

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่ว
ในสารละลายโดยใช้เปลือกลำไยเป็นสารดูดซับ

Study on the effective factors of metal ion(Cadmium and Lead) adsorption in aqueous solution using
Longan peel as an adsorbent

บัญชา ขวาลไชย¹ ฐปน ชื่นบาล² ศิราภรณ์ ชื่นบาล² ประจวบ ฉายนุ³

¹สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 502902

²ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 502903

³คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

เปลือกลำไยส่วนเกินจากการแปรรูปได้ถูกนำมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับและศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับไอออนของโลหะหนักในสารละลาย โดยการปรับสภาพด้วยวิธีการต่างกัน 3 แบบ คือ เปลือกลำไยแห้ง เปลือกลำไยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น และเปลือกลำไยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายด่าง ทำให้เกิดความแตกต่างในลักษณะบางประการของการเปลือกลำไย คือ ปริมาณเยื่อใย เถ้า ไขมัน ความเป็นกรด-ด่าง และขนาดของรูพรุน เปลือกลำไยที่ปรับสภาพด้วยวิธีดังกล่าวสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักได้ดีที่สุดเมื่อความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 4 คือ 87.53-97.77 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 1 ชั่วโมง โดยสามารถดูดซับไอออนของโลหะตะกั่วได้ดีกว่าแคดเมียม นอกจากนี้ปัจจัยความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ ปริมาณและขนาดของตัวดูดซับ มีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะหนักแตกต่างกัน และการศึกษาสมดุลของการดูดซับแบบกะทำให้ทราบว่า การดูดซับของเปลือกลำไยที่ปรับสภาพด้วยวิธีดังกล่าวสอดคล้องในระดับที่ค่อนข้างสูงกับแบบจำลอง Langmuir Adsorption Isotherm โดยมีความจุสูงสุดของการดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วเท่ากับ 5.7405 1.2680 และ 3.5273 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 8.7032 1.4766 และ 1.0075 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อทดลองกำจัดไอออนของโลหะแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่าเปลือกลำไยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น สามารถกำจัดโลหะแคดเมียมได้สูงสุด คือ 88.75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนคือเปลือกลำไยแห้ง และเปลือกลำไยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายด่างกำจัดโลหะแคดเมียมได้ไม่แตกต่างกัน คือ 84.45 และ 83.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Abstract

Longan peel from industrial processing was developed and studied for used as adsorbents and their heavy metal ions adsorption properties from aqueous solution. The three method modifications including dried longan peel , concentrated sulfuric acid treated longan peel and basic

solution treated longan peel created differentiation on fiber ash and lipid content pH and pore size of longan peel. However, Maximum heavy metal ion adsorption on these longan peels were observed to be 87.53-97.77 percentages at solution pH of 4. The adsorption completed in 1 hour in batch condition. Lead ions could be adsorbed by these longan peel better than Cadmium ions. Moreover, heavy metals adsorbent dosages and particle size of the adsorbents. The adsorption equilibrium experiments in batch condition showed that maximum adsorption capacity of upper longan peel for cadmium were 5.7405 1.2680 and 3.5273 mg/g and for lead were 0.0322 21.1416 and 0.6575 mg/g respectively. In addition, the cadmium ions removed from wastewater from scientific laboratory in appropriated condition were found. Highest cadmium content could be remove by concentrated sulfuric acid treated longan peel was 88.75 percentages. And non-significant cadmium content could be remove by dried longan peel and basic solution treated longan peel were 84.45 and 83.75 percentages respectively

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ นอกเหนือจากการอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวันแล้ว น้ำยังมีบทบาทสูงในการรังสรรค์อารยธรรมความมั่นคงและมั่งคั่งของสังคม มนุษยชาติได้ประโยชน์มหาศาลจากทรัพยากรน้ำมาโดยตลอด นอกจากนี้แหล่งน้ำต่างๆ ยังเป็นแหล่งที่อยู่ของสัตว์น้ำนานาชนิด ทั้งชนิดที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์และชนิดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจด้วย ปกติแล้วความเป็นประโยชน์ของน้ำจะลดลงหลังจากน้ำได้ผ่านการใช้ในกิจกรรมต่างๆ เนื่องจากน้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์แล้วจะมีสิ่งเจือปนและมีคุณภาพลดลง

ความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและแนวทางการพัฒนาประเทศไปสู่ระบบอุตสาหกรรมทำให้มีการใช้น้ำในระบบอุตสาหกรรมมากขึ้น สิ่งปนเปื้อนหลายชนิดจากกระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดน้ำเสียอุตสาหกรรมในปริมาณมากและหนึ่งในนั้นคือโลหะหนัก ซึ่งโรงงานที่ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีโลหะปนเปื้อนในปริมาณสูง ได้แก่ โรงงานชุบโลหะ เหมืองโลหะ และโรงงานผลิตแบตเตอรี่ชนิดเปียก เป็นต้น หากไม่มีการกำจัดโลหะที่ปนเปื้อนเหล่านั้นออกไปก่อนปล่อยน้ำเสียออกสู่ธรรมชาติย่อมก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงติดตามมา เช่น เหตุการณ์การปนเปื้อนของตะกั่วในลำห้วยคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี เป็นต้น

วิธีการกำจัดโลหะในน้ำเสียอุตสาหกรรมมีอยู่มากมาย การดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยมอย่างกว้างขวาง แต่ต้นทุนในการดำเนินการสูง เนื่องจากสารดูดซับที่ใช้ในการกำจัดโลหะด้วยวิธีนี้มีราคาแพง นักวิชาการจำนวนมากจึงหันมาสนใจและพยายามพัฒนาตัวดูดซับที่มีต้นทุนต่ำ ได้แก่ ซากมวลชีวภาพ ของเสียอุตสาหกรรม และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เป็นต้น เพื่อทดแทนตัวดูดซับราคาแพงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีการผลิตเฉลี่ยต่อปีกว่า 300,000 ตัน และมีแหล่งผลิตใหญ่ที่สุดของประเทศในพื้นที่ภาคเหนือ ในฤดูเก็บเกี่ยวลำไยมีราคาตกต่ำ เนื่องจากผลผลิตที่ออกสู่ตลาดมีปริมาณมาก การแปรรูปลำไยเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจจึงมีแนวโน้มเกิดขึ้นได้สูง เช่น การผลิตเครื่องดื่มลำไย เนื้อลำไยอบแห้ง และลำไยกระป๋อง เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปลำไย ได้แก่ เปลือกและเมล็ด ก็จะมีแนวโน้มมีปริมาณสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเปลือกและเมล็ดของลำไยมีปริมาณแทนนินและลิกนินสูง ทำให้มีศักยภาพในการดูดซับโลหะได้ดี (Sekar et al., 2004) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วในสารละลายของเปลือกลำไยเพื่อพัฒนาเป็นสารดูดซับต้นทุนต่ำสำหรับการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียอุตสาหกรรมต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

สารดูดซับ (Adsorbent)

เปลือกลำไยจากกระบวนการแปรรูปลำไย จังหวัดลำพูน ที่คัดแยกเอาเมล็ดและเนื้อลำไยออกแล้ว นำไปล้างทำความสะอาด ตากแดดบนตะแกรงในลอนเป็นเวลา 3 วัน บดให้ละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 250 – 850 ไมครอน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 เก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป ส่วนที่ 2 แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มอล เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นแยกเปลือกลำไยออกจากสารละลาย และล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนหลาย ๆ ครั้ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ส่วนที่ 3 นำไปแช่ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนหลาย ๆ ครั้งจนหมดกลิ่นกรด แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำเปลือกลำไยที่ได้ทั้ง 3 ส่วน มาวิเคราะห์ คุณสมบัติต่างๆ ของตัวดูดซับ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเยื่อใย ปริมาณเถ้า ความเป็นกรด – ด่าง และวัดขนาดรูพรุนของเปลือกลำไยแต่ละชนิดจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SEMFORE Software

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ทดสอบการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วโดยใช้สารดูดซับ 3 ชนิด คือ เปลือกลำไยแห้ง เปลือกลำไยแห้ง+ H_2SO_4 เข้มข้น และ เปลือกลำไยแห้ง + $NaOH$ 0.25 นอร์มอล ในการทดลองแบบกะ (Batch Experiment) จำนวน 3 ซ้ำ ในสารละลายปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ที่เขย่าด้วย Orbital shaker 125 รอบต่ออนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ดังนี้

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ

ทดสอบการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วในสารละลายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะเท่ากับ 8 12 16 และ 20 พีพีเอ็ม ค่าความเป็นกรด – ต่างเท่ากับ 4 ที่ใช้สารดูดซับ 3 ชนิด ขนาด 250 - 850 ไมครอน ปริมาณ 1.5 กรัม และตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายโลหะหลังจากสิ้นสุดการทดลองโดยใช้ FAAS

ผลของความเป็นกรด – ต่างของสารละลายโลหะ

ทดสอบการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียม และตะกั่วในสารละลายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 20 พีพีเอ็ม ค่าความเป็นกรด – ต่าง เท่ากับ 2 4 6 และ 8 ที่ใช้สารดูดซับ 3 ชนิด ขนาด 250 - 850 ไมครอน ปริมาณ 1.5 กรัม และตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายโลหะหลังจากสิ้นสุดการทดลองโดยใช้ FAAS

ผลของปริมาณสารดูดซับ

ทดสอบการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียม และตะกั่วในสารละลายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 20 พีพีเอ็ม ค่าความเป็นกรด – ต่างเท่ากับ 4 โดยใช้ตัวดูดซับ 3 ชนิด ขนาด 250 - 850 ไมครอน ปริมาณ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัม แล้วตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายโลหะโดยใช้ FAAS หลังจากสิ้นสุดการทดลอง

ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ

ทดสอบการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียม และตะกั่วในสารละลายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 20 พีพีเอ็ม ค่าความเป็นกรด – ต่างเท่ากับ 4 โดยใช้ตัวดูดซับ 3 ชนิด ที่มีขนาดของอนุภาคเท่ากับ 250 - 450 450 - 500 และ 500 - 850 ไมครอน ปริมาณ 1.5 กรัม แล้วตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายโลหะหลังจากสิ้นสุดการทดลองโดยใช้ FAAS

การศึกษา Equilibrium Adsorption Isotherm

ศึกษาสมดุลของการดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วโดยสารดูดซับ 3 ชนิด ในสารละลายโลหะปริมาตร 50 มิลลิลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 8 12 16 และ 20 พีพีเอ็ม ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เป็นเวลา 90 นาที และวัดความเข้มข้นของสารละลายทุก 10 นาที นำข้อมูลที่สมดุลของการดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโลหะที่สมดุลของการดูดซับ (C_e) ปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (q_e) ไปวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง Langmuir Adsorption Model เพื่อหาค่าความจุสูงสุดของการดูดซับ (Q^0) และค่าความแข็งแรงของพันธะดูดติด (b) ดังสมการที่ (1)

$$C_e/q_e = C_e/Q^0 + 1/bQ^0 \dots\dots\dots (1)$$

การกำจัดโลหะแคดเมียมในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

การกำจัดโลหะแคดเมียมในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้เปลือกกล้วยที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ เปลือกกล้วยแห้ง เปลือกกล้วยแห้ง+H₂SO₄ เข้มข้น และ เปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล เป็นตัวดูดซับ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยศึกษาคุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพบางประการของน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทั้งก่อน และหลังการทดลอง ดังนี้ ปริมาณโลหะแคดเมียม ค่าความเป็นกรด – ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า (YSI meter) ซีโอดี (Close reflux method) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (YSI meter)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบแจกแจงทางเดียว และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan 's new multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows Version 9.05

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ตัวดูดซับ (Adsorbents)

เปลือกกล้วยสายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จากกระบวนการแปรรูปกล้วยในจังหวัดลำพูน สายพันธุ์คือ มีน้ำหนักสดเฉลี่ยของแต่ละส่วนประกอบของผลกล้วย ได้แก่ เปลือก เมล็ด เนื้อ และผลของกล้วย มีค่าเท่ากับ 0.222 0.158 0.845 และ 1.225 กิโลกรัมต่อลำใย 100 ผล ตามลำดับ คิดเป็น 18.13 12.90 68.97 และ 100.00 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักแห้งเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.104 0.108 0.197 และ 0.409 กิโลกรัมต่อลำใย 100 ผล คิดเป็น 25.37 43.90 48.05 และ 100.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตาราง 1 น้ำหนักสดและแห้งของ ผล เปลือก เมล็ด และเนื้อ ของลำใยสายพันธุ์คือ จังหวัดลำพูน

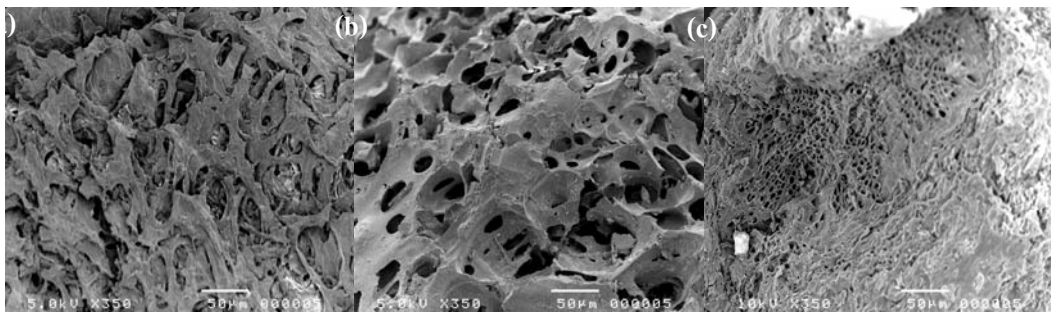
	น้ำหนักสด				น้ำหนักแห้ง			
	เปลือก	เมล็ด	เนื้อ	ผล	เปลือก	เมล็ด	เนื้อ	ผล
เฉลี่ย (กก. / 100 ผล)	0.222	0.158	0.845	1.225	0.104	0.108	0.197	0.409
เฉลี่ย (%)	18.13	12.90	68.97	100.0	25.43	26.41	48.17	100.0

ขณะที่ลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของเปลือกกล้วย ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันของเปลือกกล้วยแห้งมีค่าเท่ากับ 13.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกกล้วยแห้ง+H₂SO₄ เข้มข้นและเปลือกกล้วยแห้ง+NaOH 0.25 นอร์มอล ที่มีค่าไม่ต่างกัน คือ 0.46 และ 0.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณเยื่อ

ตาราง 2 ลักษณะทางกายภาพ และเคมีบางประการของเปลือกลำไยที่ใช้เป็นตัวดูดซับไอออนของโลหะ แคลเซียมและตะกั่วในสารละลาย

	เปลือก ลำไยแห้ง	เปลือกลำไยแห้ง+ H ₂ SO ₄ เข้มข้น	เปลือกลำไยแห้ง+ NaOH 0.25 นอร์มอล
ความชื้น(%)	0	0	0
โปรตีน(%)	6.48	4.42	4.89
ไขมัน(%)	13.21	0.46	0.84
คาร์โบไฮเดรต (%)	43.26	38.06	37.43
เยื่อใย(%)	30.45	45.98	45.14
เถ้า(%)	6.60	11.78	11.7
ขนาดของรูพรุน (ไมครอน)	7.83	12.97	5.93
pH	4.7	2.5	5.1

ใยและเถ้าของเปลือกลำไยแห้ง + H₂SO₄ เข้มข้นและเปลือกลำไยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล มีค่าสูงสุด คือ 45.98 และ 45.14 เปอร์เซ็นต์ และ 11.78 และ 11.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกลำไยแห้ง คือ 30.45 และ 6.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ขนาดของรูพรุนของเปลือกลำไยแห้ง + H₂SO₄ เข้มข้นมีขนาดใหญ่ที่สุด คือ 12.97 ไมครอน (P < 0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกลำไยแห้งและเปลือกลำไยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล ที่มีขนาดของรูพรุนเท่ากับ 7.83 และ 5.93 ไมครอน ตามลำดับ



ภาพ 1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงลักษณะพื้นผิวของ (a) เปลือกลำไยแห้ง (b) เปลือกลำไยแห้ง + H₂SO₄ เข้มข้น (c) เปลือกลำไยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ

การดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโลหะที่เพิ่มขึ้นจาก 8 12 16 และ 20 พีพีเอ็ม โดยในการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมของเปลือกกล้วยแห้งและเปลือกกล้วยแห้ง+H₂SO₄ เข้มข้น มีค่าเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05) จาก 86.64 ± 0.15 86.50 ± 0.11 และ 86.22 ± 0.17 เปอร์เซ็นต์ เป็น 88.72 ± 0.17 เปอร์เซ็นต์ และ 84.03 ± 2.45 85.62 ± 2.05 และ 86.20 ± 1.30 เปอร์เซ็นต์ เป็น 89.04 ± 0.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้นจาก 8 12 และ 16 พีพีเอ็ม เป็น 20 พีพีเอ็ม ส่วนเปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล สามารถดูดซับโลหะแคดเมียมได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05) จาก 87.65 ± 0.39 เปอร์เซ็นต์ เป็น 88.77 ± 0.21 88.90 ± 0.46 และ 89.04 ± 0.57 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้นจาก 8 พีพีเอ็ม เป็น 12 16 และ 20 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ภาพ 2 (a-1)) ขณะที่การดูดซับโลหะตะกั่วของเปลือกกล้วยแห้งและเปลือกกล้วยแห้ง+H₂SO₄ เข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างกัน (P > 0.05) อย่างไรก็ตามเปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล สามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05) จาก 88.36 ± 1.07 เปอร์เซ็นต์ เป็น 93.71 ± 0.32 95.33 ± 0.27 และ 95.22 ± 0.58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้นจาก 8 พีพีเอ็ม เป็น 12 16 และ 20 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ภาพ 2 (b-1)) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Singh *et al.* (2006) ที่ระบุว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียแปรผันตรงอย่างสูงกับความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเท่ากับเป็นการเพิ่มโอกาสให้ไอออนของโลหะหนักพบกับตำแหน่งแอกทิฟไซต์ของสารดูดซับมากขึ้น

ผลของความเป็นกรด – ด่างของสารละลายโลหะ

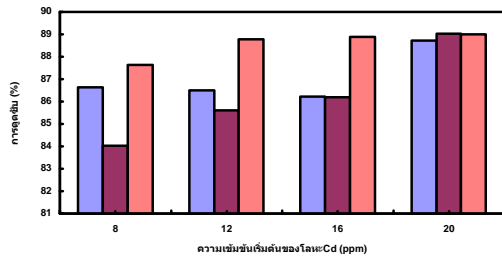
การดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อค่าความเป็นกรด – ด่างของสารละลายเท่ากับ 4 โดยสารดูดซับทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับโลหะแคดเมียมได้เท่ากับ 87.53 ± 0.64 92.68 ± 0.24 และ 87.65 ± 0.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพ 2 (a-2)) ขณะที่การดูดซับตะกั่วของเปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิดมีค่าเท่ากับ 88.19 ± 0.64 97.77 ± 0.63 และ 88.36 ± 1.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพ 2 (b-2)) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Lee *et al.* (1998) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้เศษแอปเปิ้ลรายงานไว้ในสภาพที่ความเป็นกรด – ด่าง มากกว่า 3 – 4 หมู่ Carboxylic group ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญสำหรับการดูดซับโลหะในซากอินทรีย์ จะสูญเสียโปรตอนและมีประจุเป็นลบดังนั้นจึงทำให้เกิดการดึงดูดประจุบวกของโลหะได้มากยิ่งขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ในสภาพที่ความเป็นกรด – ด่างสูง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมากกว่า 7 โลหะแคดเมียมและตะกั่วจะเกิดการตกตะกอนในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์ ทำให้ในสภาพที่เป็นด่างปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับมีน้อยลง แต่ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายก็มีค่าลดลงด้วย (Ozer and Pirincci, 2006; Sekar *et al.*, 2004)

ผลของปริมาณสารดูดซับ

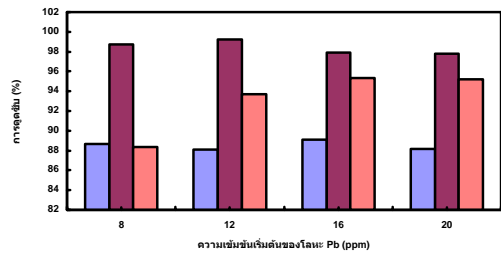
การดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารดูดซับที่เพิ่มขึ้นจาก 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัม อย่างไรก็ตามการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมของเปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล มีค่าไม่แตกต่างกัน คือ 82.89 ± 1.14 85.88 ± 1.39 87.65 ± 0.39 และ 84.52 ± 2.44 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$) เมื่อใช้ในปริมาณดังกล่าว ส่วนเปลือกกล้วยแห้งและเปลือกกล้วยแห้ง + H_2SO_4 เข้มข้นสามารถดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมได้เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จาก 80.37 ± 1.13 และ 88.32 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์ เป็น 85.07 ± 1.59 87.53 ± 0.64 และ 86.72 ± 0.64 เปอร์เซ็นต์ และ 92.02 ± 0.14 92.68 ± 0.30 และ 91.63 ± 0.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อปริมาณสารดูดซับเพิ่มจาก 0.5 กรัม เป็น 1.0 1.5 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ (ภาพ 2 (a-3)) ส่วนการดูดซับไอออนของโลหะตะกั่วของเปลือกกล้วยแห้ง + H_2SO_4 เข้มข้น มีค่าไม่แตกต่างกัน คือ 96.38 ± 0.18 98.31 ± 0.42 97.77 ± 0.23 และ 99.26 ± 0.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการดูดซับไอออนของโลหะตะกั่วของเปลือกกล้วยแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 80.37 ± 1.13 เปอร์เซ็นต์ เป็น 85.73 ± 1.59 88.19 ± 0.64 และ 87.38 ± 0.17 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารดูดซับที่เพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 1.0 1.5 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ ขณะที่เปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล สามารถดูดซับไอออนของโลหะตะกั่วเพิ่มขึ้นจาก 88.36 ± 0.15 เปอร์เซ็นต์ เป็น 92.81 ± 0.34 เปอร์เซ็นต์ และ 95.15 ± 0.44 และ 95.17 ± 0.35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณสารดูดซับเพิ่มจาก 0.5 กรัม เป็น 1.0 และ 1.5 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ (ภาพ 2 (b-3)) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของAjmal *et. al.* (2006) ที่ศึกษาการใช้หญ้า *Parthenium Hysterophorous* เป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย รายงานว่าการทดลองใช้ตัวดูดซับปริมาณตั้งแต่ 0.1 – 1 กรัม ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับเพิ่มจาก 92.2 ถึง 99.0 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะบริเวณที่ไม่อิ่มตัวที่เหลืออยู่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าบริเวณที่เป็นประโยชน์สำหรับการดูดซับโลหะมีมากขึ้น จึงเป็นผลให้ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับรวมมีมากขึ้น

ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ

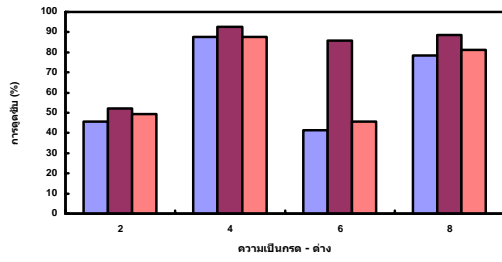
การดูดซับโลหะแคดเมียมของเปลือกกล้วยแห้งมีค่าสูงสุดเมื่อมีขนาดของอนุภาคเท่ากับ 450 – 500 ไมครอน คือ 89.08 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับการดูดซับโลหะแคดเมียมของเปลือกกล้วยแห้งขนาด 250 – 450 และ 500 – 850 ไมครอน ที่ดูดซับได้ เท่ากับ 88.52 ± 0.07 และ 84.98 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การดูดซับแคดเมียมของเปลือกกล้วยแห้ง + H_2SO_4 เข้มข้น มีแนวโน้ม เพิ่มขึ้น คือ 91.70 ± 0.01 92.55 ± 0.02 และ 93.78 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามขนาดของสารดูดซับที่เพิ่มขึ้น คือ 250 – 450 450 – 500 และ 500 – 850 ไมครอน ขณะที่การดูดซับของไอออนของโลหะแคดเมียมของ เปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล ไม่เพิ่มขึ้น



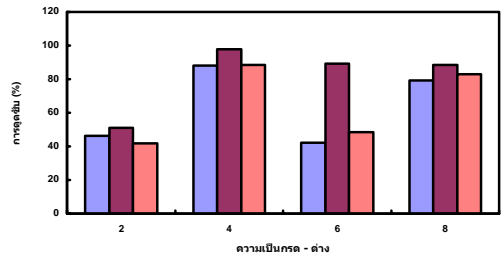
(a-1)



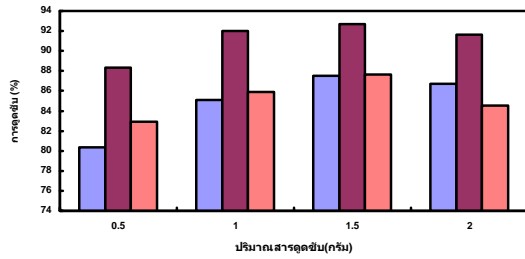
(b-1)



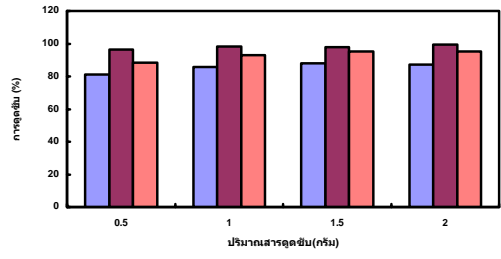
(a-2)



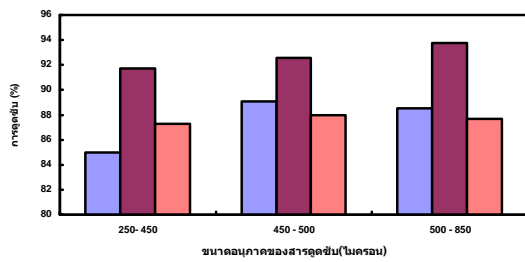
(b-2)



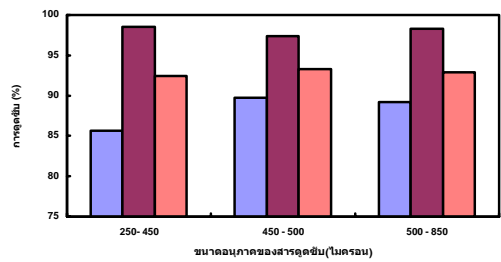
(a-3)



(b-3)



(a-4)



(b-4)

ภาพ 2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ ความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณสารดูดซับ และ ขนาดของสารดูดซับ ต่อการดูดซับโลหะแคดเมียม (a-1 – a-4) และ ตะกั่ว (b-1 – b-4) ของเปลือกกล้วย 3 ชนิดคือ เปลือกกล้วยแห้ง (█) เปลือกกล้วยแห้ง + H₂SO₄ เข้มข้น (█) และเปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล (█)

ตามขนาดของสารดูดซับ คือ 87.28 ± 0.74 87.98 ± 0.83 และ 87.68 ± 0.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่การดูดซับตะกั่วของเปลือกกล้วยแห้ง+ H_2SO_4 เข้มข้น และเปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล มีค่าไม่แตกต่างกัน คือ 98.52 ± 0.55 97.39 ± 0.48 และ 98.28 ± 0.52 เปอร์เซ็นต์ และ 92.41 ± 1.08 93.27 ± 1.25 และ 92.93 ± 1.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่เปลือกกล้วยแห้งสามารถดูดซับตะกั่วได้เพิ่มขึ้นจาก 85.64 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์ เป็น 89.74 ± 0.02 และ 89.18 ± 0.027 เปอร์เซ็นต์ เมื่อขนาดอนุภาคที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 250 – 450 ไมครอน เป็น 450 – 500 และ 500 – 850 ไมครอน ทั้งนี้ในกรณีที่การดูดซับโลหะมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาคตัวดูดซับนั้นการดูดซับดังกล่าวจะเกิดขึ้นในลักษณะของการถ่ายเทมวลเข้าสู่ภายในอนุภาคสารดูดซับ แต่กรณีที่การดูดซับโลหะมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาคตัวดูดซับที่ลดลงนั้นการดูดซับดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Bulet and Baysal (2006) รายงานว่าการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกข้าวสาลีเป็นตัวดูดซับ พบว่า การดูดซับโลหะตะกั่วโดยใช้เปลือกข้าวสาลีขนาด 500 1000 และ 1500 ไมครอนเป็นตัวดูดซับโลหะตะกั่วในน้ำเสียมีค่าลดลงตามขนาดของตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้น คือ 98.35 96.43 และ 93.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวมีแนวโน้มตามพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาคที่ลดลง ดังนั้นการดูดซับโลหะตะกั่วในกรณีนี้จึงเกิดขึ้นที่บริเวณผิวนอกของอนุภาคตัวดูดซับที่มีลักษณะไม่เป็นรูพรุน (Non – porous)

การศึกษา Equilibrium Adsorption Isotherm

จากการศึกษา Equilibrium Adsorption Isotherm ของการดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วของเปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีความสอดคล้องกับ Langmuir Adsorption Isotherm ค่อนข้างสูง ในการดูดซับโลหะแคดเมียมการใช้เปลือกกล้วยแห้ง+NaOH 0.25 นอร์มอล เป็นตัวดูดซับ มีความเหมาะสมกับ Langmuir adsorption Isotherm มากที่สุด ($R^2 = 0.9832$) รองลงมา คือ เปลือกกล้วยแห้ง ($R^2 = 0.9177$) และเปลือกกล้วยแห้ง + H_2SO_4 เข้มข้น มีความเหมาะสมน้อยสุด ($R^2 = 0.6908$) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความจุสูงสุดของการดูดซับ (Q^0) ไอออนของโลหะแคดเมียม และค่าคงที่ไอโซเทอร์ม อันเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของพันธะดูดติดของการใช้เปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิด เป็นตัวดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียม มีค่าเท่ากับ 5.7405 1.2680 และ 3.5273 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.0463 0.6232 และ 0.0872 ลิตรต่อมิลลิกรัม สำหรับ เปลือกกล้วยแห้ง เปลือกกล้วยแห้ง+ H_2SO_4 เข้มข้น และเปลือกกล้วยแห้ง+NaOH 0.25 นอร์มอล ตามลำดับ (ตาราง 3)

ตาราง 3 ค่าคงที่ของ Langmuir adsorption Isotherm ของการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมโดยเปลือกกล้วยที่เตรียมจากวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี

ตัวดูดซับ	Q^0 (มก./ก.)	b (มก./ล.)	R^2
เปลือกกล้วยแห้ง	5.7405	0.0463	0.9177
เปลือกกล้วยแห้ง + H_2SO_4 เข้มข้น	1.2680	0.6232	0.6908
เปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล	3.5273	0.0872	0.9832

การดูดซับโลหะตะกั่วการใช้เปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล เป็นตัวดูดซับ มีความเหมาะสมกับ Langmuir adsorption Isotherm มากที่สุด ($R^2 = 0.9934$) รองลงมา คือ เปลือกกล้วยแห้ง ($R^2 = 0.9177$) และ เปลือกกล้วยแห้ง + H_2SO_4 เข้มข้น มีความเหมาะสมน้อยสุด ($R^2 = 0.9862$) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความจุสูงสุดของการดูดซับ (Q^0) ไอออนของโลหะตะกั่ว และ ค่าคงที่ไอโซเทอร์มของการใช้เปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิด เป็นตัวดูดซับไอออนของโลหะตะกั่วมีค่าเท่ากับ 8.7034 1.0075 และ 1.4766 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.0322 21.1416 และ 0.6575 ลิตรต่อมิลลิกรัม สำหรับ เปลือกกล้วยแห้ง เปลือกกล้วยแห้ง + H_2SO_4 เข้มข้น และ เปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล ตามลำดับ (ตาราง 4)

ตาราง 4 ค่าคงที่ของ Langmuir adsorption Isotherm ของการดูดซับไอออนของโลหะตะกั่วโดย เปลือกกล้วยที่เตรียมจากวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี

ตัวดูดซับ	Q^0 (มก./ก.)	b (ล./มก.)	R^2
เปลือกกล้วยแห้ง	8.7032	0.0322	0.9944
เปลือกกล้วยแห้ง + H_2SO_4 เข้มข้น	1.4766	21.1416	0.9862
เปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล	1.0075	0.6575	0.9934

การกำจัดโลหะแคดเมียมในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

การใช้เปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิดเป็นสารดูดซับเพื่อกำจัดโลหะแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ พบว่าเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นสามารถกำจัดโลหะแคดเมียมได้สูงสุด คือ 88.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับการใช้เปลือกกล้วยแห้ง และเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายต่าง สามารถกำจัดโลหะแคดเมียมได้ 84.45 และ 83.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการใช้เปลือกกล้วยแห้งและเปลือกกล้วย ที่ปรับสภาพด้วยสารละลายต่างเป็นสารดูดซับมีผลทำให้ค่าซีโอดีของน้ำเสียหลังการกำจัดโลหะแคดเมียมเพิ่มขึ้นเป็น 3,680 และ 4,960 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ขณะที่น้ำเสียหลังจากการกำจัดแคดเมียมที่ใช้เปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวดูดซับมีค่าซีโอดีลดลงเหลือ 264 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตาราง 5)

ตาราง 5 คุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังการกำจัดโลหะแคดเมียมที่ใช้เปลือกกล้วย 3 ชนิด เป็นตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ	pH	EC	TDS	COD	Cd
คุณภาพน้ำเสียก่อนการกำจัดโลหะแคดเมียม		8000	3000	392	6.42
คุณภาพน้ำเสียหลังการกำจัดโลหะแคดเมียมโดยใช้					
- เปลือกกล้วยแห้ง	2.05	11000	5000	3680	0.98
- เปลือกกล้วยแห้ง + H_2SO_4 เข้มข้น	1.95	4000	2000	264	0.65
- เปลือกกล้วยแห้ง + NaOH 0.25 นอร์มอล	2.65	18000	9000	4960	1.02

สรุปผลการวิจัย

การปรับสภาพเปลือกกล้วยแห้งด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มอล มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของเปลือกกล้วย และประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วในสารละลาย อย่างไรก็ตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณ และขนาดของสารดูดซับ มีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วของเปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิด แตกต่างกันไป โดยในสภาวะที่เหมาะสมเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นสามารถดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียม และตะกั่วได้ดีที่สุด รองลงมาคือ เปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มอล และเปลือกกล้วยแห้ง ตามลำดับ และการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วของเปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิด ยังมีความสอดคล้องค่อนข้างสูงกับ Langmuir Adsorption Isotherm นอกจากนี้การใช้เปลือกกล้วยทั้ง 3 ชนิด กำจัดโลหะแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการได้ 83.75 – 88.75 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการศึกษาค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Ajmal M., Khanrao A. R., Ahmad R. and Khan A. M. (2006) Adsorption study on *Parthenium hysterophorous* weed : Removal and recovery of Cd (II) from wastewater. Journal of Hazardous Materials B135, 242 – 248.
- Ozer A. and Pirincci H. B. (2006) The adsorption of Cd(II) ions on sulfuric acid treated wheat bran. Journal of Hazardous Materials (in press)
- Sekar M., Sakthi V. and Rengaraj S. (2004) Kinetic and equilibrium adsorption study of lead (II) on to activated carbon prepared from coconut shell. Journal of Colloid and Interface Science (In press).
- Singh K.K., Singh A.K. and Hason S. H. (2006) Lowcost bio – sorbent 'wheat bran' for removal of cadmium from wastewater : Kinetic and equilibrium studies. Bioresource Technology. 97, 994 – 1001.