

**การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลโดยใช้เถ้าลอยชานอ้อย**  
**Adsorption of Lead in Sugarcane Wastewater using Bagasse Ash Adsorbents**

ดร.สิรวัดภ์ เรืองช่วย <sup>1</sup>ผู้ประกาย<sup>1</sup> และ ดร.เสวีชัย <sup>2</sup>ผู้ประกาย<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต  
<sup>2</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง  
 E-mail: sirawan\_rua@dusit.ac.th

### บทคัดย่อ

การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการของโรงงานน้ำตาล โดยใช้เถ้าลอยชานอ้อยซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลแห่งเดียวกันด้วยวิธีการดูดซับแบบเบตซ์ ทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ คือ เวลาสัมผัส ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) บัฟเฟอร์ ปริมาณตัวดูดซับ และไอโซเทอมของการดูดซับ จากการทดลองน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการของโรงงานน้ำตาลมีค่าความเข้มข้นของตะกั่ว 10,959 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่า pH 4.8 พบว่าเวลาสัมผัส ค่า pH ของน้ำเสีย และปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ร้อยละการกำจัดตะกั่วเพิ่มขึ้น ส่วนบัฟเฟอร์ไม่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 32.7 ที่ค่า pH เท่ากับ 6 เวลาสัมผัสเท่ากับ 9 นาที การศึกษาไอโซเทอมพบว่า ความสามารถในการกำจัดตะกั่วมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชมากกว่าแบบแลงมัวร์

### Abstract

The removal of lead in laboratory wastewater from a sugarcane factory using bagasse fly ash from the same factory was carried out via batch absorption experiments in order to study factors influencing the absorption, namely, contact time, initial pH value, buffer, absorbent dose, and absorption isotherm. From the experiment, laboratory waste water from the sugarcane factory had lead concentration of 10,959 mg/L and pH value of 4.8. The batch study indicated that the removal percentage increased with increasing contact time, pH value, and absorbent dose. However, buffer did not affect lead removal. The maximum efficiency of lead removal was 32.6 percent at the pH value of 6, and the contact time of 9 minutes. From the test of absorption isotherm, it was found that the Freundlich equation fitted the isotherm data better than the Langmuir.

## บทนำ

น้ำตาลเป็นหนึ่งในสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศ เกี่ยวเนื่องกับอุตสาหกรรมอื่น รวมถึงภาคเกษตรกรรม วัตถุประสงค์ในการผลิตน้ำตาลอ้อยซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตร น้ำตาลยังสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมผลิตอาหาร ผลิตภัณฑ์นม น้ำหวาน น้ำอัดลม และผลิตภัณฑ์ยา ฯลฯ อุตสาหกรรมน้ำตาลจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญของประเทศ (ภาณุพงษ์, 2546) ในกระบวนการผลิตน้ำตาล มีเศษวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหีบอ้อย คือ ขานอ้อย ซึ่งปริมาณขานอ้อยที่เกิดขึ้นในแต่ละปีไม่ต่ำกว่า 4 ล้านตัน (วรรณภา, 2546)

รัฐบาลโดยการดำเนินงานของคณะกรรมการกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้จัดตั้ง “โครงการส่งเสริมผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อยที่ใช้พลังงานหมุนเวียน” เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และมีผู้ประกอบการ 22% ของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กทั้งหมด เลือกใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงาน และนำส่วนที่เหลือใช้ขายให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2549) ภายหลังจากการเผาไหม้แล้วจะมีเถ้าลอยขานอ้อยเกิดขึ้น ประเมินการว่าจะมีเถ้าลอยขานอ้อยเกิดขึ้น 60,000 ถึง 120,000 ตันต่อปี (ฤกษ์, 2545) เถ้าลอยขานอ้อยที่เกิดขึ้นเป็นวัสดุที่ไม่มีราคา ซ้ำยังเป็นภาระที่ต้องกำจัด เนื่องจากมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ทำให้ฟุ้งกระจายได้ง่ายเมื่อถูกลมพัด ก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศ และอาจเกิดผลร้ายต่อสุขภาพในส่วนของระบบทางเดินหายใจ

การศึกษาประสิทธิภาพของเถ้าลอยขานอ้อยในกระบวนการดูดซับกำจัดตะกั่ว ซึ่งเป็นโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ สำหรับการหาจำนวนร้อยละของน้ำตาลซูโครสในน้ำอ้อย (Pol analysis) ของโรงงานน้ำตาล กระบวนการกำจัดตะกั่วในน้ำทิ้งมีวิธีที่หลากหลาย เช่น การตกตะกอนทางเคมี กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน กระบวนการกรองผ่านเมมเบรน โดยวิธีการที่ยกตัวอย่างมานั้นสามารถกำจัดตะกั่วได้ แต่งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาแล้วพบว่าค่าใช้จ่ายในการลงทุน และการบำรุงรักษาสูงมาก เนื่องจากต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง (นริศรา, 2545; ภาณุพงษ์, 2546; วรรณชนะ, 2544 และ Yu, *et al.*, 2001; Zhan and Zhao, 2003; Herrera-Urbina and Fuerstenau, 1995; Naseem and Tahir, 2001; Namasivayam and Ranganathan, 1998; Wu, *et al.*, 2003) ดังนั้นถ้าสามารถนำเถ้าลอยขานอ้อยมาใช้กำจัดตะกั่วในน้ำเสียของโรงงานน้ำตาล นอกจากจะเป็นการลดภาระในการกำจัดเถ้าลอยขานอ้อยแล้ว ยังได้ประโยชน์เพิ่มขึ้นในขอบข่ายของการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากสามารถนำของเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำตาลมาใช้กำจัดตะกั่วในน้ำเสียของโรงงานน้ำตาลเองแล้ว จัดเป็นต้นแบบของการพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งนอกจากจะเป็นการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนแล้ว ยังส่งผลทางอ้อมต่อการพัฒนาคนและสังคมให้มีคุณภาพ อันจะส่งผลต่อความมั่นคงของประเทศในภาพรวมอีกด้วย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียของโรงงานน้ำตาล โดยใช้เถ้าลอยขานอ้อยเป็นตัวดูดซับ และศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว เช่น เวลาในการดูดซับ ค่า pH บัฟเฟอร์ และปริมาณของเถ้าลอยขานอ้อย

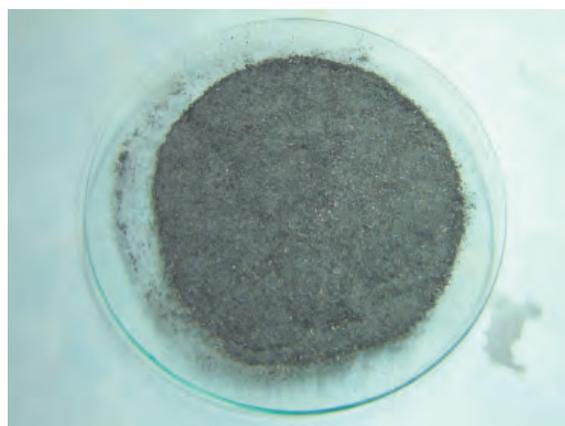
## วิธีการทดลอง

การเตรียมการทดลองมี 2 ส่วนคือ การเตรียมถ้ำลอยชานอ้อย และการเตรียมอุปกรณ์ การเตรียมถ้ำลอยชานอ้อยซึ่งได้รับอนุเคราะห์มาจากโรงงานน้ำตาล บริษัท อุตสาหกรรมน้ำตาลกาญจนบุรี จำกัด กลุ่มน้ำตาลไทยรุ่งเรือง ในระบบกำจัดถ้ำลอยด้วยการพ่นน้ำดักจับ จึงมีลักษณะเปียก มีค่าความชื้นเท่ากับ 79.23 % ดังแสดงในภาพที่ 1(ก) น้ำถ้ำลอยชานอ้อยไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท หลังจากนั้นร่อนด้วยตะแกรงร่อนที่มีช่องขนาด 100 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1(ข) และนำมาเก็บไว้ในภาชนะดูดความชื้นในระหว่างรอการใช้งาน

การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง คือ หลอดพลาสติก (เพื่อป้องกันการดูดซับตะกั่วของภาชนะแก้ว) ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ปลายแหลมมน มีฝาเกลียวปิดมิดชิด เตรียมหลอดก่อนใช้งานโดยการแช่ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อลดการปนเปื้อนจากตะกั่ว จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำกลั่น คว้าให้แห้งเพื่อรอการใช้งานต่อไป



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ถ้ำลอยชานอ้อย (ก) ก่อนอบด้วยเตาอบ (ข) หลังอบแห้ง และผ่านการร่อนแล้ว

ขั้นตอนการทดลองดำเนินการแบบ Triplication มีรายละเอียดดังนี้

(1) ศึกษาสมบัติของน้ำเสียจริงของโรงงานน้ำตาลโดยการวิเคราะห์ค่า pH ด้วยเครื่องวัดค่า pH หากค่าความเข้มข้นของตะกั่วโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA-6800

สมบัติของน้ำเสียจริงของโรงงานน้ำตาลมีค่า pH เท่ากับ 4.8 ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียที่ไม่ได้ย่อยด้วยกรดไนตริก เท่ากับ 10.959 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำเสีย ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียที่ย่อยด้วยกรดไนตริก เท่ากับ 10.968 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำเสีย เป็นค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าตะกั่วที่อยู่ในน้ำเสียอยู่ในรูปที่ละลายได้เป็นส่วนใหญ่ จึงไม่ต้องทำการย่อยน้ำเสียด้วยกรดไนตริก ทำให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายลดเวลาในการทำการทดลอง และลดปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้นจากการทดลอง

(2) ศึกษาเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุลของเถาลอยซานอ้อยที่ใช้กำจัดตะกั่วจากน้ำเสีย โดยการใส่เถาลอยซานอ้อย ปริมาณ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย น้ำเสียปริมาตร 40 มิลลิลิตร ความเร็วในการเขย่าเท่ากับ 125 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่าง ที่ 3 6 9 12 15 60 90 และ 120 นาที กรองน้ำเสียผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ ตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

(3) ศึกษาผลของ pH และบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่วของเถาลอยซานอ้อย ใช้เถาลอยซานอ้อยปริมาณ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย น้ำเสียปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ของน้ำเสียตัวอย่างเท่ากับ 4 5 และ 6 โดยแบ่งน้ำเสีย ตัวอย่างเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ไม่เติมบัฟเฟอร์ ส่วนชุดที่ 2 เติมบัฟเฟอร์ในการปรับค่า pH นำน้ำเสียตัวอย่างไปเขย่าด้วยความเร็ว 125 รอบต่อนาทีตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ (2) จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน วัดค่า pH และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

(4) หาเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วสำหรับกรทดลองไอโซเทอมการดูดซับ ใช้เถาลอยซานอ้อยปริมาณ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย น้ำเสียปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ของน้ำเสียตัวอย่างให้เท่ากับค่า pH ที่ให้ประสิทธิภาพ การกำจัดสูงสุดที่ได้จากขั้นตอนที่ (3) นำน้ำเสียตัวอย่างไปเขย่าด้วยความเร็ว 125 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ 3 6 9 12 15 60 90 และ 120 นาที กรองน้ำเสียผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ด้วยเครื่อง AAS

(5) ศึกษาผลของปริมาณของเถาลอยซานอ้อยที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย ใช้เถาลอยซานอ้อยปริมาณ 5 6 10 15 20 และ 25 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย น้ำเสียปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ของน้ำเสียตัวอย่างให้เท่ากับ ค่า pH ที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ได้จากขั้นตอนที่ (3) นำน้ำเสียตัวอย่างไปเขย่าด้วยความเร็ว 125 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ (4) กรองน้ำเสียตัวอย่างผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

(6) ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของเถาลอยซานอ้อยในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจริงของโรงงานน้ำตาลโดยใช้ ผลการศึกษาจากขั้นตอนที่ (5) โดยศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ และฟรุนดลิช

## ผลการศึกษา

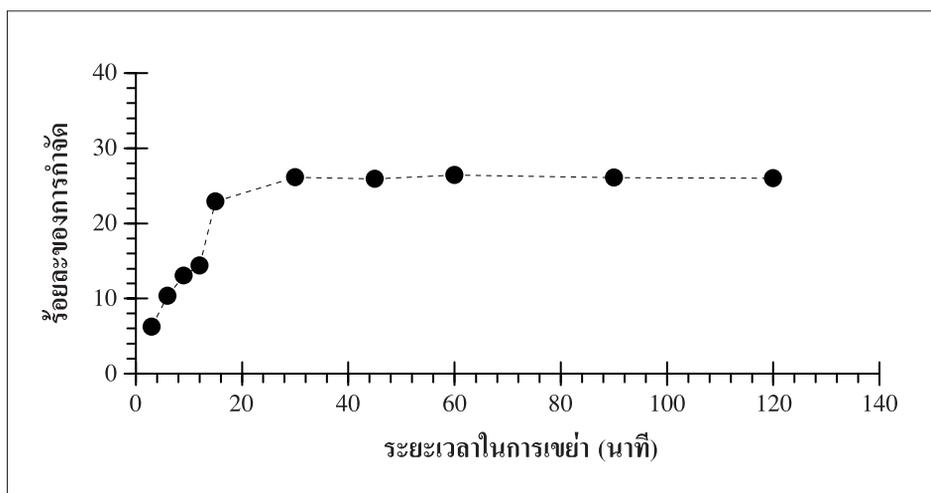
### เวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุลของเถาลอยซานอ้อยในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจริง

ผลการศึกษาพบว่า การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียเกิดขึ้นโดยสองกระบวนการ คือ การดูดซับ และการตกตะกอน ซึ่งจะใช้คำว่า การกำจัดแทนการดูดซับรวมกับการตกตะกอน การนำเสนอผลการทดลอง จะนำเสนอ 3 ประเด็น คือ ร้อยละการตกตะกอน ร้อยละการดูดซับ และร้อยละการกำจัด จากการทดลองพบว่า ร้อยละการตกตะกอนน้อยมากอยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.13 ร้อยละการดูดซับอยู่ในช่วง 6.21 ถึง 26.34 และร้อยละการกำจัดอยู่ในช่วง 6.24 ถึง 26.44 จากการ ทดสอบทางสถิติพบว่า ร้อยละการตกตะกอนน้อยกว่าร้อยละการดูดซับอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั้นแสดงว่าการกำจัดตะกั่วในการศึกษานี้เกิดจากการดูดซับเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการละลายของตะกั่ว ที่ ระบุว่า การละลายของตะกั่วในสารละลายขึ้นอยู่กับค่า pH กล่าวคือที่ pH น้อยกว่า 8 ตะกั่วอยู่ในรูปสารละลาย ที่ pH 8-11 ตะกั่วจะตกตะกอนเป็นตะกั่วออกไซด์ (ภาณุพงษ์, 2546)

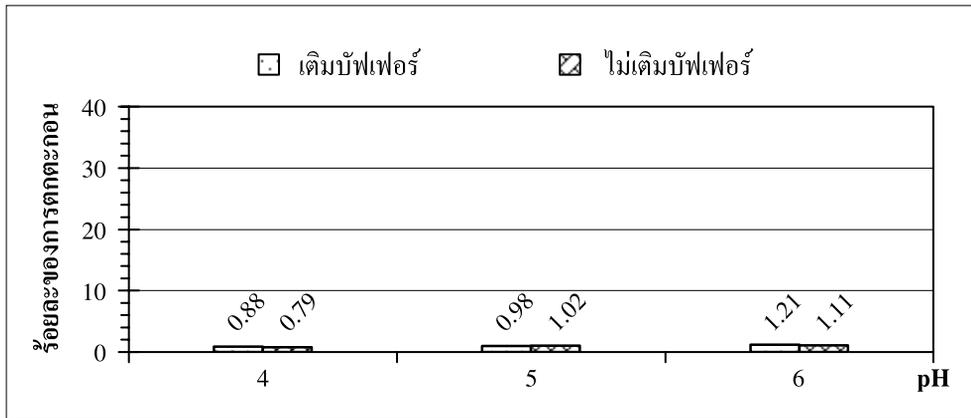
เมื่อระยะเวลาในการสัมผัส หรือการเขย่าเพิ่มขึ้น การกำจัดตะกั่วค่อยๆ เพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาในการเขย่ามากกว่า 30 นาที โดยมีร้อยละการกำจัดเท่ากับ 26.14 ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาของภาณุพงษ์ (2546) ในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการเขย่ามากกว่า 30 นาที โดยกำหนดที่ 45 นาที เพื่อให้เชื่อมั่นได้อย่างแน่นอนว่าการกำจัดตะกั่วเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 2

### ผลของบัฟเฟอร์ต่อการกำจัดตะกั่วของถ้ำลอยซานอ้อย

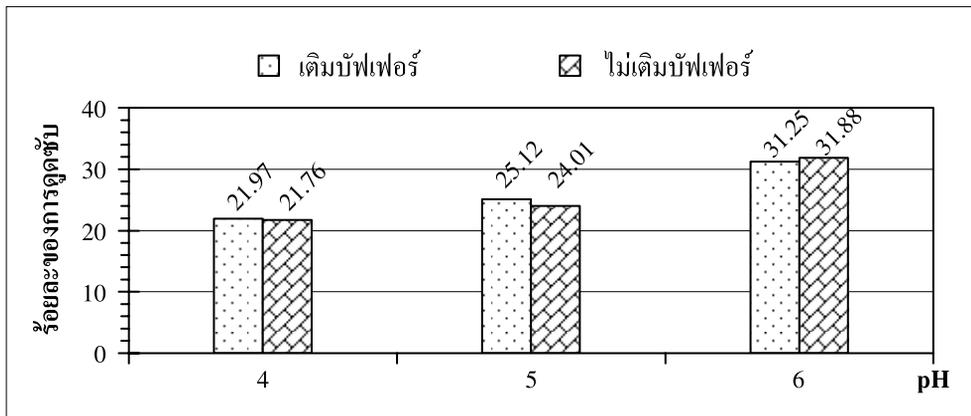
ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 3 4 และ 5 จากผลศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการตกตะกอน ดูดซับ และการกำจัดตะกั่วในชุดที่ไม่เติม และชุดที่เติมบัฟเฟอร์มีค่าใกล้เคียงกันทุกค่า pH ที่ทำการทดลอง และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่น้ำเสียตัวอย่างที่ไม่เติมบัฟเฟอร์ มีค่าร้อยละการตกตะกอนอยู่ในช่วง 0.79 ถึง 1.11 ร้อยละการดูดซับอยู่ในช่วง 21.77 ถึง 31.18 และมีร้อยละการกำจัดอยู่ในช่วง 22.55 ถึง 32.99 ส่วนน้ำเสียตัวอย่างที่เติมบัฟเฟอร์ มีร้อยละการตกตะกอนอยู่ในช่วง 0.88 ถึง 1.21 ร้อยละการดูดซับอยู่ในช่วง 21.91 ถึง 31.25 และร้อยละการกำจัดอยู่ในช่วง 22.85 ถึง 32.46 แสดงว่าบัฟเฟอร์ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการตกตะกอน การดูดซับ และการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย ดังนั้นในการศึกษาผลของ pH ในขั้นตอนต่อไปจึงสามารถใช้บัฟเฟอร์เพื่อควบคุมค่า pH ของน้ำเสียได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว



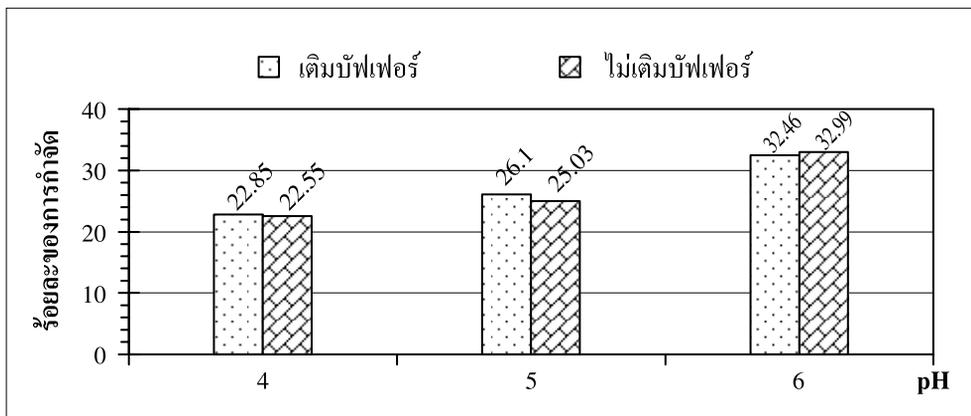
ภาพที่ 2 ผลของเวลาในการเขย่าต่อร้อยละการกำจัดของตะกั่วความเข้มข้นเริ่มต้น 10,959 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 4 ด้วยถ้ำลอยซานอ้อย ปริมาณ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย



ภาพที่ 3 ผลของ pH และบัฟเฟอร์ ต่อการตกตะกอนตะกั่วของเกล็ดลอยชานอ้อยปริมาณ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย



ภาพที่ 4 ผลของ pH และบัฟเฟอร์ต่อการดูดซับตะกั่วของเกล็ดลอยชานอ้อยปริมาณ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย



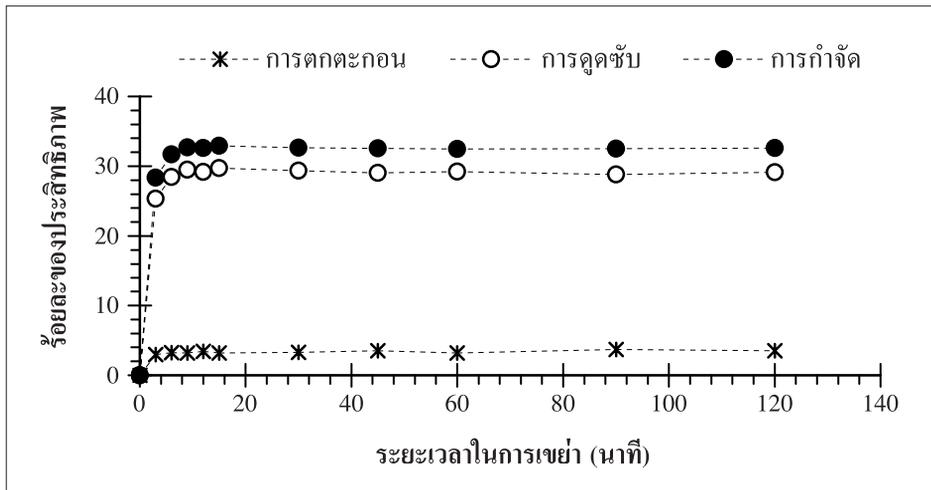
ภาพที่ 5 ผลของ pH และบัฟเฟอร์ต่อการกำจัดตะกั่วของเกล็ดลอยชานอ้อยปริมาณ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย

### ผลของ pH ต่อการกำจัดตะกั่วของถ้ำลอยซานอ้อย

จากภาพที่ 3 4 และ 5 พบว่าเมื่อค่า pH ของน้ำเสียเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับและกำจัดตะกั่วดีขึ้น เนื่องจากที่ pH ต่ำ มีปริมาณไฮโดรเจนไอออนสูงทำให้เกิดการแย่งพื้นที่ดูดซับบนถ้ำลอยซานอ้อยกับตะกั่วไอออนด้วย ค่า pH ก่อนเริ่มการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.02 และไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าร้อยละการกำจัดตะกั่วสูงสุดเท่ากับ 32.99 ที่ค่า pH เท่ากับ 6 ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยหลายเรื่องที่ศึกษาการดูดซับตะกั่วด้วยตัวดูดซับต่าง ๆ (Yu, *et al.*, 2001; Zhan and Zhao, 2003; Herrera-Urbina and Fuerstenau, 1995; Naseem and Tahir, 2001; Namasivayam and Ranganathan, 1998; Wu, *et al.*, 2003). ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่า Point of zero charge ( $pH_{PZC}$ ) ของวัสดุ Herrera-Urbina and Fuerstenau (1995) รายงานว่า  $pH_{PZC}$  ของซิลิกาที่มีค่าเท่ากับ 2.3 และจากการศึกษาของกฤษณ์ (2545) และภานุพงษ์ (2546) พบว่าองค์ประกอบหลักของถ้ำลอยซานอ้อยคือซิลิกา (51.96%) หมายความว่าเมื่อค่า pH ของน้ำเสียมากกว่า 2.3 ความหนาแน่นของประจุบนผิวของถ้ำลอยซานอ้อยจะเพิ่มขึ้นจึงทำให้สามารถดูดซับตะกั่วไอออนซึ่งเป็นประจุบวกได้มากขึ้น

### ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วสำหรับการทดลองไอโซเทอมการดูดซับ

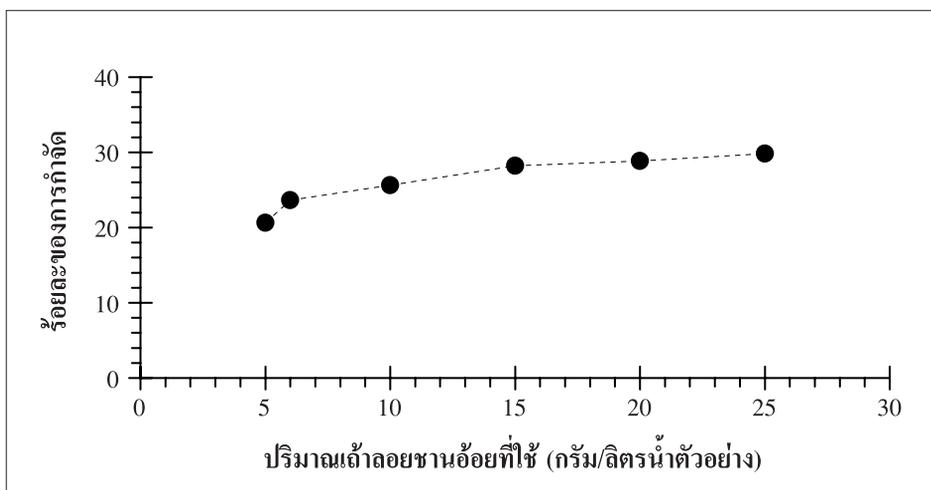
ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับจะศึกษาในสภาวะที่มีการดูดซับได้ดีที่สุด ซึ่งจากการศึกษาในขั้นตอนที่ผ่านมาพบว่าที่ค่า pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6 เป็นสภาวะที่มีประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วสูงสุด จากการทดลองพบว่าที่สภาวะดังกล่าวมีค่าร้อยละการตกตะกอนอยู่ในช่วง 2.99 ถึง 3.72 ร้อยละการดูดซับอยู่ในช่วง 25.35 ถึง 29.72 และร้อยละการกำจัดอยู่ในช่วง 28.34 ถึง 32.93 และเมื่อระยะเวลาในการเขย่าเพิ่มขึ้นการกำจัดตะกั่วจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 9 นาที โดยมีค่าร้อยละการกำจัดเท่ากับ 32.68 ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วที่สภาวะนี้คือ 9 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าการดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลเร็วกว่าที่ค่า pH เท่ากับ 4 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาเรื่องค่า pH ต่อการกำจัดตะกั่วในขั้นตอนที่ผ่านมาและสามารถยืนยันว่าค่า pH มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่า  $pH_{PZC}$  และการแย่งพื้นที่ดูดซับเมื่อค่า pH ของน้ำเสียต่างกันดังได้กล่าวไปแล้ว กล่าวคือเมื่อความหนาแน่นของประจุบนผิวของถ้ำลอยซานอ้อยเพิ่มขึ้น และปริมาณไฮโดรเจนไอออนน้อยลงจึงอาจเป็นผลให้ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับตะกั่วลดลงเมื่อค่า pH เปลี่ยนจาก 4 เป็น 6



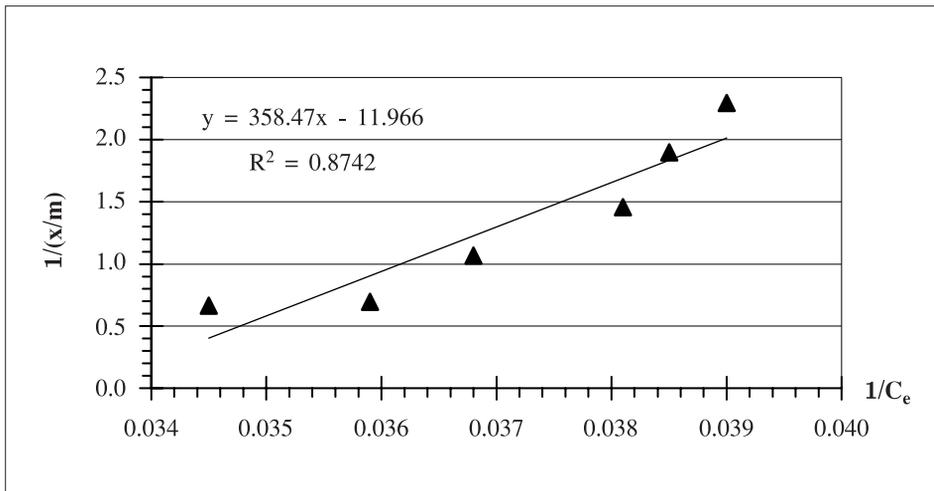
ภาพที่ 6 ผลของระยะเวลาในการเขย่าต่อร้อยละการกำจัด การดูดซับ และการตตะกอนของตะกั่วความเข้มข้น 10,959 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำเสีย ที่ pH 6 ด้วยเถ้าลอยชานอ้อย 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย

#### ผลของปริมาณเถ้าลอยชานอ้อยที่มีต่อการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจริง

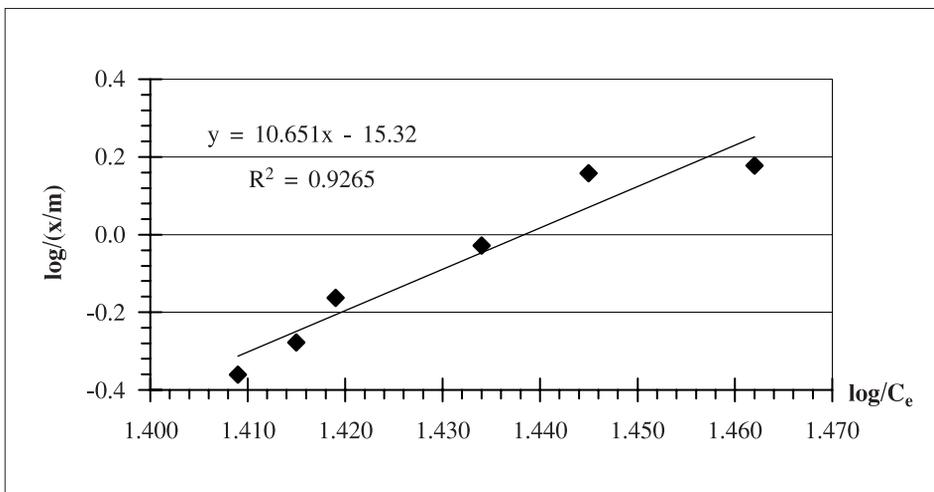
ผลการศึกษาพบว่าร้อยละการตตะกอนเท่ากับ 0.08 ร้อยละการดูดซับอยู่ในช่วง 20.56 ถึง 29.75 และร้อยละการกำจัดอยู่ในช่วง 20.64 ถึง 29.83 ดังแสดงในภาพที่ 7 จากการทดสอบทางสถิติพบว่าร้อยละการตตะกอนน้อยกว่าร้อยละการดูดซับและร้อยละการกำจัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าลอยชานอ้อยกับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณเถ้าลอยชานอ้อยที่ใช้เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อปริมาณเถ้าลอยชานอ้อยเพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่ในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 7 ผลของปริมาณเถ้าลอยชานอ้อยต่อร้อยละการกำจัดของตะกั่วโดยใช้น้ำเสียตะกั่วที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10,959 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 6



ภาพที่ 8 (ก) ไอโซเทอมการดูดซับ แบบแลงมัวร์



ภาพที่ 8 (ข) ไอโซเทอมการดูดซับ แบบฟรุนดลิช

### ไอโซเทอมการดูดซับของเถาลอยซานอ้อยในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจริง

การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และฟรุนดลิช ดังแสดงในภาพที่ 8 (ก) และ (ข) เมื่อพิจารณาจากค่า  $R^2$  ของเส้นกราฟไอโซเทอมทั้ง 2 แบบ พบว่า ค่า  $R^2$  ของไอโซเทอมแบบแลงมัวร์และฟรุนดลิชมีค่าเป็น 0.8742 และ 0.9265 ตามลำดับ ดังนั้นการกำจัดตะกั่วด้วยเถาลอยซานอ้อยจึงมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชมากกว่าแบบแลงมัวร์ ซึ่งไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชโดยทั่วไป คือ  $x/m = KC_e^{1/n}$  สามารถนำมาเทียบกับกราฟเส้นตรงในรูปของลอการิทึมได้ คือ  $\text{Log}(x/m) = \text{log } K + (1/n) \text{log } C_e$  สำหรับไอโซเทอมกำจัดตะกั่วของเถาลอยซานอ้อยแบบฟรุนดลิชเป็นดังนี้ คือ  $\text{Log}(x/m) = 15.32 + 10.651 \text{log } C_e$  ความชันเท่ากับ 10.651 และมีจุดตัดแกนเท่ากับ 15.32 โดยทั่วไปค่า  $1/n$  ที่ได้จากการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับ

ค่า  $1/n$  ที่เกือบเท่ากับ 1 แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี นอกจากนี้ค่า  $n$  เพียงใช้เป็นตัวบอกความสามารถในการดูดซับตัวถูกละลายได้ดี และถ้าค่า  $n$  อยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 หมายความว่า การดูดซับนั้นสามารถดำเนินไปได้ด้วยดี เพราะเมื่อพิจารณาสมการแบบฟรุนดลิชที่ได้จากการทดลอง พบว่าค่า  $1/n$  และ  $n$  มีค่าเท่ากับ 10.651 และ 0.09388 ตามลำดับ ถ้าล้อยานอ้อยที่ใช้ในการกำจัดตะกั่วมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียได้ไม่ดึ้นัก แต่อย่างไรก็ตามการใช้ถ้ำล้อยานอ้อยเพื่อกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้นสูง สามารถใช้เป็นทางเลือกในการจัดการของเสียจากโรงงานน้ำตาลได้ เนื่องจากการกำจัดของเสียโดยใช้ของเสียอีกประเภทหนึ่งจากโรงงานเดียวกัน

### สรุปผลการศึกษา

ประสิทธิภาพสูงสุดของการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการของโรงงานน้ำตาลโดยถ้ำล้อยานอ้อย เท่ากับ 32.68 ที่ค่า pH เท่ากับ 6 เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียจะเพิ่มขึ้น บัฟเฟอร์ไม่มีผลต่อการกำจัด การดูดซับ และการตกตะกอนของตะกั่ว แต่ค่า pH ของน้ำเสียนั้นมีผลต่อการกำจัดตะกั่ว โดยพบว่าเมื่อ pH เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะเพิ่มขึ้น และถ้าปริมาณถ้ำล้อยานอ้อยที่ใช้เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะเพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้น 10.959 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ้ำล้อยานอ้อย คือ pH เท่ากับ 6 และเวลาสัมผัสเท่ากับ 9 นาที โดยพบว่าการดูดซับตะกั่วโดยถ้ำล้อยานอ้อยสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชมากกว่าแบบแลงมัวร์

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนและการช่วยเหลือจากผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ผู้บริหารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต เพื่อนๆ คณาจารย์ และงานสนับสนุนทั้งหลายที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้ได้รับความอนุเคราะห์ถ้ำล้อยานอ้อย น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการของโรงงานน้ำตาล จาก ดร.ณัฐพล อัยภูธร กรรมการบริหารกลุ่มน้ำตาลไทยรุ่งเรือง และรองกรรมการผู้จัดการ บริษัท อุตสาหกรรมน้ำตาลกาญจนบุรี จำกัด ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย นางสาวอมร นิมสกุล และนางสาววิไลรักษ์ ไชยพันธ์

### เอกสารอ้างอิง

- กฤษณ์ จารุทะวีย์. (2545). การใช้ถ้ำล้อยานอ้อยปาล์มและถ้ำล้อยานอ้อยแทนที่ซีเมนต์บางส่วน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นริศรา โพธิ์มูล. (2545). การลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียโรงงานผลิตแบตเตอรี่โดยใช้ถ้ำล้อยานอ้อย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภาณุพงษ์ สติวัฒนาพร. (2546). การนำถ้ำล้อยานอ้อยไปใช้ดูดซับตะกั่วแล้วนำไปทำเป็นก้อนแข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณชนะนี้ ศรีโพธิ์งาม. (2544). การดูดซับตะกั่ว และซีลีเนียมบนตัวดูดซับจากตะกักรันจากเตาหลอมเหล็ก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วรรณภา นิติมงคลชัย. (2546). การลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมด้วยเรซินชานอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (14 พฤศจิกายน 2549). โครงการส่งเสริมผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กที่ใช้พลังงานหมุนเวียน. แหล่งที่มา URL: <http://www.eppo.go.th>.
- Herrera-Urbina, R., and Fuerstenau, D. W. (1995). **The effect of Pb(II) species, pH and dissolved carbonate on the zeta potential at the quartz/aqueous solution interface.** Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 98, 25-33.
- Namasivayam, C., and Ranganathan, K. (1998). **Effect of organic ligands on the removal of Pb(II), Ni(II) and Cd(II) by waste Fe(III)/Cr(III) hydroxide.** Water Research 32, 969-971.
- Nassem, R., and Tahir, S. S. (2001). **Removal of Pb(II) from aqueous/acidic solutions by using bentanite as an adsorbent.** Water Research. 16, 3982-3986.
- Wu, Z., Gu, Z., Wang, X., Evans, L., and Guo, H. (2003). **Effects of organic acids on adsorption of lead onto montmorillonite, goethite and humic acid.** Environmental Pollution 121, 469-475.
- Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S. S., and Dorris, K. L. (2001). **The removal of heavy metals from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of lead and comparison of its adsorption with copper.** Journal of Hazardous Materials B 84, 83-94.
- Zhan, X., and Zhao, X. (2003). **Mechanism of lead adsorption form aqueous solutions using an adsorbent synthesized from natural condensed tannin.** Water Research 37, 3905-3912.