5.1 แสดงสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับแบบถังแช่	73

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายขนาดอนุภาคของวัสดุชนิดต่างๆ	39
ภาพที่ 4.2 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของผลปาล์มที่กำลังขยายต่างๆ	41
ภาพที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของผลตาลโตนคที่กำลังขยายต่างๆ	42
ภาพที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของผลหมากที่กำลังขยายต่างๆ	43
ภาพที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของผลมะพร้าวที่กำลังขยายต่างๆ	44
ภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/X$ กับ $1/C$ ของวัสดุดูดซับ	46
ภาพที่ 4.7 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว	49
ภาพที่ 4.8 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม	50
ภาพที่ 4.9 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม	51
ภาพที่ 4.10 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว	52
ภาพที่ 4.11 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม	53
ภาพที่ 4.12 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม	54
ภาพที่ 4.13 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว	55
ภาพที่ 4.14 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม	56
ภาพที่ 4.15 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม	57
ภาพที่ 4.16 แสดงผลของแคทไอออนต่อการดูดซับตะกั่ว	58
ภาพที่ 4.17 แสดงผลของแคทไอออนต่อการดูดซับโครเมียม	59
ภาพที่ 4.18 แสดงผลของแคทไอออนต่อการดูดซับแคดเมียม	59
ภาพที่ 4.19 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของตะกั่ว	62
ภาพที่ 4.20 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของโครเมียม	62
ภาพที่ 4.21 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของแคดเมียม	63
ภาพที่ 4.22 แสดงผลของอัตราการไหลต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว	64
ภาพที่ 4.23 แสดงผลของอัตราการไหลต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม	65
ภาพที่ 4.24 แสดงผลของอัตราการไหลต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม	65
ภาพที่ 4.25 แสดงผลของความสูงของคอลัมน์ ต่อการดูดซับตะกั่ว	66
ภาพที่ 4.26 แสดงผลของความสูงของคอลัมน์ ต่อการดูดซับโครเมียม	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.27 แสดงผลของความสูงของคอลัมน์ ต่อการดูดซับแคดเมียม	67
ภาพที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_A/C_{A_0} กับปริมาณของสารละลายตะกั่วบนวัสดุดูดซับต่างๆ	71
ภาพที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_A/C_{A_0} กับปริมาณของสารละลายโครเมียม บนวัสดุดูดซับต่างๆ	71
ภาพที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_A/C_{A_0} กับปริมาณของสารละลายแคดเมียม บนวัสดุดูดซับต่างๆ	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เนื่องจากการพัฒนาประเทศในปัจจุบัน เน้นหนักไปทางด้านอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดของเสียและมลพิษต่าง ๆ จากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำโลหะหนักมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต มักมีโลหะหนักปะปนกับน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเสมอ การปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำไม่เพียงแต่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำ แต่ยังเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ที่มีห่วงโซ่อาหารอยู่ในแหล่งน้ำด้วย

มนุษย์รู้จักใช้ตะกั่วมานานแล้ว เนื่องจากตะกั่วมีคุณสมบัติง่ายต่อการใช้งาน เพราะมีจุดหลอมเหลวต่ำเท่ากับ $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งง่ายต่อการหลอม การตัดและการขึ้นรูป ทำให้เป็นแผ่นหรือท่อได้ การปนเปื้อนของตะกั่วที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม เกิดได้จากสภาพธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟระเบิด และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การถูกรั่วจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม จากควันไอเสียรถยนต์ โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดปัญหามลพิษขึ้นหลายแห่งทั่วโลก ซึ่งส่วนใหญ่ตะกั่วที่ถูกปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปตะกั่ว(+2) มากกว่าตะกั่ว(+3) การเจือปนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้มีโอกาสแพร่เข้าสู่สิ่งมีชีวิตในน้ำได้ จากการตรวจสอบ ปลา กุ้ง และหอย ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่ถูกเจือปนโดยตะกั่วในปริมาณมากจะมีผลทำให้ปริมาณตะกั่วภายในสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นสูงถึง $16.5 - 33.6\text{ ppm}$ (น้ำหนักสด) ซึ่งความเข้มข้นระดับนี้สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่นำไปบริโภคได้ ส่วนในมหาสมุทรพบว่ามีตะกั่วละลายอยู่ในช่วง $0.0001 - 0.001\text{ ppm}$ ซึ่งนับเป็นค่ามาตรฐาน แต่แหล่งน้ำที่มีอยู่ในบริเวณรอบตัวเมืองใหญ่ ๆ พบความเข้มข้นของตะกั่วสูงถึง 0.005 ppm

มนุษย์สามารถรับสารตะกั่วได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมในกรณีของผู้ใหญ่จะดูดซึมสารตะกั่วเข้าสู่กระแสเลือดได้ร้อยละ 10 แต่ในเด็กจะดูดซึมได้สูงถึงร้อยละ 40 - 60 ความเป็นพิษจึงเกิดขึ้นในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ โดยตะกั่วจะกระจายไปยังอวัยวะต่าง ๆ เช่น สมอง ตับ ม้าม และมากที่สุดที่กระดูก พิษของตะกั่วที่เกิดขึ้น คือ การไปยับยั้งการสร้างเม็ดเลือดแดงที่ไขกระดูก ทำลายเยื่อหุ้มปลายประสาท ในเด็กพบว่าการพัฒนาทางสมองจะช้ากว่าปกติ ไตพิการ และไตวายได้ ฉะนั้นเพื่อแก้ไขปัญหามลพิษดังกล่าวให้เบาบางลง สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติจึงกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฉบับที่ 12 (2525) ประกาศไว้ว่า ตะกั่วในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะต้องไม่เกิน 0.2 ppm (สุรินทร์และคณะ, 2543)

โครเมียมเป็นโลหะหนักที่ใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นองค์ประกอบในน้ำยาชุบโลหะใช้เป็นธาตุเจือในโลหะผสม ใช้เป็นส่วนผสมในสีทาหรือสีย้อม โดยโครเมียมที่พบมากในน้ำทิ้งมักอยู่ในรูปโครเมียม(+6) และ โครเมียม(+3) ซึ่งพิษของ โครเมียม(+6) จะเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ และเป็น สารก่อมะเร็ง ในกรณีโครเมียมที่อยู่ในรูปโครเมียม(+6) วิธีการบำบัดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะใช้วิธีการตกตะกอนโดยรีดิวซ์โครเมียม(+6) ให้อยู่ในรูปโครเมียม(+3) ด้วยโซเดียมไบซัลไฟด์แล้วจึงเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อตกตะกอนโครเมียมในรูปโครเมียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเห็นว่าเป็นวิธีที่ยุ่งยากหลายขั้นตอน สิ้นเปลืองสารเคมีและเกิดปัญหาการกำจัดตะกอนหลังการบำบัด ส่วนแคดเมียมก็เช่นกัน

ดังนั้นสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติจึงกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2525) ประกาศไว้ว่า โครเมียมและแคดเมียมในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะต้องไม่เกิน 0.5 , 0.03 ppm ตามลำดับ

วิธีการบำบัดน้ำเสียนั้นมีหลายวิธี เช่นวิธีการทางเคมี วิธีการทางชีวภาพ วิธีการทางกายภาพ เป็นต้น ในการดูดซับโลหะหนักนั้นพบว่า ผงถ่านนำมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำทิ้งมากที่สุด แต่การใช้ผงถ่านต้องใช้ต้นทุนสูงจึงมีงานวิจัยมากมายที่พยายามนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักและงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วัสดุจากพืช คือ ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลมะพร้าว และผลหมาก เนื่องจากพืชทั้ง 4 ชนิดนี้เป็นพืชในสปีชีส์เดียวกัน คือ อยู่ในสกุลปาล์ม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis Jacq* ที่เลือกใช้ส่วนของผล เพราะจะมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสและไฟเบอร์ ลักษณะภายในจะเป็นเส้นใยฝอยเล็ก ๆ เป็นร่างแหอัดกันแน่น ทำหน้าที่คล้ายแผ่นเยื่อกรองแบบ Porous membrane ซึ่งทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนที่ละลายน้ำและตะกอนเล็ก ๆ ได้ การดูดซับโลหะโดยใช้วัสดุจากพืชนั้น จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของโลหะ ลักษณะโครงร่างภายในของพืช และขนาดของไอออนของโลหะ เป็นต้น ถ้าไอออนของโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า จะดูดซับได้ดีกว่าไอออนที่มีขนาดใหญ่ (อำนาจ, 2541)

นอกจากนี้งานวิจัยได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับและปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับซึ่งแบบถังแช่ได้แก่ ขนาดอนุภาค พีเอชของสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย เวลาที่เหมาะสม ผลของแคทไอออน และการหาพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลางด้วยสารละลายเมทิลลิโนบลู นอกจากนี้ยังศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแบบต่อเนื่อง ได้แก่ อัตราการไหลของสารละลาย ความสูงของคอลัมน์ และค่าความจุของการดูดซับ

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแบบถั่งแช่ ได้แก่ ขนาดอนุภาค เวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ผลของพีเอชต่อการดูดซับ ผลของแคทไอออนต่อการดูดซับ ความเข้มข้นของสารละลายและความจุของการดูดซับ นอกจากนี้ยังหาพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลางด้วยสารละลายเมทิลีนบลู
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแบบต่อเนื่อง (Column) ได้แก่ อัตราการไหลของสารละลาย ความสูงของคอลัมน์ และหาค่าความจุของการดูดซับ
3. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับ โลหะหนักของวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลมะพร้าว และผลหมาก และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับแบบถั่งแช่กับการดูดซับแบบต่อเนื่อง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้ทำการศึกษาเฉพาะปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. วัสดุดูดซับที่เหลือใช้จากธรรมชาติ 4 ชนิด ได้แก่ ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลมะพร้าวและผลหมาก
2. สารละลายโลหะหนักที่ใช้ทำการศึกษา มี 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายเลด (II) ไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) สารละลายโครเมียม (II) ไนเตรท ($Cr(NO_3)_2$) และแคดเมียม (III) ไนเตรท ($Cd(NO_3)_2$)
3. ตัวแปรที่ทำการศึกษาแบบถั่งแช่ ได้แก่ ขนาดอนุภาค เวลาที่เหมาะสม ความเข้มข้นของสารละลายและความจุของการดูดซับ ผลของแคทไอออน ผลของพีเอช ส่วนการศึกษากการดูดซับแบบต่อเนื่องนั้นมี 3 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการไหลของสารละลาย ความสูงของคอลัมน์ต่อการดูดซับ และค่าความจุของการดูดซับเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุดูดซับทางธรรมชาติได้อย่างเหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้ง
2. สามารถนำวัสดุคิบที่เหลือใช้มาก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุคิบที่เหลือใช้จากการเกษตรได้
4. เมื่อวัสดุคิบที่เหลือใช้เหล่านี้มีมูลค่าเพิ่ม ทำให้เกษตรกรสามารถนำไปจำหน่ายซึ่งเป็นการเพิ่มรายได้ให้อีกทางหนึ่ง
5. ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้

1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

- โครเมียม (Chromium) คือ ธาตุชนิดหนึ่งใช้ฉาบเพื่อให้แผ่นเหล็กแข็งและมันเงา ใช้สัญลักษณ์แทน Cr
- ตะกั่ว (Lead) คือ ธาตุโลหะที่อ่อนนุ่ม มีความหนาแน่นสูง จัดเป็นธาตุหมู่ที่ 4 ในตารางธาตุ สกัดได้จากแร่กาลีนา (PbS) แต่ในปัจจุบันตะกั่วร้อยละ 40 ได้มาจากการ recycle ของเศษเหล็กและตะกั่ว อัลลอยด์ของตะกั่วมักนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น แอ็กкумуляเตอร์ ตะกั่วบัดกรี ไอโซโทปที่มีกัมมันตรังสี และรังสีเอกซ์นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเบนซิน ใช้สัญลักษณ์แทน Pb
- พีเอช (pH) เป็นมาตราที่ใช้วัดความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย ค่ายิ่งต่ำความเป็นกรดยิ่งมากขึ้น นั่นคือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ยิ่งสูงขึ้น สารละลายที่เป็นกลางความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกซิลไอออนเท่ากันพอดี และพีเอชจะมีค่าเท่ากับ 7 ที่ $25^{\circ}C$ ความเข้มข้น (Concentration) เป็นการบอกให้ทราบว่า มีตัวถูกละลาย ละลายอยู่ในสารละลายมากน้อยเท่าใด ปกติบอกเป็นมวลสาร คือกรัมหรือจำนวนอนุภาค คือ โมล (moles) ของตัวถูกละลายต่อหน่วยปริมาตรของสารละลาย
- อุณหภูมิ (Temperature) เป็นมาตราวัดของพลังงานจลน์ของสาร หน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในชีวิตประจำวันคือ องศาเซลเซียส (หรือองศาเซนติเกรด) ในงานทางวิทยาศาสตร์นิยมใช้หน่วยเคลวิน
- สารละลาย (Solution) หมายถึง สารผสมที่เป็นของเหลวซึ่งเกิดจากการนำของแข็งของเหลว หรือแก๊สไปละลายในตัวทำละลาย อนุภาคของตัวถูกละลายในสารละลาย(หมายถึงอะตอม หรือโมเลกุล) จะแพร่กระจายไปทั่วตัวทำละลาย แต่เราจะมองไม่เห็น
- แคทไอออน (Cation) เป็นไอออนที่มีประจุบวกแคทไอออนส่วนใหญ่เป็นไอออนของโลหะ เช่น Fe^{2+} , Cr^{3+} , Na^{+} , Ca^{2+} , Al^{3+} ในกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า แคทไอออนจะวิ่งไปกระทบกับขั้วลบหรือแคโทด มีแคทไอออนเพียง 3 ชนิด ที่ไม่ได้เป็นไอออนของโลหะ คือ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และแอมโมเนียมไอออน (NH^+)
- เซลลูโลส (Cellulose) หมายถึง คาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยมอนอเมอร์ของกลูโคส สูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ Cellulose เป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์พืช เราสามารถนำ Cellulose มาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น ทำเป็นกระดาษและไหมสังเคราะห์

8. เส้นใย (Fiber) หมายถึง วัสดุที่ได้จากพืช ซึ่งเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วจะสามารถพองตัวได้ ทำให้ระบบย่อยอาหารทำงานได้ดีขึ้น ดังนั้นจึงนับได้ว่าเส้นใยมีความสำคัญต่อมนุษย์มาก พบในพืช ผัก ผลไม้ ทุกชนิด
9. โลหะ (Metal) หมายถึง ธาตุหลายชนิดเป็นโลหะ ในชีวิตสมัยใหม่เรามักไม่ใช้โลหะบริสุทธิ์แต่จะใช้ในรูปของโลหะเจือ (Alloys) ทำปฏิกิริยากับอโลหะให้เบสิกออกไซด์ให้ประจุลบ (Cation) เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง มีน้ำหนักมากและเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอท) นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างเป็นผลึก

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

T.C. Tan , C. K Chia และ C.K. Teo (ค.ศ. 1985) ได้ศึกษาอ็อกซิเดชันของโลหะหนักโดยกระบวนการทางเคมีต่อเส้นผมของคน จากการศึกษาการทำ Pretreatment คือการทำให้เส้นผมบริสุทธิ์โดยใช้ 0.1 N ของ NaOH/0.1 N ของ Na_2S และทำการศึกษาผลของแคทไอออน และแอนไอออนต่อการดูดซับที่ pH ต่างๆ และเวลาต่างๆ จากการทดลองพบว่าพีเอชที่เหมาะสม คือเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับก็เพิ่มขึ้น ส่วนเวลาในการดูดซับที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 1 – 2 ชั่วโมงแรกและเมื่อเวลาผ่านไปความสามารถในการดูดซับจะลดลง

นัยนา หาญวโรดม (ค.ศ. 1993) ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณตะกั่วในน้ำโดยใช้เส้นผม ซึ่งที่สภาวะต่าง ๆ กัน คือระดับพีเอช อัตราส่วนเส้นผมต่อน้ำ ระยะเวลาดูดซับ พบว่าระดับพีเอชที่ต่างกัน 5 ระดับคือพีเอช 3 4 5 6 และ 7 เมื่อระดับพีเอชเพิ่มขึ้นความสามารถลดปริมาณตะกั่วจะเพิ่มขึ้นแต่ที่พีเอช 3 ปริมาณตะกั่วลดลง และสามารถลดปริมาณตะกั่วได้มากที่สุดที่ระดับพีเอช 6 – 7 เมื่อใช้อัตราส่วนเส้นผมต่อน้ำเพิ่มขึ้น จะทำให้ลดปริมาณตะกั่วได้สูงขึ้น อัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:25 ส่วนเวลาการดูดซับ เมื่อเวลาการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 5–240 นาที ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองพบว่าสามารถลดปริมาณตะกั่วได้สูงสุดถึง 97.80% ที่ระดับพีเอช 7 อัตราส่วนเส้นผมต่อน้ำ 1:25 ระยะเวลาดูดซับ 240 นาที เมื่อใช้ความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วเริ่มต้น 20 mg/L

ทรงศักดิ์ ศรีทุมมา (ค.ศ.1995) ได้ศึกษาการกำจัดสารตะกั่วออกจากน้ำเสียของโรงงานแบตเตอรี่ในประเทศไทย โดยใช้ขี้เถ้าลิกไนต์ซึ่งเป็นของเสียจากโรงไฟฟ้ากลับมาใช้ประโยชน์สำหรับกำจัดสารตะกั่วในน้ำเสียของโรงงานแบตเตอรี่โดยในน้ำเสียของโรงงานแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองมีสารตะกั่วในการทดลองมีการสารตะกั่วปะปนอยู่ด้วยความเข้มข้น 30 mg/L และ 40 mg/L ในการทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผล คือ อัตราส่วนของขี้เถ้าถ่านลิกไนต์ต่อน้ำเสียโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:1,000 , 1:500 , 1:125 และ 1:62.5 และระยะเวลาเก็บกักที่ 1,2 และ 3 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ขี้เถ้าลิกไนต์สามารถกำจัดสารตะกั่วในน้ำเสียของโรงงานแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถกำจัดสารตะกั่วได้ถึงร้อยละ 99.29 จากอัตราส่วนระหว่างขี้เถ้าลิกไนต์ต่อน้ำเสียโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:125 สามารถกำจัดตะกั่วในน้ำเสียที่มีสารตะกั่วปะปนอยู่ด้วยความเข้มข้น 30 mg/L ให้เหลือสารตะกั่วในน้ำเสียน้อยกว่า 0.02 mg/L ภายใต้ระยะเวลาเก็บกักตั้งแต่ 2 ชั่วโมงขึ้นไปหรือสามารถลดปริมาณสารตะกั่วลงได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงาน

อุตสาหกรรมและเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการกำจัดสารตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานแปดเตอรีได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ

ถ่านาง เพิ่มทรัพย์สกุลและคณะ (ค.ศ. 1998) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม (+6) โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ถั่วลย โดยผลปรากฏว่าค่าความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับโครเมียม (+6) ด้วยถ่านกัมมันต์และถั่วลยคือ 3 และ 5 อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 C° และในปีเดียวกัน สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ได้ศึกษาการใช้เบนโทไนท์ในการดูดซับโลหะหนัก โดยพบว่าอุณหภูมิความเข้มข้นของโลหะหนักความเป็นกรด-ด่างของสารละลายความแรงของไอออน ความเข้มข้นของสารดูดซับและอิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์บางชนิดมีผลต่อการดูดซับและได้ศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับของโลหะตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม พบว่าตะกั่วสามารถถูกดูดซับได้สูงสุด

ประสิทธิ์ แผ้วบางและอรไท สุขเจริญ (ค.ศ. 1999) ได้เปรียบเทียบการดูดซับตะกั่ว (+2) โดยใช้เปลือกไข่และเกร็ดปลาซึ่งทำการแยกตะกั่ว (+2) ออกจากแหล่งน้ำโดยใช้เปลือกไข่และเกร็ดปลาเป็นตัวดูดซับและศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสเริ่มต้น เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น ตลอดจนการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับตะกั่วไอออนเทียบกับการดูดซับโลหะไอออนชนิดอื่นด้วย

รัตนา มหาชัย (ค.ศ. 1999) ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักที่มีพิษบางตัว ได้แก่ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) ด้วยวัสดุธรรมชาติชนิดต่างๆ ที่หาง่ายและราคาถูก ดังนี้ แกลบเผา ถ่าน ถ่านกัมมันต์ ขี้เถ้า คาโอลิน เบนโทไนต์ กาบมะพร้าว รังไหม เยื่อไม้ไผ่และใยข้าวโพด จากการศึกษาพบว่าโลหะหนักถูกดูดซับได้มากที่สุดวัสดุเกือบทุกชนิด เมื่อแยกกลุ่มปริมาณการดูดซับเป็นร้อยละ (g/g) ตะกั่ว อยู่ในช่วง 30-70 % ทองแดง แคดเมียม สังกะสี อยู่ในช่วง 2-10 % และ นิกเกิล โครเมียม แมงกานีส น้อยกว่า 1% และเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะของวัสดุเรียงตามลำดับ มากไปหาน้อยได้ดังนี้ ขี้เถ้า ถ่านกัมมันต์ เบนโทไนต์ ส่วนถ่าน แกลบเผา เยื่อไม้ไผ่ กาบมะพร้าว และใย รังไหม มีความสามารถในการดูดซับโลหะใกล้เคียงกัน เมื่อศึกษาวิธีการกำจัดโลหะหนักที่มีพิษทั้ง 7 ตัว ผสมกัน พบว่า วิธีการแบบต่อเนื่องมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีกว่าวิธีการแบบไม่ต่อเนื่องประมาณ 5 เท่า แต่เมื่อนำวิธีทั้งสองมาทำร่วมกัน โดยใช้วัสดุขี้เถ้าได้ผลเหมาะสมที่สุด

รัตนา มหาชัย (ค.ศ. 2000) ได้ศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายเมธิลีนบลูบนวัสดุดูดซับถ่านกัมมันต์ถั่วลย ถ่านถั่วลยและถ่านถั่วลยเผา เวลาที่ถึงสมดุลแบบแช่ มีค่า 240 5 120 และ 240 นาที อุณหภูมิห้อง ตัวทำละลายน้ำ ผลการศึกษาจากสเปกตร้าของรีเฟล็กต์เอ็นซ์ไออาและภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ได้ข้อสรุปการดูดซับบนวัสดุถ่านกัมมันต์ ถ่านถั่วลยและ

ถ่านแกลบเผาเป็นการดูดซับทางกายภาพและให้ไอโซเทอมชนิดแลงเมียร์แบบสามชั้น สองชั้นและชั้นเดียวตามลำดับและพบว่าวัสดุเกาลินเป็นการดูดซับทางเคมี ซึ่งให้ไอโซเทอมชนิดแลงเมียร์แบบชั้นเดียวปริมาณการดูดซับมีค่าเรียงลำดับได้ดังนี้ 0.43, 0.05, 0.01 และ 0.15 g/g วัสดุ ห้าพื้นผิวเฉพาะของวัสดุต่าง ๆ มีค่า 272.03, 29.56, 149.16 และ 219.15 m²/g ตามลำดับ

สุรินทร์ และอรไท (ค.ศ. 2000) ได้ศึกษาถึงความสามารถดูดซับโลหะตะกั่ว (+2) โดยใช้วัสดุจากพืช ได้แก่ หญ้าสลาบลหวงและไส้สับปะรด พบว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับหญ้าสลาบลหวง คือ pH 5.0 ส่วนไส้สับปะรด pH ที่เหมาะสม คือ 4.5 โดยหญ้าสลาบลหวงสามารถดูดซับตะกั่ว (+2) ได้สูงสุด เท่ากับ 7.34 mg/L ที่เวลา 80 นาที ส่วนไส้สับปะรดสามารถดูดซับตะกั่ว (+2) ได้สูงสุดเท่ากับ 8.0 mg/L ที่เวลา 80 นาที เช่นกัน โดยความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับที่ได้เท่ากับร้อยละ 36.3 และร้อยละ 39.2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบขนาดของไอออนที่มีต่อการดูดซับ จะพบว่าไอออนของโลหะหนักที่มีขนาดเล็กกว่าจะดูดซับได้ดีกว่า จากการทดสอบพบว่าโครเมียมจะถูกดูดซับได้มากที่สุดรองลงมาคือ ทองแดง นิกเกิล และตะกั่ว ตามลำดับ ดังนั้นในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำจากโรงงานนั้นๆ จะเลือกระบบการบำบัดให้ถูกต้องเหมาะสมและไม่จำเป็นต้องเป็นระบบที่มีราคาสูง จากการศึกษาครั้งนี้ได้เห็นถึงประโยชน์และความเป็นไปได้ของการนำเอาวัสดุจากพืชทั้ง 2 ชนิด คือ หญ้าสลาบลหวงและไส้สับปะรดมาใช้เป็นวัสดุคิบบในการดูดซับโลหะ

กฤษณ์ เทียรประสิทธิ์ และ นุชจรียา อรัญศรี (ค.ศ. 2001) ได้ศึกษาการกำจัดโครเมียมและสังกะสีในน้ำเสียโดยใช้เบนโทไนท์ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมและสังกะสีในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะโดยใช้เบนโทไนท์เพียงอย่างเดียวและใช้เบนโทไนท์ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต โดยศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้น และปริมาณเบนโทไนท์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด จากผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้เบนโทไนท์กำจัดโครเมียมและสังกะสีคือ เมื่อใช้เบนโทไนท์ 0.8 g/L ณ ระดับพีเอช 10 โดยสามารถกำจัดโครเมียมและสังกะสีได้ 99.84% และ 99.72% ตามลำดับในขณะที่สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้เบนโทไนท์ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต (7.023 g/L) คือเมื่อใช้เบนโทไนท์ 0.8 g/L ณ ระดับพีเอช 9 โดยสามารถกำจัดโครเมียมและสังกะสีได้ 99.88% และ 99.64% ตามลำดับ

ชลาลัย ห่วงประเสริฐ (ค.ศ. 2001) ได้ศึกษาการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีที่สภาวะต่างๆ ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นในน้ำเสีย 10,100 และ 150 mg/L ระดับกระแสไฟฟ้า

1,2 และ 4 แอมแปร์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 15, 30, 45 และ 60 นาที และนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ระดับกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นต่างๆกัน ผลการศึกษาการกำจัดโครเมียมโดยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี พบว่าเมื่อความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีลดลง สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม เพื่อความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 10 mg/L ต้องใช้ระดับกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที ขณะที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 100 mg/L ต้องใช้ระดับกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 45 นาที และเมื่อความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 150 mg/L ต้องใช้ระดับกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที ทั้งนี้ น้ำที่ผ่านการกำจัดโครเมียมภายใต้สภาวะดังกล่าวมีโครเมียมรวมได้มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมและประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่าร้อยละ 99

อัจฉรา ดวงเดือน (ค.ศ. 2002) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ ในการกำจัดแคดเมียมเมื่อใช้เปลือกไข่ต่างชนิดกัน พบว่าเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ดมีประสิทธิภาพ 99.84% และ 86.41% ตามลำดับเมื่อใช้ปริมาณเปลือกไข่และอัตราการกรองเท่ากัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเปลือกไข่เป็ด ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีแตกต่างกัน เปลือกไข่ไก่จึงมีความจำเพาะในการดูดซับแคดเมียม อีออนได้ดีกว่า กรณีการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยเถ้าแกลบดำผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังดูดซับตะกั่ว พบว่าเมื่อ pH ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป เถ้าแกลบดำสามารถดูดซับตะกั่วได้ดี ดังนั้น pH ที่เหมาะสมคือ 3 ซึ่งไม่มีความจำเป็นต้องปรับ pH ให้สูงกว่านี้ เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองสารเคมี และสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเมื่อใช้อัตราการกรองต่างกันคือ 0.4, 0.6 และ 0.8 m/hr พบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่า 99.85%, 99.58% และ 74.13% ตามลำดับเมื่อใช้ปริมาณเถ้าแกลบดำเท่ากัน จะเห็นได้ว่าที่อัตราการกรองต่ำจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะน้ำเสียมมีโอกาสสัมผัสกับสารดูดซับในถังดูดซับได้นานกว่า ทำให้เกิดการดูดซับได้มากขึ้น

2.2 ความเป็นมาของการดูดซับ

แรกเริ่มทีเดียวในปี 1777 โดย ฟอนตานา (Fontana) ได้บันทึกไว้ว่า “ถ่านหินที่ถูกทำให้เย็นภายใต้ความกดดันต่ำ จะมีสมบัติดูดซับก๊าซชนิดต่าง ๆ ไว้ได้หลายเท่า” ส่วน ซีเล (Scheele) บันทึกว่า อากาศที่ถูกไล่ออกจากถ่าน โดยใช้ความร้อนจะถูกดูดกลับคืนอีกเมื่อถ่านนั้นมีอุณหภูมิลดลงจากการค้นพบของฟอนตานาและซีเลทำให้การศึกษาดูดซับในระบบอื่น ๆ ได้เริ่มตั้งแต่นั้นมา

โดย เดอ-ซุสซัวร์ (de Saussure) ได้เสนอแนะว่า อานาจการดูดซับของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งตัวการถูกดูดซับ มิตส์เชอร์ลิช (Mitscherlich) ได้แสดงหลักฐานถึงการมีอยู่จริงของรูพรุนในถ่าน และได้ประมาณค่ารูพรุนของถ่านว่ามีขนาด $1/2400$ นิ้ว นอกจากนี้ยังสรุปว่าคาร์บอนไดออกไซด์เหลว ได้เข้าไปควบแน่นในรูพรุนด้วยความหนาของชั้นควบแน่นประมาณ 0.005 nm เคย์เซอร์ (Keyser) ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการดูดซับกับการแพร่เข้าไปในเนื้อสารหรือการดูดกลืน ต่อมา ออสต์วอลด์ (Ostwald) ก็ได้แสดงความแตกต่างระหว่างการดูดซับกับการควบแน่นในรูพรุน ต่อมา แมกเบน (McBain) ได้เสนอให้ใช้ “การดูดซับ” (Sorption) เป็นคำกลางเพื่อใช้แทนการดูดซับบนพื้นผิวและการดูดกลืนที่สารถูกดูดซับซึมเข้าไปในเนื้อสาร อย่างไรก็ตามคำนี้ไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก แต่ดูเหมือนว่า “การดูดซับ” (adsorption) เป็นคำและนิยมใช้มากกว่า และคำนี้มีความหมายรวมถึงการควบแน่นในรูพรุนด้วย

ความรู้เกี่ยวกับการควบแน่นในรูพรุนได้ถูกค้นคว้าเพิ่มเติมโดยต่อมา ธรอมสัน (Thomson) ซึ่งต่อมาได้รับพระราชทานกิตติมศักดิ์เป็นลอร์ดเคลวิน (Lord Kelvin) เขาได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อระบบอยู่ในสมดุล ความดันไอ (p) ที่อยู่เหนือผิวของเหลวรูปทรงจกเว้าจะมีค่าน้อยกว่าความดันไออิ่มตัว (P^0) ที่อยู่เหนือของเหลวผิวระนาบที่อุณหภูมิเดียวกัน ซิกมอนดี (Zsigmondy) ได้นำสมการเคลวินมาใช้ในการทดลองของแวนเบม์ม์เลน (Van Bemmelen) ซึ่งได้ทดลองมาก่อนหน้านั้นเกี่ยวกับการดูดซับของน้ำบนซิลิกาเจล ซิกมอนดียืนยันอย่างหนักแน่นว่า การเพิ่มของความดันไอจะทำให้จำนวนชั้นของสารถูกดูดซับบนผิวของของแข็งเพิ่มขึ้น และในที่สุดจะเกิดการควบแน่นในรูพรุน และสำหรับรูพรุนขนาดเล็กจะเกิดการควบแน่นก่อนรูพรุนขนาดใหญ่ ตามลำดับ และจะเป็นไปตามคำทำนายของลอร์ดเคลวิน ฟอสเตอร์ (Foster) ได้ค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้สมการเคลวินคำนวณการแจกแจงขนาดรูพรุนของสาร ซีโรเจล (Xerogel) หลายชนิด โดยใช้ข้อมูลจากการดูดซับไอโซเทอร์ม (adsorption isotherm) ฟอสเตอร์ได้ย้ำถึงความสำคัญของฟิล์มบาง ๆ ที่เกาะในผนังของรูพรุนก่อนที่จะมีการควบแน่นเกิดขึ้น และเมื่อระบบเกิดการคายซับ โดยการลดความดันไอสัมพัทธ์ ฟิล์มนี้จะเป็ร่องรอยเหลือทิ้งไว้เช่นกัน ดังนั้นการคำนวณการแจกแจงขนาดรูพรุนจำเป็นต้องนำเอาความหนาของฟิล์มนี้เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย และ บรูเนาออร์ เอ็มเมตต์ และเทลเลอร์ (Brunauer Emetter and Teller) ได้เสนอวิธีคำนวณพื้นที่ผิวเฉพาะและความหนาของฟิล์มดูดซับซึ่งปรากฏว่าได้ผลดีเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป และนิยมเรียกว่า “วิธีบีอีที” (BET Method) หลังจากนั้นเป็นต้นมา งานศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับโครงสร้าง รูปร่าง และขนาดของรูพรุนได้กระทำกันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจาก สมการเคลวิน และสมการบีอีที ควบคู่กันไป ดูบินัน (Dubinin) และเพียร์ซ (Pierce) ต่างคนต่างเสนอพฤติกรรมของรูพรุนจุลภาค (Micropore) ในทำนองคล้ายกัน กล่าวคือ กลไกของการดูดซับที่ใช้อธิบายรูพรุน มัชยภาค (Mesopore) จะไม่สามารถนำมาใช้กับ

ระบบของ รูพรุนจุลภาคได้ ทั้งนี้เพราะแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ มีค่าสูงเนื่องจากรูพรุนมีขนาดเล็กมากจนเป็นเหตุให้เกิดการควบแน่น ได้ที่ความดันสัมพัทธ์ต่ำ นับตั้งแต่ซีกมอนดีได้เผยแพร่งผลการทดลองเป็นต้นมา การค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับได้กระทำอย่างกว้างขวางและแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาพื้นที่ผิว การควบแน่นในรูพรุน และปรากฏการดูดซับฮัสเอทธิร์ซีส ได้ให้ความสนใจกันเป็นพิเศษในปัจจุบันมีทฤษฎีใหม่ ๆ เกี่ยวกับการดูดซับเกิดขึ้นมาก

2.2.1 ความสำคัญของการศึกษาเรื่องดูดซับ

จากประวัติของการศึกษาค้นคว้าเรื่องการดูดซับจะเห็นว่า เรื่องนี้เป็นที่รู้จักกันมานานและยอมรับว่ามีความสำคัญต่อวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขา ทั้งนี้เพราะสามารถนำไปประยุกต์ได้โดยตรงและโดยอ้อม ตัวอย่างเช่น นักวิทยาศาสตร์อาศัยความรู้จากการดูดซับนำไปแยกสารที่ไม่พึงประสงค์ออกจากผลิตภัณฑ์หลัก ตามวิธีการที่เรียกว่า โครมาโตกราฟี ในงานด้านวิศวกรรม และสถาปัตยกรรมก็เช่นกัน การแก้ไขและป้องกันการผุกร่อนของโลหะ หรือสิ่งก่อสร้างจำเป็นต้องอาศัยความรู้จากการดูดซับทั้งสิ้น การศึกษาอย่างหนึ่งแม้ว่าจะไม่ใช่บทประยุกต์ของการดูดซับโดยตรง แต่สามารถนำไปใช้อธิบายได้อย่างกว้างขวาง นั่นคือ การนำข้อมูลจากการดูดซับไอโซเทอร์มมาอธิบายโครงสร้าง ขนาด และรูปร่างของรูพรุนของสารชนิดต่าง ๆ วิธีนี้จะให้ความรู้ทั้งในด้านปริมาณวิเคราะห์และคุณภาพวิเคราะห์พร้อม ๆ กันกล่าวคือ ทำให้ทราบขนาดและรูปร่างของรูพรุน การต่อเนื่องและการเชื่อมโยงของรูพรุน ลักษณะพื้นผิวของสารทั้งภายนอกและภายใน การแจกแจงขนาดของรูพรุน และในบางกรณีสามารถอธิบายถึงการเกาะเกี่ยวของอนุภาคที่ทำให้เกิดรูพรุนได้ด้วย ความรู้และรายละเอียดเหล่านี้มีความสำคัญและจำเป็นมากต่องานวิจัยวิทยาศาสตร์หลายสาขาในปัจจุบันตัวอย่างเช่น ในขบวนการคะตาไลซิสวิวิคัล (heterogeneous catalysis) ปฏิกริยาเคมีจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวแลผนังของรูพรุน ดังนั้นปฏิกริยาจะเกิดขึ้นเร็วเพียงใดจะขึ้นอยู่กับอำนาจการดูดซับ และโครงสร้างความพรุนของสารในระบบ การผสมผงคาร์บอนและกำมะถันเข้าไปในเนื้อยางดิบเพื่อให้ได้ยางคุณภาพดี จำเป็นต้องอาศัยความรู้ด้านการดูดซับและโครงสร้างทางความพรุนด้วยเช่นกัน

ในกรณีของรูพรุนจุลภาค ซึ่งมีขนาดเล็กใกล้เคียงกับขนาดโมเลกุล รูพรุนชนิดนี้มีแรงดูดซับสูง ปรากฏการณ์นี้จะมีผลกระทบต่อพฤติกรรมทาง คะตาไลซิส โครมาโตกราฟี ความเหนียวของโลหะ และการแสดงออกด้านการดูดความชื้น การมองข้ามพฤติกรรมของรูพรุนจุลภาคได้ทำให้เกิดข้อผิดพลาดและผลเสียหายแบบไม่คาดคิดในงานวิทยาศาสตร์มามากแล้ว

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับโดยทั่วกันว่า การดูดซับกับของแข็งพหุนมีบทบาทสำคัญต่อเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ประกอบด้วยกิ่งก้านหลายสาขารอบคลุมไปทั่วระบบเศรษฐกิจของโลก การดูดซับบนของแข็งพหุนจะเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับวงการอุตสาหกรรมและงานค้นคว้าวิจัยหลายชนิด และส่วนใหญ่เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งอำนวยความสะดวก และความสุขสมบูรณ์ของมวลมนุษย์ในโลกทั้งสิ้น

2.2.2 แรงพื้นผิวหรือแรงดูดซับ (Surface Forces or Adsorption Forces)

การลดลงของพลังงานศักย์ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่บริเวณใกล้เคียงกับผิวของสารดูดซับจะทำให้ความหนาแน่นของโมเลกุลสารถูกดูดซับในบริเวณนั้นมีค่ามากกว่าบริเวณอื่นที่อยู่ห่างจากผิวออกไปปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า “การดูดซับ” และเป็นผลมาจากการกระทำของแรงหลายชนิดบนพื้นผิวของของแข็ง แรงเหล่านี้เรียกรวมกันว่า แรงแวนเดอวาลส์ (van der Waals forces) ซึ่งจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- (1) แรงกระจาย คือแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วของความหนาแน่นของหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำโมเมนต์ไฟฟ้ากับโมเลกุลที่อยู่ถัดไป และส่งผลให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกันระหว่างโมเลกุลเหล่านั้น
- (2) แรงดึงดูด ที่มีต้นเหตุมาจากการเกิดขั้ว ของโมเลกุลที่เป็นสองขั้วสถิต) หรือสี่ขั้วสถิต ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและดึงดูดซึ่งกันและกันแรงดึงดูดหรือแรงกระทำ ที่เกิดจากการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าของโมเลกุลไปในทิศทางเดียวกัน

2.2.3 นิยามการดูดซับ

การดูดซับ หมายถึง เมื่อวัตถุภาคสองวัตถุภาค (วัตถุภาคหนึ่งต้องเป็นก๊าซหรือของเหลว) มาสัมผัสซึ่งกันและกันแล้วทำให้ความเข้มข้น หรือจำนวนอนุภาคต่อหน่วยปริมาตร บริเวณผิวสัมผัส แตกต่างไปจากองค์ประกอบของวัตถุภาคในส่วนที่อยู่ห่างบริเวณผิวสัมผัสหรือรอยต่อออกไป และจะเกิดขึ้นได้ในทุกสภาวะของระบบ ไม่ว่าจะเป็นสภาวะของสมดุล หรือสภาวะของการเปลี่ยนแปลง วัตถุภาคที่มีอนุภาคของสารอีกวัตถุภาคหนึ่งมาสะสมอยู่บริเวณรอยต่อเรียกว่า สารดูดซับ และวัตถุภาคที่ปล่อยให้อนุภาคของมันเองไปสะสมในวัตถุภาคอื่น เรียกว่า สารถูกดูดซับ

ในระบบทั่วไป สารถูกดูดซับมักจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิว หรือรอยต่อระหว่างวัตถุภาคเท่านั้น แต่ก็มีบางระบบที่สารถูกดูดซับสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อ หรือในโครงสร้างของสารดูดซับ

จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางประการเช่น เลว หรือจำไปด้วยสารถูกดูดซับ ปฏิกิริยาการผัน
 คมลักษณะนี้เรียกว่า การดูดกลืน การดูดซับ และการดูดกลืนมีข้อแตกต่างกัน 3 ประการ คือ

- (1) การดูดซับจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของสารดูดซับ แต่การดูดกลืนจะมีการทะลุทะลวงของ
 สารถูกดูดกลืนเข้าไปในเนื้อของสารดูดกลืน จนทำให้สารดูดกลืนมีสภาพเปลี่ยนไปไป
 จากเดิม เช่น เกิดการพองตัว บิดเบี้ยว และเลว หรือเปลี่ยนสภาพเป็นอย่างอื่น
- (2) ขบวนการดูดซับสามารถทำลายด้วยวิธีการ คายซับ ซึ่งเป็นกรรมวิธีง่าย ๆ เช่นการให้ความ
 ความร้อน หรือการลดความดัน แต่การดูดกลืนจะไม่ถูกทำลายด้วยกรรมวิธีง่าย ๆ
- (3) ขบวนการดูดซับมักจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสิ้นสุดในระยะเวลาสั้น แต่ขบวนการ
 ดูดกลืนจะใช้เวลานานกว่าหลายเท่าตัว การดูดกลืนบางระบบอาจใช้เวลาหลายเดือน
 กว่าขบวนการจะสิ้นสุด

2.2.4 แหล่งกำเนิด และการจำแนกขนาดรูพรุน

จากความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับธรรมชาติของของแข็ง สิ่งที่สำคัญได้เป็นอย่างดีคือ ของ
 แข็งทุกชนิดจะต้องมีความพรุน สิ่งนี้คือสมบัติเฉพาะตัวอย่างหนึ่งของของแข็ง ไม่ว่าจะอยู่ตาม
 ธรรมชาติ หรือเป็นสารที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น หรือแปรรูปมาจากอย่างอื่น หินตามภูเขาคือเกิดจาก
 การเย็นตัวของผิวโลก หรือหินที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ จะต้องมีความพรุนอยู่ด้วยเสมอ อย่าง
 น้อยที่สุดที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา หรือรอยร้าวซึ่งแตกเป็นระแหงหรือ
 เป็นชั้นตามแนวอ่อนของผลึก หินตะกอนซึ่งเกิดจากการตกผลึกของอนุภาคหนัก จะมีความพรุน
 เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของผลึก และความไม่สมบูรณ์ของการตกผลึก ความพรุน
 ที่เกิดจากขบวนการเหล่านี้จะมีเพียงบางส่วน หรือทุกส่วนก็ได้ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม
 เป็นประการสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่ารูพรุนเหล่านี้จะมีขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการ
 กระทำทั้งทางเคมี และทางกายภาพจากสิ่งแวดล้อม ของแข็งแปรรูป และของแข็งสังเคราะห์ที่ได้
 มาจากขบวนการทางวิทยาศาสตร์ ไม่ว่าจะในห้องปฏิบัติการ หรือผลิตภัณฑ์จากโรงงาน
 อุตสาหกรรม จะมีความโน้มเอียงที่จะเกิดรูพรุนมากกว่าสารธรรมชาติ ทั้งนี้เพราะขบวนการเหล่านี้
 กระทำอย่างเป็นระบบซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดรูพรุนได้ง่าย ตัวอย่างเช่น ขบวนการกำจัด
 ผลิตภัณฑ์พลอยได้ออกจากผลิตภัณฑ์หลัก โดยวิธีให้ความร้อนและลดความดัน เช่น การขับไล่
 คาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหินปูนที่ร้อน การกำจัดองค์ประกอบบางตัวออกจากสารอัลลอยด์บาง
 ชนิดที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระบบ เช่นการเตรียม รานีย์นิกเกิล (Raney nickel) เป็นต้น วิธีกำจัด
 อลูมิเนียมออกจากอัลลอยด์ของนิกเกิลชนิดนี้ กระทำโดยนำไปทำปฏิกิริยากับอัลคาไล ผลิตภัณฑ์
 ชุดท้ายที่ได้จะเป็นสารอัลลอยด์ที่มีรูพรุน

การตกตะกอนของไฮดรอกไซด์และไฮดรอกไซด์หลายชนิด เช่น ซิลิกา อะลูมินา โครเมียม สารเหล่านี้เมื่อเป็นสารละลายจะขุ่นคล้ายกัน แต่เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนจะได้ของแข็งที่มีรูพรุนมากมาย ในการทำเชื้อโลหะ โดยการระเหิดที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำจะได้ไอของโลหะ และเมื่อปล่อยให้ควบแน่นเป็นอนุภาคเล็ก ๆ แล้วตกลงสู่พื้นเกาะกันเป็นแผ่นเยื่อบาง ๆ เยื่อเหล่านี้จะมีรูพรุนมากมายอัดของแข็งที่เป็นผงละเอียดให้เป็นเม็ดก็จะเกิดรูพรุนเช่นกัน เช่น การอัดเม็ดยา การอัดเม็ดโลหะ การทำเครื่องปั้นดินเผา สิ่งเหล่านี้มนุษย์ล้วนเป็นผู้สร้างให้เกิดรูพรุนทั้งสิ้น

จากการศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างและขนาดของรูพรุน พบว่า มีหลายลักษณะแตกต่างกัน ของแข็งบางชนิดอาจจะมีรูพรุนขนาดเล็กเท่ากับขนาดของโมเลกุล หรือเพียง 2 – 3 แองสตรอม แต่บางชนิดอาจจะมีขนาดโตเป็นล้าน ๆ แองสตรอมก็ได้ คูบินิน (Dubinin) ได้จำแนกขนาดของรูพรุนโดยอาศัยสมบัติด้านการดูดซับและการควบแน่นในรูพรุน การจัดแบ่งตามลักษณะนี้ต่อมาได้รับการยอมรับจากที่ประชุม IUPAC และให้ถือเป็นมาตรฐานสากล ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงการจัดแบ่งขนาดรูพรุนตามมาตรฐานสากล

ชื่อรูพรุน	ความกว้างของรูพรุน
รูพรุนจุลภาค (Micropore)	น้อยกว่า ~20 แองสตรอม
รูพรุนมัธยภาค (Mesopore)	ระหว่าง ~20 ถึง ~500 แองสตรอม
รูพรุนมหภาค (Macropore)	มากกว่า ~500 แองสตรอม

2.3 โลหะหนัก ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีด้วยกัน 3 ชนิด คือ ตะกั่วโครเมียม แคดเมียม

2.3.1 ตะกั่ว

ตะกั่วมีชื่อทางเคมี Lead, Plumbum เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ที่ 4A คาบที่ 6 ของตารางธาตุใช้สัญลักษณ์ Pb มวลอะตอม (Atomic mass) 207.19 เลขอะตอม 82 (Atomic number) ความหนาแน่น (Density) 11.4 g/ml จุดหลอมเหลว (Melting Point) 601 C° จุดเดือด (Boiling Point) 2024 C° การจัดอิเล็กตรอน (Electron Configuration) 2 8 18 32 18 4 รัศมีอะตอม (Atomic Radius) 1.75 Å รัศมีไอออน (Ionic Radius) 1.20 Å (+2), 0.84 Å (+4) เลขออกซิเดชัน (Oxidation number) +4 , +2 ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity) 1.8 ศักย์ไฟฟ้าแบบรีดักชันมาตรฐาน (Standars Reducing potential หรือ E_r) - 0.3 ค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (Electron Affinity) 1.8 พลังงานการแตกตัวครั้งที่ 1 (First Ionization Energy) 171 Kcal / g.mol ในภาวะปกติมีสถานะเป็นของแข็ง โลหะสีขาวเงิน เป็นมันอ่อนนุ่ม เป็น

ตัวนำไฟฟ้าที่เร็ว รู้จักกันมาตั้งแต่ครั้งโบราณ คำว่า “Lead” เป็นชื่อในเองโกล – แชนซอน ในธรรมชาติสินแร่ที่สำคัญ คือ กาลีนาหรือตะกั่วซัลไฟด์ สารประกอบตะกั่วมี 2 ประเภท คือ

1. ตะกั่วอนินทรีย์ (Inorganic lead) อยู่ในรูปเกลือและออกไซด์ เช่น Lead carbonate, Trileadtetroxide, Lead chromate เป็นต้น
2. ตะกั่วอินทรีย์ (Organic lead) อยู่ในรูปของ Alkyl lead เช่น Tetramethyl lead, Tetraethyl lead เป็นต้น

ตะกั่วนำมาใช้ประโยชน์หลายอย่างโดยผสมกับโลหะชนิดอื่นเป็นโลหะผสม เช่น พิวส์ไฟฟ้า โลหะผสมระหว่างตะกั่ว บิทมัส แคดเมียม และปรอท ตะกั่วที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมทั่วไป ทั้งในดิน อากาศ และตะกอน จากการศึกษาพบว่าตะกั่วที่อยู่ในดินโดยเฉลี่ย 10 mg/kg ในน้ำ ปริมาณ 13.1 µg/L และในอากาศประมาณ 36 mg/kg ในดินตะกอนประมาณ 20 mg/kg ตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์ เนื่องจากในน้ำมันเชื้อเพลิงมี ตะกั่วเป็นองค์ประกอบในรูปของ Tetramethyl lead และ Tetraethyl lead เมื่อน้ำมันเกิดการเผาไหม้ ตะกั่วจะถูกปล่อยออกมา ตะกั่วในดินมาจากวัตถุต้นกำเนิดในดินที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบรวมทั้ง ตะกั่วที่ปนเปื้อนมากับน้ำฝน หิมะ ขยะ และสิ่งของต่าง ๆ ส่วนตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำมาจากน้ำเสีย ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือน และแหล่งชุมชน ในธรรมชาติจะมีตะกั่วปนเปื้อนใน อาหารประมาณ 0.01 ppm ในน้ำ 0.0005 ppm และในอากาศ $5 \times 10^2 \mu\text{g}/\text{cm}^3$

เนื่องจากตะกั่วมีอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั่วไป เมื่อเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์อาจก่อให้เกิดอันตราย การฟุ้งกระจายของตะกั่วจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ เช่น เหมืองแร่ และโรงงานอุตสาหกรรม จะทำให้ผู้ที่อาศัยอยู่ในเมืองจะมีโอกาสสัมผัสกับตะกั่วมากกว่าคนที่อยู่ในชนบท ทั้งนี้เนื่องจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรมและจากแหล่งอื่น ๆ การสะสมตะกั่วในร่างกายขึ้นอยู่กับอายุและระยะเวลาของผู้ที่ได้รับ โภชนาการและลักษณะการได้รับสัมผัส เมื่อตะกั่วเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารจะผ่านเข้าสู่กระแสโลหิตและสะสมในโลหิต ดังนั้นการวัดปริมาณตะกั่วในโลหิตจึงมีความสำคัญต่อสุขภาพร่างกาย ถ้ามีตะกั่วในเลือดประมาณ 0.25 ppm จะไม่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษ แต่ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณมากในทันทีทันใด เช่นปริมาณตะกั่วมากกว่า 0.8 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลันทันที ตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายมีทั้งตะกั่วอนินทรีย์และตะกั่วอินทรีย์ ตะกั่วทั้ง 2 ประเภทจะแสดงพิษแตกต่างกันเมื่อมีการสะสมของตะกั่วในร่างกายในปริมาณที่สูงพอ ร่างกายจะแสดงอาการผิดปกติออกมา ซึ่งอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นมี 2 ลักษณะ คือ อาการที่เกิดจากพิษตะกั่วแบบเฉียบพลัน คือ มีปริมาณตะกั่วในเลือดมากกว่า 0.8 ppm และอาการที่เกิดจากพิษตะกั่วเรื้อรัง

อาการของโรคที่เกิดจากตะกั่วแบบเฉียบพลันจะแสดงอาการดังนี้ คือ กระจายน้ำ แสบร้อน ในท้อง อาเจียน ท้องร่วง อาจมีอาการท้องผูก อุจจาระสีดำ ปัสสาวะมีปริมาณน้อย ร่างกายอ่อน

แพทย์อาจหมดสติหรือเสียชีวิตได้ภายในเวลา 2 – 3 วัน ตะกั่วอินทรีย์ส่วนมากจะมีอาการทางประสาท เช่น หงุดหงิด เพ้อคลั่ง วิกลจริต และสมองถูกทำลาย อาการของโรคที่เกิดจากตะกั่วแบบเรื้อรังเกิดขึ้นเนื่องจาก ร่างกายได้รับตะกั่วในปริมาณน้อย และติดต่อกันเป็นเวลานานจะมีอาการ อ่อนเพลีย โลหิตจาง ปวดท้องอย่างรุนแรง มีอาการทางประสาท ปวดเมื่อยล้า ปวดตามข้อ เบื่ออาหาร หน้าซีด ปวดตามกล้ามเนื้อ ท้องผูก อาจมีอาการท้องเดินในบางครั้ง อาการของโรคที่เกิดจากตะกั่วอินทรีย์ อาจพบอาการทางประสาทและระบบทางเดินอาหาร นอนไม่หลับ น้ำหนักลด ปวดศีรษะ ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ คลุ้มคลั่ง และอาจเสียชีวิตได้ อาการพิษตะกั่วอย่างฉับพลัน มักเกิดกับคนงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วในกระบวนการผลิต เช่น โรงงานสังเคราะห์ เตตระเอทิลเลด โรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น แต่สำหรับคนทั่วไปพิษของตะกั่วที่เกิดขึ้นเป็นแบบสะสม คือ ร่างกายรับตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วเข้าไปทีละน้อย แต่ก็ยังมากกว่าที่ร่างกายจะสามารถขับถ่ายออกไปได้

เมื่อผงฝุ่นของสารประกอบตะกั่ว หรือไอตะกั่ว เข้าสู่ร่างกายทางจมูกและผิวจะซึมเข้าไปได้ ด้วยการละลายถ้าตกถึงกระเพาะจะผสมกับกรด Hydrochloric ใน Gastricjuice กลายเป็นเกลือที่ละลายได้ แล้วดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิต ถ้าสูดดมผงหรือไอตะกั่ววันละ 2 mg จะมีอาการผิดปกติเกิดขึ้นภายใน 2 – 3 ปี ตะกั่วจะสะสม บางส่วนที่ถูกขับออกจะออกมากับเหงื่อและปัสสาวะ ค่า TLV สำหรับตะกั่ว คือ 0.015 ppm อาการของพิษตะกั่ว คือ คลื่นไส้ อาเจียน เหน็บชา แขนขาไม่มีแรงทำให้ช่วยตัวเองไม่ได้ ท้องผูก อ่อนเพลีย ซีดเขียว น้ำหนักลด โลหิตจาง บางรายชัก ที่เหงื่อตรงรากฟันจะมีเส้นสีน้ำเงิน เรียกว่า Lead line ซึ่งเป็น Lead sulfide เกิดจากตะกั่วในน้ำละลายทำปฏิกิริยา Hydrogen sulfide แบคทีเรียในปากปล่อยออกมา ปฏิกิริยานี้ใช้ตรวจสอบตะกั่วในน้ำลายได้

สาเหตุการเกิดอาการพิษตะกั่ว เนื่องมาจากตะกั่วสามารถขัดขวางการเกิดฮีโมโกลบินของร่างกายโดยขัดขวางการสังเคราะห์ Porphyrin ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตฮีโมโกลบิน นอกจากนี้แล้วยังสามารถขัดขวางการทำงานของเอนไซม์อีกด้วย

ประโยชน์ของตะกั่ว

เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน จากสถิติการใช้ตะกั่วของโลกมีปริมาณเฉลี่ยปีละมากกว่า 4 ล้านเมตริกตัน ซึ่งสูงเป็นอันดับที่ 5 รองจากเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม และสังกะสี เนื่องจากตะกั่วมีสมบัติที่เหมาะสมหลายประการ กล่าวคือ มีการอ่อนตัวสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ทำให้หลอมเหลวและผสมกับโลหะชนิดอื่นได้ นอกจากนี้ยังทนต่อการสึกกร่อนได้ดีอีกด้วย จากสมบัติดังกล่าวนี้จึงทำให้โลหะตะกั่วเป็นที่

นิคมเข้ามาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ทั้งในวงอุตสาหกรรม โดยใช้ทั้งในรูปของโลหะตะกั่ว โลหะผสมและสารประกอบของตะกั่ว ตัวอย่างของการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ เช่น

1. ใช้ทำแผ่นธาตุและขั้วแบตเตอรี่ในอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่
2. ใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มจำนวนเลขออกเทนของน้ำมันให้สูงขึ้น และเป็นสารป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์
3. ใช้ผสมกับโลหะชนิดอื่นเพื่อผลิตเป็นโลหะสำหรับบัดกรีหล่อเป็นตัวพิมพ์
4. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิต เช่น ตะกั่วทองแดง
5. ใช้ทำเปลือกเคเบิลหุ้มสายไฟ ทำท่อที่ต้องการความทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี
6. ใช้ทำลูกกระสุนปืน ทำฉากกำบังรังสี
7. ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกรดซัลฟูริก

การเข้าและการสะสมของสารตะกั่วในร่างกาย

โดยส่วนใหญ่สารตะกั่วจะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทางปากกับทางจมูกส่วนทางผิวหนังจะมีโอกาสน้อยกว่า สารตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายทางปากนั้น อาจมีสาเหตุมาจากการบริโภคอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีสารตะกั่วปนเปื้อนมา ซึ่งการปนเปื้อนนี้อาจมีมาจากวัตถุดิบที่ใช้ปรุงอาหารอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการปรุงอาหารหรืออาจมาจากภาชนะที่ใส่อาหาร มีรายงานกล่าวว่า เครื่องเคลือบดินเผาที่ใช้กันแพร่หลาย เช่น ถ้วย จาน เขยือก ที่มีสีฉูดฉาดหรือมีลวดลายที่มีสีฉูดฉาดต่าง ๆ กันนั้น มักใช้สีที่มีสารตะกั่วเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย เนื่องจากสารตะกั่วสามารถละลายได้ในสารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด ดังนั้นถ้าใช้ภาชนะดังกล่าวบรรจุอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีสมบัติเป็นกรดร่างกายจึงอาจได้รับสารตะกั่วที่ปะปนมากับอาหารหรือเครื่องดื่มนั้นได้ หรืออีกกรณีหนึ่งถ้าสีหรือผิวเคลือบเกิดการกระเทาะออก และปะปนกับอาหารเมื่อบริโภคเข้าไป น้ำย่อยในกระเพาะก็จะละลายสารตะกั่วได้ และถูกดูดซึมเข้าร่างกายได้เช่นกัน สำหรับภาชนะที่มีสีเหลือง สีแสด และสีแดง จะมีปริมาณสารตะกั่วละลายออกมาได้มากกว่าสีอื่น ๆ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงที่จะใช้ภาชนะที่มีสีเข้มบรรจุอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีสมบัติเป็นกรด

การเข้าสู่ร่างกายทางจมูก เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นละออง หรือไอของสารตะกั่วเข้าไปสารตะกั่วที่ปะปนอยู่ในอากาศมาจากกิจการหรืออุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น จากโรงงานถลุงตะกั่ว ทำแบตเตอรี่ ผลิตสี ทำโลหะผสม เป็นต้น สำหรับการเข้าทางผิวหนัง สาเหตุหนึ่งมาจากการมีบาดแผล ีรอยถลอกหรือถูกขีดข่วนบริเวณผิวหนัง แผลบริเวณดังกล่าวนี้ต้องสัมผัสกับสารตะกั่วที่มี

ปริมาณมาก และเป็นเวลาชานาน สารตะกั่วบางส่วนจึงมีโอกาสผ่านผิวหนังและเข้าสู่ร่างกายได้
 การล้างมือด้วยน้ำมันเบนซินบ่อยครั้ง ร่างกายก็ยังมีโอกาสได้รับสารตะกั่วเช่นเดียวกัน เมื่อตะกั่ว
 เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์แล้ว ส่วนหนึ่งจะถูกขับออกจากร่างกายโดยทางปัสสาวะปะปนมากับเหงื่อ
 รวมทั้งเส้นผม อีกส่วนหนึ่งจะไปสะสมอยู่ในกระดูกซึ่งมีประมาณร้อยละ 90 และที่เหลือจะสะสม
 อยู่ในส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย เช่น ตับ ไต น้ำเลือด น้ำเหลือง สารตะกั่วในร่างกาย โดยเฉพาะที่
 กระดูกสามารถสะสมให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นได้ตลอดเวลาที่ยังมีชีวิตอยู่

พิษของตะกั่วที่มีต่อร่างกาย

ตะกั่วเป็นโลหะที่มีพิษ ดังนั้นโลหะตะกั่วและสารประกอบของตะกั่วทุกรูปแบบจึง
 ถือว่าเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ทั้งสิ้น และเป็นสารที่เสี่ยงต่อความเป็นพิษสูงชนิดหนึ่งด้วย เพราะจะ
 ไม่ทำให้ตายในทันที แต่จะสะสมในปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงขนาดเกินมาตรฐานจึงจะแสดง
 อาการ และก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรง ตัวอย่างพิษของตะกั่ว มีดังนี้

1. พิษต่อระบบเลือด พิษของตะกั่วที่เกี่ยวข้องกับระบบหมุนเวียนของเลือดที่เด่นชัด คือ
 ทำให้จำนวนเม็ดเลือดแดงลดลง ทำให้ผู้ป่วยเป็นโรคโลหิตจาง ซึ่งเป็นผลมาจากตะกั่ว
 ไปทำให้อายุของเม็ดเลือดแดงที่หมุนเวียนอยู่ในร่างกายสั้นลง ขณะเดียวกันก็จะไปขัด
 ขวางกลไกของการสร้างสารประกอบฮีโมโกลบินด้วย
2. พิษต่อระบบประสาท จะทำให้ผนังของหลอดเลือดเสื่อม น้ำจากหลอดเลือดจะซึมเข้าสู่
 สมองทำให้สมองบวมความดันในกะโหลกศีรษะจะสูงผู้ป่วยจะมีอาการกระวน
 กระวาย หงุดหงิด ปวดศีรษะ นอนไม่หลับ แขนขาอ่อนแรง ความรู้สึกลดลง และโคม่า
 ในที่สุด โรคนี้มีอัตราการตายถึงร้อยละ 25 ผู้ที่รอดชีวิตจะมีอาการทางระบบประสาท
 ในภายหลัง นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากตะกั่วเข้าไปทำลายประสาทส่วนที่มีหน้าที่เกี่ยว
 กับความจำ การเรียนรู้ และส่วนที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึก
3. พิษต่อระบบไต จะไปทำให้ท่อที่ทำหน้าที่ดูดซึมกลูโคส กรดอะมิโน และฟอสเฟตใน
 ไตทำหน้าที่ได้ลดลง ถ้าผู้ป่วยได้รับปริมาณมาก ๆ ต่อไปอีกเป็นเวลานาน ๆ ไตจะ
 ล้มเหลวและตายในที่สุด
4. พิษต่อระบบทางเดินอาหาร จะทำให้ผู้ป่วยเบื่ออาหาร มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน เป็น
 ตะคริวที่หน้าท้อง เนื่องจากมีอาการกระตุกของกล้ามเนื้อลำไส้

สารตะกั่วนี้แม้ว่าจะมีประโยชน์มากมายหลายประการ แต่ในอีกแง่หนึ่งก็มีพิษและ
 สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้มากด้วย ดังนั้นจึงไม่ควรสัมผัสกับสารตะกั่วโดยตรงแต่ถ้า
 ต้องทำงานที่เกี่ยวข้องกับสารตะกั่ว ก็ควรสวมถุงมือ เสื้อคลุม หน้ากากกรองอากาศ และทำความ

ระคายเคืองร่างกายทุกครั้งที่ได้รับจากการทำงาน พยายามหลีกเลี่ยงการใช้สิ่งของที่มีสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบหรือเจือปนอยู่ เช่น ภาชนะที่มีสีสันทันดูฉูดฉาด ยานพาหนะบางชนิด หรือการใช้หนังสือพิมพ์เก่าๆ ที่เป็นน้ำมัน นอกจากนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ ก็ไม่ควรเดินทางผ่านไปในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นและติดขัด หรือบริเวณโรงงานที่เห็นแหล่งกำเนิดสารตะกั่วในอากาศในส่วนของหน่วยงานรัฐบาล ก็ควรควบคุมและติดตามกิจการหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดสารตะกั่วให้ใกล้ชิด เพื่อป้องกันการปล่อยฝุ่นละออง และไอของสารตะกั่วที่เกินมาตรฐานออกสู่บรรยากาศ หรือพยายามกำหนดตัวเลขมาตรฐานของสารตะกั่วในผลิตภัณฑ์บางชนิดให้มีค่าน้อยลง เช่น น้ำมันเบนซิน หรือไม่อนุญาตให้มีเจือปนเลยถ้าสามารถใช้สิ่งอื่นที่ใสสารตะกั่วแทนได้ แม้ว่าจะมีราคาแพงอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าทุกฝ่ายร่วมกันปฏิบัติอย่างถูกต้องแล้วก็จะเชื่อว่า ทุกชีวิตจะปลอดภัยจากอันตรายของสารตะกั่ว ดังนั้นสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2525) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 ประกาศไว้ว่า ตะกั่วในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะต้องไม่เกิน 0.2 mg / L

2.3.2 แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียมมีชื่อทางเคมี Cadmium เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ที่ 2B คาบที่ 5 ของตารางธาตุใช้สัญลักษณ์ Cd มวลอะตอม (Atomic Mass) 112.40 เลขอะตอม (Atomic Number) 48 ความหนาแน่น (Density) 8.64 g / mL จุดหลอมเหลว (Melting Point) 321.11 °C จุดเดือด (Boiling Point) 767°C รัศมีอะตอม (Atomic Radius) 1.54 Å รัศมีไอออน (Ionic Radius) 0.97 (+2) เลขออกซิเดชัน (Oxidation Number) +2 ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity) 1.46 ศักย์ไฟฟ้าแบบรีดักชันมาตรฐาน (Standard Reducing Potential หรือ E_r°) - 0.4 โวลต์ ค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (Electron Affinity) 1.7 พลังงานการแตกตัวครั้งที่ 1 (First Ionization Energy) 207 Kcal / g. mol การจัดเรียงอิเล็กตรอน (Electron Configuration) 2 8 18 18 2 รัศมีโคเวเลนต์ 1.44 Å ปริมาตรอะตอม (Atomic Volume) 13 mL/mol เอนทัลปีของการหลอมเหลวและการกลายเป็นไอ 6.1 100 KJ / mol การนำความร้อน 0.92 J.cm⁻¹ . S⁻¹ . K⁻¹ (25°C) การนำไฟฟ้า 11.5 X 100 mol/ohm/cm แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงิน มีความถ่วงจำเพาะ 8.65 (ที่ 20 °C) โลหะนี้ไม่จำเป็นและไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นพิษต่อร่างกาย

ในธรรมชาติแคดเมียมอยู่ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ (CdS) แต่แหล่งแร่มีน้อยยิ่งแคดเมียมส่วนใหญ่พบปะปนในปริมาณเล็กน้อยอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด ดังนั้นโลหะ Cd ส่วนใหญ่จึงเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากการถลุงสินแร่สังกะสี

ประโยชน์ของแคดเมียม

โลหะแคดเมียมใช้ทำผลิตภัณฑ์และของใช้ที่เป็นประโยชน์รวมทั้งการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมที่สำคัญมีดังนี้

1. ใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเพื่อทำแบตเตอรี่สามารถประจุไฟใหม่ได้ เรียกว่า แบตเตอรี่ Cd-Ni
2. ใช้ทำโลหะเจือ โลหะเจือ Cd-Au ให้สีขาวแวววาว จึงนิยมใช้เป็นโลหะประดับโลหะเจือ Cd - Ag สามารถต่อต้านการเปลี่ยนเป็นสีดำอย่างดี จึงนิยมใช้ทำภาชนะเครื่องคั้น ชันน้ำ เป็นต้น เมื่อผสม Cd เล็กน้อยกับทองแดงช่วยเพิ่มความเหนียวของทองแดงได้
3. ใช้ผสมสีบางชนิด
4. ใช้ผสมในน้ำมันเครื่อง ยางและพลาสติก
5. ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหรือชุบโลหะ
6. ใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) สำหรับพลาสติกบางชนิด
7. บางครั้งใช้ผสมกับ Hg เพื่ออุดฟัน
8. ใช้ทำกระป๋องโลหะบางชนิด

การนำ Cd มาใช้ประโยชน์ข้างต้นเป็นสาเหตุให้โลหะ Cd เข้ามาเจือปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งที่มีการทำเหมืองสังกะสี (รวมทั้งตะกั่วและทองแดง) การเผาไหม้ของขยะที่เป็นพวกพลาสติก ยาง โรงงานทำโลหะเจือและชุบโลหะ อีกแหล่งหนึ่งของที่มาของ Cd ได้แก่ควันบุหรี่ มีการประมาณกันว่าบุหรี่ 1 มวน จะให้ Cd 1.3 μg ซึ่งเป็นส่วนปะปนอยู่ในควันบุหรี่และบางส่วนเข้าสู่ร่างกายผู้สูบบุหรี่นั้น ประมาณกันว่าการสูบบุหรี่ 1 ซอง (20 มวน) จะมี Cd เข้าสู่ปอด 2 – 4 μg

อากาศตามชนบทและที่ห่างไกลจากอุตสาหกรรมที่มี Cd เข้าเกี่ยวข้องกับด้ายที่เข้มข้นของ Cd ต่ำกว่า 0.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ แต่ในแหล่งชุมชน Cd อาจมีความเข้มข้นสูงถึง 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และตามที่ใกล้เหมืองสังกะสีและโรงงานที่ใช้แคดเมียมในกระบวนการผลิตจะพบสูงกว่านี้มาก(อาจสูงถึง 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

การเข้าและการสะสมของแคดเมียมในร่างกาย

เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย (ทางระบบหายใจและทางปาก) จะสะสมในร่างกายและปริมาณการสะสมเพิ่มขึ้นตามอายุ มีการประมาณกันว่าคนทั่วไปที่มีอายุ 50 ปี มี Cd สะสมในร่างกาย 10 μg ถึง 50 – 60 μg สดแล้วแต่ว่าคนๆ นั้นอยู่ที่ไหนของโลก ส่วนเด็กที่เพิ่งเกิดใหม่มี Cd ในร่างกายเพียง 1 μg

การสะสม Cd ในร่างกายในปริมาณสูงทำให้คนหรือสัตว์เป็นหมันและเป็นมะเร็งได้นอกจากนี้แล้วยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ก่อความเสียหายต่อไตและตับ บบบาทความเป็น

พิษของ Cd ยังไม่เป็นที่เข้าใจกันดีนัก แต่เชื่อว่ามีสาเหตุจากการเข้าแทนที่ในเอนไซม์บางชนิดทำให้เอนไซม์นั้นไม่สามารถทำงานตามปกติได้

พิษของแคดเมียมที่มีต่อร่างกาย

พิษของ Cd ซึ่งนำความสนใจมาสู่ชาวโลกครั้งแรกเกิดขึ้นตามริมฝั่งของแม่น้ำจินตซ์ซู (Jimsu) ในประเทศญี่ปุ่น ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 พบว่าชาวบ้านแถบนั้นเกิดอาการสาวยาค ผิดปกติและปวดกระดูกตามน่อง ซึ่งโครงและสันหลัง ชาวญี่ปุ่นเรียกโรคนี้อีกว่า “itai – itai” หญิงที่มีบุตรหลายคนและหมดประจำเดือนแล้ว เป็นโรคนี้น่ากลัวที่สุดและมีอาการหนักที่สุด การศึกษาในขณะนั้นพบว่าอาการปวดกระดูกเกิดขึ้นเพราะอาการผิดปกติของกระดูกดังกล่าวและมีสาเหตุมาจากพิษ Cd เพราะบริเวณแถบนั้นเป็นที่ทำเหมืองแร่โลหะของบริษัทมิตซุซุ (Mitsui Mining and Smelting Company) ซึ่งผลิตโลหะทองแดง ตะกั่วและสังกะสี เป็นสาเหตุให้บริเวณแถบนั้นมี Cd ในปริมาณสูงทั้งในอากาศและในน้ำ ดังนั้น สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติจึงกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2525) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 ประกาศไว้ว่า “แคดเมียมในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะต้องไม่เกิน 0.03 mg/L

2.3.3 โครเมียม (Chromium)

โครเมียมมีชื่อทางเคมี Chromium เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ที่ 6B คาบที่ 4 ของตารางธาตุ ใช้สัญลักษณ์ Cr มวลอะตอม (Atomic Mass) 51.9961 เลขอะตอม (Atomic Number) 24 ความหนาแน่น (Density) 7.2 g / mL จุดหลอมเหลว (Melting Point) 1863 °C จุดเดือด (Boiling Point) 2672 °C การจัดเรียงอิเล็กตรอน (Electron Configuration) 2 8 13 1 รัศมีอะตอม (Atomic Radius) 1.3 Å รัศมีไอออน (Ionic Radius) 0.69 (+3) Å^o, 0.84 (+2) Å^o เลขออกซิเดชัน (Oxidation Number) +2 , +3 , +6 ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity) 1.55 ศักย์ไฟฟ้าแบบรีดักชันมาตรฐาน (Standard Reducing Potential หรือ E^o,) -0.91 (+2) , -0.28 (+3) โวลต์ ค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (Electron Affinity) 1.6 พลังงานการแตกตัวครั้งที่ 1 (First Ionization Energy) 156 kcal / g.mol ปริมาตรอะตอม (Atomic Volume) 7.2 cm³ / mol เอนทาลปีของการหลอมเหลวและการกลายเป็นไอ 13.8 305 kJ / mol การนำความร้อน 0.67 J/cm/S/K ที่ 25 °C การนำไฟฟ้า 11 x 10³ mol/ohm/cm การจัดเวเลนซ์อิเล็กตรอน 3d⁵ 4s¹ รัศมีโคเวเลนต์ 84 pm พลังงานไอออไนเซชัน 653 (1st) 1591 (2nd) 2992(3rd) 4816(4th) 7050 (5th) 8745 (6th) kJ/mol โครงสร้างผลึกโลหะ hcp ,bcc ปริมาณใน โลภ 200 ppm สีของโครเมียม(+2)

ในสารละลายที่มีน้ำเป็นสีน้ำเงิน ออกไซด์สูงสุดเป็น CrO_3 คลอไรด์สูงสุดเป็น CrCl_4 ฟลูออไรด์สูงสุดเป็น CrF_6 การจัดเรียงอิเล็กตรอนของ โครเมียม(+2) คือ $3d^4$ การจัดเรียงอิเล็กตรอนของ โครเมียม(+3) คือ $3d^3$ ส่วนสมบัติทางเคมีนั้น โครเมียม (II) จะเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง ถูกออกซิไดส์ง่าย โครเมียม (III) จะเสถียรที่สุด ส่วนโครเมียม (VI) เป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี เช่น $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ โครเมียมที่เกิดในธรรมชาติอยู่ในรูปของแร่โครไมต์ (Chromite, $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) ซึ่งสามารถแยกให้ได้โลหะโดยการรีดิวซ์ด้วยคาร์บอน ดังสมการต่อไปนี้



หรือเปลี่ยนให้เป็นออกไซด์แล้วรีดิวซ์ด้วย Al ซึ่งเรียกว่า Thermite process ดังสมการต่อไปนี้



โครเมียมเป็นธาตุโลหะทรานซิชันที่ทนทานต่อการกัดกร่อนสูงมักนำมาผลิตเป็นอัลลอยด์ต่างๆ เช่น สเตนเลส (เหล็กกล้าไร้สนิม) หรือใช้ชุบอุปกรณ์เครื่องใช้ เช่น เครื่องครัว กันชนรถยนต์ มีด กรรไกร เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตสี สารชักเงา และสารเคลือบป้องกันไม่ให้ผุกร่อน

ประโยชน์ของโครเมียม

1. ใช้เป็นองค์ประกอบในน้ำยาชุบโลหะ
2. ใช้เป็นธาตุเจือในโลหะผสม
3. ใช้เป็นส่วนผสมในสีทาหรือสีย้อม

การเข้าสะสมแล้วเกิดพิษต่อร่างกาย

โครเมียมเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายในปริมาณน้อย แต่ถ้าเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากนั้นจะเป็นพิษร้ายแรง ทำให้เป็นมะเร็งที่ปอด และผิวหนังเกิดอาการแพ้ได้ ดังนั้นสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2525) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 ประกาศไว้ว่าโครเมียมในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะต้องไม่เกิน 0.5 mg/L

2.4 วัสดุดูดซับ ที่ใช้ในการทดลองมีด้วยกัน 4 ชนิดดังนี้

2.4.1 หมาก

หมากเป็นพืชยืนต้นตระกูลเดียวกับปาล์มขึ้นได้ทั่วไปทั้งในเขตอบอุ่นและเขตร้อน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Areca catech* Linn. และมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Betel nut, Arecanut หรือ

Arecanut plam ถิ่นกำเนิดไม่ทราบแน่นอน แต่คาดว่าอยู่บริเวณแหลมมลายูและหมู่เกาะฟิลิปปินส์ ปัจจุบันพบมากขึ้นกระจายอยู่ทั่วไปตั้งแต่ประเทศอินเดียถึงประเทศญี่ปุ่น และบางส่วนของทวีปออสเตรเลีย

ลำต้น หนากเป็นพืชลำต้นเดี่ยวไม่แตกกอ ไม่แตกแขนง และเนื้อไม้ไม่มีแก่น มีการเจริญเติบโตทางเรือนยอดเท่านั้น เปลือกลำต้นเมื่ออ่อนจะมีสีเขียวและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมเทาเมื่อมีอายุมากขึ้น ลำต้นมีปล้องปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจนและแต่ละปีต้นหนากจะมีการเจริญเติบโตประมาณ 5 ปล้อง ทำให้สามารถประมาณอายุของต้นหนากแต่ละต้นอย่างคร่าว ๆ ได้ เมื่อโตเต็มที่ลำต้นจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 นิ้ว และสูงประมาณ 30 – 100 ฟุต เนื้อไม้ของต้นหนากจะเป็นสีเขียว ๆ จับตัวกันแน่นทำให้แข็งแรงและไม่หักง่าย จึงนิยมนำต้นหนากมาทำเสา สะพาน และเฟอร์นิเจอร์

ใบ ใบหนากเกิดบริเวณเรือนยอดเช่นเดียวกับพืชตระกูลปาล์มอื่น ๆ ลักษณะเป็นใบประกอบคล้ายใบมะพร้าวแต่มีขนาดเล็กและสั้นกว่าใบมะพร้าว คือ มีความยาวประมาณ 4 ฟุต และแต่ละใบประกอบมีความยาวประมาณ 1 – 2 ฟุต

ดอก ดอกหนากหรือจั่นหนากจะเกิดบริเวณซอกโคนก้านใบที่ติดกับลำต้น โดยมีแกนกลางหรือโคนจั่นยึดติดกับลำต้น ดอกจะเป็นก้านยาวประมาณ 5 นิ้ว มีดอกตัวเมียอยู่บริเวณโคนก้านมีขนาดประมาณ 0.3 นิ้ว และดอกตัวผู้จะอยู่ส่วนปลายของก้านมีขนาดประมาณ 0.2 นิ้ว จำนวนดอกหนากจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม

ผล มีลักษณะกลมรี มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 – 2.5 นิ้ว และยาวประมาณ 1.5 – 2.5 นิ้ว เมื่ออ่อนจะมีสีเขียว เรียกว่าหนากดิบหรือหนากสด เมื่อแก่จัดจะมีสีเหลืองส้ม หรือเหลืองอมส้ม เรียกว่าหนากสุก หรือหนากสง แต่ละทะลายมีหนากประมาณ 100 – 150 ผล ผลหนากประกอบด้วย

เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นนอกนี้บาง ผิวเป็นมัน และมีเส้นใยละเอียดเหนียว

เปลือกชั้นกลาง เส้นใยมีลักษณะหยาบมองเห็นได้ชัดเจน เมื่อดิบมีลักษณะอ่อนนิ่มและเมื่อแก่จะแข็งขึ้น

เปลือกชั้นใน เป็นเยื่อบาง ๆ เกาะติดอยู่กับเมล็ด

เมล็ดหรือส่วนที่เรียกว่าเนื้อหนาก เมื่อดิบจะนิ่มและเนื้อเป็นสายเส้นสีเหลืองหรือน้ำตาลแดง เมื่อแก่เมล็ดจะเกาะติดแน่นกับเปลือกชั้นใน แต่ถ้านำไปตากให้เมล็ดแห้งจะแกะออกง่ายขึ้น เส้นที่อยู่ในเนื้อหนากจะมีสีแดงจนถึงแดงเข้ม ผลหนากประกอบด้วยสารอัลคาลอยด์ต่างๆ ประมาณ 3 ชนิด ประมาณร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเมล็ดและในจำนวนสารอัลคาลอยด์ดังกล่าวนี้ประกอบด้วยสารแทนนินถึงร้อยละ 18 ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดรสฝาดเวลาเคี้ยว

ขนาดของผล จะเห็นว่าชนิดพันธุ์ผลยาวจะมีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์ผลกลม แต่ขนาดของเมล็ดชนิดพันธุ์ผลกลมจะมีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์ผลรี ซึ่งทำให้เกษตรกรนิยมปลูกหมากพันธุ์ผลกลมมากกว่าพันธุ์ผลรี (วิภา สุโรจนะเมธากุล และชิตชม อีรางกุล, 2537)

สภาพภูมิอากาศ

หมากเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่นพื้นที่ที่ปลูกหมากควรเป็นที่โล่งแจ้งต้องการความชื้นสูงพอสมควร และมีการระบายน้ำดี ปริมาณน้ำฝนอย่างต่ำปีละ 80 นิ้ว สามารถเจริญเติบโตได้ดีตั้งแต่ความสูงระดับน้ำทะเลประมาณ 2,400 ฟุต ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกหมากควรเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียวที่มีอินทรีย์วัตถุสูง สามารถทนสภาพน้ำที่ท่วมขังชั่วคราวได้ แต่ไม่เหมาะสมสำหรับบริเวณที่ชื้นแฉะหรือบริเวณน้ำท่วมขังนาน ๆ บริเวณที่เหมาะสมต่อการปลูกหมากจึงควรเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำริมคลองที่มีการระบายน้ำดี

ประเภทของหมาก

1. **หมากดิบหรือหมากสด** คือ หมากที่มีอายุประมาณ 5 – 6 เดือน หลังจากดอกบานเปลือกมีสีเขียวเข้ม และเมล็ดมีลักษณะนิ่มถึงค่อนข้างแข็ง ตามปกติหมากจะออกดอกมากในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ซึ่งทำให้ช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม จะมีหมากสดออกขายมากที่สุด และถ้าหลังจากเดือนตุลาคมไปแล้วเกษตรกรจะต้องปล่อยให้หมากแก่หรือหมากสุก เพื่อนำไปทำเป็นหมากแห้งจำหน่ายต่อไป

2. **หมากแห้ง** หมากแห้งที่จำหน่ายอยู่ตามท้องตลาดมีหลายชนิดหลายลักษณะแต่สามารถแบ่งหมากออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ หมากแห้งที่ทำจากหมากสดและหมากแห้งที่ทำจากหมากแก่หรือหมากสง โดยหมากแห้งแต่ละประเภทมีชนิดต่าง ๆ ดังนี้

1.1 หมากแห้งจากหมากดิบ มี 5 ชนิด คือ

- หมากชอย ได้จากนำหมากดิบมาเฉาะเอาเปลือกออก ผ่าหมากเป็นสองซีก และใช้มีดชอยเป็นชิ้นเล็ก มีความหนาประมาณ 1 หุนหรือ 1/8 นิ้ว หลังจากนั้นนำไปตากแดดประมาณ 2 – 3 วัน ก็จะแห้งสนิท

- หมากกลีบส้ม ใช้หมากดิบเฉาะเอาเปลือกออกและผ่าเป็นสองซีก หลังจากนั้นใช้มีดหั่นตามความยาวของผลจะมีลักษณะคล้ายกลีบส้มและนำไปตากแดดประมาณ 3–5 วัน จะแห้งสนิท หมาก 1 ผล จะผ่าเป็นหมากกลีบส้มได้ประมาณ 5 – 7 กลีบ

- หมากเจียนหรือหมากเสี้ยว นำหมากดิบมาผ่าตามยาวเป็น 4 – 5 ชิ้น โดยที่ยังไม่ต้องเอาเปลือกออก ใช้มีดปอกเปลือกนอกที่เป็นสีเขียวทางด้านก้นผลออกเป็นแผ่นบาง ๆ ไป

ทรงข้ามผลแต่ไม่ให้ขาด ส่วนเปลือกด้านในก็ทำลักษณะเดียวกันและให้เข้าถึงเนื้อหมาก เนื้อหมากที่มีเปลือกติดอยู่ออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปตากแดดประมาณ 3 – 5 วัน ก็จะแห้งสนิท

- หมากจุก มีลักษณะคล้ายหมากเจียน แต่หั่นเป็นชิ้นบาง ๆ หนาประมาณ 1 oun หรือ 1/8 นิ้ว เท่ากับหมากชอย นำไปตากแดดประมาณ 2 – 3 วัน ก็จะแห้งสนิท
- หมากป่น ก็คือ เศษหมากแห้งที่หลงเหลืออยู่หลังจากที่ตากเป็นหมากแห้งแล้วมีลักษณะแห้งกรอบและหักเป็นชิ้นเล็ก ๆ

สำหรับอัตราส่วนการแปรรูปหมากดิบเป็นหมากแห้งชนิดต่างๆ นั้นจากหมากสด 1,000 ผล จะได้หมากชอย หมากกลีบส้มประมาณ 3 – 5 kg หมากจุกและหมากเจียนประมาณ 5 – 6 kg

2.2 หมากแห้งจากหมากแก่ หมากแก่หรือเรียกอีกชื่อว่าหมากสง คือ หมากที่มีอายุประมาณ 7 – 8 เดือน หลังจากดอกบานแล้วมี 2 ชนิด คือ

- หมากแก่ที่เปลือกมีสีเขียวปนเหลือง เนื้อในเริ่มแข็ง แต่ไม่แข็งมากนัก และเมล็ดยังไม่เกาะแน่นกับเปลือก สามารถนำมาหั่นหรือชอยได้นิยมนำมาทำเป็นหมากแห้ง เช่น หมากแวน หมากชอย หรือหมากอีแปะ

- หมากแก่ที่เปลือกเป็นสีเหลืองทั้งผล เมล็ดหนาแข็ง และเกาะติดกับเปลือกแน่นแกะออกได้ยากและต้องนำไปตากแดดก่อน ทำให้เมล็ดล่อนออกจากเปลือก แกะออกได้ง่ายขึ้น ใช้ทำหมากแห้งทั้งเม็ดผ่าสองหรือผ่าสี่

สำหรับหมากแห้งจากหมากแก่มีชนิดต่าง ๆ ดังนี้

- หมากแวน หมากอีแปะ หรือหมากหั่น นำหมากแก่ที่เปลือกยังมีสีเขียวปนเหลืองมาแกะเอาเปลือกออก และนำไปหั่นหรือใช้เครื่องไสหมากซึ่งมีลักษณะคล้าย ๆ กบไสไม้หรือที่ไสน้ำแข็ง โดยตั้งระยะห่างของใบมีดให้เหมาะสม หมากที่ไสหรือหั่นแล้วจะมีลักษณะเป็นแผ่นกลม ๆ บาง ๆ นำไปตากแดด 2 – 4 วัน ก็จะแห้งสนิท

- หมากผ่าสองหรือหมากผ่าซีก และหมากผ่าสี่หรือหมากก๊ก ได้จากนำหมากแก่ที่สุกเปลือกเป็นสีเหลืองนำมาผ่าเป็นสองส่วนหรือสี่ส่วนแล้วนำไปตากแดดประมาณ 1 วัน เมล็ดจะล่อนออกจากเปลือกแกะออกได้ง่าย หลังจากนั้นนำไปตากแดดซึ่งจะแห้งสนิทประมาณ 4 – 5 วัน สำหรับหมากผ่าสอง และประมาณ 2 – 3 วัน สำหรับหมากผ่าสี่

- หมากแห้งทั้งเมล็ด ได้จากหมากแก่จนสุกเป็นเหลือง นำไปตากแดดจนกระทั่งเมล็ดล่อนออกจากเปลือก หลังจากนั้นจึงแกะเอาเปลือกออก และนำเมล็ดไปตากแดดประมาณ 2 – 3 วัน ก็จะแห้งสนิท

สำหรับอัตราส่วนการแปรรูปหมากแก่เป็นหมากแห้งชนิดต่าง ๆ นั้นหมากแก่ 1,000 ผล จะได้หมากแวน หมากผ่าสอง หมากผ่าสี่ และหมากแห้งทั้งเมล็ด ประมาณ 15 – 16 kg

ประโยชน์

ทุกส่วนของต้นหมาก ไม่ว่าจะเป็นราก ใบ ลำต้น และผล (เมล็ด) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น แต่ส่วนที่มีประโยชน์มากที่สุด คือ ผล (เมล็ด) สามารถนำมาบริโภคทำเป็นสมุนไพรและใช้เป็นอุตสาหกรรม กล่าวคือ

การบริโภค การบริโภคหมากหรือการกินหมากนั้น ไม่เฉพาะแต่ประชาชนคนไทยเท่านั้น แต่ประชาชนในประเทศอื่นบริเวณเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ปากีสถาน อินเดีย ศรีลังกา พม่า มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ต่างก็นิยมการกินหมากด้วยกันทั้งสิ้น และได้มีการประมาณว่าประชากรทั้งสิ้นถึง 1 ใน 10 ของจำนวนประชากรทั้งหมดทั่วโลกนิยมกินหมาก ทั้งนี้เนื่องจากในหมากมีสารเสพติดชนิดหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภครู้สึกสบายตัว แต่อย่างไรก็ตามในระยะยาวคาดว่าความนิยมการกินหมากของประชากรในประเทศต่าง ๆ จะมีแนวโน้มลดลง

ยาสมุนไพร ผล (เมล็ด) มีประโยชน์เป็นยาสมุนไพรหลายขนาด มีสรรพคุณเป็นยาใช้สมานแผลทำให้เลือดหยุดไหลและแผลหายเร็ว ทำให้เหงือกและฟันแข็งแรง รักษาอาการท้องเดินและกำจัดหนองเวลาเป็นแผลโดยใช้เมล็ดหมากปิดที่ปากแผล และในสัตว์เลี้ยงใช้เป็นยาถ่ายพยาธิ

ด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากเมล็ดหมากมีสารอัลคาลอยด์ ชื่อ Arecoline ซึ่งมีสารแทนนินสูง สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้หลายประเภท คือ

1. ทำสี
2. ย้อมแห อวน ทำให้เส้นด้ายอ่อนนุ่ม ยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้น
3. ใช้สกัดสารทำยาฟอกหนัง ทำให้หนังอ่อนนุ่มและมีสีสวย ในประเทศอินเดียมีจำหน่ายในชื่อทางการค้าต่าง ๆ กัน เช่น Gambire catechu, Begal catatechu และ Bombay catechu เป็นต้น
4. ใช้สกัดทำยารักษาโรค เช่น ยาสมานแผล ยาถ่ายพยาธิในสัตว์ ยาขับพิษ ยาทาแก้คัน ยาขับปัสสาวะ ยาแก้ปากเปื่อย และยาแก้ท้องเดินท้องเสีย เป็นต้น เฉพาะยาน้ำแก้ท้องเดิน ท้องเสียส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมของสารสกัดจากหมากเกือบทั้งสิ้น
5. เปลือกหมากอ่อนใช้ทำแปรงสีฟัน
6. เปลือกหมากสุกบิบเอาน้ำผสมกับยาเส้นใส่หม่าเห็บที่แอบเข้าไปในรูหู หรือผสมกับยาเส้น เปลือกต้นมะเดื่อเหี่ยวเด็ก ดากแห้งสูบแก้ริดสีดวงจมูก

ส่วนราก ใบ และลำต้นก็มีประโยชน์เช่นกัน โดยนำมาต้มรักษาโรคบิด แก้อาการปากเปื่อยและขับปัสสาวะ ใบใช้ทำพัด ทำปลอกมิด และนำมาต้มเป็นยาสมุนไพร เป็นยาขับพิษและทาแก้คัน ลำต้นใช้ทำเสา สะพาน และเฟอร์นิเจอร์ เนื่องจากมีเนื้อไม้ที่แข็งแรงและมีลวดลายสวยงาม

2.4.2 ตาลโตนด

ตาลมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer*. ชื่อสามัญ Palmyra palm, Toddy palm, Wine Tata, Deleb Palm อยู่ในวงศ์ Palmae มีถิ่นกำเนิดในบริเวณทวีปแอฟริกาตอนใต้แล้วแพร่กระจายต่อไปยังประเทศอินเดียเอเชียอาคเนย์ตามเส้นทางการค้าขายในสมัยโบราณ สำหรับบ้านเราตาลเข้ามาอยู่ในวิถีชีวิตและเป็นพืชที่คนไทยคุ้นเคยมานานจนยากต่อการสืบสาว รู้แต่เพียงว่ามีการปลูกตาลกันแล้วในสมัยพ่อขุนรามคำแหงจากบันทึกในหลักศิลาจารึก (พ.ศ.1214) ซึ่งก็น่าจะเป็นเวลากว่าพันปีมาแล้วที่มีการปลูกตาลในเมืองไทย ปัจจุบันตาลมีให้เห็นทั่วไปเกือบจะทุกท้องที่ แต่แหล่งที่มีปริมาณมากและมีการนำมาใช้ประโยชน์ในแง่ เศรษฐกิจก็คือ สงขลา เพชรบุรี บุรีรัมย์ ชัยนาท ฉะเชิงเทรา เป็นต้น

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

อาจจะกล่าวได้ว่าบ้านเรายังไม่มีการศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของตาลอย่างจริงจังเหมือนพืชชนิดอื่นซึ่งก็คงเป็นเพราะตาลไม่ใช่พืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างที่กล่าวไว้ข้างต้น ข้อมูลส่วนใหญ่จึงได้จากการสอบถามชาวบ้าน ตาลเป็นพืชที่มีลำต้นสูงมากประมาณ 30 – 50 m แต่อาจสูงถึง 90 – 100 m เมื่ออายุมาก ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาชีพปาดตาลเต็มไปด้วยความเสี่ยงและต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญอย่างมากในการปีนต้นตาลซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นคนเก่าแก่ที่อายุมากขึ้นเรื่อย ๆ จะใช้ลิงปีนเหมือนมะพร้าวก็ไม่ได้ ที่สำคัญตาลจะตกลงพื้นดินไม่ได้เพราะแรงกระแทกจะทำให้เต้าตาลที่อยู่ข้างในแตกได้ จึงต้องผูกทะเลายตาลแล้วค่อย ๆ หย่อนลงมาจนถึงพื้นดินไม่มีการศึกษาว่าตาลที่มีอยู่ในบ้านเรากี่สายพันธุ์ เท่าที่เห็นจะมีอยู่ 2 ชนิด ชนิดแรกเป็นตาลผลใหญ่สีเข้มเรียกกันว่า ตาลหม้ออีกชนิดผลจะเล็กกว่าทรงผลออกเรียวยาวและสีผลอ่อนกว่าเรียกตาลข้าวเจ้า ในแหล่งผลิตตาลจะพบตาลทั้งสองชนิดปะปนกันอยู่ ตาลหม้อมักจะใช้ประโยชน์จากลอนตาลเนื่องจากมีขนาดใหญ่ ส่วนตาลข้าวเจ้าจะนิยมใช้ทำน้ำตาล ตาลเป็นพืชที่มีดอกไม้สมบูรณ์เพศดอกตัวผู้และตัวเมียจะแยกกันอยู่คนละต้นตัวผู้จะมีดอกย่อยที่ไม่มีก้าน ดอกเรียงอัดกันแน่นคล้ายวงช้างจึงเรียกกันว่าวงทะเลายช่อดอกตัวผู้จะมีขนาดใหญ่ยาวถึง 2 m ประกอบด้วยช่อดอกหรือวง 7 – 8 วง ก้านช่อดอกยาว 30 – 45 cm ดอกเรียงตัวเป็นกระจุก ๆ ละ 30 ดอก กลีบดอกมี 3 กลีบ มีก้านละอองเกสร 6 อัน ส่วนดอกตัวเมียช่อดอกจะห่อหุ้มด้วยกาบช่อดอกขนาดใหญ่และมีกลีบหุ้มดอกขนาดใหญ่ห่อหุ้มดอกอยู่ ดอกแรกจะกลวง ดอกถัดไปเป็นดอกเด็ยวสลับกันไปตลอด กลีบดอกมี 3 กลีบ มีรังไข่ 3 อัน ติดผลเป็นพวงหรือทะเลายสีม่วงเข้มถึงดำ ตาลตัวเมียจึงใช้ประโยชน์ได้มากกว่าต้นตัวผู้โดยจะใช้ได้ทั้งทำน้ำตาลและส่วนของลอนตาล ส่วนต้นตัวผู้จะใช้ทำน้ำตาลได้อย่างเดียวหรือไม่ก็

โค่นทำเฟอร์นิเจอร์ ดังนั้นต้นตัวเมียจึงมีค่าตัวแพงกว่าต้นตัวผู้ โดยที่เพชรบุรีจะมีการเข้าต้นตาลเพื่อเก็บผลผลิตกันด้วย ค่าเข้าต้นตัวเมีย 120 – 150 บาทต่อปี ขณะที่ต้นตัวผู้ค่าเช่าเพียง 100 บาทเท่านั้น

2.4.3 ปาล์มน้ำมัน (Oil palm)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์จากน้ำมันซึ่งสกัดได้จากเยื่อหุ้มผล และเนื้อในของเมล็ด ปาล์มน้ำมันนำไปใช้บริโภคในรูปของเนยเทียม (margarine) น้ำมันปรุงอาหาร และน้ำมันทอดกรอบ นอกจากนี้ยังมีการนำไปทำสบู่ ผงซักฟอก และน้ำมันที่ใช้ในอุตสาหกรรมฉาบโลหะต่าง ๆ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้แก่ มาเลเซีย ไทย และอินโดนีเซีย แหล่งกำเนิดอยู่บริเวณตะวันตกของแอฟริกา

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก ระบบรากเป็นแบบรากฝอย (fibrous root system) ซึ่งมี adventitious root แตกออกจากข้อของลำต้นส่วนล่าง ๆ รากชุดแรกเรียกว่า primary root ต่อมาเกิดการแตกแขนงของรากเป็น secondary root , tertiary root , quaternary root

ลำต้น ลำต้นของปาล์มน้ำมันเจริญจากตายอด (terminal bud) ในระยะแรกเป็นการเจริญเติบโตทางด้านความกว้าง ใช้เวลาประมาณ 3 ปี ลำต้นจึงจะมีขนาดใหญ่เต็มที่ ส่วนโคน ลักษณะเป็นรูปกรวยคว่ำเรียกว่า bole ต่อจากนั้นจะเป็นการเจริญทางด้านความสูงเป็นลำต้นเหนือพื้นดินเรียกว่า trunk ต้นปาล์มที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะพบส่วนของเนื้อเยื่อเจริญขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-12 cm ยาว 2.5-4.0 cm อยู่ที่ศูนย์กลางของปลายยอด (crown) โดยมีส่วนของจุดกำเนิดใบ (leaf primordia) ใบอ่อน และฐานของใบหุ้มอยู่ระยะ 12 ปีแรกของการเจริญเติบโต ลำต้นจะมีกาบใบซึ่งหุ้มอยู่ ทำให้ไม่สามารถเห็นลำต้น หลังจากนั้นกาบใบส่วนล่างจะหลุดร่วงและสามารถเห็นลำต้นในส่วนล่างได้ ใบแตกออกจากลำต้นมีลักษณะเวียนเป็นเกลียวรอบลำต้น (spiral) พบทั้งใบที่มีการเวียนทางด้านขวาและด้านซ้าย ปาล์มน้ำมันที่ปลูกเป็นการค้าจะพบลักษณะใบที่มีการเวียนขวาและเวียนซ้ายในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ลักษณะการเวียนขวาหรือซ้ายนี้พบว่าไม่ได้ถูกควบคุมด้วยพันธุกรรม เมื่อพิจารณาการเวียนของใบพบว่าถ้านับเวียนไปทางขวาใบลำดับที่ 8 จะมีตำแหน่งของใบที่ใกล้เคียงกับใบที่กำหนด โดยใบลำดับที่ 21 ไม่ว่าจะนับเวียนขวาหรือเวียนซ้ายจะมีตำแหน่งตรงใบที่กำหนด

โดยทั่วไปปาล์มน้ำมันมีความสูงประมาณ 15-18 m อัตราการยืดของลำต้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม โดยในสภาพที่มีอัตราการปลูกปกติ จะมีการเพิ่มความสูงประมาณ 25-50 เซนติเมตรต่อปี ส่วนในการปลูกที่มีอัตราการปลูกหนาแน่น ลำต้นมีการเจริญเติบโตเร็วทำให้ ลำต้นมีความเร็วแต่ถ้าในสภาพที่มีการบังแสงอย่างมาก ลำต้นและใบมีการเจริญช้ามาก

ช่อดอกและดอก ช่อดอกเป็นแบบ compound spike หรือ spadix พัฒนามาจากตาที่มุมใบ (leaf axil) แยกออกเป็นช่อดอกตัวผู้และช่อดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน (monoecious plant)

ช่อดอกมีกาบหุ้มเรียกว่า spathe จำนวน 2 อัน คือ outer spathe และ inner spathe ก้านช่อดอก (peduncle) มีขนาดใหญ่ แกนช่อดอกเรียกว่า rachis

ช่อดอกยาวประมาณ 30-40 cm โดยช่อดอกตัวผู้มีความยาวมากกว่าช่อดอกตัวเมียแขนงช่อดอกเวียนเป็นเกลียวรอบแกนช่อดอก ปลายช่อดอกตัวเมียมีลักษณะแหลม แต่ช่อดอกตัวผู้ไม่แหลม ดอกไม่มีก้านดอก (sessile flower) ฝักตัวอยู่ติดกับแกนช่อดอกรองรับด้วย bract ช่อดอกตัวเมียมีจำนวนดอกย่อยที่พัฒนาเป็นผลปาล์มแตกต่างกัน กลุ่มดอกที่อยู่ส่วนกลางช่อดอกมีจำนวนดอกย่อยประมาณ 12-30 ดอก ส่วนกลุ่มดอกที่อยู่ส่วนปลายและส่วนล่างมีจำนวนดอกย่อยประมาณ 12 ดอกหรือน้อยกว่า การบานของดอกเริ่มบานจากส่วนโคนช่อดอกขึ้นไป ถ้าภายในกลุ่มดอกเดียวกันดอกย่อยที่อยู่บริเวณฐานจะบานก่อน

ผลและเมล็ด ผลเกิดเป็นช่อ เรียกว่า ทะลาย (bunch) เป็นแบบ drupe เยื่อหุ้มผลหรือเปลือก (pericarp) แบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น ได้แก่ เปลือกชั้นนอก (exocarp) ชั้นกลางหรือเนื้อผล (mesocarp หรือ pulp) และชั้นในหรือกะลา (endocarp) เนื้อผลเป็นส่วนที่รวมเปลือกชั้นนอกและชั้นกลาง และเมล็ดคือส่วนของกะลาและเนื้อในเมล็ด (kernal)

เปลือกชั้นนอกมีลักษณะเป็นผิวหนัง มีสารสีพวก carotene อยู่ทำให้ส่วนของผลที่สัมผัสกับแสงจะมีสีม่วงเข้ม และส่วนที่อยู่ด้านในที่สัมผัสกับแสงจะไม่มีสี เปลือกชั้นกลางประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่ให้น้ำมัน (oil-bearing tissue) 35-60 % และเส้นใยที่เรียงตามแนวยาวของผล 11-21

2.4.4 มะพร้าว(coconut)

มะพร้าวเป็นพืชน้ำมันที่มีผลผลิตเป็นอันดับ 6 ของโลก Family : *palmae* Genus : *Cocos* Species: *nucifera* น้ำมันมะพร้าวสกัดได้จากเนื้อมะพร้าวแห้งซึ่งเรียกว่า copra มีน้ำมันอยู่ประมาณ 65-72 % น้ำมันมะพร้าวใช้ประโยชน์ทั้งบริโภคและในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เนยเทียม สบู่ ผงซักฟอก มะพร้าวมีแหล่งกำเนิดที่ สันนิษฐานว่าอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย ปาปัวนิวกินี และบางส่วนของคาบสมุทร อินโดจีนซึ่งรวมประเทศไทยด้วย มะพร้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์ปาล์ม

ประเทศที่ผลิตมะพร้าวที่สำคัญของโลกได้แก่ ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย ปาปัวนิวกินี ศรีลังกา มาเลเซีย และหมู่เกาะทะเลใต้ในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งผลิตมะพร้าวได้รวมกันมากกว่า 90 % ของผลผลิตโลก นอกจากใช้ประโยชน์จากน้ำมันมะพร้าวแล้ว มะพร้าวยังเป็นพืชที่นำไปใช้ประโยชน์เกือบทุกส่วน เช่น เปลือกจากผลมะพร้าวนำไปแยกเส้นใยใช้ทำเชือก และเป็นวัสดุ

สำหรับทำเบาะรองนั่งและที่นอนกะลามะพร้าวใช้ทำเครื่องประดับและถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) ก้านใบใช้ทำไม้กวาด เป็นต้น

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก เมื่อนำผลมะพร้าวที่แก่แล้วไปเพาะหรืออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาภายในเวลาประมาณ 3-4 เดือน คือ คัพภะ (embryo) จะเจริญเติบโตและพัฒนาจนเป็นหน่อแทงออกจากกะลาและเปลือกสู่ภายนอก ในระยะแรกคัพภะจะเจริญออกสองทางคือ ขึ้นข้างบนออกนอกกะลา และลงข้างล่างอยู่ในกะลา ส่วนที่เจริญขึ้นข้างบนจะแทงทะลุดานี้ม่อออกไป ส่วนนี้จะเป็นโครงสร้างสีขาว มีขนาดเล็กประกอบด้วยพลมุล (plumule) และรากแรก (first root) ส่วนยอดของโครงสร้างนี้มีลักษณะแบนและมีรูปร่างเกือบเป็นวงกลม รากแรกจะเกิดอยู่ตรงส่วนกลาง ส่วนด้านข้างของโครงสร้างนี้จะมีการเจริญอย่างรวดเร็ว พัฒนาเป็นส่วนยอดภายในเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นเริ่มงอก รากแรกจะเจริญเติบโตและมีความยาวประมาณ 1 cm ส่วนของคัพภะ ที่เจริญลงข้างล่างซึ่งอยู่ภายในกะลาจะเจริญอย่างรวดเร็วโดยการดูดอาหารจากน้ำมะพร้าวกลายเป็นโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ เรียกว่า จาว (apple หรือ haustorium) ซึ่งต่อมาจะโตเต็มเนื้อที่ภายในกะลา ต้นอ่อนสามารถดูดอาหารจากน้ำและเนื้อมะพร้าวภายในผลโดยอาศัยลำเลียงจากจาว ในขณะที่ใบยังไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงและรากยังไม่สามารถดูดน้ำและแร่ธาตุจากดินได้ แต่หลังจากงอกได้ประมาณ 6 สัปดาห์ รากจะเจริญถึงดินและเริ่มทำหน้าที่ ในขณะที่หน่อแทงออกนอกเปลือกแล้วเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อนมีใบแรกที่เริ่มสังเคราะห์ด้วยแสงได้ รากแก่ที่เกิดจากผลมะพร้าวต่อมาจะตายไป

ลำต้น มะพร้าวเมื่อโตเต็มที่แล้วจะมีความสูงของลำต้นแตกต่างกันไปตามพันธุ์ตั้งแต่ 8-10 m ในพันธุ์เตี้ย จนถึง 15-20 m ในพันธุ์สูงเป็นลำต้นเดี่ยวมีแขนงและกิ่งก้านเพราะปราศจากตาข้าง (lateral bud) ที่โคนต้นอาจมีการพองตัวของลำต้นเรียกว่า สะโพก (bole) ซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์ของมะพร้าวในกลุ่มต้นสูง เนื้อสะโพกขึ้นมาลำต้นจะเจริญไปเป็นรูปทรงกระบอกและอาจจะโค้งบ้างเล็กน้อย

ใบ ใบมะพร้าวเป็นใบประกอบแบบ pinnate เกิดจากตาออก ประกอบด้วยก้านใบ (petiole) และจะมีใบย่อย (leaflet) จำนวนมากประมาณ 200-300 ใบ เกิดเป็นคู่ๆ สองข้างของก้านใบ ใบยาวประมาณ 0.75-1.00 เมตร ใบอ่อนเกิดขึ้นในใจกลางลำต้นใบย่อยจะแนบชิดติดก้านใบ ใบอ่อนทั้งใบจึงมีลักษณะยาวเรียวคล้ายดาบ และมีก้านใบสีน้ำตาลอ่อนเป็นแผ่นบางๆ หุ้มอยู่ใกล้ๆ โคนใบเมื่อใบมีอายุมากขึ้นและใบย่อยขยายแผ่กว้างแยกออกจากก้านใบ ใบจะค่อยๆ เอนออกจากใจกลาง

ต้นแล้ว โนม้ต่ำห้อยลงเรื่อยๆ ตามอายุของใบจนกระทั่งร่วงหลุดออกจากต้นทิ้งรอยแผลใบไว้ที่ ลำต้นในที่สุด

ช่อดอกและดอก ช่อดอกของมะพร้าวจะเกิดเหนือก้านใบที่ติดกับลำต้น โดยปกติเมื่อ มะพร้าวมีอายุแก่พอที่จะออกดอกได้ จะเกิดช่อดอกที่มุมใบ (leaf axil) จึงเป็นตัวบ่งถึงปริมาณการ เกิดช่อดอกและผลผลิตของมะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชพวก monococious คือมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียในต้นเดียวกันและเกิดใน ช่อดอกเดียวกัน ช่อดอกของมะพร้าวเป็นแบบ panicle เรียกว่าจั่น (spadix) ซึ่งประกอบไปด้วย แกนกลาง (rachis) และก้านย่อย (rachilla) หรือระแงหรือหางหนู ทั้งแกนกลางและก้านย่อยในระยะ แรกที่โผล่ออกมามุมใบจะมีกาบ (spathe) หุ้มอยู่ต่อมาช่อดอกจะค่อย ๆ โคนง้อลง โดยส่วนปลายที่มี ลักษณะแหลมจะชี้ลงทางด้านโคนต้น จากนั้นด้านล่างของกาบจะค่อยๆ แดงออกตลอดความยาว ของช่อดอก ซึ่งมีความยาวตั้งแต่ 0.75-2.00 m การแตกของกาบจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ในเวลา ประมาณ 1-2 วัน

ผลและเมล็ด ผลมะพร้าวเกิดเป็นช่อเรียกว่า ทะลาย (bunch) ผลเป็นแบบ fibrous drupe เรียกว่า nut มีเยื่อหุ้มผล (pericarp) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ

exocarp คือผิวนอกสุดของผลมะพร้าว เมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีต่าง ๆ ตั้งแต่เขียว เหลือง ส้ม น้ำตาล น้ำตาลแดง และสีงาช้าง เป็นต้น เมื่อผลแก่เต็มทีจนผลแห้งสีของผิวไม่ว่าแต่เดิมจะเป็นสี ะไรจะกลายเป็นสีน้ำตาลไหม้หรือสีค่อนข้างดำ

mesocarp คือเนื้อเยื่อทั้งหมดใต้ exocarp จนถึงกะลา (shell) เมื่อผลยังอ่อนอยู่จะมีความชื้น สูงอัดกันแน่นและมีสีขาว เมื่อผลแก่จะมีลักษณะเป็นเส้นใยมีความยืดหยุ่นและจะเปลี่ยนเป็น สีน้ำตาลอ่อน ความหนาของชั้นนี้ประมาณ 2-15 cm ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์

endocarp คือ กะลา ขณะที่ผลยังอ่อนกะลาจะมีสีขาวและอ่อนนุ่ม และสีจะค่อยๆ เปลี่ยน เป็นสีน้ำตาลจนถึงสีดำเมื่อแก่เต็มที เช่นเดียวกับความแข็งของกะลา คือ จะเพิ่มความแข็งขึ้นเมื่ออายุ มากขึ้นจนถึงเป็นส่วนที่แข็งที่สุดของมะพร้าวเมื่อผลแก่เต็มที่กะลาตรงส่วนที่ขั้วของผลจะมีตา 3 ตา ซึ่งแต่ละตาจะอยู่ระหว่างเส้นแบ่งกะลาเป็น 3 ส่วน เป็นตาบอดหรือตาแข็ง 2 ตา ส่วนอีกตา เป็น ตานิ่ม (soft eye) มีขนาดใหญ่ และอยู่ตรงส่วนที่กว้างที่สุดของกะลา เมื่อต้นอ่อนงอกจะแทง ผ่านทะลุตานิ่มนี้ออกมา ในกรณีที่ผลมะพร้าวไม่สร้างเอนโดสเปิร์มอาจเนื่องจากพันธุกรรมหรือ สภาพแวดล้อม ผลจะมีลักษณะดิบ เรียกว่า มะพร้าวทึบ

เมล็ดของมะพร้าวเรียกว่า seed หรือ kernel หรือ meat คือ ส่วนของผลที่อยู่ในกะลา ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) มีสีน้ำตาล อยู่ถัดจากกะลาเข้าไป เนื้อมะพร้าว

(solid endosperm) มีสีขาว น้ำมะพร้าว (liquid endosperm) และคัพภะ (embryo) ซึ่งอยู่ในเนื้อตรง
ตาน้ำ มีขนาดเล็กประมาณเท่าหัวเข็มหมุด มีสีเหลืองอ่อน

เมื่อผลยังอ่อนเนื้อมะพร้าวจะบางและออกนํ้า เมื่อแก่เนื้อจะแข็งและมีน้ำมันสะสมอยู่มาก
หนาประมาณ 4-20 mm ขึ้นอยู่กับพันธุ์และการบำรุงรักษา น้ำมะพร้าวมีกลูโคส 5-6 % และมีซูโครส
เล็กน้อยในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ เมื่อผลแก่ปริมาณกลูโคสจะลดลงแต่ซูโครสมากขึ้น เมื่อผลแก่น้ำ
มะพร้าวจะค่อนข้าง เหนียวและหนืดไป

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาการดูดซับ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม โดยใช้วัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว ตัวอย่างดังกล่าวเป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีเส้นใย ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าวัสดุที่เป็นเส้นใยสามารถดูดซับตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียมได้ ซึ่งทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือ

ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

ชื่อเครื่องมือ	ยี่ห้อ	รุ่น
1. ตู้ควัน	Major	-
2. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 4 ตำแหน่ง	Sartorius	PB-2105
3. โถดูดความชื้น	Cns simax	-
4. เต้าไฟฟ้าชนิดแผ่นให้ความร้อนและกวนสารละลาย ด้วยสนามแม่เหล็ก	Jenway	1203
5. เครื่องปั่นสาร	Waring	32 BL 79
6. เต้าอบ	Memmert	UM 500
7. เครื่องแยกอนุภาค	Rptap	RX-29-10
8. เครื่องอะตอมมิกแอปซอบชั่น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์	Perkin Elmer	3110
9. เครื่องอัลตราไวโอเลตและวิซิเบิลสเปกโตรสโกปี	Perkin Elmer	Lambda 12
10. พีเอชมิเตอร์	Orion	Model 1260

3.1.2 อุปกรณ์

1. Beaker
2. Volumetric flask
3. Measuring pipet
4. Spatula
5. Transfer pipet
6. Stirring rod
7. dropper
8. wash bottle
9. clamp
10. stand
11. wire gauze
12. parafilm
13. กระดาษขึงสาร
14. ถังน้ำ
15. กระจบอก – เข็มฉีดยา
16. ผ้าขาวบาง
17. กระดาษลิตมัส
18. ขวดพลาสติก
19. ถาด
20. กะละมัง
21. ถังน้ำเกลือ
22. คอตัมน์

3.1.3 สารเคมี

ตารางที่ 3.2 แสดงชื่อสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	เกรด	ยี่ห้อ
เลดไนเตรด	$Pb(NO_3)_2$	AR	Ajax Chemicals
แคดเมียมไนเตรด	$Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	AR	Ajax Chemicals
โครเมียมไนเตรด	$Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$	AR	Ajax Chemicals
เมทริลีนบลู	$C_{16}H_{18}N_3 \cdot Cl \cdot 2H_2O$	AR	Ajax Chemicals
ไนตริก	HNO_3	AR	Labs can Asia
โซเดียมไฮดรอกไซด์	$NaCl$	AR	BDH
ไฮโดรคลอริก	HCl	AR	BDH
Chromium Standard Solution	-	AR	BDH
Cadmium Standard Solution	-	AR	BDH
Lead Standard Solution	-	AR	BDH

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของวัสดุชุดขับ

3.2.1.1 การเตรียมวัสดุชุดขับ

นำผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปต้มด้วย 1 M ไฮโดรคลอริกจนครบ 3 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water) จนพีเอชเป็นกลางทิ้งไว้เกือบแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 °C 24 hr นำวัสดุทุกชนิดไปป่นให้ละเอียดจากนั้นนำผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าวไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 16 32 42 60 และ >60 Mesh นำอนุภาคที่แยกได้เก็บไว้ในโถดูดความชื้น

3.2.1.2 การศึกษาสมบัติทางเคมีของวัสดุดูดซับ

ก. การหาพีเอชของสารละลายที่แช่ด้วยวัสดุดูดซับ

ชั่งน้ำหนักวัสดุดูดซับผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว ด้วยเครื่องชั่งละเอียดน้ำหนัก 0.2000 g ลงในขวดรูปชมพู่ ปิเปิดน้ำปราศจากอ็อกซิเจน 25 ml ลงบนวัสดุดูดซับ ทิ้งไว้ 12 hr แล้ววัดค่าพีเอชสารละลายด้วยเครื่อง pH meter

3.2.1.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ

ก. ลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับ

หาลักษณะรูพรุนของผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว โดยการถ่ายภาพด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) โดยนำวัสดุดูดซับผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว มาเตรียมตัวอย่าง และนำไปถ่ายภาพด้วยเครื่อง scanning electron microscope

ข. การหาพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลางด้วยสารละลายเมทธิลีนบลู

ชั่งน้ำหนักวัสดุดูดซับหนัก 0.2000 กรัมดูดซับสารละลายเมทธิลีนบลูที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 225 250 275 300 350 400 450 500 550 600 660 700 750 800 850 900 950 และ 1,000 ppm ปิเปิดสารละลายเมทธิลีนบลู ปริมาตร 25 ml ลงบนวัสดุดูดซับ ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่องอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ความยาวคลื่น 662 nm

3.2.2 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับ ตะกั่ว โครเมียม แคลเดียมด้วยวัสดุดูดซับ

3.2.2.1 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของตัวถูกดูดซับ

ก. การเตรียม Standard ที่ 1000 ppm ของตะกั่ว โครเมียม และแคลเดียม

- Stock Solution ของตะกั่ว โครเมียม และแคลเดียม

ปิเปิดสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคลเดียมมา 10 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL ปรับปริมาตรด้วย 1M HNO จนครบ 100 mL

- Working Solution ของตะกั่ว โครเมียม และแคลเดียม

ปิเปิดสารละลายตะกั่วจาก Stock มา 2, 4, 6, 8 และ 10 ml ตามลำดับปรับปริมาตรด้วย 1 % HNO₃ จนครบ 100 mL นำไปวิเคราะห์ด้วย AAS ส่วนโครเมียม ปิเปิดสารละลายมาจาก Stock 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ และแคลเดียมปิเปิดสารละลายมาจาก Stock 0.25, 0.5, 1.5 และ 2 ตามลำดับ

ข. การศึกษาพีเอชของสารละลายตะกั่ว โครเมียม แคลเมียม

นำน้ำกลั่นไปวัดพีเอชให้ได้ 2 4 6 8 และ 10 โดยปรับด้วย 1 M ไนตริก และ 1M โซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อมาชั่งเลดไนเตรด 0.1598 g ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ปรับพีเอชไว้ข้างต้นให้ได้ปริมาตร 1000 mL แล้วนำมา Dilute 10 เท่า นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องAAS ต่อจากนั้นก็ทำโครเมียมไนเตรดและแคลเมียมไนเตรดเช่นเดียวกับเลดไนเตรด

3.2.2.2 การศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคลเมียมแบบถั่งแช่

ก. ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของการดูดซับ

นำวัสดุตัวอย่างที่เก็บไว้ในโถดูดความชื้นไปอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 1 hr นำวัสดุตัวอย่างมีขนาดอนุภาค 16 32 42 60 และ >60 Mesh ของผลต่าง ๆ มาชั่งน้ำหนัก 0.2000 g ใส่ในขวดพลาสติก ปิดเปิดสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคลเมียม ที่มีความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 25 ml แช่ทิ้งไว้ 24 hr แล้วนำสารละลายใส่ที่ได้ไปวัดปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 217, 357.9 และ 228.8 nm สำหรับตะกั่ว โครเมียม และแคลเมียม ตามลำดับ

ข. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ชั่งวัสดุดูดซับขนาดอนุภาค 60 Mesh น้ำหนัก 0.2000 g ใส่ในขวดพลาสติกปิดเปิดสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคลเมียม ที่มีความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 25 ml ใส่ลงในภาชนะที่บรรจุวัสดุดูดซับ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 4 8 12 24 และ 48 hr แล้วนำสารละลายใส่ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 217, 357.9 และ 288.8 nm ตามลำดับ

ค. การศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับ

ชั่งน้ำหนักวัสดุดูดซับขนาดอนุภาค 60 Mesh น้ำหนัก 0.2000 g ใส่ในขวดพลาสติก ปิดเปิดสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคลเมียม ที่มีความเข้มข้น 100 ppm และ ปรับพีเอชของสารละลายให้มีค่าต่าง ๆ ดังนี้ 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 ปริมาตร 25 ml แช่ทิ้งไว้ 24 hr นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 217, 357.9 และ 288.8 nm สำหรับตะกั่ว โครเมียม และแคลเมียม ตามลำดับ

ง. การศึกษาผลของแคทไอออนต่อการดูดซับ

ชั่งวัสดุดูดซับขนาดอนุภาค 60 Mesh น้ำหนัก 0.2000 g ใส่ในขวดพลาสติก ปิดเปิดสารละลายผสมของ ตะกั่ว โครเมียม และแคลเมียม ที่มีความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 25 mL และ ปรับพีเอชของสารละลายให้พีเอชอยู่ในช่วง 4 – 5 แช่ทิ้งไว้ 24 hr นำสารละลายใส่ที่ได้ไปวิเคราะห์

โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 217, 357.9 และ 288.8 nm สำหรับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ตามลำดับ

จ. ผลของความเข้มข้นของสารละลายต่อการดูดซับ

ชั่งวัสดุดูดซับหนัก 0.2000 g ปิเปตสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 25 50 75 100 125 150 200 250 และ 300 ppm ปริมาตร 25 mL ปรับพีเอชที่เหมาะสม แช่ทิ้งไว้ 24 hr นำสารละลายใส่ที่ได้ไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 217, 357.9 และ 288.8 nm สำหรับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ตามลำดับ

3.2.2.3 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียมแบบต่อเนื่อง

ในการศึกษาแบบต่อเนื่องได้ทำการบรรจุวัสดุดูดซับแต่ละชนิดลงในคอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.0 mm โดยศึกษาอัตราการไหลของสารละลาย ผลของความสูงของคอลัมน์ และศึกษาความจุของวัสดุดูดซับ โดยมีวิธีการดังนี้

ก. การศึกษาอัตราการไหลของสารละลาย

เตรียมสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ให้มีความเข้มข้น 10 ppm ปรับพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ผ่านสารละลายลงในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุดูดซับแต่ละชนิดที่มีความสูง 6 cm โดยควบคุมอัตราการไหล 1, 3.6 และ 5.6 mL/min และเก็บสารละลายส่วนที่ผ่านออกมาครั้งละ 25 mL แล้วนำสารละลายใส่ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 217, 357.9 และ 288.8 nm สำหรับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ตามลำดับ

ข. การศึกษาความสูงของคอลัมน์ต่อการดูดซับ

เตรียมสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ให้มีความเข้มข้น 100 ppm ปรับพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ผ่านลงในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุดูดซับแต่ละชนิดที่มีความสูง 6 10 และ 15 cm โดยควบคุมอัตราการไหล 1 mL/min และเก็บสารละลายส่วนที่ผ่านออกมาครั้งละ 25 mL แล้วนำสารละลายใส่ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 217 357.9 และ 288.8 nm สำหรับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ตามลำดับ

ค. การหาค่าความจุของวัสดุดูดซับ

เตรียมสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ที่ความเข้มข้น 100 ppm และปรับพีเอชในช่วง 4 – 5 ผ่านลงในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุดูดซับแต่ละชนิด ที่มีความสูง 15 cm โดยควบคุมอัตราการไหล 1 mL/min เก็บสารละลายที่ผ่านออกมาครั้งละ 25 ml ทั้งหมด 24 ครั้ง

แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่
ความยาวคลื่น 217.357 และ 288.8 nm สำหรับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 ผลการศึกษาสมบัติเบื้องต้นและวัสดุดูดซับ

4.1.1 ผลการเตรียมวัสดุดูดซับ

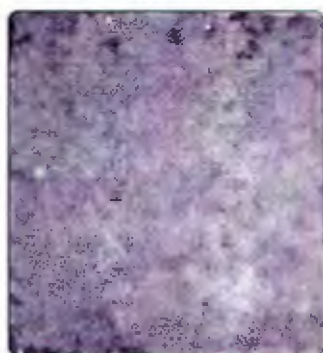
จากการนำผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมากและผลมะพร้าวมาทำความสะอาดโดยการต้มด้วยกรดไฮดรอกซิลอริก ซึ่งเป็นการทำลายหรือกำจัดสิ่งเจือปนทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากอิออนจนพีเอชเป็นกลาง นำอบที่อุณหภูมิ 120 °C 24 ชั่วโมง ปั่นละเอียด แล้วร่อนด้วยตะแกรงจนได้ขนาด 16 32 42 60 และ > 60 Mesh ดังแสดงในภาพที่ 4.1



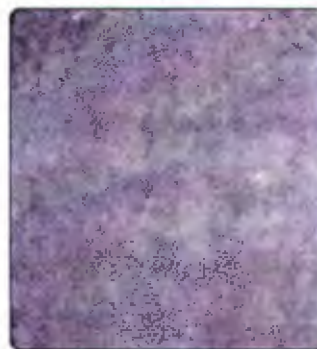
ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายขนาดอนุภาคของวัสดุชนิดต่างๆ

ก. ผลปาล์ม

ข. ผลตาลโตนด

ค. ผลหมาก

ง. ผลมะพร้าว

4.1.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของวัสดุดูดซับ

4.1.2.1 ผลของพีเอชของสารละลายที่แช่วัสดุดูดซับ

เมื่อเติมน้ำกลั่นลงในวัสดุดูดซับทั้ง 4 ชนิด วัดค่าพีเอชของสารละลายที่แช่ด้วยวัสดุดูดซับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับก่อนแช่และหลังแช่

วัสดุดูดซับ	พีเอชของสารละลาย	
	ก่อนแช่	หลังแช่
ผลปาล์ม	6.3	6.58
ผลตาลโตนด	6.3	6.56
ผลหมาก	6.3	6.56
ผลมะพร้าว	6.3	6.57

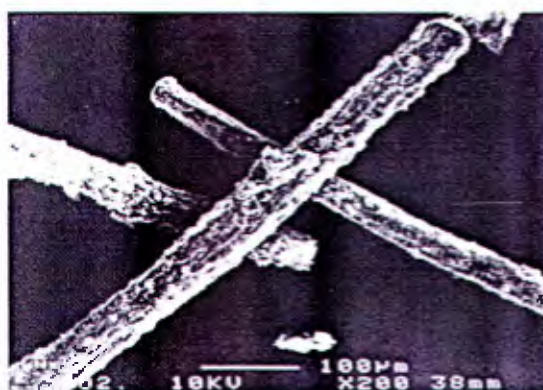
จากตารางที่ 4.1 พบว่าวัสดุดูดซับทั้ง 4 ชนิด หลังจากแช่จะได้สารละลายที่ให้ค่าพีเอชในช่วงที่เป็นกลางประมาณ 6.00 ถึง 7.00 และเมื่อเปรียบเทียบกับพีเอชเริ่มต้นของน้ำพบว่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น

4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ

4.1.3.1 ผลการถ่ายภาพลักษณะรูพรุนของวัสดุดูดซับ

ก. ผลปาล์ม

จากการนำวัสดุดูดซับผลปาล์มไปถ่ายภาพด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.2 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.2 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของผลปาล์มที่กำลังขยายต่างๆ

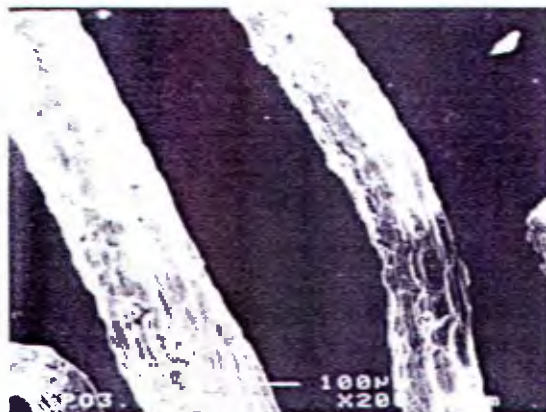
ก. กำลังขยาย 10 KV x 200 , 100 μm

ข. กำลังขยาย 10 KV x 1,500 , 10 μm

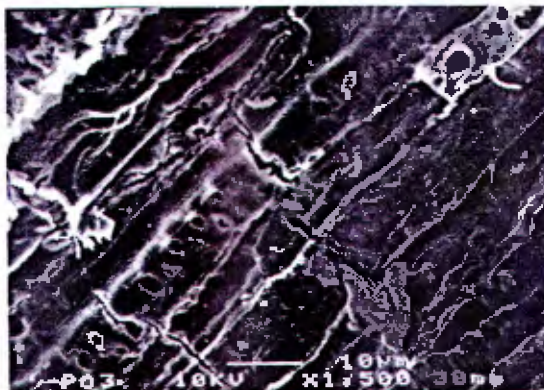
จากภาพที่ 4.2 (ก) ถ่ายภาพขนาด 100 μm พบลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันลักษณะเป็นสายยาว ผิวขรุขระ เมื่อเพิ่มกำลังขยายด้วยภาพ 10 μm ดังภาพที่ 4.2 (ข) พบลักษณะก้อนผลึก ผิวด้านนอกไม่เรียบ มีโพรงขนาดใหญ่ ผิวมีรูพรุนและขรุขระ ไม่สม่ำเสมอมีรูจำนวนมาก และความลึกของรูไม่สม่ำเสมอ

ข. ผลตาลโตนด

จากการนำวัสดุคูดซับผลตาลโตนดไปถ่ายภาพด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.3 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของผลตาลโตนดที่กำลังขยายต่างๆ

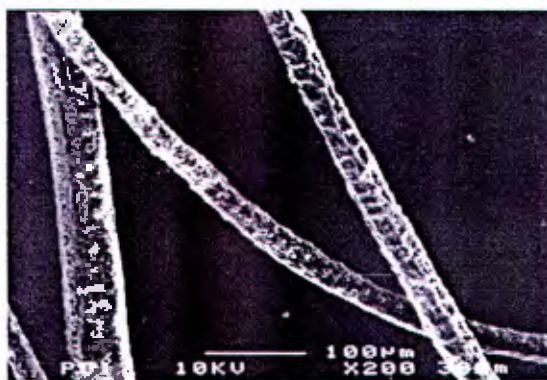
ก. กำลังขยาย 10 KV x 200 , 100 μm

ข. กำลังขยาย 10 KV x 1,500 , 10 μm

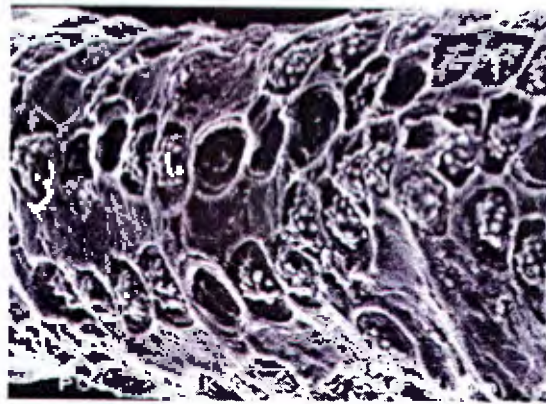
จากภาพ 4.3 (ก) ถ่ายภาพกำลังขยายต่ำสุดขนาดภาพ 100 μm พบผลตาลโตนดมีลักษณะเป็นเส้นยาวมีขนาดใหญ่กว่าผลปาล์ม แต่เมื่อขยายกำลังมากขึ้น ดังภาพ 4.3 (ข) ขนาดภาพ 10 μm โดยขยายลักษณะแต่ละเส้นพบผิวหนังด้านนอกมีรูหรือโพรงเล็ก ในปริมาณน้อยมาก และขนาดของรูพรุนและตำแหน่งรูเว้นช่องห่างค่อนข้างสม่ำเสมอ

ค. ผลหมาก

จากการนำวัสดุคูดซับผลหมากไปถ่ายภาพด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.4 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของผลหมากที่กำลังขยายต่างๆ

ก. กำลังขยาย 10 KV x 200 , 100 μ m

ข. กำลังขยาย 10 KV x 1,500 , 10 μ m

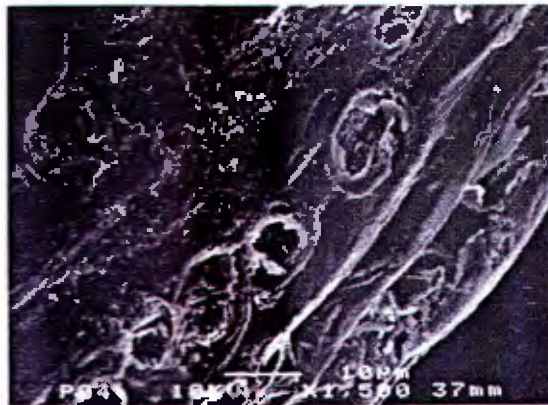
จากภาพที่ 4.4 (ก) ภาพถ่ายขนาด 100 μ m พบลักษณะเป็นสายยาว ผิวด้านนอกขรุขระไม่เรียบ เมื่อเพิ่มกำลังขยายด้วยขนาดภาพ 10 μ m ดังภาพที่ 4.4 (ข) โดยขยายลักษณะแต่ละเส้น พบผิวหมากด้านนอกมีรูหรือโพรงเล็กๆเป็นหลุมลึก และขนาดของรูและตำแหน่งของรูอยู่ใกล้ชิดกัน รวมทั้งระยะห่างของรูและขนาดความกว้างของรูสม่ำเสมอและใกล้เคียงกัน แสดงถึงผิววัสดุดูดซับมีความพรุนมากกว่าผลตาล โตนดและผลปาล์ม

ง. ผลมะพร้าว

จากการนำวัสดุดูดซับผลมะพร้าวไปถ่ายภาพด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.5 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของผลมะพร้าวที่กำลังขยายต่างๆ

ก. กำลังขยาย 10 KV x 200 , 100 μm

ข. กำลังขยาย 10 KV x 1,500 , 10 μm

จากภาพที่ 4.5 (ก) ภาพถ่ายกำลังขยายต่ำสุดขนาดภาพ 100 μm พบผลมะพร้าวมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นสายยาว เมื่อเพิ่มกำลังขยายด้วยขนาดภาพ 10 μm ดังภาพที่ 4.5 (ข) จะพบหลุมจำนวนค่อนข้างต่อเนื่องและเห็นชัดเจน รวมทั้งระยะห่างและขนาดความกว้างของรูผิวหมากด้านนอกมีรูหรือโพรงเล็กๆเป็นหลุมเล็ก และขนาดของรูและตำแหน่งของรูอยู่ใกล้ชิดกัน รวมทั้งระยะห่างของรูและขนาดความกว้างของรูสม่ำเสมอและใกล้เคียงกันด้วย

4.1.3.2 ผลการหาพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลางด้วยสารละลายเมทิลีนบลู

ได้ทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลางของวัสดุดูดซับ 4 ชนิด ได้แก่ ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และ ผลมะพร้าว แสดงดังตารางที่ 4.2

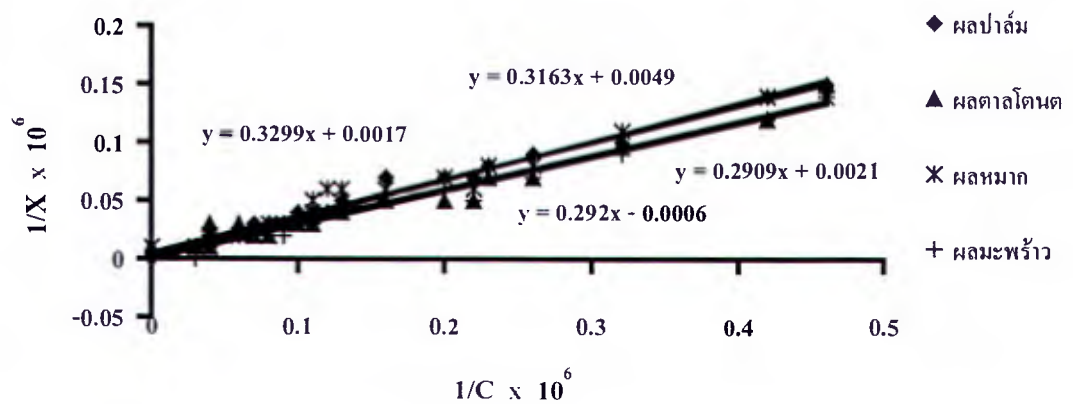
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า $1/X$ กับ $1/C$ ของวัสดุผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และ ผลมะพร้าว

ความ เข้มข้น	ผลปาล์ม		ผลตาลโตนด		ผลหมาก		ผลมะพร้าว	
	$1/X(10^6)$	$1/C(10^6)$	$1/X(10^6)$	$1/C(10^6)$	$1/X(10^6)$	$1/C(10^6)$	$1/X(10^6)$	$1/C(10^6)$
30	0.15	0.46	0.15	0.47	0.14	0.45	0.14	0.45
40	0.14	0.42	0.12	0.37	0.14	0.44	0.12	0.38
50	0.10	0.32	0.10	0.29	0.11	0.35	0.09	0.29
60	0.09	0.26	0.07	0.23	0.08	0.26	0.07	0.23
70	0.08	0.23	0.07	0.21	0.08	0.24	0.07	0.21
80	0.07	0.20	0.05	0.17	0.07	0.21	0.06	0.20
90	0.07	0.22	0.05	0.15	0.06	0.20	0.05	0.14
100	0.07	0.16	0.05	0.15	0.06	0.29	0.05	0.14
110	0.05	0.13	0.04	0.13	0.06	0.18	0.04	0.12
120	0.04	0.13	0.04	0.13	0.06	0.18	0.04	0.12
130	0.04	0.12	0.04	0.12	0.06	0.17	0.04	0.11
140	0.04	0.12	0.04	0.12	0.06	0.16	0.04	0.11
150	0.04	0.11	0.04	0.13	0.05	0.14	0.04	0.10
160	0.04	0.11	0.03	0.09	0.05	0.14	0.03	0.09
170	0.04	0.11	0.03	0.09	0.04	0.11	0.03	0.08
180	0.04	0.10	0.03	0.13	0.03	0.11	0.03	0.08
190	0.03	0.09	0.03	0.09	0.03	0.10	0.02	0.08
200	0.03	0.08	0.02	0.07	0.03	0.08	0.02	0.06
225	0.03	0.08	0.03	0.08	0.03	0.08	0.02	0.06
250	0.03	0.08	0.02	0.06	0.03	0.08	0.02	0.06
275	0.03	0.08	0.03	0.10	0.02	0.07	0.02	0.05
300	0.03	0.07	0.02	0.06	0.02	0.06	0.02	0.05
350	0.02	0.06	0.03	0.09	0.02	0.06	0.02	0.05
400	0.02	0.04	0.03	0.11	0.02	0.05	0.02	0.05
450	0.02	0.04	0.02	0.06	0.02	0.05	0.01	0.05

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า $1/X$ กับ $1/C$ ของวัสดุผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และ ผลมะพร้าว (ต่อ)

ความ เข้มข้น	ผลปาล์ม		ผลตาลโตนด		ผลหมาก		ผลมะพร้าว	
	$1/X(10^6)$	$1/C(10^6)$	$1/X(10^6)$	$1/C(10^6)$	$1/X(10^6)$	$1/C(10^6)$	$1/X(10^6)$	$1/C(10^6)$
500	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02	0.04	0.01	0.05
550	0.01	0.04	0.01	0.05	0.02	0.04	0.01	0.04
600	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04
650	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03
700	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04
750	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.04
800	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.04
850	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
900	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
950	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.02
1000	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.02

จากตารางที่ 4.2 นำมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/X$ กับ $1/C$ ของการดูดซับสี่เมทธานีนับด้วยวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/X$ กับ $1/C$ ของวัสดุดูดซับ

จากภาพที่ 4.6 จะได้จุดตัดแกน $1/X$ ซึ่งทราบว่า X_{\max} นำมาคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะวิธี
แลงเมียร์ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตัวอย่างการคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะของผลปาล์ม

$$\text{จากสมการ } S = X_{\max} \cdot N \cdot (S/n)$$

เมื่อ S คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)

N คือ เลขอาโวคาโดมีค่าเท่ากับ 6.02×10^{23} โมเลกุล

n คือ จำนวนการรวมกลุ่ม เป็นไบเซลล์เล็กของสี

(มีค่าเท่ากับ 2.5 สำหรับเมทิลีนบลู)

S คือ พื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยไอออนสี 1 โมเลกุล (มีค่าเท่ากับ 120 \AA^2 สำหรับ
เมทิลีนบลู)

X_{\max} คือ จำนวนโมลของสีต่อกรัมวัสดุที่เพียงพอต่อการสร้างชั้นการดูดซับแบบ
ชั้นเดียว (mol/g)

$$\begin{aligned} S &= 0.0017 \times 6.02 \times 10^{23} \times (120 \times 10^{-20} / 2.5) \text{ m}^2/\text{g} \\ &= 173.38 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

\therefore พื้นที่ผิวจำเพาะของผลปาล์มมีค่า เท่ากับ $173.38 \text{ m}^2/\text{g}$

การคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะของผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว
ก็คำนวณได้ทำนองเดียวกันนี้ ผลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ โดยใช้วิธีการดูดซับสี

วัสดุดูดซับ	พื้นที่ผิวจำเพาะ m^2/g
ผลปาล์ม	173.38
ผลตาลโตนด	144.48
ผลหมาก	57.79
ผลมะพร้าว	491.23

4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับ ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ด้วยวัสดุดูดซับ

4.2.1 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของตัวดูดซับ

4.2.1.1 การศึกษาพีเอชของสารละลาย ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม

จากการศึกษาผลของพีเอช โดยทำการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายตั้งแต่ 2.0 ถึง 10.0 ว่ามีผลต่อปริมาณการดูดซับ ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับ ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม

(pH)	ปริมาณการดูดซับ (m ² /g)		
	ตะกั่ว	โครเมียม	แคดเมียม
2	21.18 ± 0.25	1.92 ± 1.92	1.41 ± 0.02
4	22.15 ± 0.89	1.87 ± 1.87	1.50 ± 0.02
6	19.87 ± 0.43	1.80 ± 1.80	2.41 ± 0.11
8	19.49 ± 0.43	1.62 ± 1.62	1.27 ± 0.04
10	11.43 ± 1.57	1.84 ± 1.84	0.22 ± 0.09

จากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ในพีเอช 2 ถึง 6 พบว่าปริมาณการดูดซับดูดได้ปริมาณมาก แต่เมื่อพีเอช 8 ถึง 10 ปริมาณการดูดซับลดลงเกิดจากการตกตะกอนทำให้ปริมาณการดูดซับลดลงด้วย ที่ พีเอช 4 พบว่าตะกั่วจะดูดได้สูงสุด รองลงมา โครเมียม แคดเมียม ตามลำดับ

4.2.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ด้วยผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว แบบถังแช่และแบบต่อเนื่อง

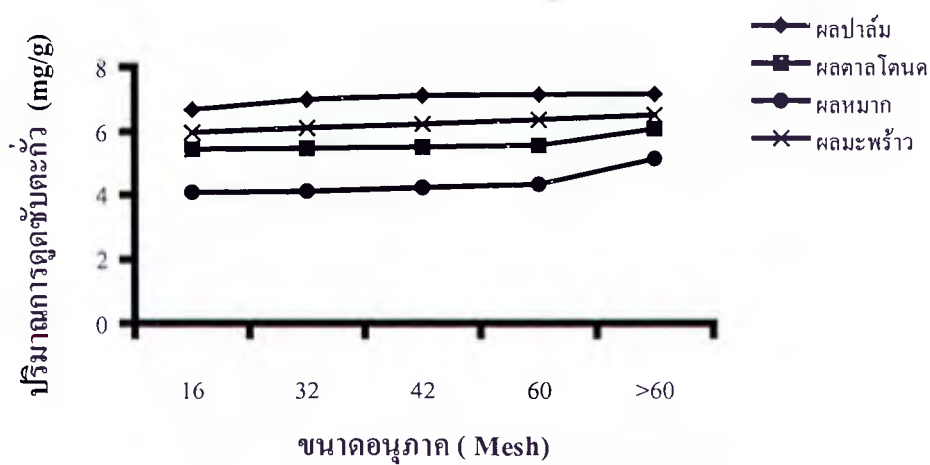
4.2.2.1 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม แบบถังแช่

ก. ผลของการศึกษานาณอนุภาคต่อการดูดซับ

จากการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคในการดูดซับ เพื่อหาขนาดอนุภาคที่เหมาะสมหรือขนาดอนุภาคที่ถึงสมดุล โดยปริมาณการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม จะคงที่หรืออิ่มตัวได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5,4.6,4.7 และภาพที่ 4.7,4.8,4.9

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว

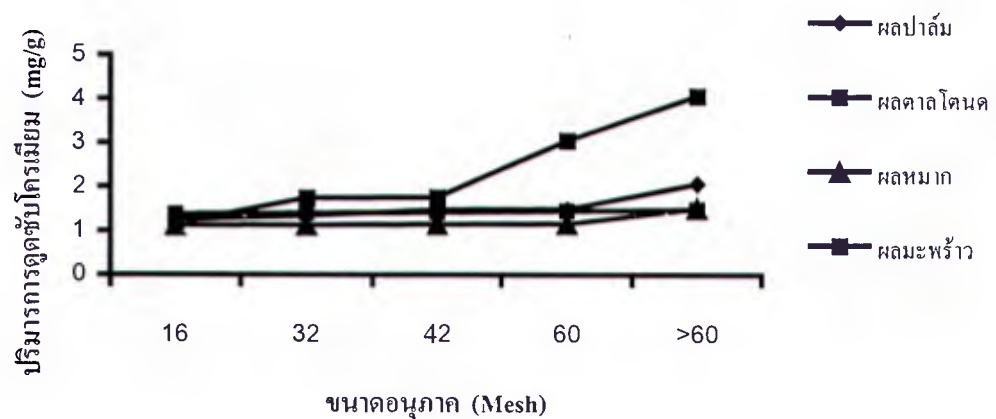
ขนาดอนุภาค (Mesh)	ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ mg/g			
	ผลปาล์ม	ผลตาลโตนด	ผลหมาก	ผลมะพร้าว
16	6.69 ± 0.23	5.46 ± 0.48	4.10 ± 0.22	5.97 ± 0.16
32	7.01 ± 0.35	5.49 ± 0.13	4.14 ± 0.21	6.13 ± 0.19
42	7.13 ± 0.32	5.52 ± 0.34	4.25 ± 0.24	6.25 ± 0.31
60	7.16 ± 0.21	5.57 ± 0.09	4.35 ± 0.71	6.37 ± 0.16
<60	7.18 ± 0.44	6.10 ± 0.34	5.15 ± 0.15	6.52 ± 0.11



ภาพที่ 4.7 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม

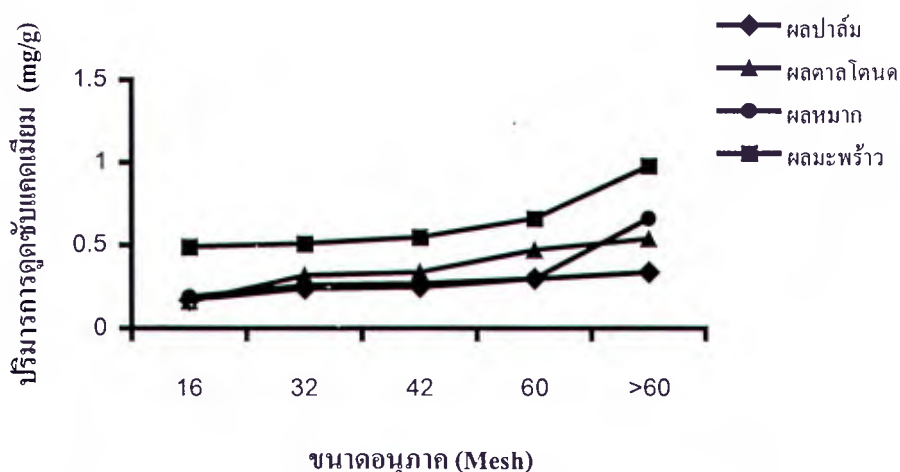
ขนาดอนุภาค (Mesh)	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ mg/g			
	ผลปาล์ม	ผลตาลโตนด	ผลหมาก	ผลมะพร้าว
16	1.25 ± 0.21	1.38 ± 0.30	1.12 ± 0.11	1.16 ± 0.12
32	1.34 ± 0.30	1.40 ± 0.21	1.13 ± 0.12	1.74 ± 0.20
42	1.47 ± 0.22	1.41 ± 0.24	1.15 ± 0.14	1.76 ± 0.24
60	1.49 ± 0.20	1.45 ± 0.30	1.16 ± 0.21	3.05 ± 0.17
<60	2.06 ± 0.30	1.47 ± 0.40	1.51 ± 0.31	4.06 ± 0.21



ภาพที่ 4.8 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม

ขนาดอนุภาค (Mesh)	ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับ mg/g			
	ผลปาล์ม	ผลตาลโตนด	ผลหมาก	ผลมะพร้าว
16	0.17 ± 0.31	0.16 ± 0.31	0.19 ± 0.21	0.49 ± 0.42
32	0.24 ± 0.37	0.32 ± 0.48	0.26 ± 0.21	0.51 ± 0.12
42	0.25 ± 0.28	0.34 ± 0.31	0.27 ± 0.47	0.55 ± 0.07
60	0.30 ± 0.26	0.47 ± 0.28	0.30 ± 0.39	0.66 ± 0.06
<60	0.34 ± 0.31	0.54 ± 0.21	0.66 ± 0.41	0.98 ± 0.08



ภาพที่ 4.9 แสดงผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ในวัสดุดูดซับแต่ละชนิดในช่วงแรกมีการดูดซับน้อยเมื่อลดขนาดอนุภาคในการดูดซับมากขึ้น พบว่าปริมาณการดูดซับมากขึ้นแต่ชนิดดังนี้ 16 , 32 , 42 ,60 และ < 60 ตามลำดับ สำหรับวัสดุปริมาณการดูดซับตะกั่ว ผลหมากดูดซับได้สูงสุด รองลงมา ผลตาลโตนด ผลมะพร้าว ผลปาล์ม ตามลำดับ ปริมาณการดูดซับโครเมียม ผลหมากดูดซับได้ดีที่สุด รองลงมา ผลตาลโตนด ผลปาล์ม ผลมะพร้าวตามลำดับ และปริมาณการดูดซับแคดเมียม ผลปาล์มดูดซับได้สูงสุด รองลงมา

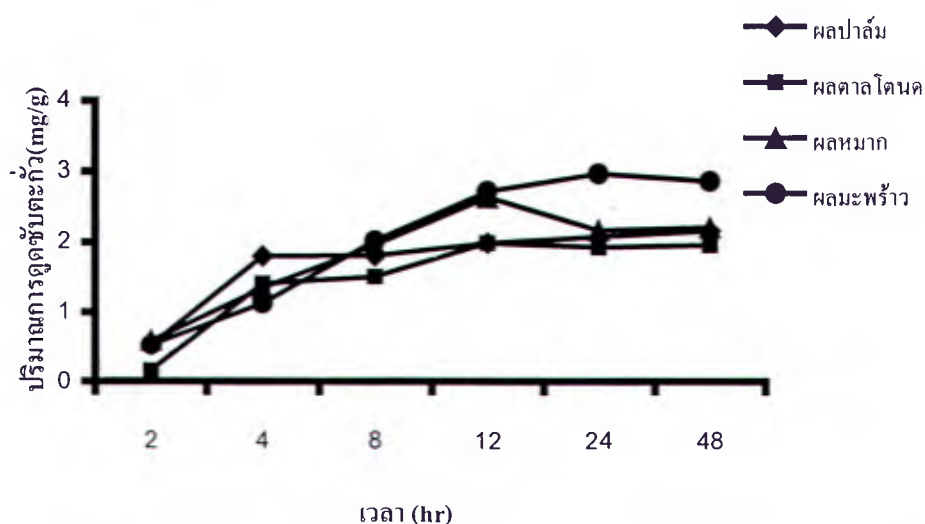
ผลหมาก ผลตาลโตนดและผลมะพร้าว ตามลำดับ สำหรับขนาดอนุภาคที่ 60 ตะกั่วจะดูดซับได้สูงสุดรองลงมา โครเมียม แคดเมียม ตามลำดับ

ข. ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

จากการเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมหรือเวลาที่ถึงสมดุล โดยปริมาณการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม จะคงที่หรืออิมตัวโดยแสดงผลดังตาราง 4.8,4.9,4.10 และภาพที่ 4.10,4.11,4.12

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว

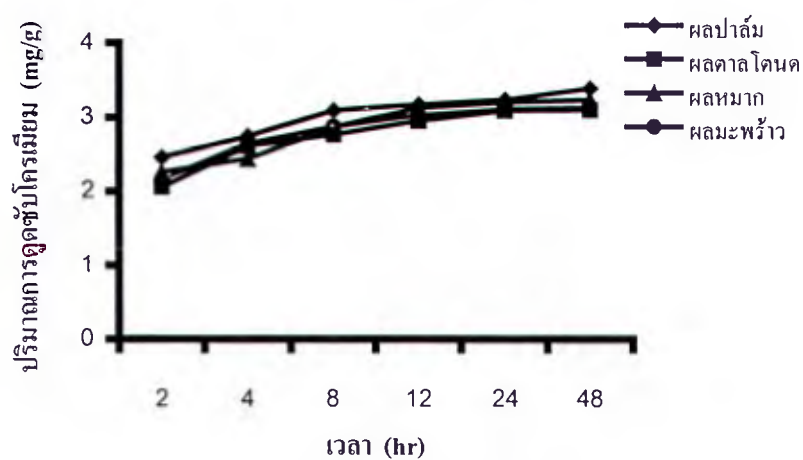
เวลา (hr)	ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ mg/g			
	ผลปาล์ม	ผลตาลโตนด	ผลหมาก	ผลมะพร้าว
2	1.96 ± 0.02	1.44 ± 0.23	1.40 ± 0.04	1.26 ± 0.01
4	2.45 ± 0.03	2.09 ± 0.06	1.89 ± 0.12	1.97 ± 0.02
8	3.06 ± 0.03	2.17 ± 0.02	1.98 ± 0.21	2.08 ± 0.12
12	3.06 ± 0.07	2.27 ± 0.09	2.09 ± 0.17	3.48 ± 0.18
24	3.65 ± 0.12	2.42 ± 0.05	2.28 ± 0.06	3.64 ± 0.20
48	3.77 ± 0.13	2.49 ± 0.01	2.41 ± 0.04	3.69 ± 0.21



ภาพที่ 4.10 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว

ตารางที่ 4.9 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม

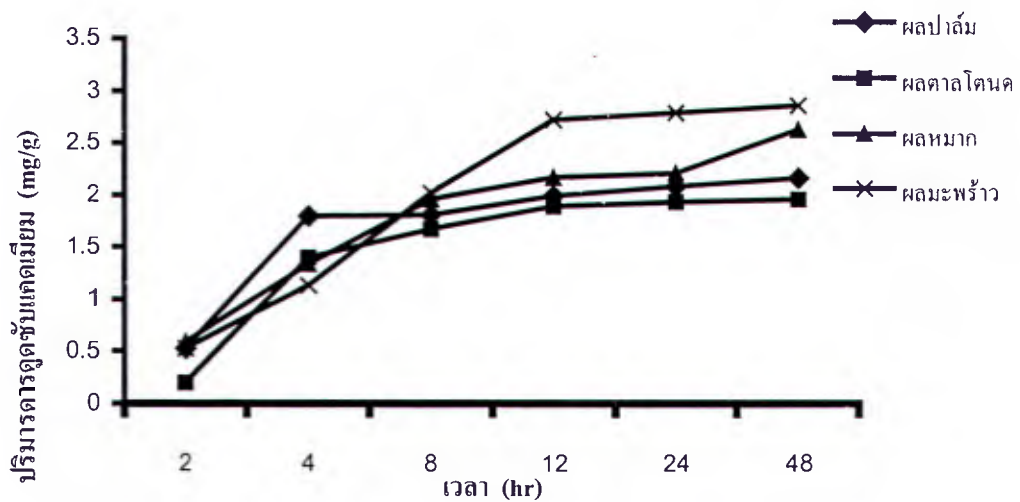
เวลา (hr)	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ mg/g			
	ผลปาล์ม	ผลตาลโตนด	ผลหมาก	ผลมะพร้าว
2	2.46 ± 0.03	2.06 ± 0.11	2.26 ± 0.08	2.16 ± 0.14
4	2.75 ± 0.13	2.61 ± 0.24	2.44 ± 0.09	2.65 ± 0.17
8	3.09 ± 0.04	2.77 ± 0.13	2.87 ± 0.05	2.88 ± 0.11
12	3.17 ± 0.04	2.95 ± 0.04	3.12 ± 0.12	3.03 ± 0.93
24	3.24 ± 0.03	3.12 ± 0.03	3.21 ± 0.02	3.11 ± 0.08
48	3.31 ± 0.07	3.11 ± 0.01	3.27 ± 0.48	3.13 ± 0.46



ภาพที่ 4.11 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม

เวลา (hr)	ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับ mg/g			
	ผลปาล์ม	ผลตาลโตนด	ผลหมาก	ผลมะพร้าว
2	0.53 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.59 ± 0.03	0.53 ± 0.01
4	1.80 ± 0.06	1.40 ± 0.02	1.34 ± 0.13	1.13 ± 0.01
8	1.81 ± 0.12	1.67 ± 0.17	1.96 ± 0.09	2.02 ± 0.02
12	1.99 ± 0.17	1.89 ± 0.21	2.17 ± 0.07	2.72 ± 0.13
24	2.08 ± 0.05	1.93 ± 0.25	2.21 ± 0.21	2.79 ± 0.18
48	2.16 ± 0.03	1.96 ± 0.15	2.63 ± 0.43	2.86 ± 0.17



ภาพที่ 4.12 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ในวัสดุดูดซับทุกชนิดในช่วงแรกมีการดูดซับน้อยเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับมากขึ้นพบว่าปริมาณการดูดซับมากขึ้น แต่ระยะชนิดดังนี้ 2,4,8,12,24 และ 48 ตามลำดับ สำหรับวัสดุปริมาณการดูดซับตะกั่ว ผลหมากดูดซับได้สูงสุด รองลงมา ผลตาลโตนด ผลมะพร้าว ผลปาล์มตามลำดับ ปริมาณการดูดซับโครเมียม ผลตาลโตนดดูดซับได้สูงสุด รองลงมาผลมะพร้าว ผลหมาก ผลปาล์มตามลำดับ และ

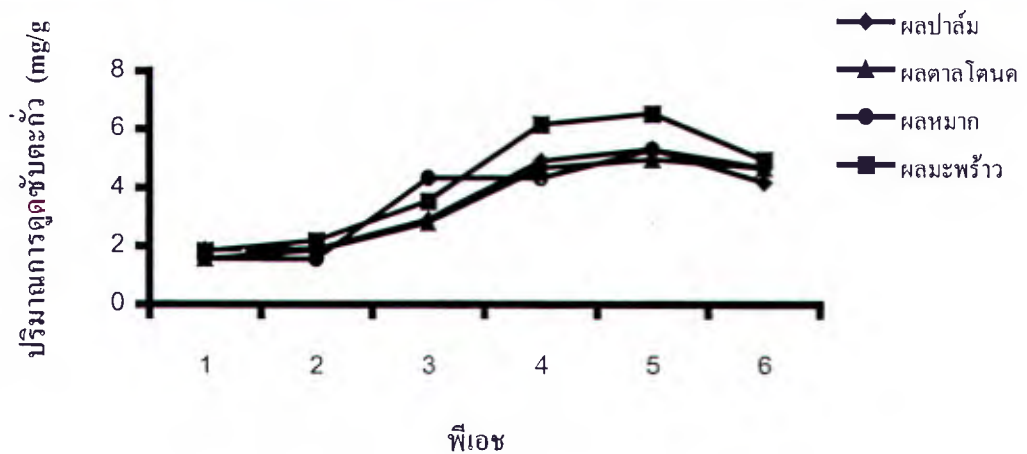
ปริมาณการดูดซับแคดเมียม ผลตาลโตนดดูดซับได้สูงสุด รองลงมาผลปาล์ม ผลหมาก และผลมะพร้าวตามลำดับ สำหรับเวลาที่ 12 ชั่วโมง ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียมดูดซับได้ใกล้เคียงกัน

ค. ผลการศึกษาพีเอชต่อการดูดซับ

จากการศึกษาผลของพีเอช เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ ตั้งแต่ 1 ถึง 6 ว่ามีผลต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.11,4.12,4.13 และภาพที่ 4.13,4.14 , 4.15

ตารางที่ 4.11 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว

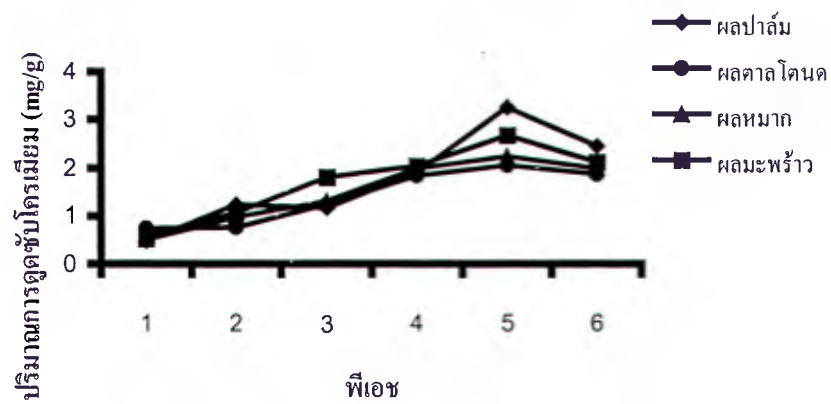
(pH)	ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ mg/g			
	ผลปาล์ม	ผลตาลโตนด	ผลหมาก	ผลมะพร้าว
1	1.86 ± 0.43	1.56 ± 0.02	1.56 ± 0.01	1.83 ± 0.04
2	1.87 ± 0.03	1.84 ± 0.42	1.55 ± 0.01	2.17 ± 0.04
3	2.89 ± 0.06	2.79 ± 0.01	4.32 ± 0.29	3.52 ± 0.42
4	4.91 ± 0.19	4.66 ± 0.07	4.31 ± 0.35	6.16 ± 0.00
5	5.31 ± 0.15	4.95 ± 0.33	5.29 ± 0.01	6.52 ± 0.40
6	4.16 ± 0.41	4.66 ± 0.02	4.66 ± 0.20	4.94 ± 0.46



ภาพที่ 4.13 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว

ตารางที่ 4.12 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม

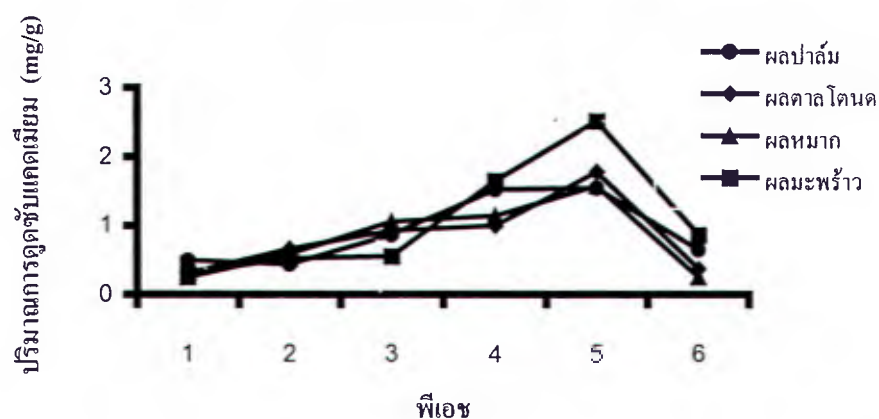
(pH)	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ mg.g^{-1}			
	ผลปาล์ม	ผลตาลโตนด	ผลหมาก	ผลมะพร้าว
1	0.48 ± 0.34	0.74 ± 0.32	0.51 ± 0.02	0.58 ± 0.12
2	1.23 ± 0.30	0.76 ± 0.52	0.97 ± 0.07	1.07 ± 0.19
3	1.17 ± 0.06	1.23 ± 0.42	1.30 ± 0.05	1.80 ± 0.21
4	1.90 ± 0.19	1.84 ± 0.12	1.98 ± 0.01	2.04 ± 0.22
5	3.26 ± 0.15	2.06 ± 0.01	2.24 ± 0.27	2.68 ± 0.18
6	2.45 ± 0.28	1.87 ± 0.28	1.99 ± 0.02	2.13 ± 0.02



ภาพที่ 4.14 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม

ตารางที่ 4.13 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม

(pH)	ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับ mg/g			
	ผลปาล์ม	ผลตาลโตนด	ผลหมาก	ผลมะพร้าว
1	0.50 ± 0.21	0.31 ± 0.03	0.25 ± 0.38	0.31 ± 0.28
2	0.44 ± 0.03	0.67 ± 0.01	0.59 ± 0.29	0.53 ± 0.01
3	0.89 ± 0.09	0.93 ± 0.21	1.06 ± 0.42	0.56 ± 0.09
4	1.53 ± 0.21	1.00 ± 0.38	1.15 ± 0.18	1.65 ± 0.07
5	1.55 ± 0.28	1.78 ± 0.29	1.58 ± 0.19	2.52 ± 0.03
6	0.65 ± 0.27	0.37 ± 0.71	0.25 ± 0.06	0.87 ± 0.28



ภาพที่ 4.15 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม

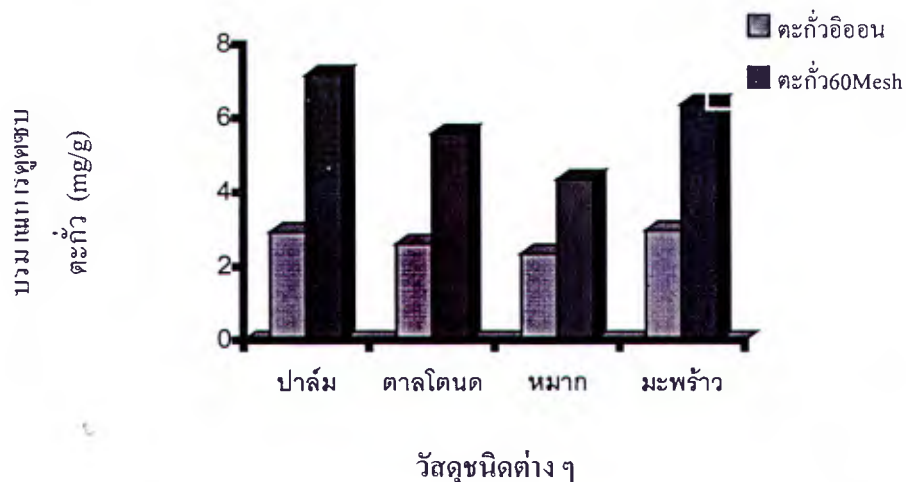
จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการดูดซับในวัสดุดูดซับแต่ละชนิดในช่วงแรกๆมีการดูดซับน้อย เมื่อเพิ่มพีเอช 1 ถึง 5 พบว่าปริมาณการดูดซับมากขึ้นแต่เมื่อพีเอช 6 ปริมาณการดูดซับลดลงเกิดจากการที่พีเอช 6 เกิดการตกตะกอนทำให้ปริมาณการดูดซับลดลงด้วย ปริมาณการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม วัสดุในการดูดซับของสารละลายแต่ละชนิดจะมีค่าใกล้เคียงกันที่พีเอชต่างๆสำหรับพีเอชที่ 4 ถึง 5 ตะกั่วดูดซับได้สูงสุด รองลงมาโครเมียม แคดเมียมตามลำดับ

ง. ผลการศึกษาแคทอออนต่อการดูดซับ

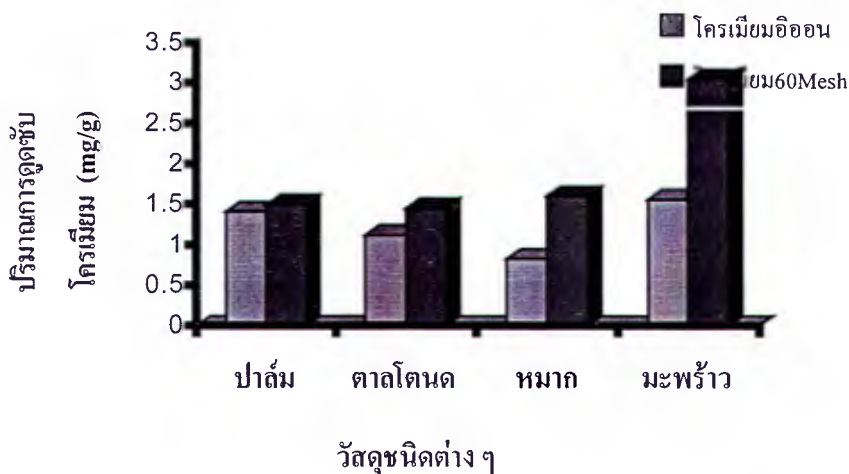
เนื่องจากการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมในวัสดุดูดซับอาจมีการแข่งขันจากโลหะหนักโดยเฉพาะกลุ่มที่เป็นโลหะที่มีประจุบวกหรือพวกแคทอออน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เลือกศึกษาโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม การทดลองทำโดยการเตรียมสารละลายผสมของโลหะรวม 3 ชนิด แล้วนำสารละลายผสมดังกล่าวไปศึกษาพฤติกรรมการดูดซับในวัสดุดูดซับได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.16 ,4.17 ,4.18

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการแข่งขันของแคทอออนที่เป็นโลหะหนักต่อการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม

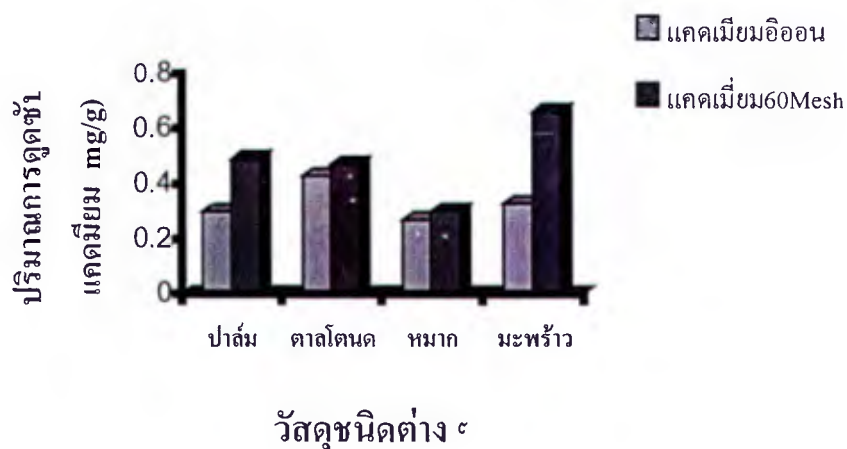
ชนิดโลหะ	ผลปาล์ม		ผลตาลโดนด		ผลหมาก		ผลมะพร้าว	
	สารละลาย	สารละลายผสม	สารละลาย	สารละลายผสม	สารละลาย	สารละลายผสม	สารละลาย	สารละลายผสม
ตะกั่ว	7.16±0.26	2.93±0.08	5.57±0.39	2.61±0.31	4.35±0.71	2.35±0.08	6.37±0.16	2.97±0.05
โครเมียม	1.49±0.20	1.41±0.21	1.45±0.30	1.12±0.29	1.16±0.21	0.83±0.06	3.05±0.27	1.56±0.09
แคดเมียม	0.49±0.26	0.30±0.07	0.47±0.28	0.43±0.06	0.30±0.39	0.27±0.02	0.66±0.21	0.33±0.15



ภาพที่ 4. 16 แสดงผลของแคทอออนต่อการดูดซับตะกั่ว



ภาพที่ 4.17 แสดงผลของแคทอีนต่อการดูดซับโครเมียม



ภาพที่ 4.18 แสดงผลของแคทอีนต่อการดูดซับแคดเมียม

จากผลการทดลองพบว่าการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ในวัสดุดูดซับทั้ง 4 ชนิด เมื่อมีแคทอีนปนอยู่พบว่า ผลของสารละลายจะมีค่ามากกว่าผลของสารละลายผสม เนื่องจากสารละลายผสม อาจมีการแข่งขันของโลหะหนัก โดยเฉพาะกลุ่มที่เป็นโลหะที่มีประจุบวก หรือพวกแคทอีนจึงทำให้ผลของสารละลายผสมลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุทุกชนิดได้รับผลจาก

แกทอออนในลักษณะแนวโน้มคล้ายกัน ปริมาณตะกั่วจะดูดได้สูงสุด รองลงมาโครเมียม แคลเซียม ตามลำดับ

จ. ผลความเข้มข้นของสารละลายต่อการดูดซับ

ความจุของการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคลเซียม ตามสมการเฟรนนลิช ได้ผลการทดลองแสดงดังตาราง 4.15 ,4.16 ,4.17 และภาพที่ 4.19 ,4.20 ,4.21

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า $\log x$ (mg/g) และ $\log c$ (mg/L) เพื่อหาความจุการดูดซับตะกั่ว

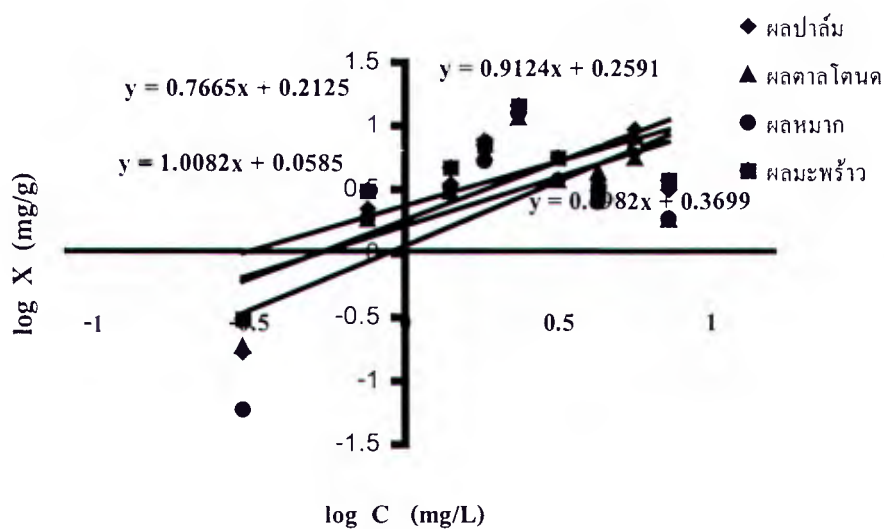
ความเข้มข้น	ผลปาล์ม		ผลตาลโตนด		ผลหมาก		ผลมะพร้าว	
	Log c (mg/L)	log x (mg /g)	log c (mg/L)	log x (mg/g)	log c (mg/L)	log x (mg/g)	log c (mg/L)	log x (mg/g)
25	-0.52	-0.77	-0.55	-0.72	-0.51	-1.22	-0.59	-0.51
50	-0.12	0.35	-0.99	0.27	0.03	0.27	-0.15	0.49
75	0.15	0.54	0.18	0.48	0.18	0.51	0.11	0.67
100	0.26	0.89	0.33	0.79	0.33	0.72	0.29	0.85
125	0.37	1.16	0.46	1.07	0.43	1.10	0.37	1.16
150	0.50	0.75	0.54	0.57	0.54	0.57	0.50	0.75
200	0.63	0.57	0.68	0.64	0.65	0.40	0.64	0.49
250	0.75	0.97	0.80	0.75	0.79	0.81	0.78	0.87
300	0.86	0.50	0.88	0.27	0.88	0.27	0.86	0.57

ตารางที่ 4.16 แสดงค่า $\log x$ (mg/g) และ $\log c$ (mg/L) เพื่อหาความจุการดูดซับโครเมียม

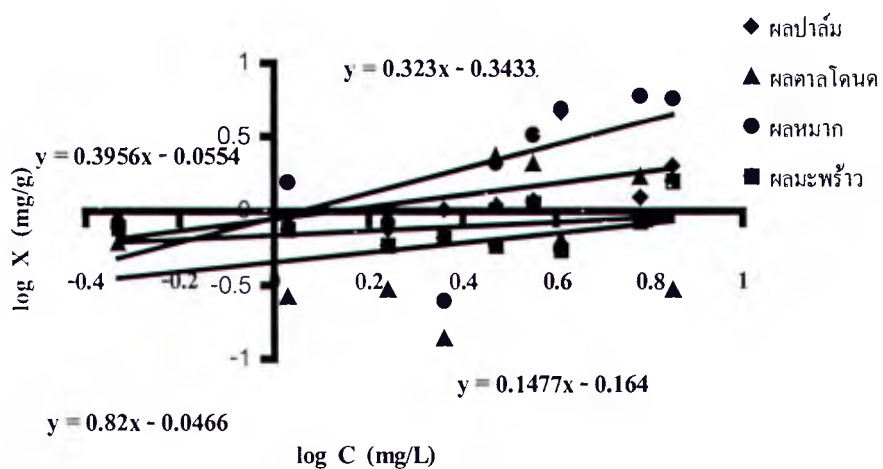
ความ เข้มข้น	ผลปาล์ม		ผลตาลโตนด		ผลหมาก		ผลมะพร้าว	
	Log c (mg/L)	log x (mg/g)	log c (mg/L)	log x (mg/g)	log c (mg/L)	log x (mg/g)	log c (mg/L)	log x (mg/g)
25	-0.33	-0.11	-0.29	-0.21	-0.34	-0.08	-0.33	-0.11
50	0.03	-0.04	0.08	-0.57	-0.03	0.20	0.05	-0.12
75	0.24	-0.12	0.28	-0.52	0.23	-0.08	0.25	-0.23
100	0.36	0.01	0.39	-0.85	0.34	-0.60	0.37	-0.18
125	0.47	0.04	0.42	0.37	0.43	0.32	0.78	-0.23
150	0.55	0.07	0.52	0.32	0.49	0.51	0.55	0.05
200	0.61	0.67	0.69	-0.19	0.63	0.69	0.69	-0.26
250	0.78	0.09	0.77	0.23	0.70	0.78	0.66	-0.07
300	0.85	0.30	0.87	-0.52	0.81	0.76	0.83	0.20

ตารางที่ 4.17 แสดงค่า $\log x$ (mg/g) และ $\log c$ (mg/L) เพื่อหาความจุการดูดซับแคดเมียม

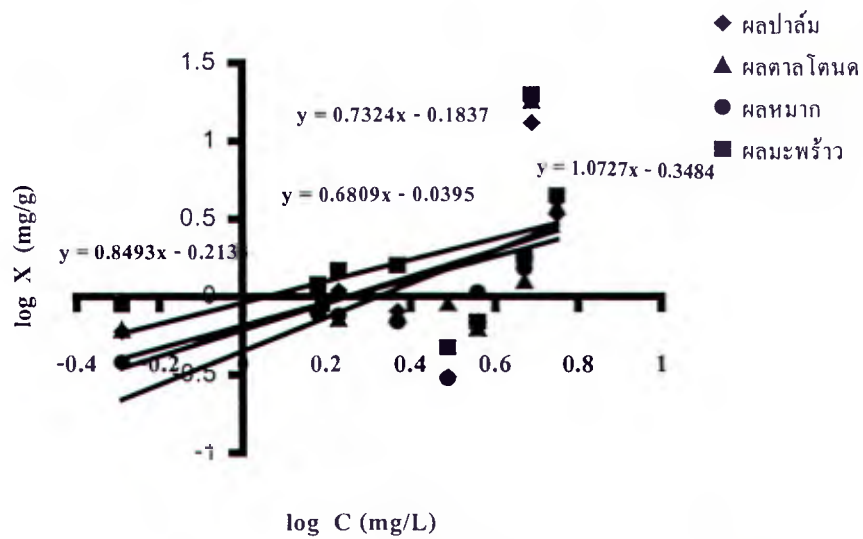
ความ เข้มข้น	ผลปาล์ม		ผลตาลโตนด		ผลหมาก		ผลมะพร้าว	
	Log c (mg/L)	log x (mg/g)	log c (mg/L)	log x (mg/g)	log c (mg/L)	log x (mg/g)	log c (mg/L)	log x (mg/g)
25	-0.29	-0.22	-0.29	-0.21	-0.26	-0.42	-0.35	-0.05
50	0.18	0.06	0.03	-0.05	0.04	-0.11	0.01	0.08
75	0.23	0.04	0.04	-0.14	0.04	-0.12	0.20	0.17
100	0.37	-0.09	0.31	-0.12	0.37	-0.16	0.34	0.20
125	0.49	-0.51	0.48	-0.04	0.49	-0.52	0.49	-0.32
150	0.56	-0.16	0.55	-0.20	0.55	0.03	0.56	-0.16
200	0.67	0.25	0.67	0.10	0.67	0.18	0.67	0.26
250	0.75	0.53	0.74	0.58	0.71	0.63	0.73	0.65
300	0.69	1.12	0.50	1.26	0.58	1.27	0.55	1.30



ภาพที่ 4.19 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของตะกั่ว



ภาพที่ 4.20 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของโครเมียม



ภาพที่ 4.21 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของแคดเมียม

จากผลการทดลองเป็นการพล็อตข้อมูลตามสมการของเฟรอนลิช ซึ่งจุดตัดแกนก็คือค่า K ตามสมการของเฟรอนลิช ซึ่งสามารถบอกถึงค่าความจุของการดูดซับของวัสดุแต่ละชนิดได้ ผลการคำนวณหาความจุของการดูดซับ ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ของวัสดุดูดซับแต่ละชนิดดัง ตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าความจุของการดูดซับตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ของวัสดุดูดซับ ตามวิธีการดูดซับแบบแบทช์ที่ได้จากการคำนวณ

วัสดุดูดซับ	ความจุการดูดซับ (K) (mg/g) ตะกั่ว		
	หอยหัดตะกั่ว	โครเมียม	แคดเมียม
ผลปาล์ม	1.82	0.88	0.66
ผลตาลโตนด	1.63	0.45	0.61
ผลหมาก	1.14	0.90	0.51
ผลมะพร้าว	2.34	0.69	0.91

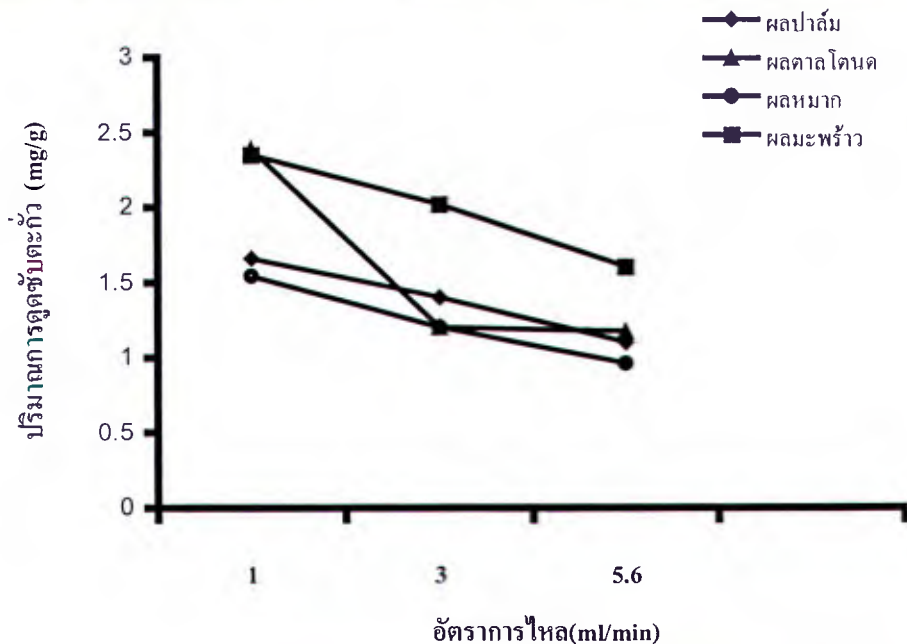
4.2.2.2 ผลของการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับแบบต่อเนื่อง

ในการศึกษาแบบต่อเนื่องได้ทำการบรรจุวัสดุดูดซับแต่ละชนิดลงในคอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 8.0 mm โดยศึกษาอัตราการไหลของสารละลายความสูงของคอลัมน์และศึกษาความจุของวัสดุดูดซับได้ผลดังนี้

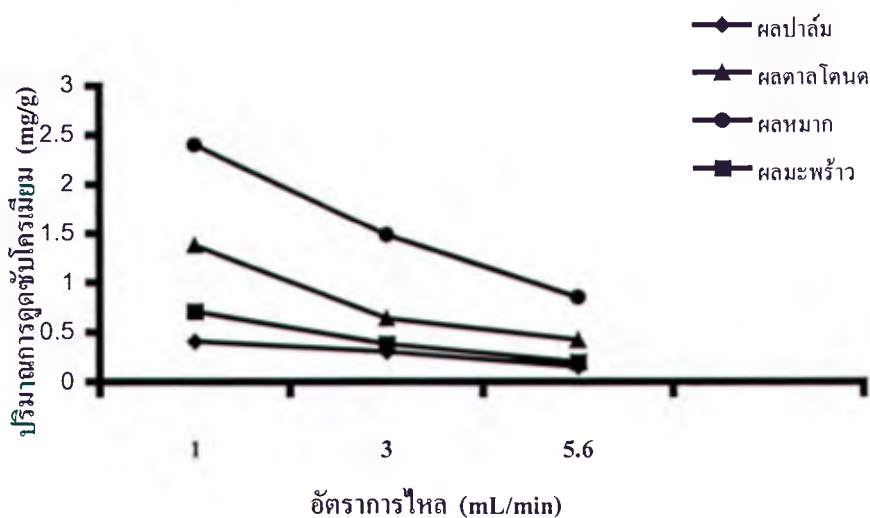
ก. ผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อการดูดซับ

ตารางที่ 4.19 แสดงผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อการดูดซับ

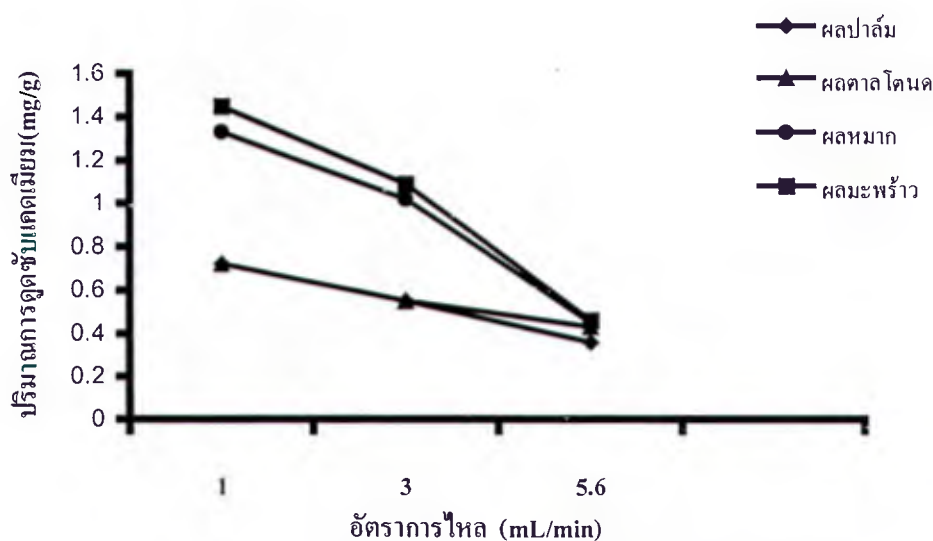
วัสดุดูดซับ	ตะกั่ว			โครเมียม			แคดเมียม		
	1	3	5.6	1	3	5.6	1	3	5.6
ผลปาล์ม	1.16 ± 0.02	1.40 ± 0.05	1.10 ± 0.06	0.41 ± 0.05	0.30 ± 0.25	0.15 ± 0.12	0.72 ± 0.25	0.55 ± 0.09	0.36 ± 0.35
ผลตาลโตนด	2.39 ± 0.12	1.20 ± 0.13	1.17 ± 0.31	1.38 ± 0.25	0.64 ± 0.15	0.42 ± 0.14	0.72 ± 0.26	0.55 ± 0.18	0.43 ± 0.28
ผลหมาก	1.54 ± 0.23	1.20 ± 0.12	0.96 ± 0.15	2.40 ± 0.09	1.48 ± 0.08	0.85 ± 0.07	1.33 ± 0.18	1.02 ± 0.25	0.45 ± 0.28
ผลมะพร้าว	2.35 ± 0.21	2.02 ± 0.31	1.60 ± 0.16	0.71 ± 0.07	0.38 ± 0.34	0.20 ± 0.02	1.45 ± 0.05	1.09 ± 0.06	0.46 ± 0.14



ภาพที่ 4.22 แสดงผลของอัตราการไหลต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว



ภาพที่ 4.23 แสดงผลของอัตราการไหลต่อปริมาณการดูดซับโครเมียม



ภาพที่ 4.24 แสดงผลของอัตราการไหลต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียม

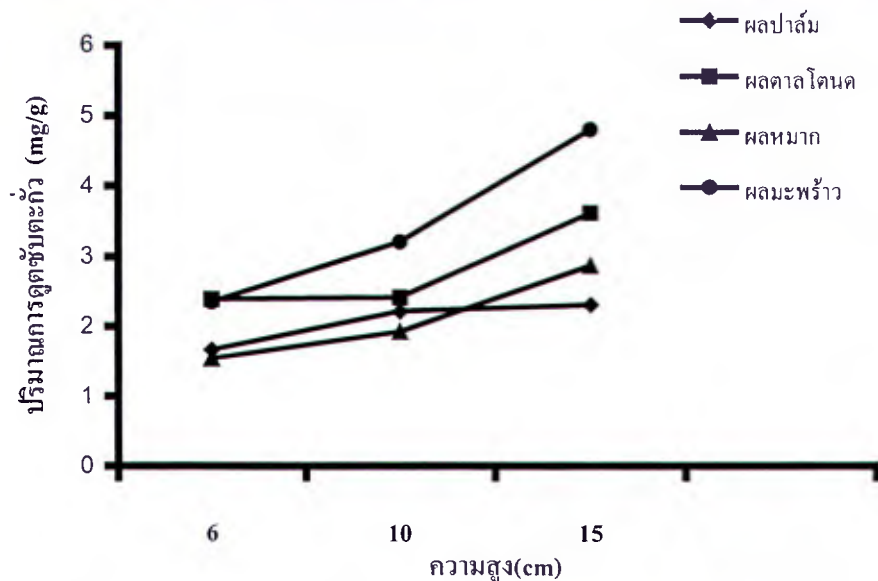
จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมในวัสดุดูดซับแต่ละชนิดมีปริมาณการดูดซับมาก คือที่อัตราการไหลเท่ากับ 1 แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลให้สูงขึ้นทำให้ปริมาณการดูดซับลดลง ตะกั่วจะดูดซับได้สูงสุด รองลงมาเป็น โครเมียม และแคดเมียมตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับระหว่างวัสดุทั้ง 4 ชนิด ปริมาณการดูดซับตะกั่วของตาลโดนดดูดซับได้สูงสุด รองลงมาเป็นผลมะพร้าว ผลปาล์ม มีค่าเท่ากับ 2.39 2.35 1.66 และ 1.54

ส่วนปริมาณการดูดซับโครเมียมของวัสดุทั้ง 4 ชนิด เปรียบเทียบได้ดังนี้ ผลหมากดูดซับได้สูงสุด รองลงมาเป็น ผลตาลโตนด ผลมะพร้าว และ ผลปาล์ม นอกจากนี้ปริมาณการดูดซับแคดเมียม มีลักษณะการดูดซับคล้ายกัน

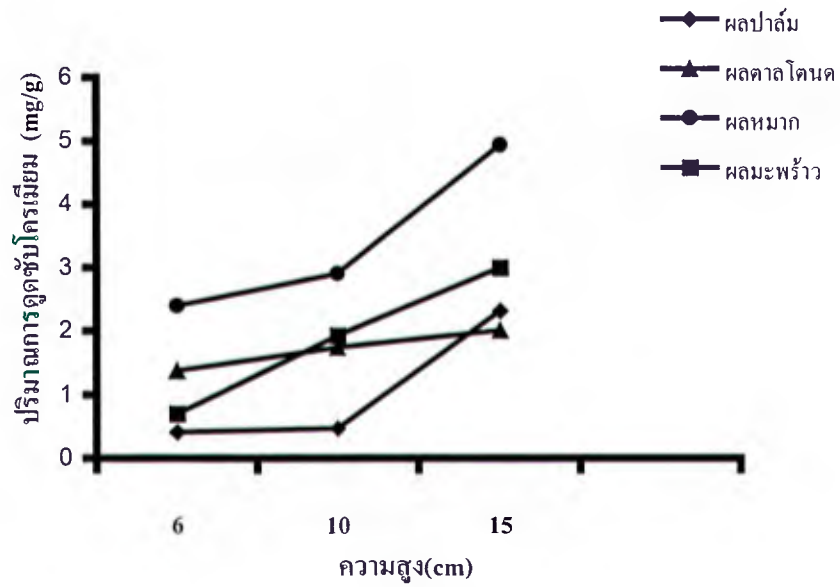
ข. ผลของความสูงของคอลัมน์ ต่อการดูดซับ

ตารางที่ 4.20 แสดงผลของความสูงของคอลัมน์ ต่อการดูดซับ

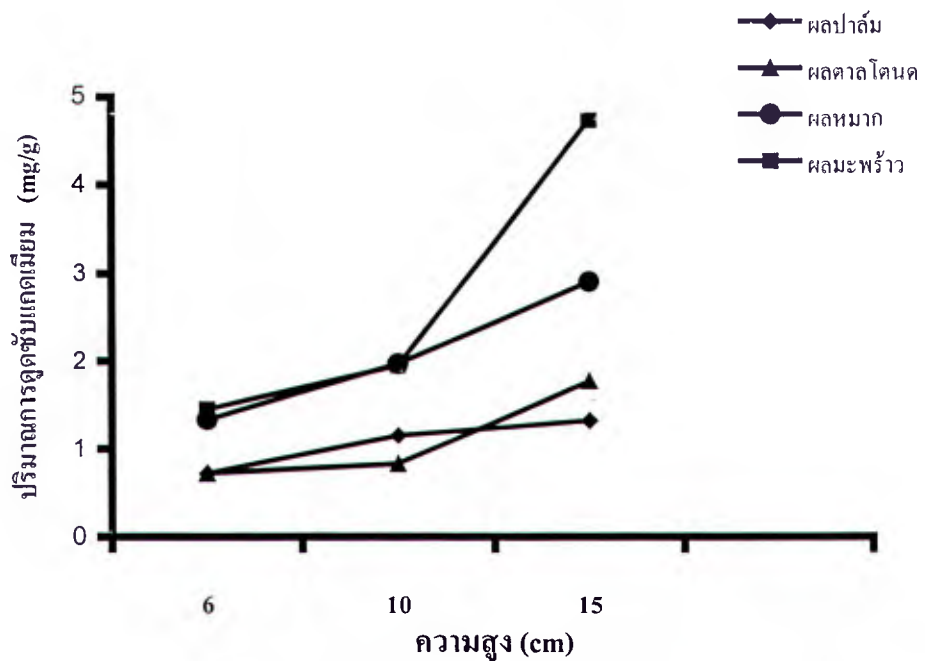
วัสดุดูดซับ	ตะกั่ว			โครเมียม			แคดเมียม		
	6 cm	10 cm	15 cm	6 cm	10 cm	15 cm	6 cm	10 cm	15 cm
ผลปาล์ม	1.40 ±0.16	2.21 ± 0.21	2.30 ± 0.12	0.41 ± 0.25	0.47 ± 0.14	2.31 ± 0.05	0.72 ±0.04	1.15 ± 0.01	1.32 ± 0.09
ผลตาลโตนด	2.39 ±0.12	2.41 ± 0.05	3.61 ± 0.08	1.38 ± 0.31	1.74 ± 0.24	2.01 ±0.07	0.72 ±0.12	0.83 ± 0.13	1.77 ±0.21
ผลหมาก	1.54 ±0.03	1.92 ± 0.06	2.87 ± 0.05	2.40 ± 0.16	2.90 ± 0.31	4.93 ± 0.26	1.33 ±0.14	1.97 ± 0.24	2.90 ± 0.15
ผลมะพร้าว	2.35 ± 0.11	3.20 ± 0.25	4.80 ± 0.02	0.71 ± 0.01	1.93 ± 0.09	3.00 ± 0.04	1.45 ±0.06	1.95 ± 0.16	4.73 ± 0.25



ภาพที่ 4.25 แสดงผลของความสูงของคอลัมน์ ต่อการดูดซับตะกั่ว



ภาพที่ 4.26 แสดงผลของความสูงของคอกลิมน์ ต่อการดูดซับไอโอดีน



ภาพที่ 4.27 แสดงผลของความสูงของคอกลิมน์ ต่อการดูดซับแคลเซียม

จากผลการทดลองปรากฏว่าปริมาณการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมในวัสดุดูดซับแต่ละชนิดมีปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของคอลัมน์เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบวัสดุดูดซับทั้ง 4 ชนิด ต่อปริมาณการดูดซับตะกั่ว ที่ความสูงคอลัมน์สูงสุดเปรียบเทียบได้ดังนี้ ผลมะพร้าวดูดซับได้สูงสุด ผลตาลโตนด ผลหมาก และ ผลปาล์ม ส่วนโครเมียมวัสดุที่ดูดซับได้สูงสุดได้แก่ ผลหมาก ผลมะพร้าว ผลปาล์ม และ ผลตาลโตนด ตาลลำดัย นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับแคดเมียมปรากฏผลดังนี้ ผลมะพร้าวดูดซับได้สูงสุด รองลงมา ผลหมาก ผลตาลโตนด และ ผลปาล์ม ตาลลำดัย

ก. ผลของการหาความจุของวัสดุดูดซับ

ผลจากการทดลองหาความจุของวัสดุดูดซับทำโดยผ่านสารละลายของตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมลงในคอลัมน์เก็บสารละลายที่ผ่านออกมาไปหาปริมาณของตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม หลังจากนั้นจึงหาความสัมพันธ์ของปริมาณตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมดังกล่าวได้ผลดังตารางที่ 4.21

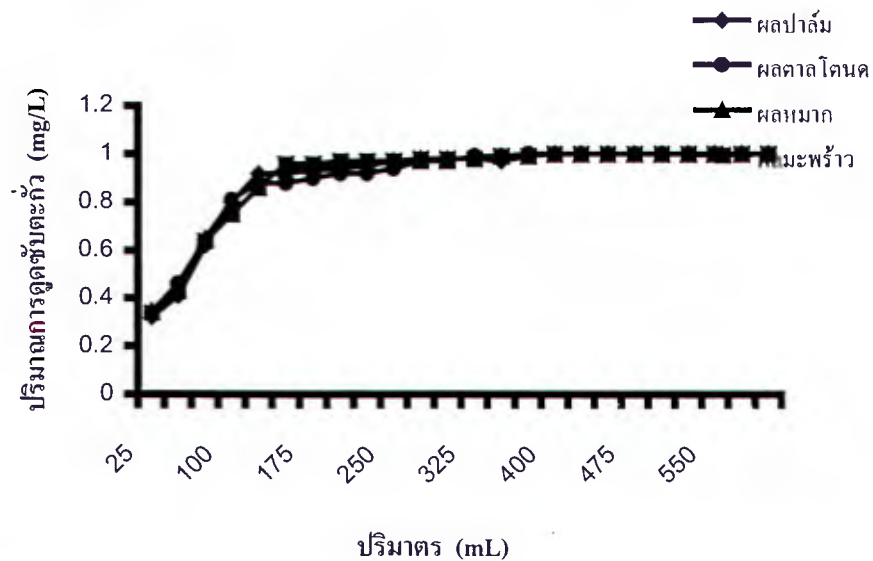
ตารางที่ 4.21 แสดงข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาค่าความจุวัสดุดูดซับ

ความ เข้มข้น	ค่า C_A / C_{A0}															
	ตะกั่ว					โครเมียม					แคดเมียม					
	ผล ปาล์ม	ผล ตาลโตนด	ผล หมาก	ผล มะพร้าว	ผล ปาล์ม	ผล ตาลโตนด	ผล หมาก	ผล มะพร้าว	ผล ปาล์ม	ผล ตาลโตนด	ผล หมาก	ผล มะพร้าว	ผล ปาล์ม	ผล ตาลโตนด	ผล หมาก	ผล มะพร้าว
25	0.21	0.32	0.41	0.47	0.31	0.27	0.27	0.38	0.32	0.34	0.35	0.34	0.32	0.34	0.35	0.34
50	0.35	0.41	0.47	0.53	0.37	0.31	0.30	0.43	0.41	0.46	0.44	0.43	0.41	0.46	0.44	0.43
75	0.42	0.45	0.51	0.58	0.42	0.42	0.35	0.54	0.62	0.64	0.65	0.64	0.62	0.64	0.65	0.64
100	0.57	0.56	0.54	0.62	0.48	0.46	0.51	0.60	0.80	0.81	0.80	0.75	0.80	0.81	0.80	0.75
125	0.69	0.63	0.66	0.68	0.57	0.47	0.63	0.70	0.92	0.88	0.91	0.86	0.92	0.88	0.91	0.86
150	0.70	0.72	0.74	0.75	0.63	0.57	0.67	0.76	0.92	0.88	0.93	0.96	0.92	0.88	0.93	0.96
175	0.72	0.74	0.79	0.83	0.72	0.68	0.71	0.84	0.93	0.90	0.95	0.96	0.93	0.90	0.95	0.96
200	0.77	0.79	0.87	0.88	0.78	0.73	0.73	0.86	0.94	0.92	0.95	0.97	0.94	0.92	0.95	0.97
225	0.79	0.88	0.88	0.89	0.83	0.81	0.73	0.87	0.95	0.92	0.96	0.97	0.95	0.92	0.96	0.97
250	0.80	0.90	0.91	0.93	0.87	0.85	0.83	0.89	0.97	0.94	0.97	0.97	0.97	0.94	0.97	0.97
275	0.87	0.94	0.96	0.97	0.87	0.85	0.87	0.89	0.98	0.97	0.97	0.98	0.98	0.97	0.97	0.98
300	0.91	0.94	0.96	0.97	0.89	0.86	0.89	0.90	0.98	0.97	0.97	0.98	0.98	0.97	0.97	0.98

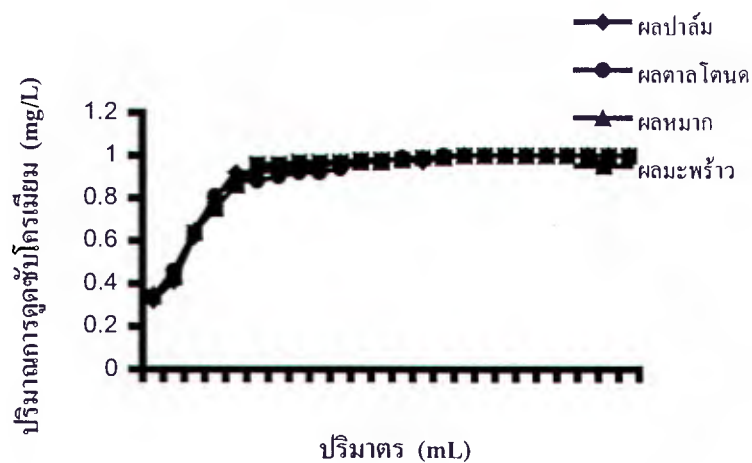
ตารางที่ 4.21 แสดงข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาค่าความจุวัสดุชุดชั้น (ต่อ)

ความ เข้มข้น	ค่า C_A/C_{A0}																	
	ตะกั่ว						โครเมียม						แคดเมียม					
	ผล ปัลลั่ม	ผล ทาลโคเนด	ผล หมาก	ผล มะพร้าว	ผล ปัลลั่ม	ผล ทาลโคเนด	ผล หมาก	ผล มะพร้าว	ผล ปัลลั่ม	ผล ทาลโคเนด	ผล หมาก	ผล มะพร้าว	ผล ปัลลั่ม	ผล ทาลโคเนด	ผล หมาก	ผล มะพร้าว		
325	0.91	0.95	0.96	0.97	0.89	0.86	0.89	0.93	0.98	0.99	0.99	0.93	0.98	0.99	0.99	0.98		
350	0.95	0.97	0.98	0.98	0.96	0.91	0.95	0.96	0.97	0.99	0.99	0.96	0.97	0.99	0.99	0.99		
375	0.98	1.00	0.99	1.00	0.97	0.96	0.97	0.96	0.99	1.00	1.00	0.96	0.99	1.00	0.99	0.99		
400	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00		
425	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
450	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
475	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
500	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
525	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
550	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
575	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
600	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		

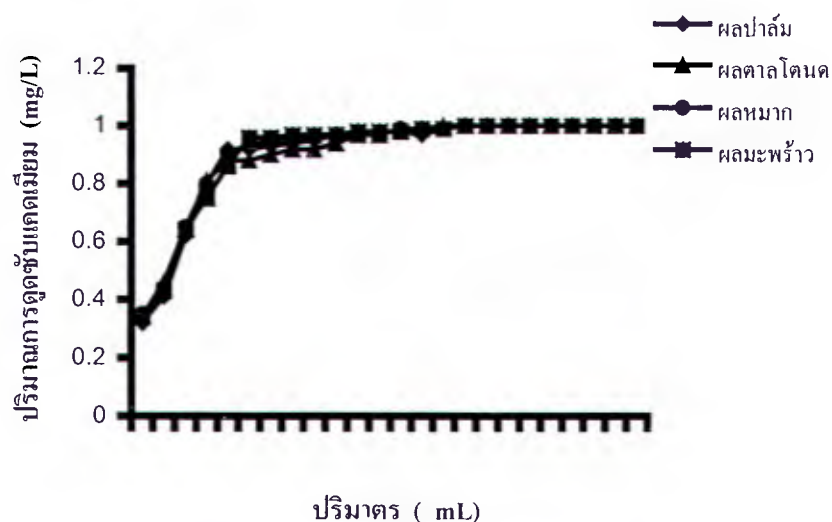
จากตารางที่ 4.21 นำข้อมูลไปพล็อตกราฟระหว่าง C_A/C_{A_0} กับปริมาตรกับสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ได้ผลดังภาพที่ 4.28 4.29 และ 4.30 ซึ่งหาจุดตัดจากกราฟเพื่อหาปริมาณของสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ที่ทำให้ค่า C_A/C_{A_0} เท่ากับ 0.5 เพื่อนำค่าปริมาณที่ได้ไปคำนวณหาค่าความจุของวัสดุดูดซับแต่ละชนิดได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.22



ภาพที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_A/C_{A_0} กับปริมาตรของสารละลายตะกั่วบนวัสดุดูดซับต่างๆ



ภาพที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_A/C_{A_0} กับปริมาตรของสารละลายโครเมียมบนวัสดุดูดซับต่างๆ



ภาพที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_A/C_{A_0} กับปริมาณของสารละลายแคดเมียมบนวัสดุดูดซับต่างๆ

จากภาพที่ 4.28 4.29 และ 4.30 สามารถหาค่าปริมาณของสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ที่ทำให้ค่า C_A/C_{A_0} เท่ากับ 0.5 และนำไปคำนวณหาค่าความจุ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าความจุของวัสดุดูดซับแต่ละชนิด

วัสดุดูดซับ	ค่าความจุของสารละลาย (mg/g)		
	ตะกั่ว	โครเมียม	แคดเมียม
ผลปาล์ม	9.27	11.79	5.46
ผลตาลโตนด	8.65	14.30	4.86
ผลหมาก	7.63	5.27	5.09
ผลมะพร้าว	4.90	7.47	5.24

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ในการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของวัสดุดูดซับ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ด้วยผลปาล์ม ผลตาลโตนดผลหมาก และผลมะพร้าว ด้วยเทคนิคการดูดซับ 2 แบบ คือ แบบถังแช่และแบบต่อเนื่องเมื่อพิจารณาการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของการดูดซับ ปรากฏว่าพีเอชของสารละลายที่แช่ด้วยวัสดุดูดซับหลังแช่มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงที่เป็นกลางประมาณ 6.00 ถึง 7.00 ซึ่งไม่มีผลต่อพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม จากนั้นเมื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลางด้วยสารละลายเมทิลีนบลูก็พบว่ามะพร้าวมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด $491.23 \text{ m}^2/\text{g}$ รองลงมา ผลปาล์ม $173.38 \text{ m}^2/\text{g}$ ผลตาลโตนด $144.48 \text{ m}^2/\text{g}$ ผลหมาก $57.79 \text{ m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ด้วยวัสดุดูดซับแบบถังแช่พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับแบบถังแช่

ตัวแปรที่ศึกษา	สารละลายที่เหมาะสม
ขนาดอนุภาค (Mesh)	60
ความเข้มข้น (ppm)	100
เวลา (hr)	24
พีเอช	5

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับระหว่างสารละลายโลหะหนักกับสารละลายโลหะผสมของวัสดุทั้ง 4 ชนิด พบว่าปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะผสมของวัสดุทั้ง 4 ชนิด ลดลงเนื่องจากเกิดการรบกวนของแคทไอออนตัวอื่นจึงทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนักแบบต่อเนื่องพบว่าอัตราการไหลของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ด้วยผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าวคือ $1 \text{ mL}/\text{min}$ ความสูงที่เหมาะสม 15 cm เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ด้วยวัสดุดูดซับทั้ง 4 ชนิดพบว่า ตะกั่ว

ดูดซับได้สูงสุด รองลงมาเป็นโครเมียม และแคดเมียม เนื่องจากตะกั่วเป็นโลหะที่จัดอยู่ในกลุ่มธาตุรีเฟรนเซนท์ที่ส่วนใหญ่โครเมียมและแคดเมียมเป็นธาตุทรานซิชัน สารละลายตะกั่วอยู่ในรูปตะกั่ว(+2) ซึ่งเป็นไอออนบวกอิสระไม่ได้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนขนาดของไอออนจึงเล็กกว่าโลหะอื่น ๆ ส่วนโลหะทรานซิชันที่อยู่ในน้ำส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับน้ำ ดังนั้นเมื่อมีการแข่งขัน ตะกั่ว(+2) ซึ่งเป็นไอออนที่มีขนาดเล็กกว่า จึงถูกดูดซับได้เร็วกว่าจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบการดูดซับของวัสดุทั้ง 4 ชนิดก็ปรากฏว่าผลมะพร้าวดูดซับได้สูงสุด รองลงมาผลปาล์ม ผลตาลโตนด และผลหมาก ตามลำดับนอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความจุของการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม แบบถึงแก่และแบบต่อเนื่อง พบว่าการดูดซับแบบต่อเนื่องดูดซับได้ดีกว่าแบบถึงแก่

ดังนั้น เมื่อวิเคราะห์การดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ควรเลือกศึกษาผลมะพร้าว ที่ขนาด 60 Mesh ใช้เวลา 24 ชั่วโมง และที่พีเอช 5 ความเข้มข้น 100 ppm

ข้อเสนอแนะ

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำวิจัยควรจะใช้เวลาให้มากกว่านี้ เพื่อจะได้ข้อมูลหรือข้อสรุปที่แน่นอนกว่า
2. ในการศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับแบบถึงแก่ควรให้มีการเขย่าวัสดุตลอดเวลาเพื่อให้เกิดการดูดซับได้ทั่วถึง

บรรณานุกรม

- เกษม ต้นสตุล. (2543). การปลูกปาล์มน้ำมัน . กองส่งเสริมพืชพันธุ์ กรมส่งเสริมการเกษตร.
กรุงเทพฯ ฯ.
- ขันตยพร ธรรมเสมา และบุษภาวดี แก้วพรหม. (2542). การศึกษาเปรียบเทียบของตะกั่ว แคลเดียม
และสารละลายผสมทั้งสองชนิดที่มีผลต่อปาลานิล . วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
คณะอง คลอดเพ็ง. (2536). หมาก. หนังสือพิมพ์กสิกร. 66(4) .
- ฉัตรชัย ปฎิยุทธ และคณะ. (2528). หมาก. กรุงเทพฯ ฯ.
- ทรงศักดิ์ ศรีกุมมา. (2538). การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโรงงานแบตเตอรี่ในประเทศไทย โดย
ใช้เถ้าถ่านลิกไนต์. กองสุขภาพิบาล. 11(4) : กรกฎาคม – กันยายน .
- ธรรมเวศ และคณะ . (2537). การศึกษาปริมาณโลหะหนักในแม่น้ำท่าจีน. แก่นเกษตร. 22(4):
ตุลาคม – ธันวาคม .
- นัยนา นาญวโรดม.(2536). การลดปริมาณสารละลายตะกั่วโดยใช้เส้นผม .วารสารกองสุขภาพิบาล.
20(1) : ตุลาคม – ธันวาคม . 2(3) .
- ประสิทธิ์ แผ้วบาง และอรทัย สุขเจริญ. (1999). การเปรียบเทียบการดูดซับตะกั่ว (+2)
โดยใช้เปลือกไข่และเกลือปลา . 11(1) .
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวตและคณะ. (2523). การเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในเส้นผมของคนในชนบท
กับคนในกรุงเทพฯ ฯ. วารสารกองสุขภาพิบาล. 34(12) : 1045-1052 .
- พรธณี เดชกำแหง. (2521). เคมินับบแนะนำธาตุ.กรุงเทพฯ ฯ. เจริญวิทย์การพิมพ์.
- ภายิต ประชาเวช. ตะกั่วเป็นพิษ. หมอชาวบ้าน. 10(119) : 20-21.
- รัตนา มหาชัย. (1999). การศึกษาการดูดซับโลหะหนักที่มีพิษบางตัว ได้แก่ แคลเดียม โครเมียม
ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล และสังกะสี ด้วยวัสดุธรรมชาติชนิดต่าง ๆ .
วารสารวิทยาศาสตร์ขอนแก่น . 28(2) .
- รัตนา มหาชัยและคณะ .(2000). การศึกษาพฤติกรรมดูดซับสารละลายเมทธิลีนบลูบนวัสดุดูด
ซับถ่านกำมันต์เถาสิน ถ่านแกลบ และถ่านแกลบเผา. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทาลัย
ขอนแก่น. 18(2) : 97-106 .

บรรณานุกรม (ต่อ)

- สุรินทร์ เหล่าพระจันทร์และอรไท สุขเจริญ. (2523). การดูดซับตะกั่วโดยใช้หญ้าสลาบลวงและ
ไส้สับปะรด. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 16(2) .
- ศราวุธ ฉันทจิตปรีชา . เรื่องของมะพร้าว . เกษตรก้าวหน้า .(2538). 10 (4).
- อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล. (1998). การศึกษาพฤติกรรมการบำบัดโครเมียม (+6) โดยการดูดซับด้วย
ถ่านกัมมันต์และถั่วลอญ.วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 28(2) : 97-106.

ภาคผนวก

เค้าโครงวิจัย

ชื่อโครงการ การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว (II) โครเมียม (III) และแคดเมียม(II) โดยใช้ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลหมาก และผลมะพร้าว

ชื่อผู้วิจัย นางสาวสุเพ็ญพร ปากกว้าง
นางสาวอมรรัตน์ สวาท

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เนื่องจากการพัฒนาประเทศในปัจจุบัน เน้นหนักไปทางด้านอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดของเสียและมลพิษต่าง ๆ จากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำโลหะหนักมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต มักมีโลหะหนักปะปนกับน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเสมอ การปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำไม่เพียงแต่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำ แต่ยังเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ที่มีห่วงโซ่อาหารอยู่ในแหล่งน้ำด้วย

วิธีการบำบัดน้ำเสียนั้นมีหลายวิธี เช่นวิธีการทางเคมี วิธีการทางชีวภาพ วิธีการทางกายภาพ เป็นต้น ในการดูดซับโลหะหนักนั้นพบว่า ผงถ่านนำมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำทิ้งมากที่สุด แต่การใช้ผงถ่านต้องใช้ต้นทุนสูงจึงมีงานวิจัยมากมายที่พยายามนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักและงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วัสดุจากพืช คือ ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลมะพร้าว และผลหมาก เนื่องจากพืชทั้ง 4 ชนิดนี้เป็นพืชในสปีชีส์เดียวกัน คือ อยู่ในสกุลปาล์ม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq ที่เลือกใช้ส่วนของผล เพราะจะมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสและไฟเบอร์ ลักษณะภายในจะเป็นเส้นใยฝอยเล็ก ๆ เป็นร่างแหอัดกันแน่นทำหน้าที่คล้ายแผ่นเยื่อกรองแบบ Porous membrane ซึ่งทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนที่ละลายน้ำและตะกอนเล็ก ๆ ได้ การดูดซับโลหะโดยใช้วัสดุจากพืชนั้น จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของโลหะ ลักษณะโครงสร้างภายในของพืช และขนาดของไอออนของโลหะ เป็นต้น ถ้าไอออนของโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า จะดูดซับได้ดีกว่าไอออนที่มีขนาดใหญ่ (อำนาจ,2541)

นอกจากนี้งานวิจัยได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับและปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับซึ่งแบบดั้งแซ่ได้แก่ ขนาดอนุภาค พีเอชของสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย เวลาที่เหมาะสม ผลของแคทไอออน และการหาพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลางด้วยสารละลายเมทิลลิ้นบลู นอกจากนี้ยังศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแบบต่อเนื่อง ได้แก่ อัตราการไหลของสารละลาย ความสูงของคอลัมน์ และค่าความจุของการดูดซับ

จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแบบถังแช่ ได้แก่ ขนาดอนุภาค เวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ผลของพีเอชต่อการดูดซับ ผลของแคทไอออนต่อการดูดซับ ความเข้มข้นของสารละลายและความจุของการดูดซับ นอกจากนี้ยังหาพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลาง ด้วยสารละลายเมทธิลีนบลู
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแบบต่อเนื่อง (Column) ได้แก่ อัตราการไหลของสารละลาย ความสูงของคอลัมน์ และหาค่าความจุของการดูดซับ
3. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับ โลหะหนักของวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลมะพร้าว และผลหมาก และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับแบบถังแช่กับการดูดซับแบบต่อเนื่อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเอกสารอ้างอิง

เกษม ต้นสตูล. (2543). การปลูกปาล์มน้ำมัน . กองส่งเสริมพืชพันธุ์ กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ ฯ.

จันตียพร ธรรมเสมา และยิวภาวดี แก้วพรหม. (2542). การศึกษาเปรียบเทียบของตะกั่ว แคดเมียม และสารละลายผสมทั้งสองชนิดที่มีผลต่อปลานิล . วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

คณอง คลอดเฟิง. (2536). หมาก. หนังสือพิมพ์กสิกร. 66(4) .

ฉัตรชัย ปฏิยุทธ์ และคณะ. (2528). หมาก. กรุงเทพฯ ฯ.

ทรงศักดิ์ ศรีกุ่มมา. (2538). การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโรงงานแบตเตอรี่ในประเทศไทย โดยใช้ถ่านลิกไนต์. กองสุขภาพิบาล. 11(4) : กรกฎาคม – กันยายน .

ธรรมเวศ และคณะ . (2537). การศึกษาปริมาณโลหะหนักในแม่น้ำท่าจีน. แก่นเกษตร. 22(4): ตุลาคม – ธันวาคม .

นัยนา นาญวโรคม.(2536). การลดปริมาณสารละลายตะกั่วโดยใช้เส้นผม .วารสารกองสุขภาพิบาล. 20(1) : ตุลาคม – ธันวาคม . 2(3) .

ระเบียบวิธีการวิจัย

1.รูปแบบการวิจัย

1.1 เป็นการวิจัยเชิงทดลอง

2.วิธีดำเนินการ

2.1 เตรียมงานค้นคว้าเอกสาร

2.2 เตรียมอุปกรณ์การทดลอง

- 2.3 เก็บตัวอย่างและดำเนินการทดลอง
- 2.4 วิเคราะห์ข้อมูล
- 2.5 รวบรวมเล่ม
- 3. สารเคมี
 - 3.1 เลดไนเตรด
 - 3.2 แคดเมียมไนเตรด
 - 3.3 โครเมียมไนเตรด
 - 3.4 เมทิลีนบลู
 - 3.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์
 - 3.6 ไนตริก
 - 3.7 ไฮโดรคลอริก
 - 3.8 Chromium Standard Solution
 - 3.9 Cadmium Standard Solution
 - 3.10 Lead Standard Solution
- 4. เครื่องมือ
 - 4.1 ตุ้มน้ำหนัก
 - 4.2 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 4 ตำแหน่ง
 - 4.3 โถดูดความชื้น
 - 4.4 เตาไฟฟ้าชนิดแผ่นให้ความร้อนและกวนสารละลายด้วยสนามแม่เหล็ก
 - 4.5 เครื่องปั่นสาร
 - 4.6 เตาอบ
 - 4.7 เครื่องแยกอนุภาค
 - 4.8 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
 - 4.9 เครื่องอัตราไวโอเลตและวิชิเบิลสเปกโตรสโกปี
 - 4.10 พีเอชมิเตอร์

ขอบเขตงานวิจัย

1. วัสดุดูดซับที่เหลือใช้จากธรรมชาติ 4 ชนิด ได้แก่ ผลปาล์ม ผลตาลโตนด ผลมะพร้าว และ ผลหมาก
2. สารละลายโลหะหนักที่ใช้ทำการศึกษา มี 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายเลด (II) ไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) สารละลายโครเมียม (II) ไนเตรท ($Cr(NO_3)_2$) และแคดเมียม (III) ไนเตรท ($Cd(NO_3)_3$)

3. ตัวแปรที่ทำการศึกษาแบบตั้งแง่ได้แก่ ขนาดอนุภาค เวลาที่เหมาะสม ความเข้มข้นของสาร ละลายและความจุของการดูดซับ ผลของแกทอออน ผลของพีเอช ส่วนการศึกษาการดูดซับ แบบต่อเนื่องนั้นมี 3 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการไหลของสารละลาย ความสูงของคอลัมน์ต่อการดูดซับ และค่าความจุของการดูดซับเท่านั้น

แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน											
	พ.ศ. 2546							พ.ศ. 2547				
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค.	ก.พ	มี.ค	เม.ย	
1. ค้นคว้าศึกษาเอกสาร	←→											
2. เก็บตัวอย่างทำวิจัย		←→										
3. ทำการทดลอง			←→									
4. วิเคราะห์ข้อมูล				←→								
5. จัดทำรายงานการวิจัย								←→				
6. เสนอรายงาน												←→

สถานที่ทำวิจัย

ศูนย์วิทยาศาสตร์สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช

ลงชื่อ ผู้ทำวิจัย
(นางสาวสุเพ็ญพร ปากกว้าง)

ลงชื่อ ผู้ทำวิจัย
(นางสาวอมรรัตน์ สวาท)

ความเห็นของอาจารย์ที่ปรึกษา

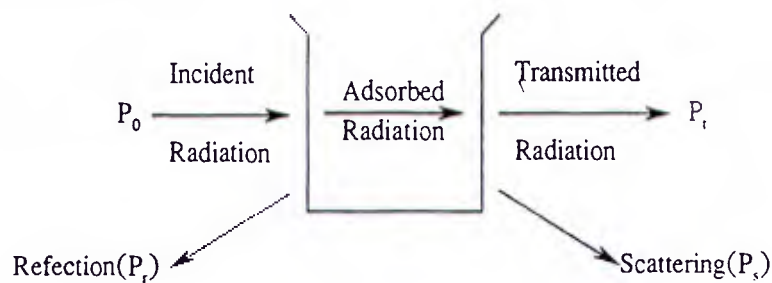
.....

ลงชื่อ..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

1. เทคนิคที่ใช้ในการทำารวิจัย

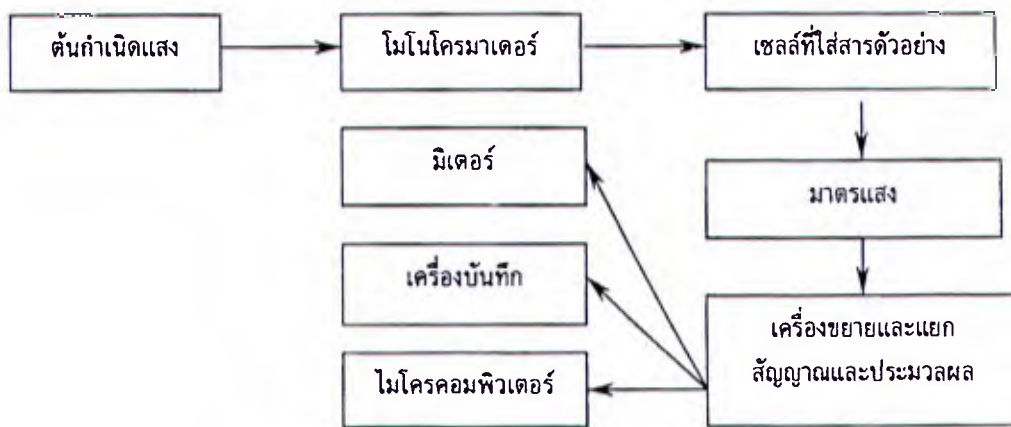
1.1 อุลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy)

หลักการ เมื่อผ่านลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง (continuous beam of radiation) ผ่านไปยังวัสดุจะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิงและบางส่วนผ่านออกไป ดังแสดงในภาพที่ ๑ ถ้าให้แสงที่ผ่านออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง (ปริซึมหรือเกรตติง) ส่วนนี้จะแยกแสงออกเป็นเส้นหรือเป็นแถบแสงที่ออกมาวัดเทียบกับความยาวคลื่นแสง เรียกว่าสเปกตรัมของการดูดกลืน ซึ่งพลังงานที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state)



ภาพที่ ๑ แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสี

ส่วนประกอบของเครื่องมือ เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงภาพที่ ๒



ภาพที่ ๒ แสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

สำหรับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์นั้นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลตเป็นหลอดไฮโดรเจน (hydrogen lamp) หรือหลอดดีวเทอเรียม (deuterium lamp) ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185-375 nm ส่วนแหล่งกำเนิดแสงวิสิเบิลได้จากหลอดทั้งสแตน เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปหลอดทั้งสแตนจะถูกเผาให้ร้อนและเปล่งแสงออกมาอยู่ในช่วง 320-2,500 nm

2. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)

เป็นส่วนที่ทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสงที่เป็นโพลีโครเมติกให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบ ๆ

3. ส่วนที่วางสารตัวอย่างเพื่อวัด (Cell Compartment)

เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบกับบางครั้งเรียกว่า คิวเวท (cuvettes) มีด้วยกันหลายแบบรูปร่างต่าง ๆ กัน แล้วนำไปใส่ที่สำหรับวัด ซึ่งส่วนนี้จะมีฝาปิดเพื่อกันแสงจากภายนอกเข้าไป และถูกกั้นออกจากส่วนที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ และระบบแสง

4. เครื่องวัดแสง (Radiation Detector)

เครื่องวัดแสงมีด้วยกันหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้แก่ โฟโตโวลตาอิกเซลล์ หรือแบร์ริเออร์-เลเยอร์เซลล์ (photovoltaic or barrier layer cells) หลอดรับแสง (phototube) และหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT)

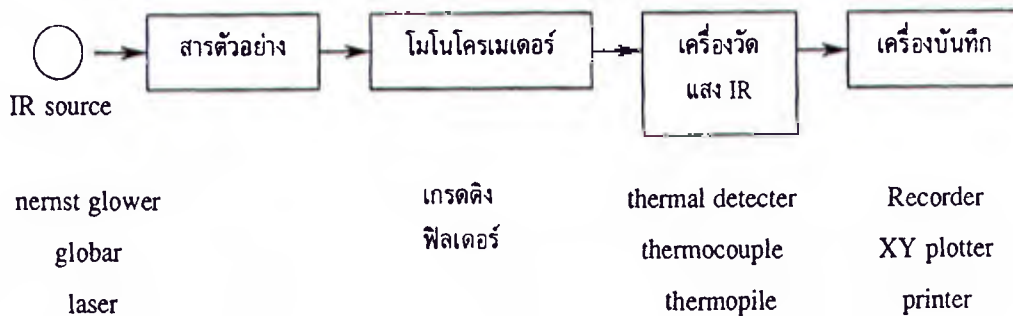
5. เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมวลผล (Signal Processors and Data Read Out)

สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะนำเข้าสู่ขบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นผลของการวิเคราะห์ จะเสนอออกมาได้หลายรูปแบบ โดยต่อกับมิเตอร์ หรือดิจิตอลมิเตอร์ หรือเครื่องบันทึกเรคคอร์ดเดอร์ เป็นต้น

1.2 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy)

หลักการ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบพิสูจน์ และศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร ซึ่งอาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ อินฟราเรดเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมี wave numbers อยู่ในช่วง $12,800$ ถึง 10 cm^{-1} การดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารนั้น เนื่องจากคลื่นแสงในช่วง IR มีพลังงานน้อยและเป็นพลังงานพอที่จะทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่น (vibration) หรือเกิดการหมุน (rotation) เท่านั้น

ส่วนประกอบของเครื่องมือ ส่วนประกอบของเครื่องมือ อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังภาพที่ ๘ 3



ภาพที่ ๘ 3 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. แหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรด (IR Source)

ที่ให้ทั่วไปเป็นของแข็งที่เฉื่อย ซึ่งสามารถเผาให้ร้อนด้วยไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิประมาณ $1,500$ ถึง $2,000$ เคลวิน ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงที่มีความเข้มสูงสุดที่ wave number ประมาณ $5,000 \text{ cm}^{-1}$ แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้กัน เช่น เนินสดีโกลเวอร์และโกลบาร์ เป็นต้น

2. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)

ประกอบด้วยช่องแสงผ่าน (slits) เกรตติง (grating) หรืออาจมีฟิลเตอร์ (filter) ประกอบด้วยก็ได้ ซึ่งส่วนนี้จะมีลักษณะเหมือนกันระบบโมโนโครเมเตอร์ในเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทุกประการ

3. เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (IR Detectors)

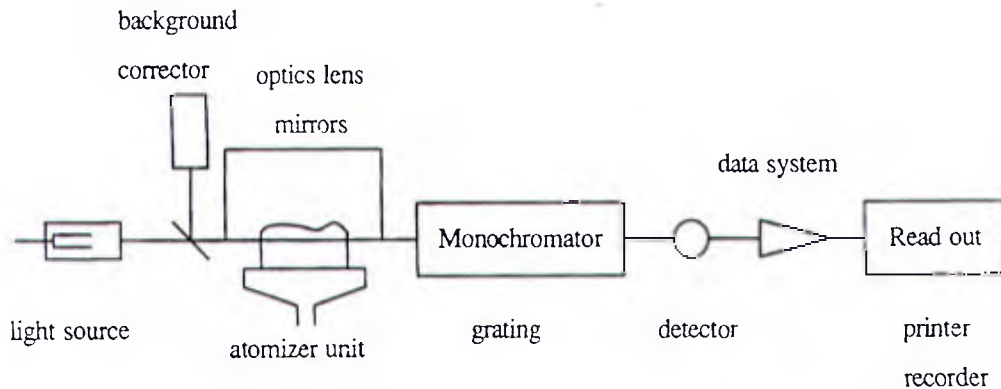
เนื่องจากแสงอินฟราเรดเป็นแสงที่มีพลังงานต่ำจึงทำให้การตรวจวัดค่อนข้างยุ่งยากกว่าการตรวจวัดแสงยูวีและวิสิเบิลเพราะพลังงานไม่พอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนในหลอดวัดแสงได้ในปัจจุบันเครื่องวัดแสงอินฟราเรดที่ใช้กันมีสองพวกได้แก่โฟโตคอนดักทีฟเซลล์และเทอร์โมคัพเบิล เป็นต้น

4. เครื่องบันทึกสเปกตรัม (Read Out Devices)

สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณที่น้อยมาก จึงจำเป็นต้องเข้าเครื่องขยายก่อนจะเข้าเครื่องบันทึก หรือเครื่องอ่านสัญญาณ เช่นเดียวกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1.3 อะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectrophotometer)

หลักการ อะตอมมิคแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงความยาวคลื่นโดยเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุซึ่งธาตุแต่ละชนิดจะดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะและมีค่าแตกต่างกัน ส่วนประกอบของเครื่อง ส่วนประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังภาพที่ ผ 4



ภาพที่ ผ 4 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

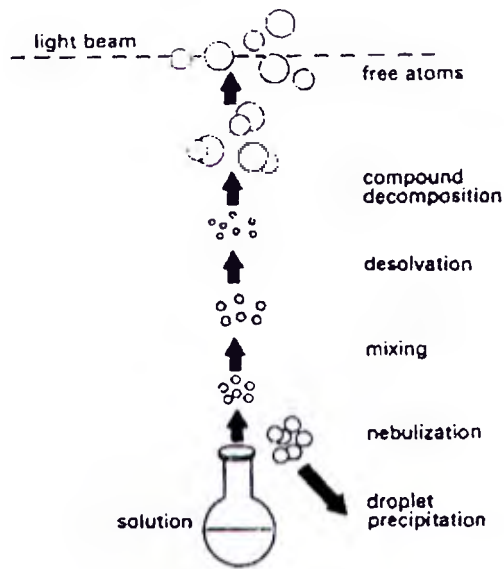
แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่นิยมใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ hollow cathode lamp (HCL) ใช้กับโลหะหลายชนิด เช่น Zn Cd Mn Cr และ Fe เป็นต้น และ electrodeless discharge lamps (EDL) ใช้ในการปริมาณของธาตุบางชนิดโดยเฉพาะ As Se และ Hg เพราะให้ sensitivity ดีกว่า

2. ส่วนที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระ (Atomizer)

วิธีที่ใช้กันในการทำให้ธาตุอยู่ในรูปของอะตอมอิสระในการวิจัยครั้งนี้ คือ

(ก) กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (flame atomizer)

สารตัวอย่างจะต้องเป็นสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีสารแขวนลอย กระบวนการเกิดอะตอมอิสระสามารถแบ่งออกได้ 5 ขั้นตอน ดังภาพที่ ผ 5

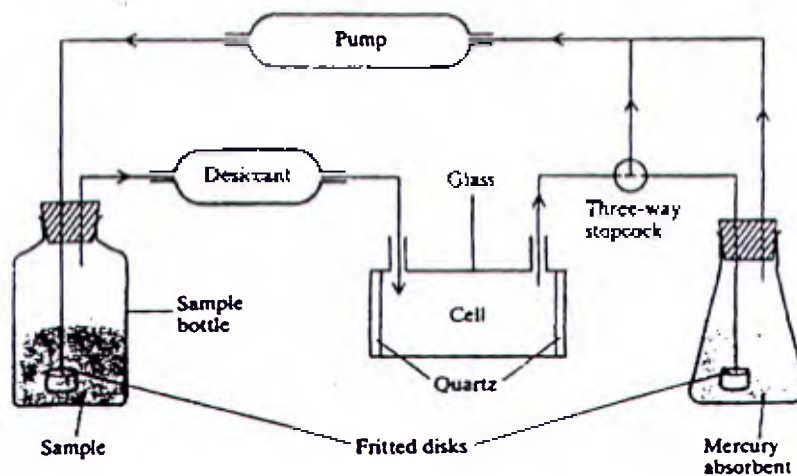


ภาพที่ ๕ แสดง Flame Atomization Process

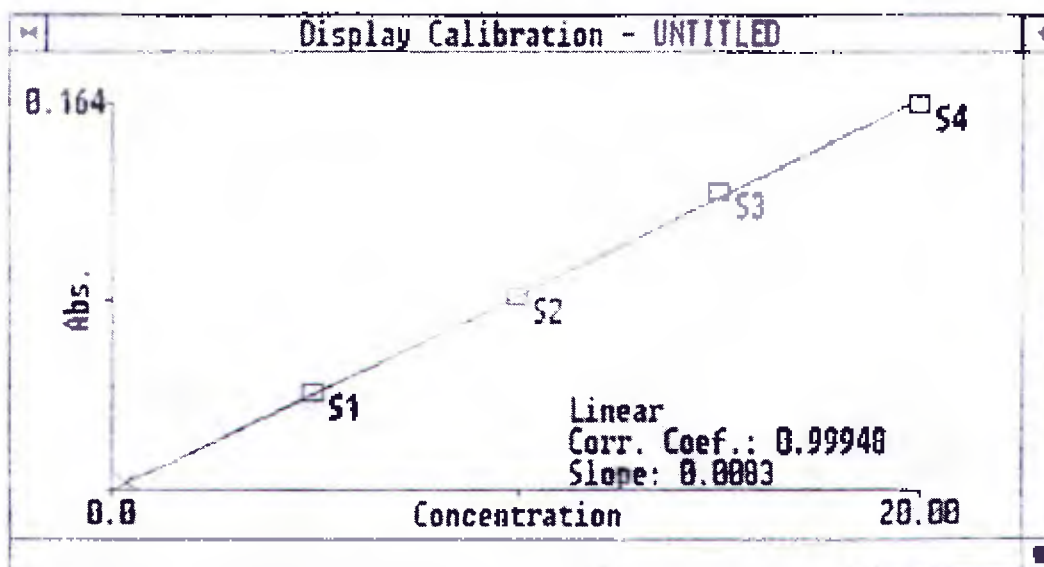
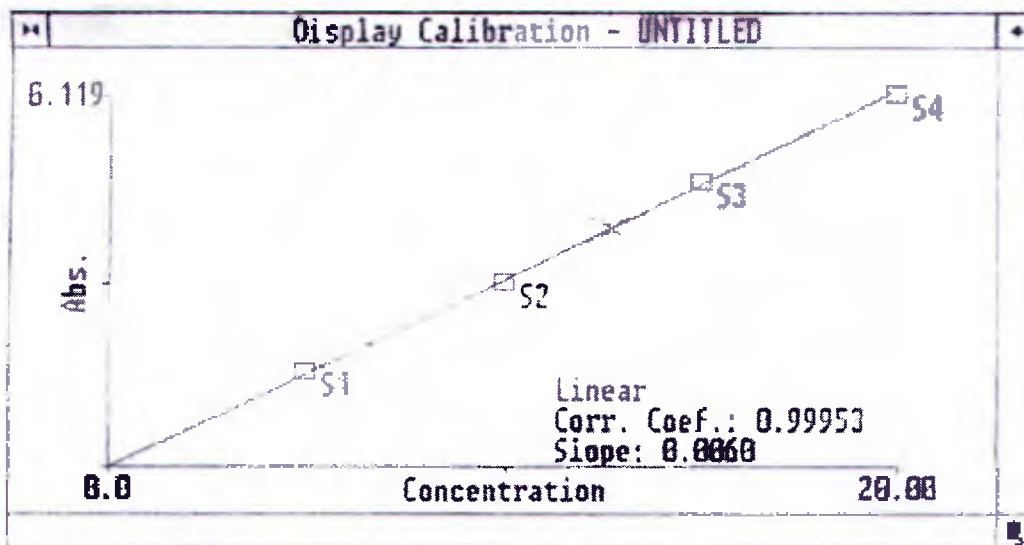
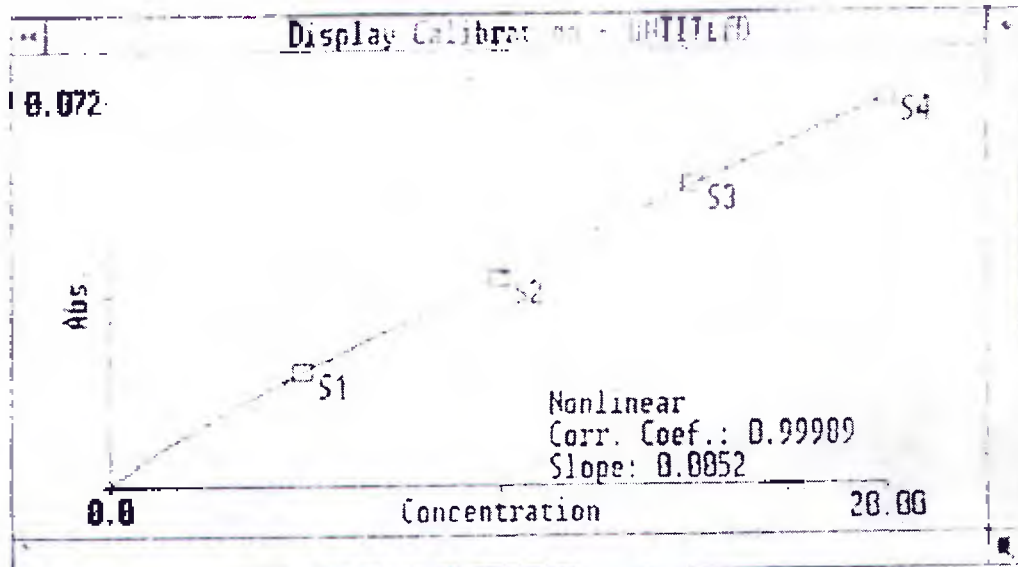
1. nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารละลายเป็นละอองเล็ก ๆ
2. droplet precipitation ละอองเล็ก ๆ รวมกันแล้วไหลออกทางท่อน้ำทิ้ง
3. mixing ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายรวมกับเชื้อเพลิงและออกซิแดนซ์
4. desolvation ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็ก ๆ ถูกกำจัดออกไป
5. compound decomposition เกิดขึ้นในเปลวไฟ ทำให้เกิดอะตอมอิสระ

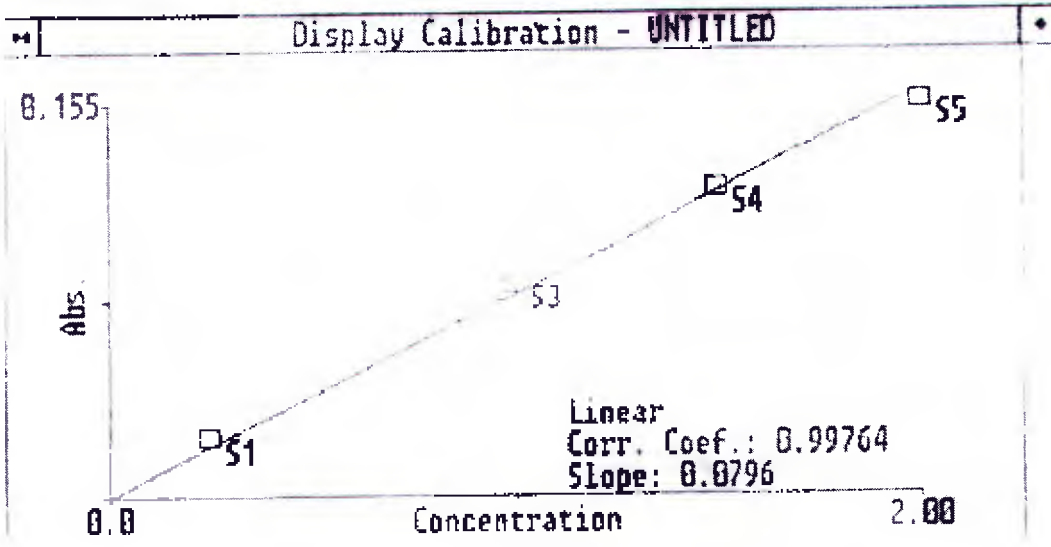
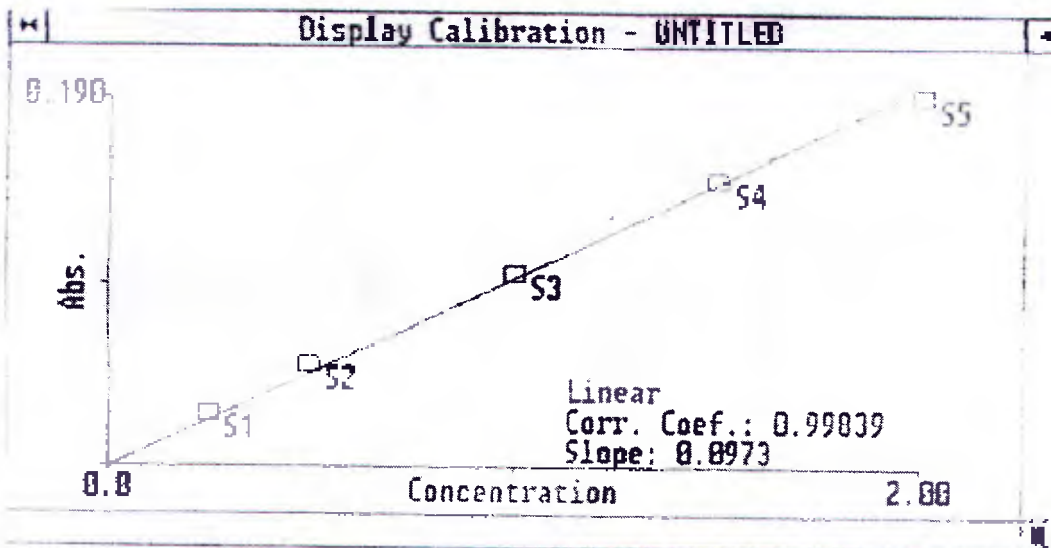
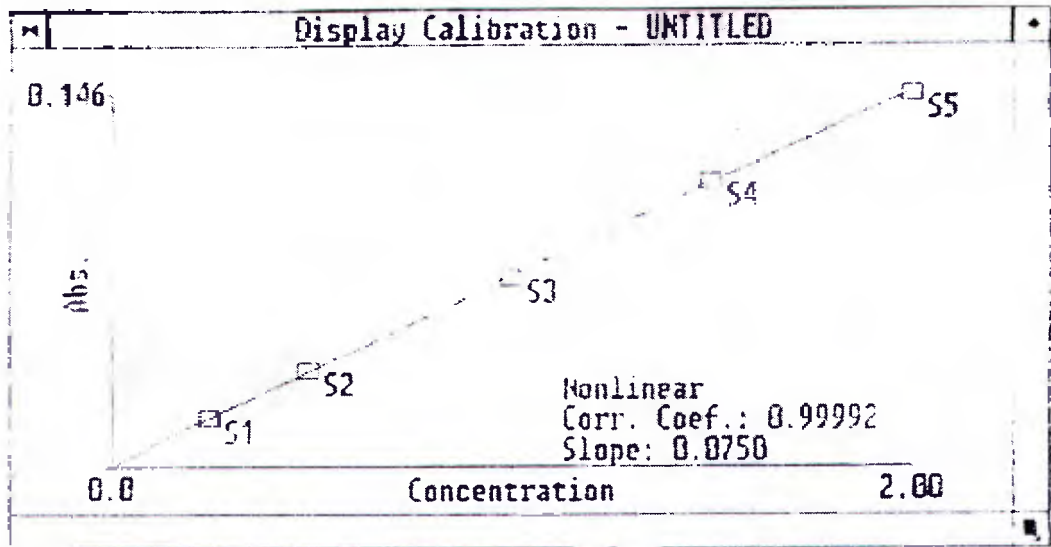
(ข) กระบวนการทำให้เป็นอะตอมอิสระโดยไม่ใช้ความร้อน (Cold Vapor Technique)

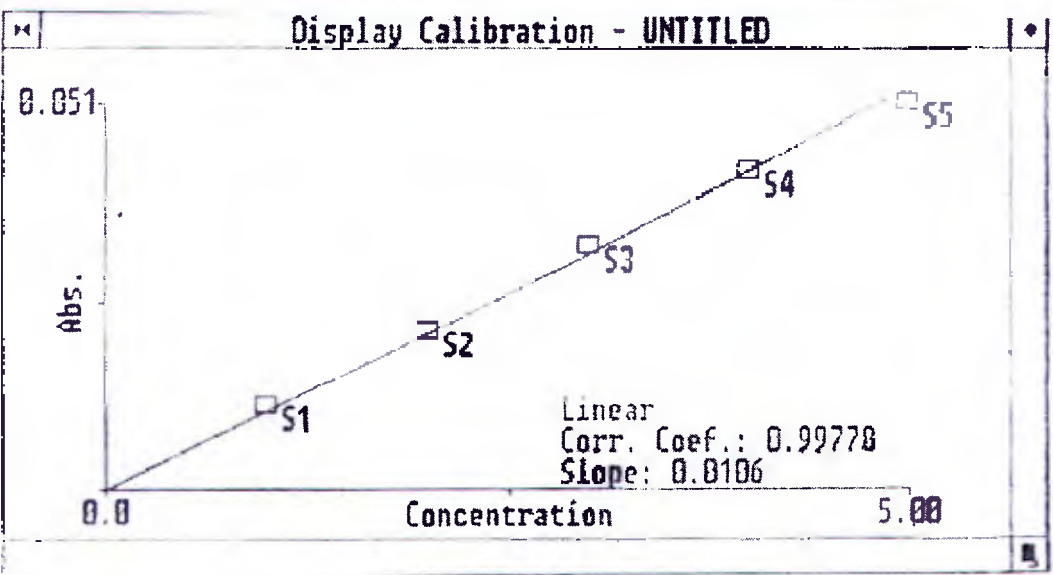
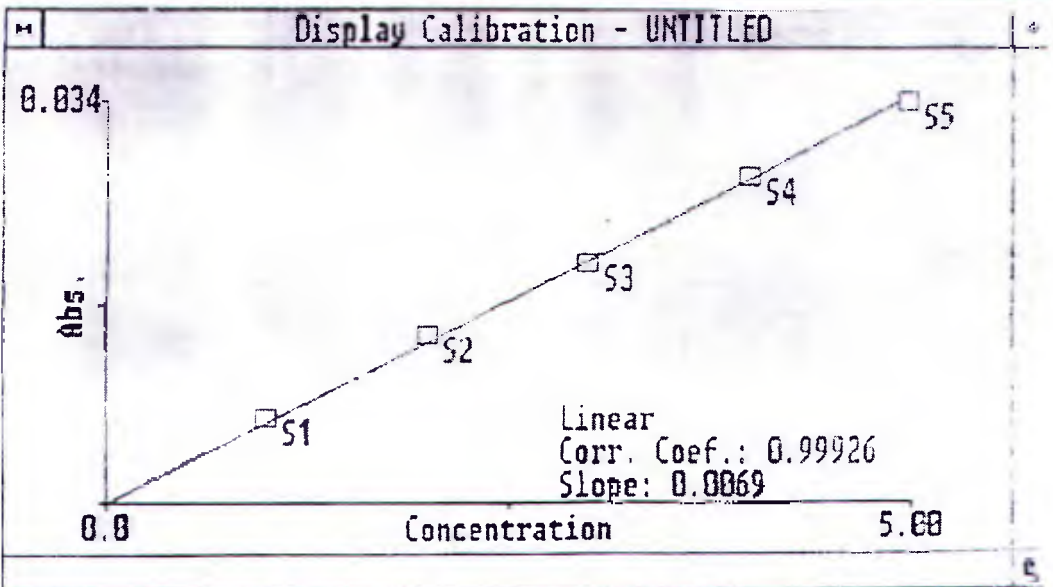
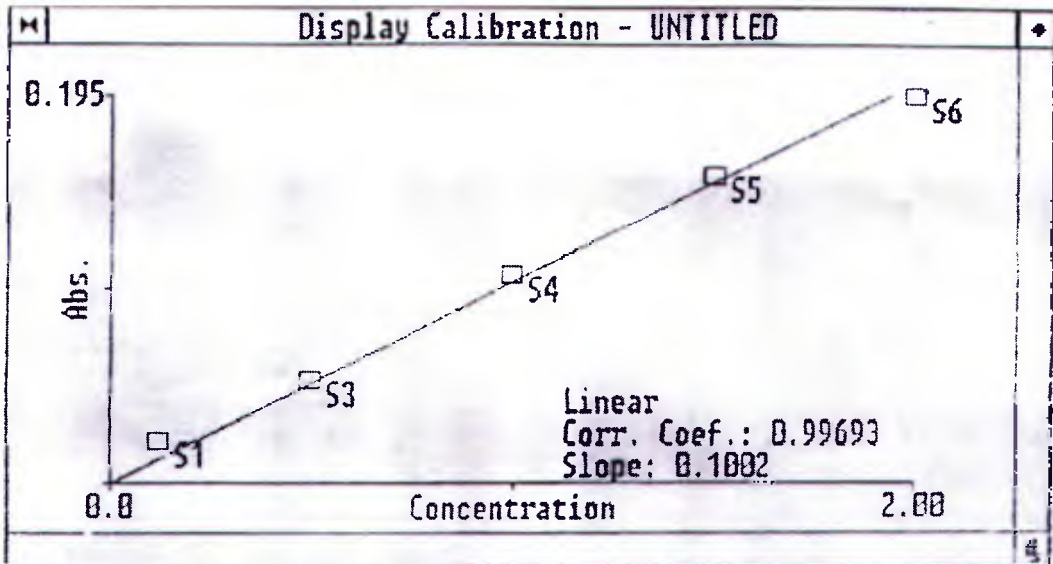
การวิเคราะห์หาปริมาณของปรอทที่นิยมทำเป็นแบบ flameless atomization ชนิด vapor generation โดยปรอทจะเกิดรีดักชันด้วย SnCl_2 ในกรด ชื่อ Hg^{2+} จะถูกรีดิวซ์เป็น Hg^0 แล้ววัดแอมป์ซอร์พชันที่มีความยาวคลื่น 253.6 nm ดังแสดงภาพที่ ๖

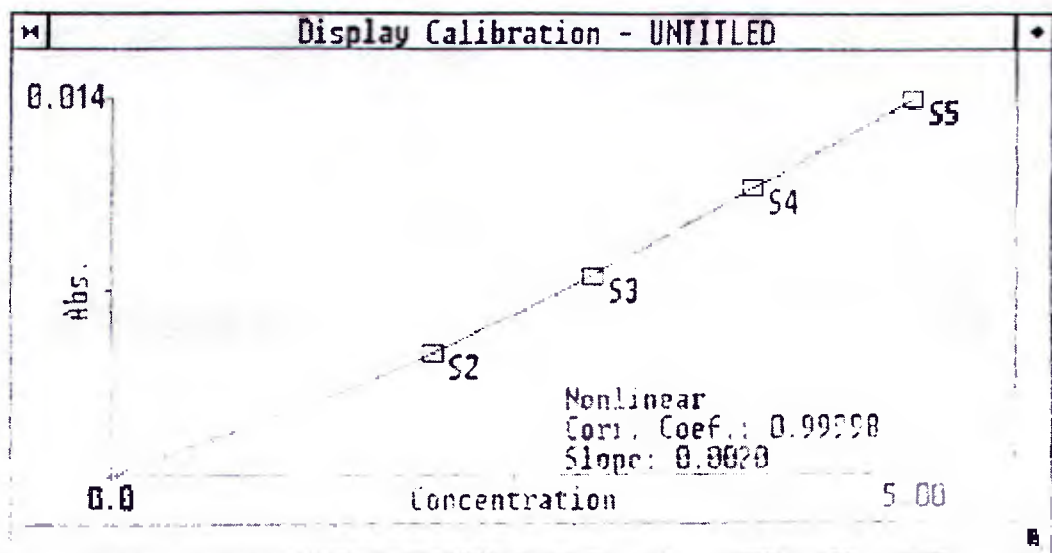
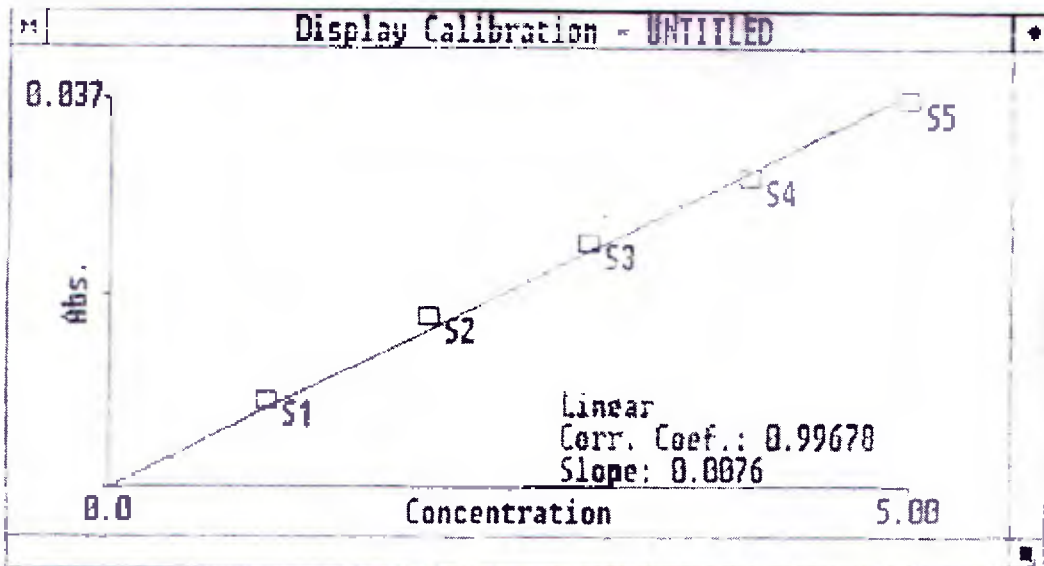
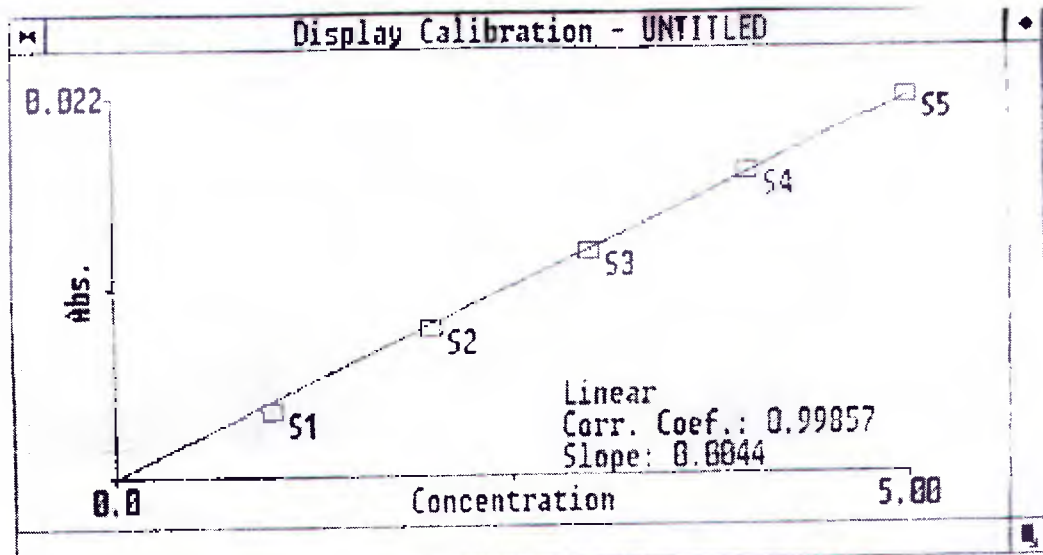


ภาพที่ ๖ แสดงภาพของเครื่องมือที่ใช้หาปรอทด้วย Cold Vapor Technique









ประวัติของผู้วิจัย



ชื่อ

นางสาวสุเพ็ญพร ปากว่าง

เกิดวันที่

17 มิถุนายน 2524

อายุ

22 ปี

ภูมิลำเนา

บ้านเลขที่ 116 หมู่ที่ 10 ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์
จังหวัดนครศรีธรรมราช 80130

ประวัติการศึกษา

- ระดับประถมศึกษา 1 – 6 โรงเรียนชุมชนวัดสุวรรณรังษี
ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
- ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนร่อนพิบูลย์เกียรติสุนทรากวีฉิมกั
ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
- ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสตรีทุ่งสง ตำบลปากแพรก
อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี โปรแกรมวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช

ประวัติของผู้วิจัย



ชื่อ นางสาวอมรรัตน์ สวาท
เกิดวันที่ 8 เมษายน 2524
อายุ 22 ปี
ภูมิลำเนา 77/1 หมู่ที่ 5 ตำบลกรุงชิง กิ่งอำเภอนบพิตำ
จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

ประวัติการศึกษา - ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านปากกลาง
- ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบ้านปากกลาง
- ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกงคาประชารักษ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี โปรแกรมวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช