



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่าของเปลือกกล้วยเหลือทิ้ง เพื่อกำจัดสารพิษในน้ำ

Low cost bio-sorbent banana peel for the removal of
toxics removal of toxic substances from water

สิริรัตน์ พานิช

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายได้

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การเพิ่มมูลค่าของเปลือกกล้วยเหลือทิ้ง เพื่อกำจัดสารพิษในน้ำ

ผู้วิจัย : ดร.สิริรัตน์ พานิช และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ

พ.ศ. : 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเปลือกกล้วยสดที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมีในการกำจัดโลหะหนักตะกั่วในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง สภาวะในการทดสอบที่ทำมาศึกษาได้แก่ ปริมาณของเปลือกกล้วย เวลาที่ใช้ในการสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว สมบัติของเปลือกกล้วยนำมาวิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน รูปแบบของไอโซเทอมของการดูดซับที่ถูกนำมาทดสอบได้แก่ แลงเมียร์และฟรุนดลิช จากการทดลองการดูดซับโลหะตะกั่วด้วยเปลือกกล้วยสดที่ไม่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวตรงกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์มากกว่าฟรุนดลิช โดยให้ค่า r^2 ที่มากกว่า 0.86 ค่าการดูดซับที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.9151 mg/g ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงานก่อนและหลังการดูดซับของโลหะตะกั่วด้วยเปลือกกล้วยสดพบว่ามีปริมาณของโลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของเปลือกกล้วย โดยบนเปลือกภายในจะมีปริมาณของโลหะตะกั่วที่สูงกว่า จากการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าเปลือกกล้วยสดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางเคมีมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ดี เปลือกกล้วยจึงมีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำเสียได้ โดยไม่ต้องการกระบวนการทางเคมีทำให้เป็นวิธีที่สะดวก ง่าย รวดเร็ว และประหยัด

คำสำคัญ: การดูดซับ, โลหะหนัก, ตะกั่ว, เปลือกกล้วยสด

Title : Low cost bio-sorbent banana peel for the removal of toxic substances from water

Researcher: Dr. Sirirat Panich and Asst.Prof.Dr. Woravith Chansuvarn

Year: 2019

ABSTRACT

An ability of fresh banana peel without surface modification was evaluated for the removal of lead ions from aqueous solution. Batch adsorption was performed at room temperature. The experimental conditions, including dosage, contact time, initial concentration of lead(II) ion were studied. The characterization of fresh banana peel was carried out by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and energy dispersive X-ray fluorescence (ED-XRF). The isotherm models of Langmuir and Freundlich were used to describe the adsorption mechanism involving the relationship between adsorbent surface capacity and adsorbed degree of lead(II) ion in the equilibrium conditions. The experimental data fitted well to the Langmuir isotherm with a correlation coefficient of r^2 greater than 0.86. The Maximum adsorption capacity (q_m) was found to be 0.9151 mg/g. The results of ED-XRF of fresh banana peels before and after treatment with lead(II) ion confirmed that lead(II) ion was occupied onto the surface of fresh banana peel. Moreover, the inside of fresh banana peels was found the lead(II) ion larger than the outside peels. It was concluded that waste of banana could be used as a low-cost adsorbent for removal of lead(II) ion from aqueous solution based on a simple adsorption method.

Keywords: adsorption, heavy metal, lead, fresh banana peel

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย จากงบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี พ.ศ. 2562 และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับสถานที่ในการทดลอง เครื่องมือวิเคราะห์และอุปกรณ์ต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

หัวข้อ	หน้าที่
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
3. ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	3
4. ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย.....	3
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2.....	5
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2. ทฤษฎีการดูดซับ.....	5
2.1 การดูดซับทางกายภาพ.....	5
2.2 การดูดซับทางเคมี.....	6
2.3 สมดุลการดูดซับ.....	6
2.4 ไอโซเทอมของการดูดซับ.....	9
บทที่ 3.....	15
การดำเนินงานวิจัย.....	15
3.1 เครื่องมือ (apparatus).....	15
3.2 สารเคมี (reagents).....	15
3.3 วิธีการทดลอง (methodology).....	15
3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกกล้วยสด.....	15
3.3.2 การศึกษาการดูดซับโลหะตะกั่ว.....	15
3.3.5 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนตะกั่ว.....	16
บทที่ 4.....	17
ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง.....	17

4.1 ตัวดูดซับจากเปลือกกล้วยสด 17

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณของสารละลายโลหะตะกั่ว..... 17

4.3 เอกลักษณ์ทางกายภาพของตัวดูดซับจากเปลือกกล้วย..... 18

 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR..... 18

 4.3.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF..... 19

 4.3.3 ไอโซเทอมการดูดซับ..... 22

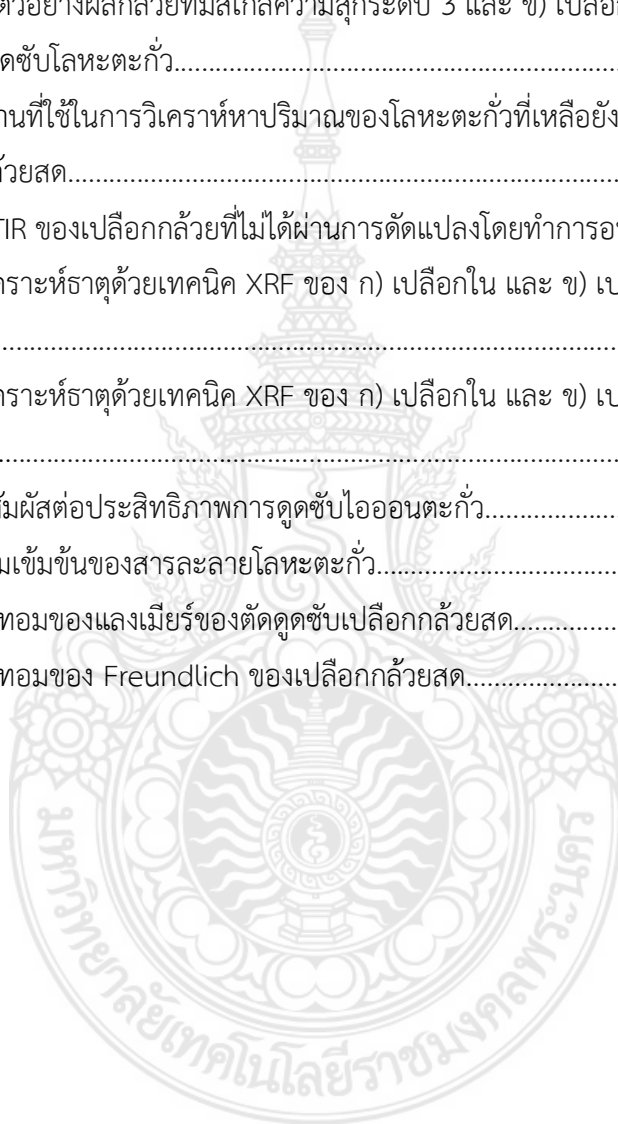
บทที่ 5 23

อภิปรายผลการวิจัย 24



สารบัญรูป

หัวข้อ	หน้าที่
ภาพที่ 1 ลักษณะผลผลิตของกล้วย.....	1
รูปที่ 2 ประเภทไอโซเทอมการดูดซับพื้นฐาน 5 ชนิด (Wang et al., 2012).....	7
ภาพที่ 3 ประเภทไอโซเทอมของการดูดซับของ IUPAC (IUPAC, 1985).....	8
ภาพที่ 4 ผลกล้วย ก) ตัวอย่างผลกล้วยที่มีสเกลความสุกระดับ 3 และ ข) เปลือกกล้วยสดที่ใช้ในการทดสอบในการเป็นตัวดูดซับโลหะตะกั่ว.....	17
ภาพที่ 5 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะตะกั่วที่เหลือจากการถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับเปลือกกล้วยสด.....	18
ภาพที่ 6 สเปกตรัม FTIR ของเปลือกกล้วยที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปลงโดยทำการอบแห้งเพื่อกำจัดน้ำ.....	19
ภาพที่ 7 ก) ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค XRF ของ ก) เปลือกใน และ ข) เปลือกนอกก่อนการดูดซับ.....	19
ภาพที่ 8 ก) ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค XRF ของ ก) เปลือกใน และ ข) เปลือกนอกหลังการดูดซับ.....	19
ภาพที่ 9 ผลของเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว.....	21
ภาพที่ 10 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโลหะตะกั่ว.....	21
ภาพที่ 11 กราฟไอโซเทอมของแลงเมียร์ของตัดดูดซับเปลือกกล้วยสด.....	22
ภาพที่ 12 กราฟไอโซเทอมของ Freundlich ของเปลือกกล้วยสด.....	23



สารบัญตาราง

หัวข้อ		หน้าที่
ตารางที่ 1	สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ.....	6
ตารางที่ 2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในเปลือกกล้วย.....	20
ตารางที่ 3	สภาวะการทดลอง.....	21
ตารางที่ 4	พารามิเตอร์ไอโซเทอมการดูดซับของ LANGMUIR และ FREUNDLICH.....	23



บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โจทย์จากภาคอุตสาหกรรม

บริษัทวินบานาน่าเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายกล้วยหอมทองและกล้วยน้ำว้า โดยทำการส่งกล้วยที่ได้มาตรฐานแก่ผู้ค้ารายใหญ่ได้แก่ เทสโก้ (Tesco) โดยหลังจากขั้นตอนการเก็บเกี่ยวผลผลิต และบรรจุภัณฑ์แล้วพบว่ามียีสต์เชื้อราที่ เช่น เปลือกกล้วย และส่วนอื่นๆ ของกล้วยได้แก่ เครือ ข้าวผล และเศษเหลือใช้ที่จำเป็นต้องกำจัดเป็นจำนวนมาก โดยมีปริมาณมากถึง 500 กิโลกรัมถึง 1 ตันต่อวัน ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวและค่าใช้จ่ายในการกำจัด ซึ่งน่าจะมียุทธศาสตร์ในการเพิ่มมูลค่าหรือพัฒนาเป็นสินค้าอื่น ๆ [1]



ภาพที่ 1 ลักษณะผลผลิตของกล้วย

ปัญหาน้ำเสีย

สำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร เปิดเผยข้อมูลว่าปัจจุบันมีโรงควบคุมคุณภาพน้ำบำบัดน้ำเสียรวมทั้งสิ้น 20 แห่ง โดยเป็นโรงบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ 8 แห่ง และเป็นโรงบำบัดน้ำเสียย่อย 12 แห่ง กระจายอยู่ในพื้นที่ 21 เขต ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียได้ประมาณ 1.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือ 45 % จากน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด 2.54 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยกทม.ต้องใช้งบประมาณในการจัดการบำบัดน้ำเสียถึงปีละประมาณ 612 ล้านบาท หรือลูกบาศก์เมตรละกว่า 2 บาท โดยเมื่อบำบัดน้ำเสียเสร็จสิ้นแล้วถึงจะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ [2] อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าโรงบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นไม่เพียงพอกับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น ทำให้กรุงเทพมหานครมีโครงการจะเพิ่มการก่อสร้าง โรงบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติม อีก 4 แห่งภายในปี 2565 ได้แก่ 1) โรงบำบัดน้ำเสียมีนบุรี เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียในเขตพื้นที่มีนบุรี คลองสามวา หนองจอก ลาดกระบัง 2) โรงบำบัดน้ำเสียธนบุรี เพื่อช่วยบำบัดน้ำเสียจากพื้นที่เขตบางพลัด เขตบางกอกใหญ่ และเขตบางกอกน้อย 3) โรงบำบัดน้ำเสียบึงหนองบอน เพื่อช่วยบำบัดน้ำเสียในพื้นที่เขตประเวศ สวนหลวง และ 4) โครงการบำบัดน้ำเสียคลองเตย เพื่อช่วยบำบัดน้ำเสียในพื้นที่เขตบางนา พระโขนง ประเวศ สวนหลวง ห้วยขวาง รัชดาฯ และคลองเตย โดยทั้ง 4 โครงการดังกล่าวจะต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างรวมถึง 34,170 ล้านบาท นับว่าเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณของประเทศเป็นอย่างยิ่ง โดยอยู่ระหว่างการ

จัดหางบประมาณเพื่อดำเนินการก่อสร้าง โดยเสนอขอรับการจัดสรรจากรัฐบาล ซึ่งหากสามารถดำเนินการได้จะช่วยบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ 175.72 ตารางกิโลเมตร รวมพื้นที่บริการ 12 เขตพื้นที่ ซึ่งจะช่วยบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้ 665,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในปี พ.ศ. 2565 ส่วนในอนาคต ในปี พ.ศ. 2566-2583 นั้น กรุงเทพมหานครวางโครงการสร้างโรงบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติมอีกจำนวน 15 โครงการ ครอบคลุมประมาณ 70,000 ล้านบาท โดยหากสามารถดำเนินการได้จะสามารถบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้ครอบคลุมทั่วกรุงเทพมหานคร [3] ผู้เชี่ยวชาญจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้อธิบายถึงสาเหตุที่น้ำคลองในกรุงเทพมหานครมีกลิ่นเหม็นเน่านั้นเพราะส่วนใหญ่ในคลองจะมีตะกอนสูงมาก และยังพบแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (แก๊สไข่เน่า) สูง แสดงให้เห็นว่าออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้เกิดการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน หรือไม่มีอากาศด้านล่างของคลอง จึงทำให้มีกลิ่นเหม็นและน้ำเป็นสีดำ ซึ่งโดยจะมีการบำบัดน้ำเสียจะสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระบบ คือ

1. ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบนี้ใช้วิธีการฟุ้งพารธรรมชาติ ให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงเพื่อเติมออกซิเจนให้จุลินทรีย์
2. ระบบพืชและหญ้ากรองน้ำเสียซึ่งแปลงหรือบ่อจะเก็บกักน้ำเสียและปลูกธูปฤาษี กก กลม และหญ้าแฝกอินโดนีเซีย หรือปลูกหญ้าอาหารสัตว์ พืชเหล่านี้มีคุณสมบัติกรองและดูดซับของเสียที่อยู่ในน้ำ
3. ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม การบำบัดน้ำเสียแบบนี้ใช้วิธีการปล่อยน้ำเสียผ่านบ่อดินตื้นๆ ที่ภายในปลูกพืชประเภทกก รากของพืชเหล่านี้จะช่วยดูดซับสารพิษ และอนินทรีย์และอินทรีย์สารให้ลดน้อยลง และย่อยสลายให้หมดไปในที่สุด
4. ระบบแปลงพืชป่าชายเลน ระบบนี้ใช้หลักการบำบัดจากการเจือจางระหว่างน้ำทะเลกับน้ำเสีย สามารถนำไปหรือกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งที่มีพื้นที่ติดกับป่าชายเลนได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีการสร้างแปลงพืชป่าชายเลน

บำบัดน้ำเสียด้วยเปลือกกล้วย

เปลือกกล้วยเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือภาคเกษตรกรรมที่เกี่ยวกับการแปรรูปกล้วย หรือผลิตภัณฑ์จากกล้วย เช่น เค้กกล้วยหอม การกำจัดเปลือกกล้วยที่เหลือทิ้งจึงเป็นการเสียเวลา และงบประมาณ นอกจากนี้หากมีปริมาณยังอาจจะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตามเปลือกกล้วยที่เป็นสิ่งเหลือทิ้งนั้นกลับอุดมไปด้วยสารประกอบต่างๆ ที่มีประโยชน์ ได้แก่ สารแทนนินซึ่งมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเป็นอย่างดี นอกจากโลหะหนักแล้วยังสามารถดูดซับสารพิษอื่น ๆ ได้อีกด้วย เช่น ฟอสเฟต และไนเตรท เป็นต้น [4]

จากปัญหาน้ำเน่าเสียซึ่งเป็นกำลังเป็นปัญหาใหญ่ในขณะนี้โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง การนำวัสดุเหลือใช้ซึ่งต้องถูกกำจัดอยู่แล้วมาผลิตเป็นตัวดูดซับสารพิษต่างๆ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียที่มีต้นทุนต่ำ ราคาถูก

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของเปลือกกล้วยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากทางโรงงานและทางการเกษตรให้มีมูลค่ามากขึ้น
2. ศึกษาการนำเปลือกกล้วยไปทำเป็นตัวดูดซับ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ เวลาสัมผัสของตัวดูดซับ (contact time) ปริมาณของตัวดูดซับ (adsorbent dosage) การปรับสภาพพื้นผิวของตัวดูดซับ pH ของสารละลาย ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ และกราฟมาตรฐานของสารตัวอย่าง
3. ศึกษากลไกการดูดซับโดยใช้เปลือกกล้วย
4. ศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกกล้วยในการบำบัดน้ำเสีย

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. การเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งจากกล้วยโดยนำมาทำเป็นตัวดูดซับสารพิษจากน้ำเสีย
2. ศึกษาการนำบำบัดน้ำเสียจากเปลือกกล้วย

4. ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

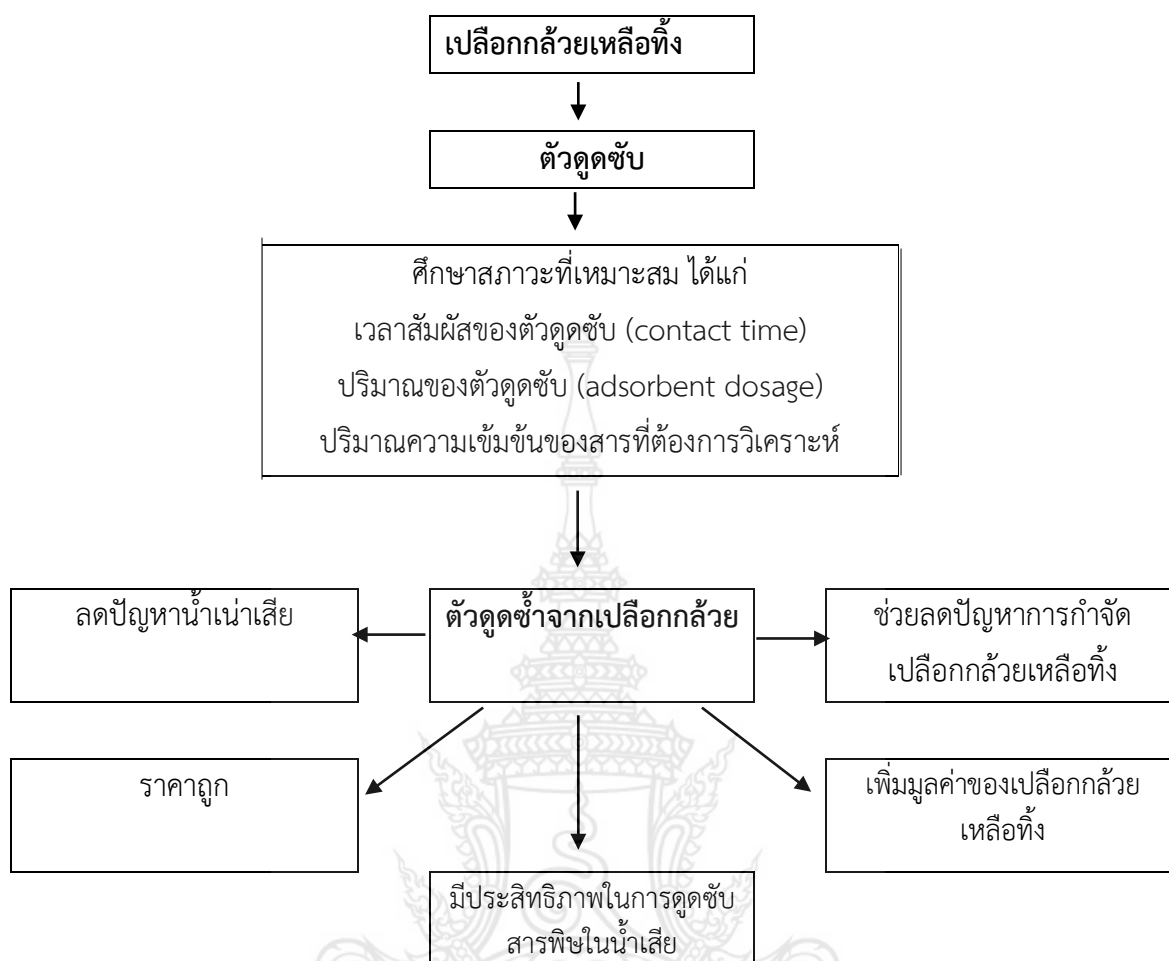
ทฤษฎี

กล้วยเป็นพืชเมืองร้อนที่ได้รับความนิยมและปลูกกันมานานในประเทศไทย ปัจจุบันมีอุตสาหกรรมเกี่ยวกับกล้วยขึ้นมามากมาย ทั้งผลิตเพื่อขายผลโดยตรง แปรรูปเป็นอาหารเช่น กล้วยฉาบ น้ำกล้วย กล้วยผง ทุกส่วนของกล้วยมีประโยชน์นานัปการ ตั้งแต่ผลกล้วย ใบตอง ดอกกล้วยหรือหัวปลี หรือแม้แต่กระทั่งเปลือกกล้วย สารสกัดจากเปลือกกล้วยมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีปริมาณของแทนนินที่สูง ยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดสิว และการติดเชื้อในผิวหนัง สามารถนำมาใช้บำบัดน้ำเสียได้ เป็นต้น

สมมติฐาน

ในเปลือกกล้วยที่เหลือทิ้งแล้วจากอุตสาหกรรมการผลิตอาหารจากกล้วยนั้นพบว่ามีการมีสารที่มีประโยชน์ในการดูดซับสารพิษต่างๆ เช่น แทนนิน จึงน่าจะนำมาผลิตเป็นตัวดูดซับสารพิษเพื่อกำจัดสารพิษในน้ำเสียได้

กรอบความคิดงานวิจัย



5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเปลือกกล้วยสำหรับการกำจัดไอออนตะกั่วในสารละลาย
- 2) กลไกการดูดซับไอออนตะกั่วโดยใช้ตัวดูดซับเปลือกกล้วย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (sorption) คือปรากฏการณ์ที่เกิดความสมดุลในการแยกสารประกอบประเภทไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ไปยังพื้นผิวของระบบสองสถานะ (two-phase system) อันประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ และส่วนที่เป็นของแข็ง เช่น ดิน อิฐมวล หรือผงกัมมันต์ กระบวนการทางกายภาพที่เกิดขึ้นเมื่อสารปนเปื้อนแยกไปยังของแข็งมักจะเกี่ยวกับพันธะที่ไม่แข็งแรง สามารถย้อนกลับได้ การดูดซับจึงเป็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิว (surface free energy) ต่ำจะถูกดูดซับได้ แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ ปริมาณการดูดซับขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ธรรมชาติของสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ พลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับ และสภาวะการดูดซับ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้น ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตรกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับ (อาจเป็นของแข็งของเหลวหรือแก๊ส) กับสารดูดซับ (ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง) ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง การดูดซับเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัส (interface) โดยที่มีวัฏภาคหนึ่งเป็นของแข็งเสมอ และเป็นวัฏภาคคายความร้อน โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งของสารดูดซับ ดังนั้นการดูดซับด้วยของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของสารดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นผิวของของแข็งซึ่งเป็นสารดูดซับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลวนั้น การดูดซับบนผิวของแข็ง แบ่งออกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิดคือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.1 การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption หรือ physisorption) อาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าอย่างอ่อนๆ เรียกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) หรือพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) แรงดึงดูดระหว่างสารที่อยู่ในของเหลวกับสารดูดซับมีมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างสารในของเหลวกับของเหลว ทำให้สารที่อยู่ในของเหลวเข้าติดอยู่ที่สารดูดซับแทน การดูดซับทางกายภาพไม่มีแรงกระตุ้น (activation energy) มาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อยการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับได้ง่าย และการดูดซับเกิดซ้อนกันได้หลายชั้น (multilayer) โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับกันอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารและเกิดขึ้นได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำ

2.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมและกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่โดยมีพันธะเคมีที่แข็งแรง แรงที่ใช้ดูดซับเป็นพันธะโคเวเลนต์มักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารที่ถูกดูดซับ มีพลังงานกระตุ้น (activation energy) เข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับได้ยากและการดูดซับเป็นแบบขั้นเดียว

ตารางที่ 1 สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

การดูดซับทางเคมี	การดูดซับทางกายภาพ
ค่าความร้อนของการดูดซับ 50-400 kJ/mol	ค่าความร้อนของการดูดซับประมาณ 20 kJ/mol หรือน้อยกว่า
เกิดได้ที่อุณหภูมิสูง	เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ
ไม่เกิดการผันกลับ	เกิดการผันกลับได้เป็นส่วนใหญ่
เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว	เกิดการดูดซับหลายชั้น
มีพลังงานก่อกัมมันต์เกี่ยวข้อง	ไม่มีพลังงานก่อกัมมันต์เกี่ยวข้องในกระบวนการ
แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดที่แข็งแรง (เกิดพันธะเคมี)	แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อนๆ (แรงแวนเดอร์วาลส์)

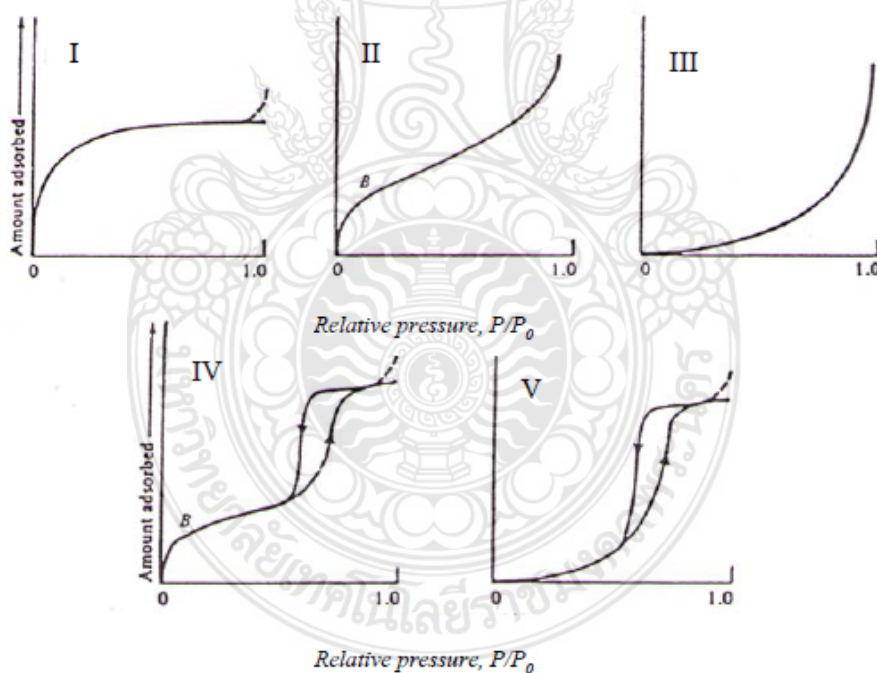
นอกจากการแบ่งประเภทการดูดซับเป็นการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีแล้ว ยังอาจแบ่งประเภทการดูดซับตามกลไกเพิ่มเติมได้อีก คือ การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (exchange adsorption) เป็นการดูดซับที่อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตบริเวณผิว เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม และการดูดซับแบบเฉพาะเจาะจง (specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับ พฤติกรรมการดูดซับนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและเคมี

2.3 สมดุลการดูดซับ

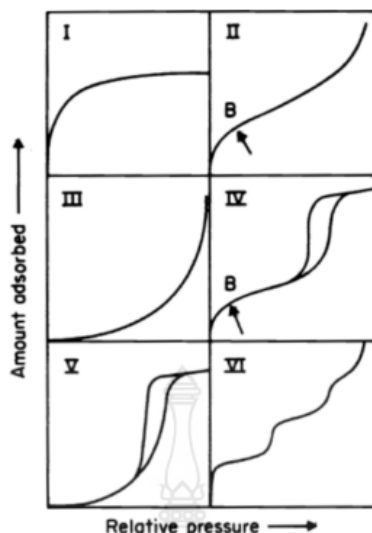
สมดุลของการดูดซับจะอาศัยความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของสมดุลของมวลสาร ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในวัฏภาคของเหลวกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนวัฏภาคของแข็ง กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ โดยสารที่ถูกดูดซับและมีการคายการดูดซับ (desorption) ไปพร้อมกัน ซึ่งสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการดูดซับและการคายการดูดซับเท่ากัน การวัดปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ โดยการแสดงด้วยรูปกราฟ เรียกว่า ไอโซเทอมการดูดซับ (adsorption isotherm) ซึ่งเป็นตัวแทนในการอธิบายการกระจายตัวของตัวถูกดูดซับระหว่างวัฏภาค

ของเหลวและของแข็ง โดยอัตราการกระจายตัวนี้สามารถวัดได้ที่จุดสมดุลและจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับหรือคุณสมบัติของตัวถูกดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับขึ้น โมเลกุลของตัวที่ถูกดูดซับจะเข้าครอบครองทุกตำแหน่งที่สามารถจะเกิดการดูดซับจนเต็มทุกตำแหน่ง และจะทำให้แรงดึงดูดของผิวตัวดูดซับอ่อนลงเนื่องจากตำแหน่งพื้นผิวมีน้อยลง แต่อาจยังคงสามารถดูดซับโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้โดยทำให้เกิดเป็นการดูดซับขั้นที่สองหรือขั้นที่สามเกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดการดูดซับขั้นที่สองก่อนที่ขั้นแรกจะเต็มทุกตำแหน่ง และในบางตำแหน่งอาจจะดูดซับต่อหลายชั้นซ้อนสูงขึ้น รูปร่างของไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับและปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับมีหลายแบบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ ชนิดสารที่ถูกดูดซับ และอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลกับพื้นผิวของสารดูดซับ ในปี ค.ศ.1940 ได้มีการจำแนกไอโซเทอมการดูดซับของสมดุลภูมิภาคแก๊สกับของแข็งขึ้นโดย Brunauer, Deming, Deming และ Teller เรียกว่า BDDT ได้แบ่งลักษณะไอโซเทอมการดูดซับออกเป็น 5 แบบ ดังรูปที่ 2.1 (Wang et al., 2012) ซึ่งการแบ่งประเภทไอโซเทอมการดูดซับของ BDDT ได้เป็นหลักในการแบ่งประเภทไอโซเทอมการดูดซับของ IUPAC และปัจจุบันได้มีการเสนอประเภทไอโซเทอมการดูดซับเพิ่มอีก 1 ประเภท ซึ่งทำให้ไอโซเทอมการดูดซับของ IUPAC สมบูรณ์ เป็น 6 ประเภท ดังรูปที่ 2.2



ภาพที่ 2 ประเภทไอโซเทอมการดูดซับพื้นฐาน 5 ชนิด (Wang et al., 2012)



ภาพที่ 3 ประเภทไอโซเทอมของการดูดซับของ IUPAC (IUPAC, 1985)

ไอโซเทอมของการดูดซับทางกายภาพแต่ละประเภทอธิบายได้ดังนี้

- แบบ I เป็นไอโซเทอมของการดูดซับลักษณะเฉพาะของสารดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่า 2 nm (microporous adsorbent) การดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก ลักษณะไอโซเทอมจะเป็นโค้งงอ (concave) หาแกน P/P_0 สารดูดซับมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่มาก สารดูดซับมีพื้นที่ผิวภายนอกน้อย ดังนั้นการดูดซับจะถูกจำกัดเนื่องจากไม่สามารถเข้าไปยังรูพรุนขนาดเล็กได้ การบรรจุโมเลกุลลงในรูขนาดเล็กของสารดูดซับนี้อย่างสมบูรณ์ และมีการอิมมัตว์ที่แน่นอนโดยเกิดการเรียงเป็นชั้นเดียว ไอโซเทอมแบบนี้บางครั้งเรียกว่า Langmuir หรือ L-shape isotherm
- แบบ II เป็นรูปแบบปกติของไอโซเทอมที่เกิดในสารดูดซับที่ไม่มีรูพรุน (nonporous) หรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (microporous) โดยในแบบนี้จะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากการเรียงตัวโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (monolayer) อย่างสมบูรณ์ก่อนจึงเกิดเป็นหลายชั้น (multilayer) ในต่อมา จากไอโซเทอมตรงบริเวณจุดเปลี่ยนโค้ง หรือจุด B (break through) จะแสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียวนั้นเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นที่ความดันสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากชั้นแรกต่อไป และจะเกิดการดูดซับเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยสูงๆ ไอโซเทอมแบบนี้บางครั้งเรียกว่า Sigmoid หรือ S-shape isotherm)
- แบบ III เป็นรูปแบบของการดูดซับที่มีแรงดึงดูดที่อ่อนระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันมีค่อนข้างมาก จากกรณีนี้จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของตัวถูกดูดซับก่อนที่การดูดซับชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ ในแบบที่ III จะมีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวสารดูดซับมากกว่าแบบ II ซึ่งเส้นกราฟจะโค้งออก

- (convex) จากแกน P/P_0 จำนวนสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างไม่จำกัด ซึ่งเป็นแบบพิเศษ
- แบบ IV เป็นไอโซเทอมของการดูดซับที่มีรูพรุนที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลที่ถูกดูดซับมาก จึงเกิดการเรียงตัวของโมเลกุลที่ผิวของสารดูดซับเป็นสองชั้น (bilayer) ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความดันเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวถูกดูดซับเริ่มเข้าเติมใน รูพรุนอีกครั้ง และการเปลี่ยนระดับของกราฟเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอีกเป็นผลมาจากการควบแน่น ภายในรูพรุนของของแข็ง (Capillary Condensation in Pores) โดยลักษณะของกราฟในช่วงแรกจะเหมือนกับชนิดที่ 2 ซึ่งจุดเปลี่ยนโค้ง จะแสดงถึงการดูดซับชั้นแรกอย่างสมบูรณ์
- แบบ V เป็นไอโซเทอมรูปแบบพิเศษ มีความคล้ายกับแบบ III เกิดขึ้นเมื่อแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับมีค่าน้อย ซึ่งจะพบในสารดูดซับที่มีขนาดรูพรุนในช่วงเดียวกับไอโซเทอมแบบ IV สำหรับไอโซเทอมแบบ III และแบบ V นี้จะคำนวณหาพื้นที่ผิวได้ยากเนื่องจากชั้นการดูดซับชั้นที่ 2 จะถูกสร้างขึ้นก่อนที่ชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์
- แบบ VI เป็นการดูดซับแบบ multilayer เป็นชั้นๆ ขึ้นบนผิวของ nonporous โดยความสูงของแต่ละชั้นจะเป็นความสามารถของ monolayer ในชั้นนั้นๆ

2.4 ไอโซเทอมของการดูดซับ

ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ที่มีการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ

1) ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ในปี ค.ศ.1916 แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายสุดโดยมีสมมติฐานคือ

- 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption)
- 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนแน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน
- 3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆ พื้นที่ของตัวดูดซับ
- 4) โมเลกุลที่จะถูกดูดซับไม่สามารถที่จะย้ายข้ามผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียง

ได้

สมการแลงเมียร์เป็นสมการง่ายๆ แบบจำลองเป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์และสามารถนำมาใช้งานได้ ในช่วงที่กว้าง ในขณะที่สมการของแลงเมียร์มีข้อจำกัดของการใช้งาน ได้แก่ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูตเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์เขียนได้ดังนี้

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (mg) ต่อปริมาณของตัวดูดซับ(g) ที่ภาวะสมดุล หรือเรียกว่าหรือค่าการดูดซับที่สมดุล

q_m คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับมากที่สุด (mg/g) ที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว (monolayer)

b คือ ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ หรือค่าคงที่ของแลงเมียร์ (L/mg)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (mg/L)

สมการ 2.2 จัดรูปให้เป็นสมการเส้นตรง คือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad \text{.....(2.2)}$$

จากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ (สมการ 2.3) เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e/q_e กับ C_e ค่า q_m และ b หาได้จากความชัน (slope) และจุดตัดแกน (intercept) สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ ยังอาจแสดงได้ด้วยปัจจัยของการแยกหรือค่าตัวแปรที่สภาวะสมดุล (separation factor or equilibrium parameter, R_L) ดังสมการ

$$R_L = \frac{1}{1 + b C_0} \quad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกดูดซับ (mg/L) โดยค่า R_L จะเป็นตัวบอกรูปร่างของไอโซเทอมว่า สอดคล้องกับการดูดซับหรือไม่ ถ้า $R_L > 1$ การดูดซับไม่ดี (unfavorable), $R_L = 1$ การดูดซับเป็นเส้นตรง (linear), $0 < R_L < 1$ การดูดซับดี (favorable) และ $R_L = 0$ การดูดซับเกิดผันกลับได้ (irreversible)

2) ไอโซเทอมแบบ Freundlich (Freundlich isotherm)

สมการของ Freundlich มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ไอโซเทอมแบบ Freundlich เป็นไอโซเทอมที่พัฒนาจากไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว (heterogeneous) โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (multilayer)

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{.....(2.4)}$$

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad \text{.....(2.5)}$$

เมื่อ C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สมดุล (mg/L)

q_e คือ ปริมาณสารที่ถูกละลาย (mg) ต่อปริมาณของตัวถูกละลาย (g) ที่ภาวะสมดุล

K_F คือค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (mg/g)

n คือค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K_F$ จากสมการการดูดซับแบบ Freundlich ความสามารถในการดูดซับพิจารณาจากความชันของกราฟระหว่าง $\log C_e$ กับ $\log q_e$ โดยถ้าเส้นกราฟที่ได้มีค่าความชันมาก หรือค่า n น้อยแสดงว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่เกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำ ค่า $1/n$ อธิบายถึงไอโซเทอมของการดูดซับ ถ้าเท่ากับ 1 ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง แต่ค่ามากกว่า 1 อธิบายถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ และถ้าน้อยกว่า 1 อธิบายถึงปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับมีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ

โลหะตะกั่ว

โลหะหนัก (heavy metal) หมายถึงโลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 g/m^3 โลหะตะกั่ว (lead) สัญลักษณ์ธาตุคือ Pb เป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติที่จัดอยู่ในหมู่ที่ IV ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 82 เลขมวล 207.19 จุดหลอมเหลว (melting point) $3,640^\circ\text{C}$ จุดเดือด (boiling point) $1,749^\circ\text{C}$ ตะกั่วมีสมบัติทางกายภาพและเคมีคล้ายดีบุก นำมาทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย ทนต่อการผุกร่อนได้ดี ละลายน้ำได้น้อย ในธรรมชาติตะกั่วมีกำเนิดจากหินอัคนีและหินแปรมีประมาณ 10–20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบในรูปของสารประกอบตะกั่วซัลไฟด์ ตะกั่วซัลเฟต ตัวอย่างแร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แร่ galenite หรือ galena ซึ่งเป็นซัลไฟด์ของตะกั่ว แร่ cerussite (PbCO_3), anglesite (PbSO_4), pyromorphit ($\text{PbCl}_2 \cdot 3\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$), minium (Pb_3O_4), wulfenite (PbMnO_4), crocote (PbCrO_4), ZnS และ pyrite

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีลักษณะอ่อนทำให้หลอมเหลวได้ง่ายและสามารถพิมพ์แบบออกมาเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ดี จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย มีการนำตะกั่วมาใช้ตั้งแต่สมัยโบราณ ในปัจจุบันก็ยังมีการใช้ตะกั่วในงานต่างๆ อย่างแพร่หลาย ภาวะตะกั่วเป็นพิษเป็นโรคที่พบได้บ่อยในประเทศไทย อาการของตะกั่วเป็นพิษเป็นอาการที่เกิดขึ้นกับอวัยวะหลายระบบและคล้ายกับอาการของโรคอื่นๆ

ตะกั่วเป็นสารที่พบปนเปื้อนทั่วไป ในสมัยอดีตเด็กเป็นโรคพิษตะกั่วจากการรับประทานสีทาบ้านหรือใช้มือจับของที่ติดสีดังกล่าว ในปัจจุบันสีทำด้วยตะกั่วมีน้อยลง แหล่งที่สำคัญที่ทำให้เกิดพิษสำหรับผู้ใหญ่คือจากอุตสาหกรรมได้แก่ โรงงานทำแบตเตอรี่และโรงงานอื่นๆ ที่มีการใช้ตะกั่วอย่างกว้างขวาง เช่น

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ สำหรับประชาชนโดยทั่วไปอาจได้รับตะกั่วจากอากาศ ซึ่งมักมีตะกั่วปนเปื้อนจากการใช้เตตระเอทิลเลด (tetraethyl lead) ในน้ำมันรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีแหล่งอื่นๆ อีกจำนวนมากที่อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะตะกั่วเป็นพิษ ได้แก่ หัวกระสุนตะกั่วที่ตกค้างในร่างกาย การทำงานในสนามยิงปืน ยาสูบนิโคติน รมิก แป้งทาตัวเด็ก (จ๊วยฮั้ง) ภาชนะเซรามิกส์ ที่มีตะกั่ว ท่อประปาที่ทำด้วยตะกั่ว ผลิตภัณฑ์จากแบตเตอรี่และอาหารที่มีตะกั่วปนเปื้อน เหล้าไวน์ เครื่องยนต์ที่ใช้ตะกั่วเป็นส่วนประกอบ การเจียรไนพลอยที่ใช้จานตะกั่ว ตะกั่วที่ใช้เป็นตัวพิมพ์หนังสือ ตะกั่วถ่วงน้ำหนักฆาน สีที่ใช้ทาของใช้ของเด็ก เป็นต้น

ตะกั่วเป็นธาตุที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมต่างๆ ไป ปกติผู้ใหญ่จะรับประทานอาหารโดยมีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ด้วยประมาณวันละ 150 ไมโครกรัม อาหารเด็กอาจมีตะกั่วปนประมาณวันละ 100 ไมโครกรัม และรับตะกั่วในน้ำดื่มประมาณ 100 ไมโครกรัมต่อวัน นอกจากนี้คนเรายังรับตะกั่วทางการหายใจ โดยทั่วไปอากาศอาจจะมีปริมาณตะกั่ว 1-2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประมาณกันว่าถ้าปริมาณตะกั่วในอากาศ 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจะทำให้ตะกั่วในเลือดสูงขึ้น 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ลิตร โดยสรุป คนหนึ่งอาจรับตะกั่วเข้าไปในร่างกายวันละ 0.1-2 มิลลิกรัม ในจำนวนนี้ประมาณ ร้อยละ 75 เข้าทางทางเดินอาหารและร้อยละ 25 เข้าทางการหายใจ การดูดซึมตะกั่วไปทางเดินอาหาร ผู้ใหญ่จะดูดซึมเข้าไปในร่างกายประมาณร้อยละ 10 ส่วนเด็กจะดูดซึมมากกว่าถึงร้อยละ 40 ดังนั้นเด็กที่รับประทานสารที่ปนเปื้อนตะกั่วทางปากอาจจะมีอาการเป็นพิษมากกว่า ส่วนตะกั่วที่เข้าไปในทางเดินหายใจ ถ้าขนาดของผงฝุ่นที่มีตะกั่วยิ่งเล็กลงการดูดซึมก็ยิ่งมาก ผงฝุ่นตะกั่วที่เล็กกว่า 0.5 ไมโครเมตร ร่างกายสามารถดูดซึมได้ถึงร้อยละ 90 การกระจายของตะกั่วในร่างกาย เนื่องจากปกติตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายจะถูกกำจัดออกไปซ้ำๆ ผลทำให้ตะกั่วมีการสะสมขึ้น ในคนทั่วไปตะกั่วอาจจะสะสมในร่างกายประมาณ 200 มิลลิกรัม ส่วนในคนงานที่ทำงานเกี่ยวกับสารตะกั่วอาจจะสะสมถึง 500 มิลลิกรัม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รติย์ ชินโรจน์บรรกุล และคณะได้ศึกษาทำการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มมูลค่าของเปลือกกล้วย โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพของสารแทนนินที่สกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแทนนินจาก เปลือกกล้วยน้ำว้าพบว่า สารละลายแทนนินเข้มข้น สกัดได้โดยแช่เปลือกกล้วย 10 กรัมในน้ำ 200 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 30 นาที การทดลองด้วยวิธีจาร์เทสต์ทดลองกับน้ำเสีย ชุมชนเขตเทศบาลเมือง จ.เพชรบุรีโดยแปรผันปริมาณสารละลายแทนนิน พีเอช และอัตราการกวน เร็ว-ช้า พบว่า สารละลายแทนนินเข้มข้น 16 มิลลิลิตร และที่พีเอช 8 สามารถบำบัดความขุ่น ในน้ำตัวอย่างได้ร้อยละ 81.86 นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียในสเกลที่ใหญ่ (20 ลิตร) ขึ้นด้วยสารที่สกัดได้จากเปลือกกล้วยน้ำว้า ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการ สร้างตะกอนด้วยสารสกัดแทนนินเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มในการบำบัด พบว่า ผลการวิเคราะห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสารสกัดแทนนินจากเปลือกกล้วยน้ำว้าสามารถใช้

เป็น สารสร้างตะกอนธรรมชาติทดแทนการใช้สารเคมีเป็นสารสร้างตะกอนสำหรับการบำบัดความขุ่นของน้ำเสียได้โดยมีต้นทุนที่ต่ำ [5]

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของเปลือกกล้วยในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียเปลือกกล้วยที่นำมาศึกษามี 3 แบบ คือ แบบที่หนึ่งเป็นเปลือกกล้วยดิบ แบบที่สองเป็นแบบเปลือกกล้วยอบแห้งยาว 2.5 เซนติเมตร แบบที่สามเป็นเปลือกกล้วยแบบอบแห้งบดละเอียด รูปแบบของการทดลองเป็นแบบกะ (batch study) การศึกษาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรก ศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของเปลือกกล้วยทั้ง 3 แบบ เพื่อนำมาใช้ในการกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ขั้นที่สองเป็นการศึกษาประสิทธิภาพที่ระดับพีเอช และระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่วของเปลือกกล้วยทั้ง 3 แบบ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของเปลือกกล้วยทั้ง 3 แบบ สำหรับการกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสีย คือ ปริมาณ 150 กรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วร้อยละ 85.92, 91.75, 95.88 ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมของเปลือกกล้วยทั้งสามแบบสำหรับการกำจัดตะกั่ว คือ ระดับพีเอช 4 และระยะเวลาสัมผัส 60 นาที โดยประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของกล้วยแบบอบแห้งบดละเอียด ให้ค่าประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ ร้อยละ 98.12 ขณะที่แบบอบแห้งยาว 2.5 เซนติเมตร และแบบดิบให้ค่าประสิทธิภาพ การกำจัดร้อยละ 93.06 และ 95.2 ตามลำดับ [6]

ปารินดา สุขสบาย ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขั้วต่อท่อประปาเหล็กด้วยการตกตะกอนทางเคมีด้วยปูนขาวร่วมกับการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยน้ำเสียต้องผ่านระบบการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนหลังจากนั้นจึงผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ในการทดลองได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณปูนขาวที่ใช้ในการตกตะกอน โดยให้ปริมาณของปูนขาวเท่ากับ 1% 2% และ 3% (w/v) ผลการทดลองพบว่าปริมาณปูนขาว 3% (w/v) เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสียจากน้ำเสียรวมของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตขั้วต่อท่อประปาเหล็ก โดยพบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำมันและไขมันและของแข็งแขวนลอย มีค่าสูงถึงร้อยละ 97.26 และ 82.40 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด เหล็ก สังกะสี ประมาณร้อยละ 66.82 และ 56.82ตามลำดับ ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในขั้นตอนนี้ค่อนข้างต่ำเพียงร้อยละ 31.31 หลังจากนั้นนำน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว 3% (w/v) เข้าบำบัดด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ โดยพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 300 นาที และความสูงของถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ที่เหมาะสมเท่ากับ 30 เซนติเมตรจึงมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด ภายใต้อัตราการไหลของน้ำเสียในคอลัมน์เท่ากับ 20 มิลลิตร/นาที น้ำเสียรวมของโรงงานเมื่อผ่านระบบบำบัดด้วยการตกตะกอนเคมีด้วยปูนขาวตามด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี น้ำมันและไขมัน ของแข็งแขวนลอย เหล็ก และสังกะสี เท่ากับร้อยละ 62.23, 68.89, 98.23, 85.93, 72.06และ 96.15 ตามลำดับ และ ค่าความเข้มข้นของซีโอดี น้ำมันและไขมัน ของแข็งแขวนลอย เหล็ก และสังกะสี หลังบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

วรรณต์ นาคบรรพต ศึกษาการใช้ตัวดูดซับเพื่อจับโมเลกุลของสีที่ละลายน้ำได้ดี เช่น สีรีแอกทีฟ เป็นวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุดในการบำบัดสีจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อม โดยตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมาก คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาแพง และหากต้องการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงมาก ทำให้โรงฟอกย้อมส่วนใหญ่ละลายที่จะบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในมาตรฐาน ดังนั้น การทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาตัวดูดซับจากถ่านขี้เลื่อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการใช้ขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไอน้ำในโรงงานฟอกย้อมโดยทั่วไป เพื่อนำตัวดูดซับที่เตรียมได้ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าถ่านขี้เลื่อยมีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน 64%, ออกซิเจน 31% และ โปแตสเซียม 2.5% และมีขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับ Mesopore (2-50 นาโนเมตร) ซึ่งน่าจะเหมาะสมต่อการดูดซับสีรีแอกทีฟ แต่เนื่องจากถ่านขี้เลื่อยเป็นถ่านที่ยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนการกระตุ้น (Activation) ทำให้ยังคงมีปริมาณพื้นที่ผิวต่ำ จึงต้องมีการศึกษาวิธีการที่ง่ายและประหยัดที่สุดเพื่อที่จะปรับสภาพถ่านกัมมันต์ให้มีพื้นที่ผิว และ/หรือ หมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จะศึกษาถึงคุณลักษณะและคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของถ่านขี้เลื่อยที่เตรียมขึ้น รวมทั้งศึกษากลไกในการดูดซับสี และประสิทธิภาพของถ่านขี้เลื่อยในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงจากโรงฟอกย้อม เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาตัวดูดซับจากถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้วัสดุชีวภาพชนิดอื่น ๆ ให้มีความสามารถในการบำบัดสีจากโรงงานฟอกย้อม ซึ่งจะเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม และส่งเสริมให้มีการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมอย่างถูกต้อง [7]



บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือ (apparatus)

- 1) อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS), iCE3000 series, Thermo Scientific, USA
- 2) เตาอบไฟฟ้า, Binder FD115, Germany
- 3) เครื่องชั่งละเอียด, AND HM-200, Japan
- 4) Magnetic stirrer, CAT M6, SCHOTT, Germany
- 5) pH meter, Lab860, SCHOTT, Germany
- 6) Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Nicolet 6700, Thermo Scientific, USA
- 7) X-ray fluorescence (XRF), Horiba Japan
- 8) Centrifuge, PLC-012E Universal centrifuge, USA

3.2 สารเคมี (reagents)

- 1) 1,000 ppm standard Lead(II) nitrate ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), spectrosol, New Zealand
- 2) Nitric acid (70% HNO_3), BDH, England

3.3 วิธีการทดลอง (methodology)

3.3.1 การเตรียมตัดดูดซับจากเปลือกกล้วยสด

นำเปลือกกล้วยน้ำว้าสดล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออนและผึ่งให้แห้ง และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที นำมาตัดให้มีขนาด กว้าง \times ยาว \times สูง เท่ากับ $1\times 1\times 1\text{ cm}^3$

3.3.2 การศึกษาการดูดซับโลหะตะกั่ว

นำเปลือกกล้วยน้ำว้าสดล้างทำความสะอาดและผึ่งให้แห้ง นำมาตัดให้มีขนาด กว้าง \times ยาว \times สูง เท่ากับ $1\times 1\times 1\text{ cm}^3$ ใส่ในหลอดเซนต์ปีทิส PETE ขนาด 50 mL เติมสารละลายโลหะตะกั่วเข้มข้น 20 mg/L ปริมาตร 25 mL กวนโดยใช้เครื่องกวนสารละลายที่ความเร็วรอบคงที่ 700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นแยกสารละลายโดยการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง สารละลายที่ได้นำไปวัดปริมาณไอออนตะกั่วที่เหลือนด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ประสิทธิภาพของการดูดซับไอออนตะกั่วของเปลือกกล้วย โดยการเปรียบเทียบปริมาณไอออนตะกั่ว ก่อนและหลังการดูดซับ ประสิทธิภาพของการดูดซับไอออนตะกั่วคำนวณจากสมการ

$$AC = \frac{(C_0 - C_e)}{mass} \times V \quad \text{.....(1)}$$

$$\%RE = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad \text{.....(2)}$$

- เมื่อ AC คือ ปริมาณของโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (adsorption capacity)
 RE คือ ประสิทธิภาพการกำจัด (removal efficiency)
 C_0 คือ ความเข้มข้นไอออนตะกั่ว (mg/L) เริ่มต้น
 C_e คือ ความเข้มข้นไอออนตะกั่ว (mg/L) ที่สมดุล
 V คือ ปริมาตรของสารละลาย (L)
 mass คือ น้ำหนักของตัวดูดซับ (g)

3.3.5 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนตะกั่ว

1) ระยะเวลาสัมผัส (contact time)

- เปลือกกล้วยสด 5.00 กรัม ใส่ในหลอด PETE ขนาด 50 mL เต็มสารละลายมาตรฐานไอออนตะกั่วเข้มข้น 20 mg/L ปริมาตร 25 mL

- กวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นเวลา 10, 20, 50, และ 60 นาที

- กรองสารละลายแล้วนำสารละลายไปวัดปริมาณไอออนตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

2) ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนตะกั่ว

- เปลือกกล้วยสด 5.00 กรัม ใส่ในหลอด PETE ขนาด 50 mL เต็มสารละลายมาตรฐานไอออนตะกั่วเข้มข้น 40-540 mg/L ปริมาตร 25 mL

- กวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นเวลา 60 นาที

- กรองสารละลายแล้วนำสารละลายไปวัดปริมาณไอออนตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

3.3.2 การทดสอบเอกลักษณ์

การทดสอบเอกลักษณ์ด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)

นำเปลือกกล้วยที่ได้จากการเตรียมในข้อ 3.3.1 มาทดสอบด้วยเครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)

การทดสอบเอกลักษณ์ด้วยเทคนิค energy dispersive X-ray fluorescence (ED-XRF)

นำเปลือกกล้วยที่ได้จากการเตรียมในข้อ 3.3.1 มาทดสอบด้วยเครื่อง energy dispersive X-ray fluorescence (ED-XRF)

บทที่ 4

ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

4.1 ตัวดูดซับจากเปลือกกล้วยสด

ตัวดูดซับที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่วในการทดลองนี้ได้จากเปลือกกล้วยเหลือทิ้งโดยสเกลความสุขของกล้วยที่นำมาใช้วิเคราะห์จะอยู่ระหว่างระดับ 2-3 แสดงดังภาพที่ 1 (สเกลความสุขของกล้วยสามารถดูได้ในภาคผนวกที่ 1)

ก)



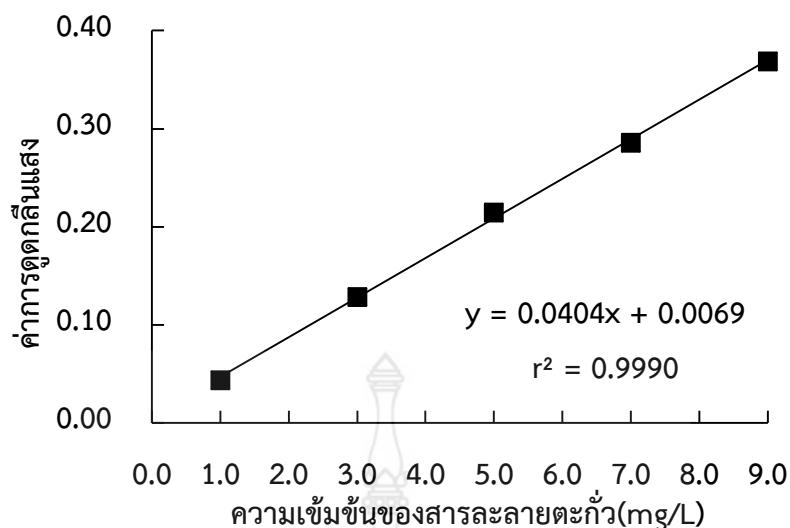
ข)



ภาพที่ 4 ผลกล้วย ก) ตัวอย่างผลกล้วยที่มีสเกลความสุขระดับ 3 และ ข) เปลือกกล้วยสดที่ใช้ในการทดสอบในการเป็นตัวดูดซับโลหะตะกั่ว

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณของสารละลายโลหะตะกั่ว

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับของโลหะตะกั่วสามารถทำได้โดยการตรวจวัดหาปริมาณของโลหะตะกั่วที่เหลือหลังจากการดูดซับ โดยหากปริมาณของโลหะตะกั่วที่เหลือหลังจากการดูดซับมีปริมาณมากแสดงว่าตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับที่น้อย และในทางเดียวกันหากปริมาณโลหะตะกั่วที่เหลือมีปริมาณน้อยแสดงว่าตัวดูดซับจากเปลือกกล้วยมีประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วที่ดี ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะตะกั่วจะใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยทำการเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นของโลหะตะกั่วระหว่าง 0.00-25.00 mg/L โดยจากการทดลองพบว่ากราฟมาตรฐานที่ได้มีความเป็นเส้นตรงที่ดีโดยมีค่า $r^2 = 0.9969$ แสดงดังภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะตะกั่วที่เหลือยังจากการถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับเปลือกกล้วยสด



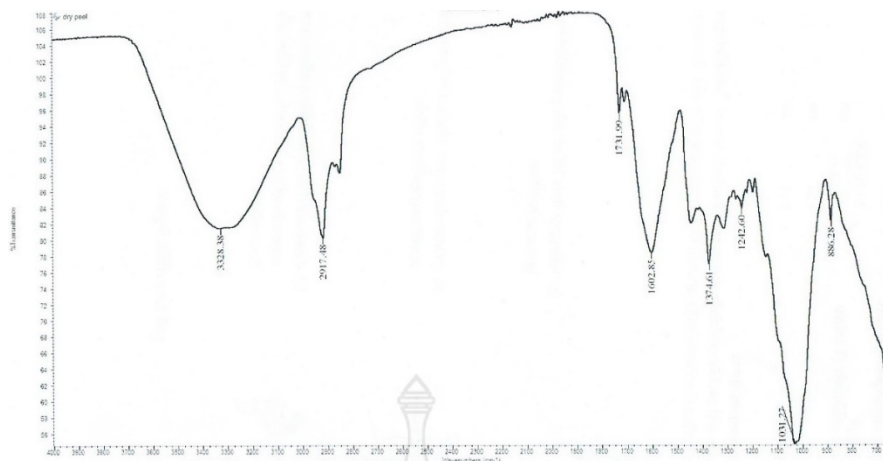
ภาพที่ 5 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะตะกั่วที่เหลือจากการถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับเปลือกกล้วยสด

4.3 เอกลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับจากเปลือกกล้วย

ลักษณะของเปลือกกล้วยถูกศึกษาเพื่ออธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงและลักษณะของเปลือกกล้วยที่ใช้เป็นตัวดูดซับโดยมีการศึกษาดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR

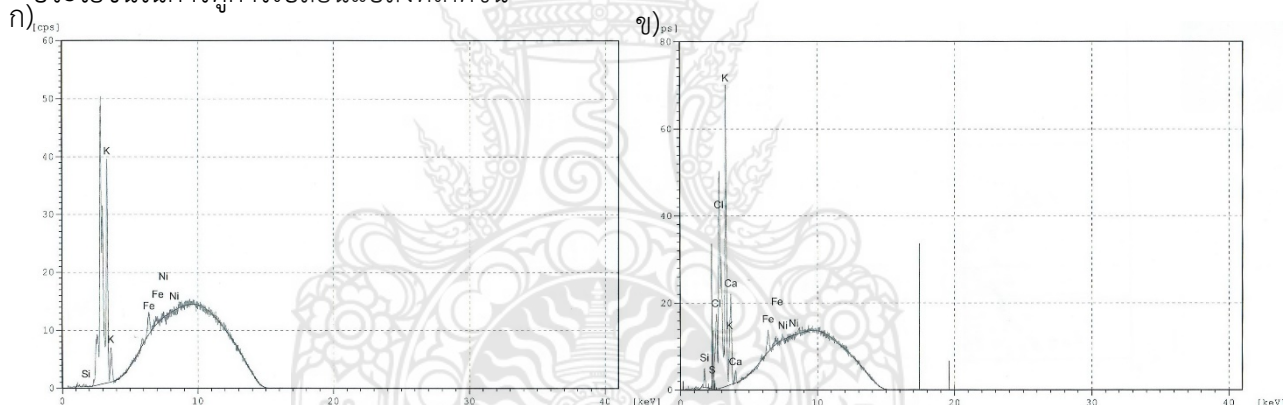
เทคนิค FTIR เป็นการทดสอบเพื่อดูหมู่ functional group ของเปลือกกล้วย โดยจากการทดลองสเปกตรัมการวิเคราะห์เปลือกกล้วยที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรด้วยเทคนิค FTIR แสดงดังภาพที่ 3 โดยปรากฏ broad peak ที่ 3328.38 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ hydroxyl groups (-OH) ในขณะที่มี sharped peak ที่ 2917.48 cm^{-1} แสดงถึง CH stretching vibrations ของ CH, CH₂ และ CH₃ ตามลำดับ weak bands ที่ 2917.48 cm^{-1} และ 2917.48 cm^{-1} บ่งบอกถึง C-H stretching ซึ่งแสดงถึงลักษณะของหมู่ aliphatic ที่ปรากฏอยู่ตามธรรมชาติในเปลือกกล้วย นอกจากนี้ peaks ที่ 1031.27 cm^{-1} ยังแสดงถึงหมู่ Si-O stretching และ Si-O bending ซึ่งบ่งบอกว่ามี silica



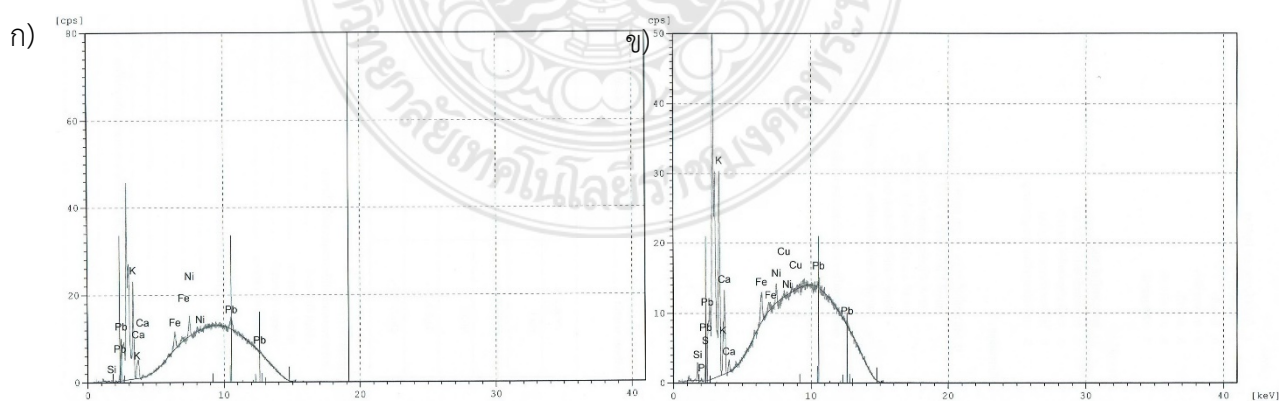
ภาพที่ 6 สเปกตรัม FTIR ของเปลือกกล้วยที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปลงโดยทำการอบแห้งเพื่อกำจัดน้ำ

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในเปลือกกล้วยสดที่นำมาทำเป็นตัวดูดซับในการทดลองนี้ใช้เทคนิค XRF ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยการยิงลำแสงเลเซอร์ไปยังตัวอย่าง ผลองค์ประกอบของธาตุจึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ทางปริมาณวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุที่ได้ก็มีประโยชน์ในการดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 7 ก) ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค XRF ของ ก) เปลือกใน และ ข) เปลือกนอก ก่อนการดูดซับ



ภาพที่ 8 ก) ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค XRF ของ ก) เปลือกใน และ ข) เปลือกนอก หลังการดูดซับ

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในเปลือกกล้วยพบว่าเป็นที่น่าสนใจที่เปลือกกล้วยมีปริมาณของโพแทสเซียม (K) ที่ค่อนข้างสูงทั้งบริเวณภายในและภายนอก โดยมี

ปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) เล็กน้อย โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุนี้จะได้ชัดเจนว่า เปลือกกล้วยสามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้เป็นอย่างดี โดยก่อนทำการดูดซับไม่ปรากฏโลหะตะกั่วในเปลือกกล้วยทั้งเปลือกกล้วยด้านในและเปลือกกล้วยด้านนอก แต่หลังจากการแช่เปลือกกล้วยสดในสารละลายโลหะตะกั่วเข้มข้น 100 mg/L พบว่าสามารถวิเคราะห์พบปริมาณของตะกั่วในเปลือกกล้วย โดยที่เปลือกภายในจะพบปริมาณของตะกั่วมากกว่าเปลือกนอก ซึ่งน่าจะมาจากลักษณะของเส้นใยที่แตกต่างกัน โดยเปลือกในจะมีลักษณะเป็นเมือกซึ่งอาจจะทำให้สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่า

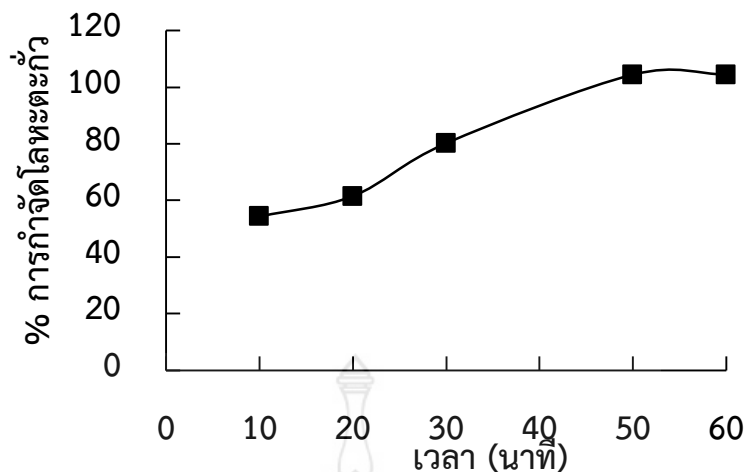
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในเปลือกกล้วย

ธาตุ	% ธาตุองค์ประกอบ			
	เปลือกใน หลังการดูดซับ	เปลือกนอก หลังการดูดซับ	เปลือกใน หลังการดูดซับ	เปลือกนอก หลังการดูดซับ
Si	4.63±1.88	23.06±0.95	2.32±0.88	26.18±2.09
K	88.37±1.87	44.91±0.64	29.51±2.21	34.60±2.18
Fe	6.43±0.52	1.49±0.10	2.05±0.21	2.35±0.22
Ni	0.57±0.51	0.13±0.09	1.83±0.21	1.83±0.21
S	ND	2.45±0.16	ND	1.06±0.42
Cl	ND	10.96±0.27	ND	ND
Ca	ND	17.00±0.37	5.16±0.46	15.84±1.05
P	ND	ND	ND	1.01±0.48
Pb	ND	ND	59.13±3.05	17.78±4.81

4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนตะกั่ว

1. ผลของระยะเวลาสัมผัส (contact time)

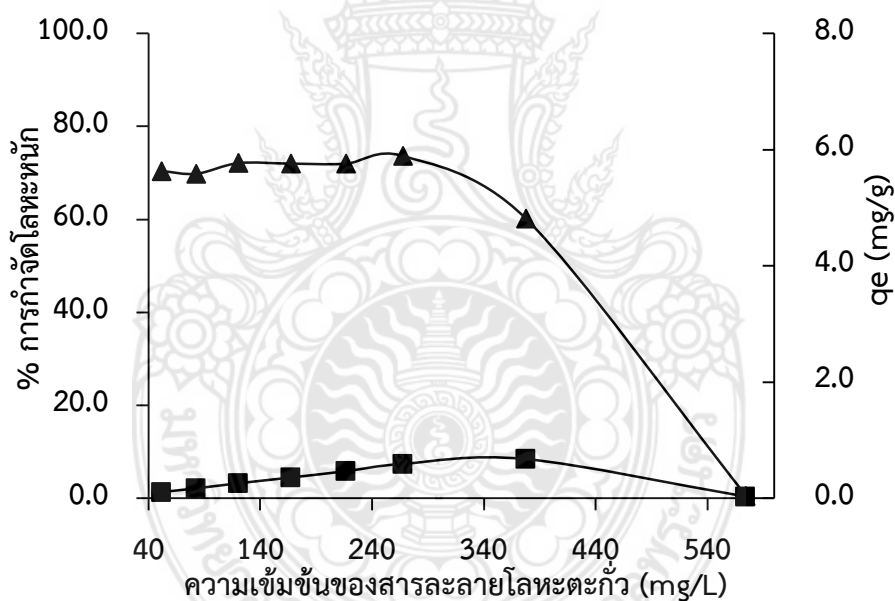
การศึกษาปัจจัยระยะเวลาในการกวนสารละลายโดย โดยอัตราเร็วในการกวนคงที่ ณ อุณหภูมิห้อง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตั้งแต่ 5-60 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วแสดงในภาพที่ 6 ผลของเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไอออนตะกั่วจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสของตัวดูดซับจากเปลือกกล้วยสดและสารละลายโลหะหนักตะกั่วจนกระทั่งนาทีที่ 50-60 ซึ่งเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักตะกั่วที่เนื่องจากมีการดูดซับตะกั่วได้ทั้งหมดในนาทีที่ 50 ในการทดลองนี้จึงเลือกระยะเวลาสัมผัสที่ 60 นาทีเพื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์อื่นต่อไป



ภาพที่ 9 ผลของเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว

2. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนตะกั่ว

การศึกษาปัจจัยความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนตะกั่วที่มีผลต่อการดูดซับด้วยเปลือกกล้วยสดที่ไม่ผ่านการตัดแปรพื้นผิว โดยมีสภาวะดังแสดงในตารางที่ 3 สภาวะการทดลอง



ภาพที่ 10 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโลหะตะกั่ว

ตารางที่ 3 สภาวะการทดลอง

สภาวะการทดลอง	ตัดดูดซับจากเปลือกกล้วยสด
ช่วงความเข้มข้นไอออนตะกั่วที่ศึกษา (mg/L)	40-540
ปริมาณตัวดูดซับ (g/L)	6.0
ระยะเวลาสัมผัส (min)	60

4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ

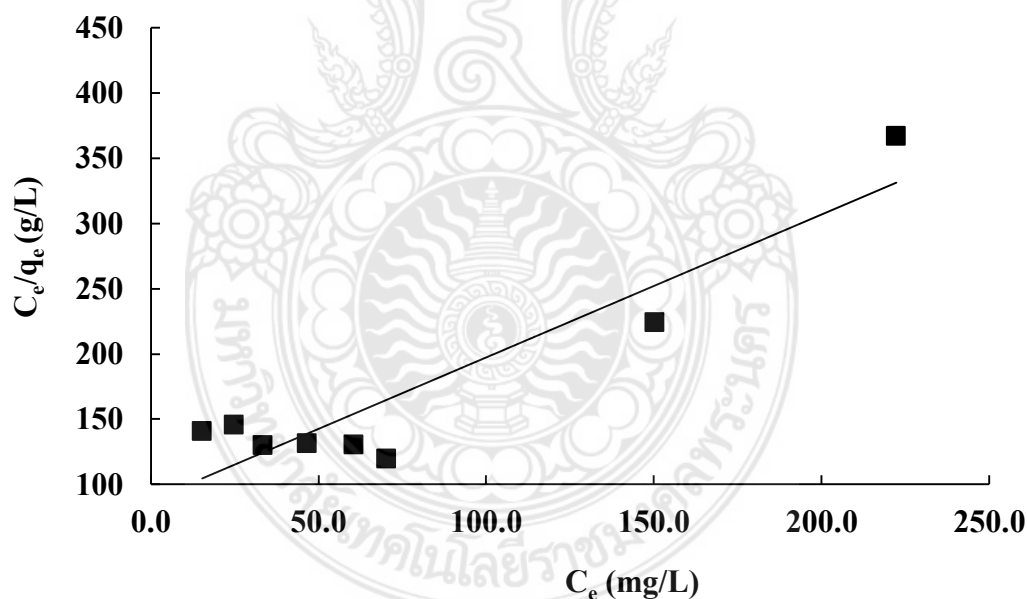
ไอโซเทอมของการดูดซับ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุล กับจำนวนของตัวถูกดูดซับที่มีการดูดซับ ที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นสมการที่มีประโยชน์สำหรับวิเคราะห์การดูดซับ

ไอโซเทอมของแลงเมียร์

สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir) มีสมมติฐานที่ว่าโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกิดการดูดซับบนผิวในตำแหน่งที่แน่นอนของตัวดูดซับ แต่ละโมเลกุลของตัวดูดซับเกิดการดูดซับบนผิวแบบชั้นเดียวแต่ละพื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะแบบเดียวกัน สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad \dots(4.1)$$

จากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e/q_e กับ C_e ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ค่า q_m และ b หาได้จากความชัน (slope) และจุดตัดแกน (intercept) ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า q_m เท่ากับ 0.9151 mg/g และ b เท่ากับ 0.0124 L/g โดยมีความเป็นเส้นตรง r^2 เท่ากับ 0.8603 สำหรับตัดดูดซับจากเปลือกกล้วยสดที่ไม่ผ่านการตัดแปลงพื้นผิว



ภาพที่ 11 กราฟไอโซเทอมของแลงเมียร์ของตัดดูดซับเปลือกกล้วยสด

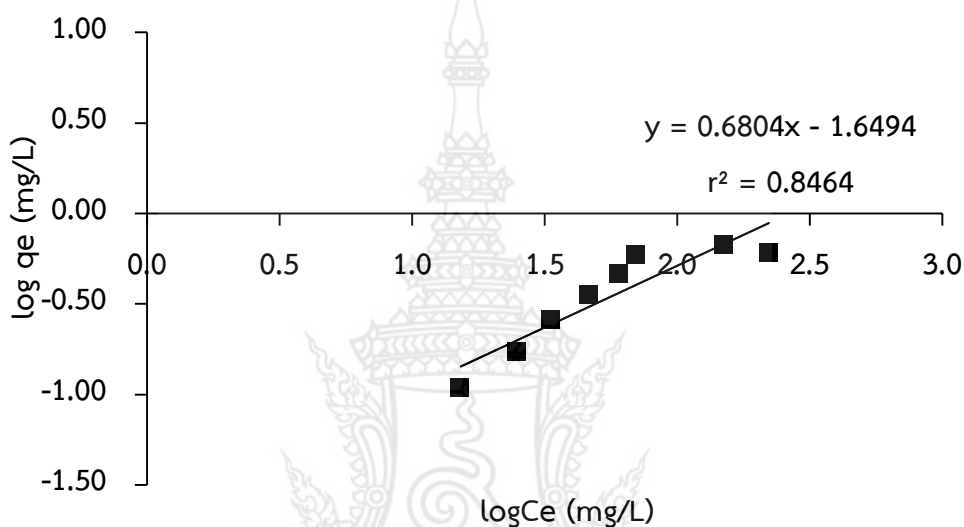
ไอโซเทอมของ Freundlich

สมการของ Freundlich มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (multilayer) สมการที่ได้จากการ

สังเกตและทดลองการดูดซับโดยอาศัยสมมติฐานของทฤษฎีนี้ เป็นแนวความคิดของแบบจำลองแบบหลายชั้น

$$\log q_e = \log K_f + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e \quad \dots(4.3)$$

เมื่อ K_f คือค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (mg/g) และ n คือค่าคงที่แสดงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ดังแสดงในภาพที่ 8 กราฟไอโซเทอมของ Freundlich ของเปลือกกล้วยสดจะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K_f$ จากผลพบว่าค่า K_f เท่ากับ 0.22



ภาพที่ 12 กราฟไอโซเทอมของ Freundlich ของเปลือกกล้วยสด

ค่า $1/n$ อธิบายถึงไอโซเทอมของการดูดซับ จากภาพที่ 8 กราฟไอโซเทอมของ Freundlich ของเปลือกกล้วยสดพบว่า $1/n$ น้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับมีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ไอโซเทอมการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich

	Slope	Intercept	r^2	q_m (mg/g)	b (L/g)
Langmuir model	1.0928	88.1080	0.8603	0.9151	0.0124
	Slop	Intercept	r^2	K_f (mg/g)	n
Freundlich model	0.6804	-1.6494	0.8464	0.22	1.47

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ไอโซเทอมการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วด้วยตัวดูดซับที่มีลักษณะใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ พบว่าเปลือกกล้วยสดมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง

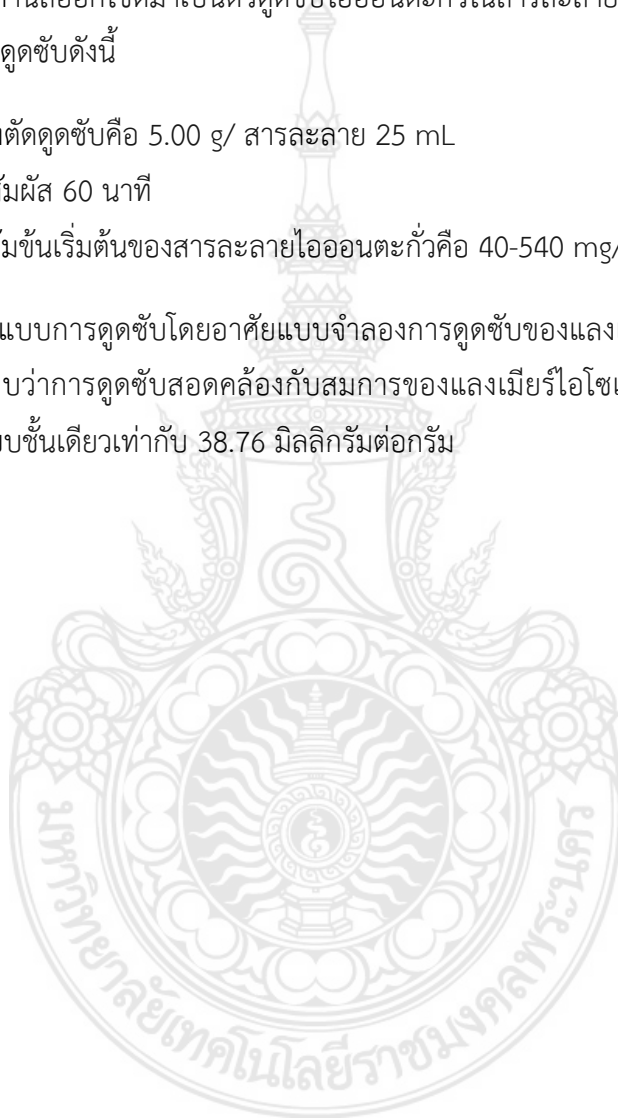
บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำดินเหนียวมาทำการตัดแปรพื้นผิวทางเคมีด้วยแมงกานีสออกไซด์ โดยแมงกานีสออกไซด์ขนาดระดับไมโครเมตรเคลือบบนผิวของอนุภาคดินเหนียวทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น เมื่อนำดินเหนียวตัดแปรพื้นผิวด้วยแมงกานีสออกไซด์มาเป็นตัวดูดซับไอออนตะกั่วในสารละลายโดยวิธีแบทช์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับดังนี้

- 1) ปริมาณของตัดดูดซับคือ 5.00 g/ สารละลาย 25 mL
- 2) ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที
- 3) ช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายไอออนตะกั่วคือ 40-540 mg/L

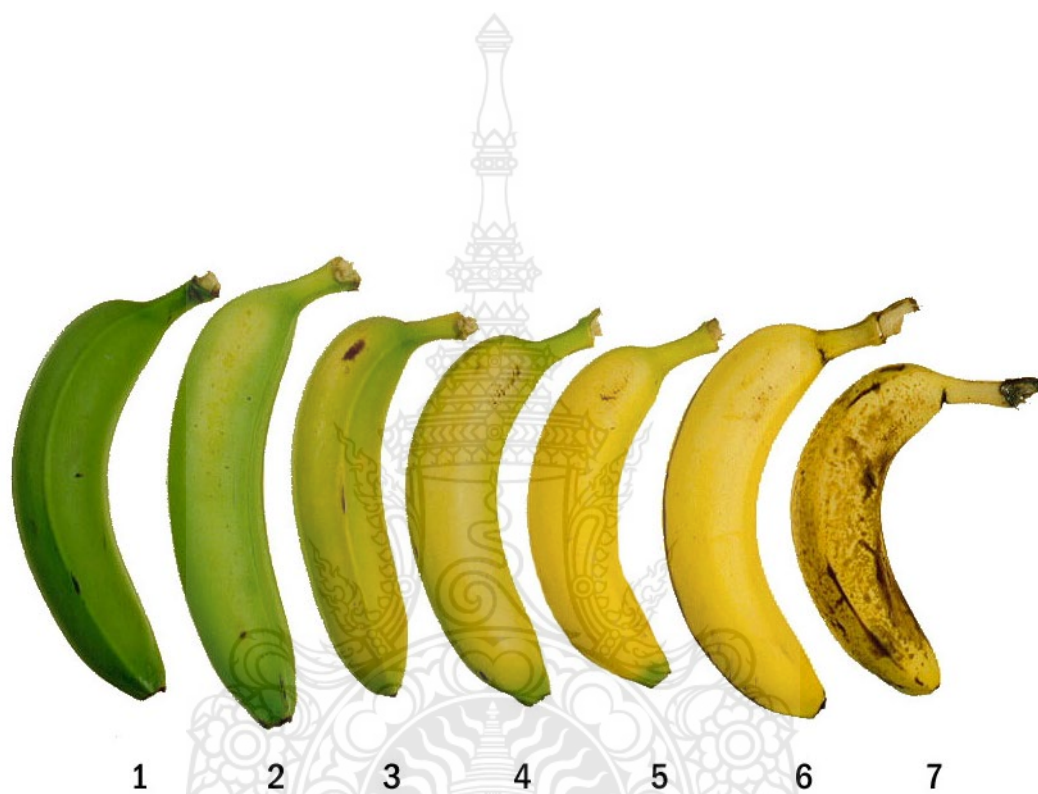
การประเมินรูปแบบการดูดซับโดยอาศัยแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir), ฟรุนดิช และ (Freundlich) พบว่าการดูดซับสอดคล้องกับสมการของแลงเมียร์ไอโซเทอม พบว่าความสามารถสูงสุดของการดูดซับแบบชั้นเดียวเท่ากับ 38.76 มิลลิกรัมต่อกรัม



เอกสารอ้างอิง

- [1] “(8) One Banana Co.,Ltd บริษัท วัน บานาน่า จำกัด - Posts.” [Online]. Available: <https://www.facebook.com/OneBananath/photos/a.1016636261770258/1016636478436903/?type=1&theater>. [Accessed: 16-Apr-2019].
- [2] V. T. Ltd.Thailand, “กทม.ของบ3.4หมื่นล้านสร้างโรงบำบัดน้ำเสียเพิ่ม4แห่ง,” *VoiceTV*. [Online]. Available: <https://www.voicetv.co.th/read/476637>. [Accessed: 16-May-2019].
- [3] “นี่หรือนครแห่งการท่องเที่ยว อเมซิ่งกรุงเทพฯ คนมั่งง่ายกับเมืองน้ำเน่า!” *www.thairath.co.th*. [Online]. Available: <https://www.thairath.co.th/content/571295>. [Accessed: 16-May-2019].
- [4] ภริตีย์ ชินโรจน์บวรกุล¹, คณิตา ตั้งคณานุรักษ์¹, นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์¹, “ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดย: ใช้สารสกัดแทนนินจาก เปลือกกล้วยน้ำว้าเป็นสารสร้างตะกอนชีวภาพ.” [Online]. Available: https://www.kmutt.ac.th/jif/public_html/article_detail.php?ArticleID=149585. [Accessed: 16-May-2019].
- [5] “Article.” [Online]. Available: https://www.kmutt.ac.th/jif/public_html/article_detail.php?ArticleID=149585. [Accessed: 16-Jan-2018].
- [6] “การจัดตั้งถ้ำออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกกล้วย,” *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, อุบลราชธานี, 2549.
- [7] “สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช [หมวดเงินอุดหนุน49].” [Online]. Available: <https://www.kmutt.ac.th/rippc/sawdust.htm>. [Accessed: 16-Jan-2018].
- [8] “ANR Repository.” [Online]. Available: <https://ucanr.edu/repository/view.cfm?article=83211>. [Accessed: 16-May-2019].

ภาคผนวก



1 2 3 4 5 6 7

แผนภาพแสดงระดับความสุกของกล้วย [8]

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ total dissolved solids)	<ul style="list-style-type: none"> ● ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. ● น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเล ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก.ล. 	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (suspended solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (glass fiber filter disc)
4. อุณหภูมิ (temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	titration
7. ไซยาไนด์ (cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี pyridine barbituric acid
8. น้ำมันและไขมัน (fat, oil and grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	spectrophotometry
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
10. สารประกอบฟีนอล (phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-aminoantipyrine

11. คลอรีนอิสระ (free chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	iodometric method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	gas-chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C (biochemical oxygen demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	azide modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ total kjeldahl nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (chemical oxygen demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	potassium dichromate digestion
16. โลหะหนัก		atomic absorption spectrophotometry ชนิด
16.1 สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	direct aspiration หรือวิธี
16.2 โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (hexavalent chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	plasma emission spectroscopy ชนิด
16.3 โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (trivalent chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	inductively coupled plasma : ICP
16.4 ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
16.5 แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
16.6 แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
16.7 ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
16.8 นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
16.9 แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
16.10 เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
16.11 อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	- atomic absorption spectrophotometry ชนิด hydride generation หรือ วิธี plasma emission spectroscopy ชนิด inductively coupled plasma : ICP
16.12 พรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	- atomic absorption cold vapour technique

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทยุทสาหรณและนิคมอุตสาหกรรม” ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 99 ตอนที่ 113 ตอนที่ 13ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539



ประวัติผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ (ภาษาไทย) นางสาวสิริรัตน์ นามสกุล พานิช

ชื่อ (ภาษาอังกฤษ) Miss Sirirat Panich

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก

กลุ่มวิชาเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

พระนคร กระทรวงศึกษาธิการ 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

E-mail: sirirat.pan@rmutp.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ.	วุฒิการศึกษา	สถานศึกษา	จังหวัด
2560	Ph.D (Chemistry)	Imperial College London	UK
2551	วทม.เคมี (เคมีวิเคราะห์และเคมีอินทรีย์ประยุกต์)	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรุงเทพมหานคร
2547	วทบ.เคมี	ม.บูรพา	ชลบุรี
	ประกาศนียบัตร (ทางการสอน)	ม.บูรพา	ชลบุรี
	มัธยมศึกษาตอนปลาย (โครงการสควค.)	รร.พิบูลวิทยาลัย	ลพบุรี

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

การเขียนใช้โปรแกรมพิเศษทางเคมี เช่น ChemDraw

ใช้เทคโนโลยีทางการศึกษา

งานวิจัยทางเคมีในระดับนาโน และสารต้านอนุมูลอิสระ

Whispering gallery mode

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

Sirirat Panich, Maliwan Amatatongchai, Nuanlaor Ratanawimanwong, Tanorm Lomas, Thitima Maturos, Adisorn Tuantranont and Duangjai Nacapricha. “A new approach for assessing total antioxidant capacity of fruit juices by lab-on-a-chip” (accepted for proceeding of the 10th National Graduate Research Conference at Sukhothai Thammathirat University, Nonthaburi, Thailand.

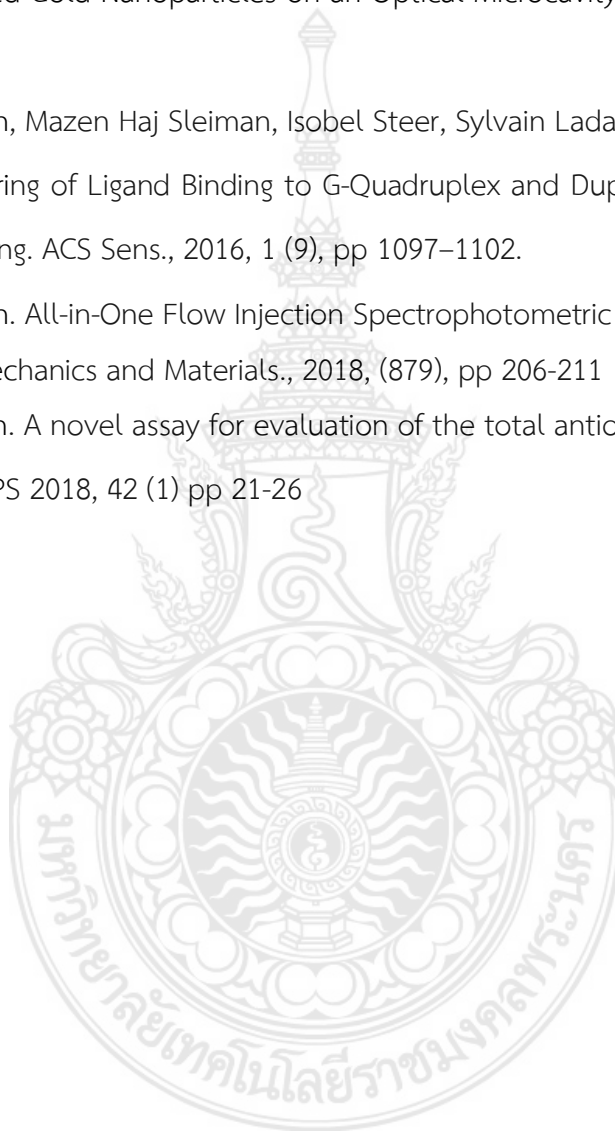
Woravith Chansuvarn, Sirirat Panich, Apichat Imyim. "Simple spectrophotometric method for determination of melamine in liquid milks based on green Mannich reaction". *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.*, 2013, 9(113), pp 154-158.

Sirirat Panich, Kerry A. Wilson, Philippa Nuttall, Christopher K. Wood, Tim Albrecht, and Joshua B. Edel. Label-Free Pb(II) Whispering Gallery Mode Sensing Using Self-Assembled Glutathione-Modified Gold Nanoparticles on an Optical Microcavity. *Anal. Chem.*, 2014, 86 (13), pp 6299–6306.

Sirirat Panich, Mazen Haj Sleiman, Isobel Steer, Sylvain Ladame and Joshua B. Edel. "Real-Time Monitoring of Ligand Binding to G-Quadruplex and Duplex DNA by Whispering Gallery Mode Sensing. *ACS Sens.*, 2016, 1 (9), pp 1097–1102.

Sirirat Panich. All-in-One Flow Injection Spectrophotometric System for Field Testing. *Applied Mechanics and Materials.*, 2018, (879), pp 206-211

Sirirat Panich. A novel assay for evaluation of the total antioxidant capacity using a nontoxic probe. *TJPS* 2018, 42 (1) pp 21-26



ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ
(ภาษาอังกฤษ) Dr.Woravith Chansuvarn

ตำแหน่งปัจจุบัน

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงาน

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
เลขที่ 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร 0-2836-3018 โทรสาร 0-2913-3000 มือถือ 08-4667-3969
E-mail : woravith.c@rmutp.ac.th

ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	คุณวุฒิ/สาขาวิชา	สถาบันอุดมศึกษา	ปีที่สำเร็จ
ปริญญาเอก	วทด.เคมี (เคมีวิเคราะห์)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2555
ปริญญาโท	วทม.เคมี (เคมีวิเคราะห์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2546
ปริญญาตรี	วทบ.เคมี	สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี	2543

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- เคมีสิ่งแวดล้อม
- เคมีอาหาร
- วัสดุนาโน/Composited nanoparticle
- Biosorption

ผลงานตีพิมพ์ระดับนานาชาติ

1. Chansuvarn W., and Imyim A. Visual and colorimetric detection of Hg(II) ion using gold nanoparticles stabilized with dithia-diaza ligand, *Microchim. Acta* 176(2012) 56-67.
2. Chansuvarn W., Panich S., and Imyim A. Simple spectrophotometric method for determination of melamine in liquid milks based on green Mannich reaction, *Spectrochimica Acta Part A: molecular and biomolecular spectroscopy* 113(2013) 154-158.
3. Chansuvarn W., Tuntulani T., and Imyim A. Colorimetric detection of mercury(II) based on gold nanoparticles, fluorescent gold nanoclusters and other gold- based nanomaterials. *Trends in Analytical Chemistry* 65(2015) 83-96.

ผลงานตีพิมพ์ระดับชาติ

1. วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2557. การออกแบบเซนเซอร์ทางเคมีสำหรับตรวจวัดไอออนปรอทด้วยตาเปล่า, วารสารวิทยาศาสตร์ มช. ฉบับที่ 42 ฉบับที่ 4 เลขหน้า 748-760.

การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

1. Woravith Chansuvarn and Pratuangtip Rojanavipat, Value addition of waste building material for removal of lead(II) ion from aqueous solution. The 5th RMUTP international conference on science, technology and innovation for sustainable development: the road towards a green future. Bangkok. Thailand. 17-18 July 2014. (Poster presentation).

2. Woravith Chansuvarn. Adsorption of Pb(II) from aqueous solution using an autoclaved aerated concrete. 5th RMUTIC: Technology and innovation towards ASEAN. PhraNakhon Si Ayutthaya. Thailand, 23-25 July 2014. (Poster presentation).

3. Woravith Chansuvarn. Kunawoot Jainae and Supattra Chansuvarn. Quality of groundwater for producing village tap water in Samchuk district, Suphanburi province. The 6th RMUTIC: Green Innovation for a Better Life. Nakhon Ratchasima. Thailand. 1-3 September 2015. (Poster presentation).

