การดูดซับโครเมียมโดยใช้กกตุ้มหู

ดวงดาว สัตยากูล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2549

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ADSORPTION OF CHROMIUM BY *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk.

DUANGDAO SATTAYAKUL

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RAJATHANEE UNIVERSITY

YEAR 2006

COPYRIGHT OF UBON RAJATHANEE UNIVERSITY

ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การดูดซับโครเมียมโดยใช้กกตุ้มหู

ผู้วิจัย นางดวงดาว สัตยากูล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ แก้วสาร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์พงษ์ มัตราช)

.....กรรมการ

(นางสาวฝนทอง สุจิวัฒนา)

.....คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โภ[illegible])

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ วิโรจนกูฏ)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2549

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือคำปรึกษาจนการค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ แก้วสาร อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ที่ได้ให้คำแนะนำและ การค้นคว้าข้อมูลตลอดจนการแก้ไขปัญหา ขอบคุณท่านอาจารย์ที่เป็นผู้ให้ ทั้งเวลาและคำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์หลายอย่างแก่ข้าพเจ้า จนกระทั่งการค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์พงษ์ มัตราช กรรมการการค้นคว้าอิสระ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้คำปรึกษาในการทำการค้นคว้าอิสระตลอดจนให้คำชี้แนะในส่วนอื่นๆที่ทำให้การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อาจารย์ฝนทอง สุจิวัฒนา กรรมการการค้นคว้าอิสระ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 12 อุบลราชธานี ที่ให้คำปรึกษาในการทำการค้นคว้าอิสระ ตลอดจนให้คำชี้แนะในส่วนอื่นๆที่ทำให้การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ทุกท่าน ที่ช่วยให้คำชี้แนะและคำปรึกษา ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณครูปฏิบัติการทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อาจารย์ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือพร้อมทั้งขอบคุณญาติพี่น้อง เพื่อนๆ และครูปฏิบัติการทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนและคอยช่วยเหลือรวมทั้งกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด จนสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี

Duangdao.

(นางดวงดาว สัตยากูล)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การดูดซับโครเมียมโดยใช้กกตุ้มหู

โดย : ดวงดาว สัตยากูล

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร

ศัพท์สำคัญ : การดูดซับ โครเมียม กกตุ้มหู

ในปัจจุบันปัญหาน้ำเสียเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่ง เพราะทำให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีวิธีการบำบัดน้ำเสียมากมาย อาทิ การตกตะกอนทางเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้การบำบัดน้ำเสียโดยวิธี Biosorption ซึ่งใช้กกตุ้มหูเป็นตัวดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ปัจจัยที่ศึกษา คือ ปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหู เปรียบเทียบอายุของกกตุ้มหู ขนาดของกกตุ้มหู ผลของพีเอช ผลของระยะเวลา ผลของอุณหภูมิ และผลของความปั่นป่วนที่มีต่อประสิทธิภาพของการกำจัด ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหูสำหรับกำจัดโครเมียมที่มีความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ ปริมาณ 20 กรัมต่อลิตร ผลของอายุของกกตุ้มหูโดยเปรียบเทียบต้นที่อายุอ่อนลำต้นสูง 20 เซนติเมตร กับต้นที่มีอายุมากกว่าลำต้นสูง 40 เซนติเมตร ผลที่ได้พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ 52.40% และ 56.99% ตามลำดับ ผลจากการศึกษาขนาดของกกตุ้มหู โดยการเปรียบเทียบกกตุ้มหูแบบปั่นละเอียดซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก กับแบบตัดเป็นชิ้นๆ ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย ผลที่ได้พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมของกกตุ้มหูแบบปั่นได้ 56.99% ส่วนแบบตัดเป็นชิ้นได้ 25.13% ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม คือ ที่ 60 นาที ผลของพีเอชประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มพีเอชจาก 2 ไป 5 ผลของอุณหภูมิค่าการดูดซับจะลดลงที่อุณหภูมิสูงๆ และผลของความปั่นป่วนเมื่อความปั่นป่วนสูงขึ้นจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้น ตามลำดับ จากผลการศึกษา ทำให้เราได้เห็นประโยชน์ของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งกกตุ้มหูน่าจะเป็นวัสดุธรรมชาติที่ควรทำการศึกษาทดลองเพิ่มเติม ในเรื่องของการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆกัน เพื่อนำไปสู่การใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

ABSTRACT

TITLE : ADSORPTION OF CHROMIUM BY *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk.

BY : DUANGDAO SATTAYAKUL

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

CHAIR : ASST.PROF.DR.PAIRAT KAEWSARN

KEYWORDS : ADSORPTION / CHROMIUM / *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk.

Water pollution is currently considered as one of serious environmental pollution. Several methods have been proposed for wastewater treatment such as chemical precipitation, ion exchange etc. However, an alternative method is still required to be a method of choices. The propose of this study was to study the efficiency of Kok Tom Hoo *(Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk.) in removal of chromium from aqueous solution. The study was interested in several parameters effecting uptake capacity including the optimal amount of Kok Tom Hoo as biosorbent, the age, particle size, contact time, pH, temperature and agitation speed. Results showed that the optimal amount of biosorbent in removal of chromium at 70 mg/l was 20 g/l. Results of age indicated chromium uptake capacity of young Kok Tom Hoo and old Kok Tom Hoo were 52.40% and 56.99% respectively. Particle sizes showed that different particle sizes also contained different active sites for adsorption, which were 56.99% for smaller size of Kok Tom Hoo and 25.13% for larger size. The chromium uptake was reached equilibrium after 60 min of contact time. The removal capacities increased with increasing pH from 2 to 5. Results of temperatures showed that uptake capacity decreased with increasing temperature and increasing agitation speed. This investigation might be benefit for chromium removal from aqueous solution, which may be better experiment of initial concentration of chromium in order to be used for industrial application.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ก
บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
สารบัญ ง
สารบัญตาราง ช
สารบัญภาพ ซ
คำอธิบายคำย่อ ฌ
บทที่

1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย 3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 นิยามของโลหะหนัก 4
2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโครเมียม 4
2.1.2 การใช้โครเมียมในงานอุตสาหกรรม 5
2.1.3 ทางเข้าสู่ร่างกาย 5
2.1.4 ผลกระทบต่อสุขภาพ 5
2.1.5 ผลกระทบที่เกิดจากการปนเปื้อนของโครเมียมสู่สิ่งแวดล้อม 6
2.2 วิธีการกำจัดโลหะหนัก 7
2.2.1 การแลกเปลี่ยนประจุ 7
2.2.2 ปฏิกิริยารีดักชั่น 7
2.2.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น 8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.4 การดูดติดผิว	8
2.2.5 การตกตะกอนทางเคมี	9
2.3 กกตุ้มหู	11
2.4 ทฤษฎีการดูดซับ	12
2.4.1 ประเภทของวัสดุดูดซับ	12
2.4.2 รูปแบบการดูดซับ	12
2.4.3 ขั้นตอนการดูดซับ	13
2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	13
2.5 บทสรุป	14
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 รูปแบบการวิจัย	16
3.2 ตัวแปรที่ศึกษาและการวัดค่าตัวแปร	16
3.3 การเตรียมตัวดูดซับ	17
3.4 การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	17
3.5 สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.6 วิธีดำเนินการทดลอง	18
3.6.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหู	18
3.6.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์	19
3.6.2.1 ศึกษาผลของอายุ	19
3.6.2.2 ศึกษาผลของขนาด	19
3.6.2.3 ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส	19
3.6.2.4 ศึกษาผลของพีเอช	20
3.6.2.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิ	20
3.6.2.6 ศึกษาผลของความปั่นป่วน	20
3.7 สถานที่ทำการทดลอง	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหู 22

4.2 ผลการศึกษาอายุของกกตุ้มหู 23

4.3 ผลการศึกษาขนาดของกกตุ้มหู 24

4.4 ผลการศึกษาระยะเวลาในการสัมผัสของกกตุ้มหู 26

4.5 ผลของพีเอช 27

4.6 ผลของอุณหภูมิ 29

4.7 ผลของความปั่นป่วน 30

5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา 32

5.1.1 ปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหู 32

5.1.2 ผลของอายุ 32

5.1.3 ผลของขนาด 32

5.1.4 ผลของระยะเวลาสัมผัส 33

5.1.5 ผลของพีเอช 33

5.1.6 ผลของอุณหภูมิ 33

5.1.7 ผลของความปั่นป่วน 33

5.2 ข้อเสนอแนะ 33

เอกสารอ้างอิง **36**

ภาคผนวก

ก วิธีการเตรียมสารละลาย 39

ข วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม 41

ค วิธีการคำนวณหาช่วงพีเอชที่โครเมียมตกตะกอน 44

ง ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) 47

ประวัติผู้วิจัย **50**

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่		
4.1	ผลของปริมาณกกตุ้มหูที่ปริมาณต่างๆในการดูดซับโครเมียม	22
4.2	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับอายุของกกตุ้มหู	23
4.3	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับขนาดของกกตุ้มหู	25
4.4	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยใช้กกตุ้มหู ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ	26
4.5	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับ พีเอชที่ระดับต่างๆ	28
4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมกับอุณหภูมิ	29
4.7	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ความเร็วรอบต่างๆ	30

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่		
2.1	ต้นกกตุ้มหู	11
4.1	กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับปริมาณต่างๆของกกตุ้มหู	22
4.2	กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับอายุของกกตุ้มหู	23
4.3	กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับขนาดของกกตุ้มหู	24
4.4	โพรงภายในกกตุ้มหู ถ่ายด้วยกล้อง SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า	25
4.5	กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับระยะเวลาสัมผัส	27
4.6	กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับพีเอชที่ระดับต่างๆ	28
4.7	กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่อุณหภูมิต่างๆ	30
4.8	กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ความเร็วรอบต่างๆ	31

คำอธิบายคำย่อ

ก./ล.	=	กรัมต่อลิตร
ชม.	=	ชั่วโมง
ซม.	=	เซนติเมตร
°ซ	=	องศาเซลเซียส
มก./ก.	=	มิลลิกรัมต่อกรัม
มก./ล.	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
มล.	=	มิลลิลิตร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันสภาพแวดล้อมของแม่น้ำ ลำคลองได้ถูกทำลายโดยน้ำมือมนุษย์ทีละน้อย โดยการทิ้งขยะ สิ่งปฏิกูล สารเคมี ฯลฯ ลงสู่แม่น้ำลำคลอง นอกจากนี้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในการเกษตร และอุตสาหกรรมก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ช่วยเพิ่มสารพิษ โลหะหนัก และสารบางชนิดที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ลงสู่แม่น้ำลำคลองอีกทางหนึ่ง ปัจจุบันมีการใช้โลหะหนักทั้งในภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และห้องปฏิบัติการในสถานศึกษาต่างๆ ซึ่งปัญหาของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำเป็นปัญหาที่เราต้องตระหนักอย่างยิ่ง เช่น โครเมียมมักจะใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบและชุบผิวโลหะ อุตสาหกรรมฟอกย้อม ฟอกหนัง รวมทั้งใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการในสถานศึกษาต่างๆ จากการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางนี้เอง ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโครเมียมสู่สิ่งแวดล้อมโดยการระบายน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สารประกอบโครเมียมเข้าสู่ร่างกายได้โดยทางเดินหายใจ ผิวหนังและทางเดินอาหาร ถ้าเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานอาหารหรือน้ำที่มีโครเมียมปนเปื้อนจะก่อให้เกิดอันตรายต่อกระเพาะอาหาร ตับ ไต ซึ่งกรดโครมิกหรือโครเมตเป็นสารก่อมะเร็ง สารก่อการสลายพันธุ์ เพราะเป็นสารที่รบกวน DNA ในเซลล์ ทำให้เป็นมะเร็งที่ปอด ก่อให้เกิดการระคายเคืองแก่ผิวหนัง และอาจเกิดอาการชักหรือเสียชีวิตได้ ดังนั้นก่อนที่เราจะปล่อยน้ำทิ้งที่มีโลหะปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ควรจะมีการกำจัดโลหะเหล่านั้นเสียก่อน

วิธีการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมีหลายวิธี ทั้งวิธีทางเคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ วิธีการต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและรีดักชั่น การกรองผ่านเมมเบรน การแลกเปลี่ยนประจุ และการดูดซับหรือการดูดติดผิว รวมถึงการดูดซับด้วยวัสดุทางธรรมชาติ เป็นต้น วิธีการต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นล้วนแต่เป็นวิธีการที่สามารถกำจัดโลหะหนักได้ดี แต่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในด้านการลงทุนของเครื่องมือ อุปกรณ์และเทคโนโลยี ตลอดจนต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานค่อนข้างสูง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาการนำเอาวัสดุทางธรรมชาติมาใช้เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพ วัสดุดังกล่าวได้แก่ เปลือกไม้ เปลือกหอมใหญ่ กากใบชา ผักตบชวา ขี้เลื่อย ธูปฤาษี ฟางข้าว แกลบและชานอ้อย เป็นต้น

การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้กกตุ้มหู มาเป็นวัสดุดูดซับโลหะโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากกกตุ้มหูเป็นเป็นพืชล้มลุกอายุข้ามปี ชอบขึ้นตามชายน้ำริมคลอง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในการสัญจรไปมา ปัญหาในการกำจัดเพื่อทำให้พื้นที่ดูสะอาดไม่รก อีกทั้งเมื่อสังเกตุดูกกตุ้มหูมีลำต้นที่แข็งแรง เหนียว จึงควรจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาวิจัยในการใช้กกตุ้มหูมาใช้เป็นวัสดุดูดซับโลหะหนักมาก่อน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้มีความสนใจในการพัฒนากกตุ้มหูนำมาใช้เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพ เพื่อเป็นการใช้วัสดุทางธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียในงานด้านอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกกตุ้มหูมาใช้กำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

1.2.2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่กกตุ้มหูสามารถกำจัดโครเมียมได้ดี

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้กกตุ้มหูที่ผ่านการอบแห้งและบดละเอียด

1.3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาจะเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียมวาเลนซี่ +3 โดยเตรียมจากสารประกอบ Chromium (III) chloride hexahydrate ($CrCl_3 . 6H_2O$) ชนิด AR.grade

1.3.3 ระยะเวลาที่สัมผัสแบ่งเป็น 9 ระดับ คือ ที่เวลา 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ตามลำดับ

1.3.4 ระดับพีเอชเริ่มต้นจะแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ ที่พีเอช 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

1.3.5 อุณหภูมิแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ ที่อุณหภูมิ 20, 25, 30, 40 และ 50 °ซ

1.3.6 ความปั่นป่วนแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ ที่ 0, 100, 200 และ 300 รอบ/นาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม โดยใช้กกตุ้มหู

1.4.2 ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส ระดับพีเอช อุณหภูมิและความปั่นป่วนที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมในน้ำเสีย

1.4.3 เป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุทางธรรมชาติ

1.4.4 ลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียด้วยสารเคมี

1.5 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

1.5.1 น้ำเสียสังเคราะห์ หมายถึง น้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ

1.5.2 การทดลองแบบทีละเท (Batch study) หมายถึง การทดลองเป็นชุดๆ ซึ่งในแต่ละชุดไม่เกี่ยวเนื่องกัน

1.5.3 กกตุ้มหู หมายถึง การนำเอาลำต้นของกกตุ้มหูไปผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วปั่นให้ละเอียด

1.5.4 ประสิทธิภาพการกำจัด หมายถึง ความสามารถของกกตุ้มหู ในการดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยคิดเป็นร้อยละของการกำจัด (%removal) ดังนี้

$$\text{ร้อยละของการกำจัดโลหะหนัก} = \frac{(\text{ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียก่อนการดูดซับ} - \text{ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียหลังการดูดซับ}) \times 100}{\text{ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียก่อนการดูดซับ}}$$

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้ โดยจะกล่าวความหมายของโลหะหนัก ผลกระทบของโครเมียมที่มีต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียด้วยวิธีการต่างๆ

2.1 นิยามของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 – 92 ภายในคาบที่ 4 – 7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งสิ้น 68 ธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี เป็นมันวาว สะท้อนแสง เหนียว นำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ มีค่าออกซิเดชั่นได้หลายค่า โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ (Organometallic compound) ซึ่งเป็นพิษ และสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหนักหลายชนิด เป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายของมนุษย์ อาจมีผลทำให้พิการ หรือเสียชีวิตได้ โลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมีหลายชนิด แต่ในการศึกษาวิจัยนี้จะขอกล่าวเพียงโครเมียมที่ผู้ศึกษาจะทำการศึกษาวิจัย สาเหตุที่เลือกจะศึกษาเพราะโครเมียมมักจะถูกนำมาเกี่ยวข้องกับการใช้ในการผสมระหว่างโครเมียม เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ความคงทน ใช้ในอุตสาหกรรมชุบโลหะ ผู้ศึกษาจึงต้องการศึกษาการใช้กกตุ้มหูที่มีอยู่ทั่วไปนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ก่อนที่จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองจะกล่าวถึงคุณสมบัติของโครเมียมพร้อมทั้งผลกระทบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

โครเมียมส่วนใหญ่จะพบในรูปของแร่โครไมต์ ($FeO.Cr_2O_3$) โครเมียมเป็นธาตุในหมู่ VIB เลขอะตอม 24 มีน้ำหนักอะตอม 51.996 จุดหลอมเหลว 1,900 °ซ จุดเดือด 2,642 °ซ เป็นโลหะที่มีสีขาวนวล หรือขาวอมฟ้าอ่อนๆ สุกใส ไม่ขุ่นมัว ไม่ต้องขัดถูบ่อยๆ มีความฝืดต่ำ

แข็งและเปราะ แต่มีความทนทานต่อการเสียดสีและการกัดกร่อน เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และไม่เป็นสนิมมีวาเลนซี่ +2 , +3 และ +6

2.1.2 การใช้โครเมียมในงานอุตสาหกรรม

โครเมียมใช้มากในงานอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เช่น ชุบชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า นำมาผสมกับโลหะระหว่างโครเมียม เหล็ก และนิกเกิล เป็นโลหะผสม ปราศจากสนิม และผสมกับโลหะอื่นแต่ละตัว เช่น นิกเกิล โคบอลด์ ไททาเนียม เป็นโลหะผสมธรรมดา สารประกอบโครเมียมชนิดอนินทรีย์ที่ใช้ในทางพาณิชย์มีสองชนิด ชนิดวาเลนซี่ +3 (โครมิกออกไซด์และโครมิกซัลเฟต) ใช้ในโลหะผสมและอุตสาหกรรมฟอกหนัง และชนิดที่มีวาเลนซี่ +6 นำไปใช้ในการผลิตเม็ดสี ช่วยรักษาเนื้อไม้ ชุบเครื่องประดับ ป้องกันการกัดกร่อน ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแก้ว ทำให้แก้วมีสีและเป็นเงางาม และใช้ในอุตสาหกรรมพิมพ์ย้อมผ้า ขนสัตว์ และไหม

2.1.3 ทางเข้าสู่ร่างกาย

2.1.3.1 การหายใจเอาฝุ่นของโครเมียม ขณะที่ผลิตไดโครเมต ตะกั่วโครเมต และสังกะสีโครเมต หรือขณะเชื่อมโลหะผสมจากสนิม ขณะชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

2.1.3.2 ทางผิวหนัง จากการสัมผัสสารประกอบโครเมียม ระหว่างการผลิตหรือการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม

สารประกอบโครเมียมที่มีวาเลนซี่ +3 มีอันตรายน้อยเป็นพิษน้อย ไม่ถูกดูดซึมเข้าทางเดินอาหาร ไม่ทำให้เกิดบาดแผลหรือรอยโรคที่ผิวหนัง ส่วนสารประกอบที่มีวาเลนซี่ + 6 เป็นสารก่อให้เกิดการระคายเคืองและมีฤทธิ์กัดกร่อน สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยทางเดินอาหาร ผิวหนัง และทางเดินหายใจ แต่ผลกระทบต่อผู้ประกอบอาชีพส่วนใหญ่เป็นที่ระบบผิวหนังและทางเดินหายใจ

2.1.4 ผลกระทบต่อสุขภาพ

2.1.4.1 โครมอัลเซอร์เรชั่น (Chrome Ulceration) บาดแผลจากโครเมียมเป็นรอยโรคที่พบบ่อยที่เกิดขึ้นจากฤทธิ์กัดกร่อนของโครเมต โดยทะลุผ่านผิวหนังที่มีรอยถลอกหรือมีบาดแผลอยู่ก่อน พบบ่อยที่มือ นิ้วมือ แขนและเท้า รอยโรคเริ่มต้นด้วยการเป็นตุ่มน้ำ ไม่เจ็บ ต่อมากลายเป็นหลุมแผล มีรูปร่างกลม ขอบยกขึ้น ค่อนข้างเรียบ แข็ง แผลมีน้ำเหลืองและสะเก็ด หากไม่ได้รับการดูแลรักษา แผลจะกินลึกลงไปในชั้นเนื้อเยื่อและกระดูก การรักษาหายช้า หรือหายแบบเป็นแผลเป็น ไม่พบบาดแผลกลายเป็นมะเร็ง ถ้ามีการติดเชื้อโรคแทรกซ้อนแผลทะลุถึงชั้นกระดูก อาจจำเป็นต้องตัดเนื้อทิ้ง

2.1.4.2 ผิวหนังอักเสบ สารประกอบโครเมียมวาเลนซี่ +6 ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง โดยเฉพาะบริเวณคอเสื้อ ข้อมือ ทำให้ผิวหนังอักเสบได้ ซึ่งเกิดจากการสัมผัสโดยตรงหรือจากการระคายเคือง

2.1.4.3 ผลต่อทางเดินหายใจชนิดเฉียบพลัน การหายใจเอาฝุ่นหรือละอองของสารประกอบโครเมียมวาเลนซี่ +6 เข้าไป ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุทางเดินหายใจ มีอาการจามน้ำมูกใสๆเกิดรอยที่ผนังสันจมูก หลอดคออักเสบ แดง และหลอดลมตีบได้

2.1.4.4 แผลที่ผนังกั้นจมูกและผนังกั้นจมูกทะลุ การแคะจมูกนอกจากจะทำให้ฝุ่นหรือละอองของโครเมตเกาะที่ผนังกั้นจมูก ยังทำให้เกิดบาดแผล และผนังกั้นจมูกส่วนที่เป็นกระดูกอ่อนเกิดการทะลุเป็นรูได้ ฝุ่นหรือละอองของโครเมียมที่หายใจเข้าไปปะทะส่วนที่เป็นกระดูกอ่อนเยื่อบุจะบวมแดง น้ำมูกไหล อาจมีเลือดออกต่อมาจะกลายเป็นสะเก็ด ไม่เจ็บปวดแต่รำคาญ

2.1.4.5 มะเร็งปอด การสัมผัสกับโครเมียมเป็นระยะเวลานานๆ ทำให้มีโอกาสเป็นมะเร็งปอดเพิ่มขึ้น อาการไม่แตกต่างจากมะเร็งปอดจากสาเหตุอื่นๆ

2.1.5 ผลกระทบที่เกิดจากการปนเปื้อนของโครเมียมสู่สิ่งแวดล้อม

โครเมียม เป็นโลหะหนักและมีความเป็นพิษมาก มักพบอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ คือ โครเมตและโครมิก ทำให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง ทำลายเซลล์ต่างๆของร่างกาย สามารถเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตได้ทั้งทางปาก โดยการบริโภค ทางหายใจและทางผิวหนัง ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตของผู้ที่ได้รับเหมือนกันทุกทาง สิ่งมีชีวิตที่ร่างกายได้รับโครเมียมจะสะสมโครเมียมไว้ทีละน้อย จนถึงขีดที่เป็นอันตรายต่อชีวิตจึงจะแสดงอาการออกมา สัตว์น้ำที่ได้รับโครเมียม จะถ่ายทอดจำนวนโครเมียมจำนวนนี้แก่ผู้บริโภคน้ำจากแม่น้ำลำคลอง ซึ่งถูกปนเปื้อนด้วยโครเมียมจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมชุบโลหะจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมาก ถ้าในปริมาณสูงจะทำให้เสียชีวิต และทำให้สมดุลธรรมชาติเสียไป นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพแก่ประชาชนผู้ที่นำน้ำนั้นมาอุปโภค บริโภค อีกด้วย

จากพิษและผลร้ายที่เกิดจากโครเมียมดังกล่าวมาข้างต้น กระทรวงอุตสาหกรรมจึงได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมไม่ให้มีโครเมียมเกิน 0.75 มก./ล. และค่ามาตรฐานสำหรับน้ำเพื่อการบริโภค ได้กำหนดให้มีโครเมียมได้ไม่เกิน 0.05 มก./ล. อย่างไรก็ตามผลเสียที่เกิดจากการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำโดยมิได้ผ่านการบำบัดเสียก่อน จะทำให้เกิดปัญหาตามมาเป็นอย่างมาก ดังนั้นเราจึงควรมีวิธีในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนโดยวิธีการต่างๆจะกล่าวในรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.2 วิธีการกำจัดโลหะหนัก

โลหะหนักที่เป็นปัญหาส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารละลาย ทำให้ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีการทิ้งให้ตกตะกอน หรือการกรองธรรมดา (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2538) การกำจัดโลหะหนักมีหลายวิธี ได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) การเกิดรีดักชั่น (Reduction) การดูดติดผิว (Adsorption) การเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) และการตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) ซึ่งแต่ละวิธีมีหลักการ ประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.2.1 การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) ใช้หลักการแลกเปลี่ยนประจุ ของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในของเสียโดยอาศัยเรซินชนิดต่างๆ เติมลงไปในถังแลกเปลี่ยนประจุ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนขึ้นกับชนิดของเรซิน เช่น ในการกำจัดตะกั่ว เรซินส่วนใหญ่ที่ใช้เป็น Phosphoric Acid Resin พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.0 - 5.2 การกำจัดตะกั่วโดยวิธี Ion Exchange ใช้ได้ดีกับน้ำทิ้งที่มีตะกั่วเจือปนอยู่ในปริมาณต่ำ ตะกั่วที่เหลืออยู่หลังผ่านการกำจัดแล้วมีเพียง 0.002 มก./ล. แต่ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เนื่องจากเรซินมีราคาแพง (Patterson, 1978) การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีแลกเปลี่ยนประจุอาจทำได้ 2 แบบ คือ แบบครั้งคราว (Batch) ของเสียจะถูกกวนกับเรซินในถังปฏิกิริยา จากนั้นจึงแยกเรซินออกโดยการตกตะกอน แบบที่ 2 แบบต่อเนื่อง (Continuous) เรซินจะถูกบรรจุในถังรูปทรงกระบอก ของเสียจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านเรซิน ทั้ง 2 แบบนี้ เมื่อใช้งานนานๆ ประสิทธิภาพของเรซินจะลดลง ต้องฟื้นฟูคุณภาพโดยการล้างด้วยน้ำเกลือหรือกรดด่าง แล้วแต่ชนิดของเรซิน

2.2.2 ปฏิกิริยารีดักชั่น (Chemical Reduction) การเกิดรีดักชั่นเป็นกระบวนการ ที่เกิดปฏิกิริยาเกี่ยวกับการเพิ่มอิเล็คตรอนของอะตอมเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาพของมลสาร ที่อยู่ในน้ำจากมลสารประเภทมีพิษมากไปเป็นมลสารประเภทมีพิษน้อยหรือไม่มีเลย โลหะหนักที่สามารถกำจัดโดยวิธีนี้ ได้แก่ โครเมียม (+6) ทองแดง และปรอท ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการเคมี (1) และ (2) ซึ่งต้องเลือกสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่เฉพาะเจาะจง เช่น ในของเสียมีสารประกอบโครเมตหรือกรดโครมิกละลายปนอยู่ ต้องใช้ไอร์ออน (III) ซัลเฟต เพื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครเมต ซึ่งปฏิกิริยาเกิดได้ดีในช่วงพีเอชต่ำกว่า 3 จึงต้องเติมกรดซัลฟูริกลงไปด้วย

(สภาพมีพิษมาก) (สภาพมีพิษน้อยหรือไม่มี)

$$Cr^{+6} + 3e^- \longrightarrow Cr^{+3} \qquad (1)$$

$$Cu^{+2} + 2e^- \longrightarrow Cu \qquad (2)$$

2.2.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Chemical Oxidation) การเกิดออกซิเดชั่น เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาเกี่ยวกับการสูญเสียอิเล็คตรอนของอะตอม เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาพของมลสารที่อยู่ในน้ำจากมลสารประเภทที่มีพิษมากไปเป็นมลสารประเภทที่มีพิษน้อยหรือไม่มีเลย โลหะหนักที่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีนี้ ได้แก่ สังกะสี ไซยาไนต์ เหล็ก และแมงกานีส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการเคมี (3) และ (4) ซึ่งต้องเลือกใช้สารเคมีในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เฉพาะเจาะจงกับโลหะหนักแต่ละชนิด เช่น ในของเสียมีไซยาไนต์ละลายปะปนอยู่ ต้องใช้คลอรีนหรือไฮโปคลอไรด์เติมลงไป เพื่อทำปฏิกิริยากับไซยาไนต์

(สภาพมีพิษมาก) (สภาพมีพิษน้อยหรือไม่มี)

$$Zn \longrightarrow Zn^{+2} + 2e- \quad (3)$$

$$CN^{-1} \longrightarrow CN^{+1} + 2e- \quad (4)$$

2.2.4 การดูดติดผิว (Adsorption) เกิดขึ้นโดยใช้ตัวกลาง เพื่อให้โลหะหนักมาเกาะที่ผิวของตัวกลาง ตัวกลางที่นิยมใช้ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง (Petterson., 1978) Activated Carbon มีอัตราการติดผิวแปรผันกับกำลังสองของเส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุลของสารมลพิษ เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารมลพิษในของเสีย ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโมเลกุลของสารมลพิษ แปรผันตามกำลังสองของเวลาสัมผัสระหว่างโมเลกุลของสิ่งสกปรกกับ Activated Carbon และเพิ่มขึ้นถ้าค่าพีเอชลดลง เมื่อ Activated Carbon ถูกใช้งานไปนานๆ รูพรุนของ Activated Carbon จะถูกอุดตันโดยโมเลกุลของสารมลพิษ ทำให้หมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิวต้องทำการฟื้นฟูคุณภาพ (Regenerate) หรือเปลี่ยนใหม่ ซึ่งงานวิจัยที่มีการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดโลหะหนัก เช่นงานวิจัยของ อธิชัย นพแก้ว ซึ่งทำในปีพ.ศ.2539 ได้ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก เป็นการศึกษาถึงความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการกำจัดปรอทและโครเมียมออกจากน้ำเสีย การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ การทดลองแบบแบตท์ เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดติดผิว โดยมีปัจจัยที่ศึกษา คือ พีเอช เวลาที่สัมผัส และความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยแบ่งเป็นถ่านกัมมันต์ A B และ C ตอนที่สองจะเป็นการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอ่อนนุชที่ผ่านบ่อเฟคัลเททีฟ ผลการทดลองแบบแบตท์ พบว่าที่ พีเอช 2 - 4 เป็นช่วงพีเอชที่กำจัดโครเมียมและปรอทจากน้ำเสียทั้งสองชนิดได้ดีที่สุดคือ ในน้ำเสียสังเคราะห์การกำจัดโครเมียม

มีค่าประมาณ 72%, 64% และ 39 % และปรอทมีค่าประมาณ 61%, 61% และ 55% สำหรับถ่านกัมมันต์ A B และ C ตามลำดับ ส่วนในน้ำชะมูลฝอยการกำจัดโครเมียมมีค่าประมาณ 86%, 78% และ 62% และปรอทมีค่าประมาณ 88%, 83% และ 67% สำหรับถ่านกัมมันต์ A B และ C ตามลำดับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิวโลหะหนักทั้งสองชนิดคือ พีเอช เท่ากับ 4 เวลาสัมผัส เท่ากับ 15 นาที สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์และสำหรับน้ำชะมูลฝอย ค่าพีเอชเดิมของน้ำชะมูลฝอย มีค่าอยู่ระหว่าง 7 - 8 เวลาสัมผัส 15 นาที จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์นอกจากจะกำจัดโลหะหนักแล้ว ยังกำจัดซีโอดีและสีของน้ำชะมูลฝอยอีกด้วย ในการทดลองแบบต่อเนื่องพบว่าการกำจัดโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากันแต่การกำจัดโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยจะมีปัญหาเรื่องการอุดตันของชั้นถ่านกัมมันต์ เนื่องจากปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่มากในน้ำชะมูลฝอย

2.2.5 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพของสารละลายต่างๆ ที่อยู่ในรูปสารละลาย (Soluble) ให้เป็นสารที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำ (Insoluble) เป็นตะกอนหนักจนสามารถจมตัวได้ โดยการเติมสารเคมีลงไปในของเสีย วิธีการนี้ต่างจากวิธีรวมตะกอน (Coagulation) ซึ่งเป็นการเติมสารเคมีเพื่อช่วยให้มลสารที่เป็นตะกอนขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ ในกรณีที่ตะกอนของวิธีตกตะกอนทางเคมีที่เกิดจากการเติมสารเคมีลงไปมีขนาดเล็กและเบา ต้องใช้วิธีการรวมตะกอนเข้าช่วยเพื่อให้ตะกอนเหล่านี้รวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์, 2540) กระบวนการตกตะกอนทางเคมี เป็นกระบวนการเปลี่ยนสมดุลของการละลายของโลหะหนักซึ่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสมดุลการละลายในรูปไฮดรอกไซด์ แสดงดังสมการที่ (5)

$$Cr^{3+} + 3OH^{-} \longrightarrow Cr(OH)_3 \qquad Ksp = 6.3 \times 10^{-31} \qquad (5)$$

จากวิธีการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการต่างๆตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการใช้วิธีการใด มีงบประมาณเป็นอย่างไร หรือต้องการใช้สารเคมีซึ่งจะเป็นการเพิ่มต้นทุนให้มากขึ้น แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีการดูดซับโดยใช้กกตุ้มหูที่อบแห้งแล้ว ซึ่งกกตุ้มหูเป็นพืชที่เกิดอยู่โดยทั่วไป หาได้ง่าย โดยอ้างอิงผลการทดลองจากงานวิจัยที่ศึกษาวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น เส้นใยปาล์มในการกำจัดโลหะหนัก ดังเช่นงานวิจัยของ ดวงกมล พรหมสุวรรณ ซึ่งทำในปี พ.ศ 2541 ศึกษาประสิทธิภาพของเส้นใยปาล์มในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลในน้ำเสียจากการชุบโลหะ โดยทำการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลาร์ และกรดไนตริก 2 โมลาร์ กำหนดความเข้มข้นของโครเมียมต่อนิกเกิลประมาณ 1 ต่อ 10

มีความเข้มข้น 3 ระดับ คือ โครเมียมต่อนิกเกิลประมาณ 0.5 : 5, 1 : 10 และ 1.5 : 15 มก./ล. ปรับพีเอชให้มีค่ามากกว่า 6 อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 5 และ 10 มล./นาที ความสูงของชั้นเส้นใยปาล์มเท่ากับ 30 และ 60 ซม. ผลการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มข้นของโครเมียมต่อนิกเกิล 0.5 : 5 มก./ล. ที่อัตราการไหล 5 มล./นาที และชั้นความสูงของคอลัมน์ 60 ซม. มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลดีที่สุด ในช่วง 4 ชม.แรก โดยประสิทธิภาพการกำจัดของโครเมียมและนิกเกิล คือ 47.34% และ 100% ตามลำดับ และยังมีการใช้เส้นใยจากเปลือกสับปะรด งานของเอกชัย ประสาทมงคล ซึ่งทำในปีพ.ศ 2546 ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเส้นใยจากเปลือกสับปะรดในการกำจัดโครเมียมวาเลนซี่ +3 ในน้ำเสีย โดยทำการปรับสภาพเส้นใยจากเปลือกสับปะรด 3 แบบ คือ แบบที่หนึ่ง เป็นเส้นใยจากเปลือกสับปะรดแบบที่ไม่มีการปรับสภาพทางเคมีแบบที่สอง เป็นเส้นใยจากเปลือกสับปะรดแบบที่มีการปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ 37% กับ กรดซัลฟูริก 0.2 นอร์มอล และแบบที่สาม เป็นเส้นใยจากเปลือกสับปะรดแบบที่มีการปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลาร์ กับกรดไนตริก 2 โมลาร์ จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของเส้นใยจากเปลือกสับปะรดทั้ง 3 แบบ สำหรับการกำจัดโครเมียมที่มีความเข้มข้น 80 มก./ล.ในน้ำเสีย คือ ปริมาณ 125 ก./ล. สภาวะที่เหมาะสมของเส้นใยจากเปลือกสับปะรดทั้ง 3 แบบ สำหรับการกำจัดโครเมียม คือ ระดับพีเอช 6 และระยะเวลาสัมผัส 30 นาที โดยประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมของเส้นใยจากเปลือกสับปะรดแบบที่มีการปรับสภาพทางเคมี ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลาร์ กับกรดไนตริก 2 โมลาร์ ให้ค่าประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ 54.76% และมีการใช้พืชชนิดอื่นอีก ดังเช่นงานของ Baig T.H. และคณะ ซึ่งทำในปีพ.ศ 2542 ทดลองโดยใช้พืชชนิดหนึ่งที่มีชื่อว่า solanum elaeagnifolium (silverleafnightshade) กำจัดแคดเมียม, โครเมียม+3, +6, ตะกั่ว, ทองแดง, นิกเกิล และสังกะสี โดยนำวัสดุชนิดดังกล่าวไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นจึงนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมซ ในการทดลองจะทดลองทั้งแบบ batch study สำหรับในกรณีที่ศึกษาเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักแต่ละตัว ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักแต่ละตัวมีค่าความเข้มข้นที่ 0.1 มิลลิโมลาร์ ในที่นี้ได้มีการปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักดังกล่าว ผลการทดลองพบว่า สำหรับโลหะหนักทุกตัวพีเอชที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับพีเอช 5 ยกเว้น โครเมียม +6 พีเอชที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับพีเอช 2 เวลาที่เหมาะสมเกิดขึ้นภายในเวลา 10 – 15 นาที สำหรับความสามารถในการดูดซับโครเมียม +3 ของสารดูดซับชนิดที่ไม่มีการปรับสภาพทางเคมี และชนิดที่มีการปรับสภาพทางเคมี มีความสามารถในการดูดซับที่ 2.78 มก./ก. และ 3.24 มก./ก. ตามลำดับ และจากงานของวินัย สมบูรณ์ซึ่งทำในปี พ.ศ. 2533 ทำการศึกษา

ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียที่เตรียมขึ้น ให้มีคุณลักษณะคล้ายกับน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ วัสดุที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนัก คือ ถ่านไม้ เปลือกถั่วลิสง ผักตบชวา ใบธูปฤาษี และฟางข้าว โลหะหนักที่ทำการทดลอง ได้แก่ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และแคดเมียม จากการทดลองพบว่า ถ่านไม้ ใบธูปฤาษี และฟางข้าว มีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมร้อยละ 100, 57.6 – 63.8 และ 14.5 – 43.5 ตามลำดับ การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้พืชเพื่อบำบัดน้ำเสียในเบื้องต้นได้ และในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงลักษณะของกกตุ้มหู ทฤษฎีในการดูดซับ

2.3 กกตุ้มหู

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk. ชื่อวงศ์ Cyperaceae ลักษณะทั่วไป เป็นพืชล้มลุกอายุข้ามปี ชอบขึ้นตามชายน้ำริมคลอง มีลำต้นใต้ดินทอดยาวออกไป ต้นสูงประมาณ 20 - 40 ซม. เจริญเติบโตแบบแตกกอ ใบมีขนาดเล็ก รูปร่างยาวเรียวแตกรอบโคนต้น ช่อดอกมีสีเขียว ดอกมีขนาดเล็กมากเบียดกันแน่นเป็นกระจุกกลม อาจมีสองหรือสามกระจุกรวมกันอยู่ก็ได้

ภาพที่ 2.1 ต้นกกตุ้มหู

2.4 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นปรากฏการณ์ในการที่โมเลกุลของของไหล หรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่บนผิวของแข็ง โดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของไหลนั้น สารของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่า Adsorbent ส่วนโมเลกุล หรือคอลลอยด์ที่มาเกาะจับ เรียกว่า Adsorbate การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ

(1) การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ อาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพ เช่น van der waals force หรือ ด้วยแรงเคมี (Chemical adsorption) หรือทั้ง 2 อย่างรวมกัน

(2) ความสามารถในการดูดซับ (Adsorbability) เนื่องจากสารดูดซับมีพื้นผิวเป็นรูพรุน จึงเกิดภาวะของ capillary action ทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะติดอยู่ได้

(3) สารดูดซับมีประจุบนพื้นผิว (Surface charge) สามารถดูดจับกับวัตถุอื่นๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ สภาพดังกล่าวนี้คล้ายกับปรากฏการณ์ของการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange mechanism)

2.4.1 วัสดุดูดซับ สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามพฤติกรรมของการดูดซับ ดังนี้ คือ

2.4.1.1 กลุ่มที่ได้จากพืชประเภทรูพรุน วัสดุกลุ่มนี้จะมีรูพรุนขนาดเล็กมากซึ่งจะกระจุกกระจายอยู่ทั่วไปตามพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ ตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของวัสดุดูดซับในลักษณะเป็นชั้น(layer) ทำให้วัสดุกลุ่มนี้สามารถใช้ในการดูดซับได้ เช่น แกลบเผา ถ่าน และถ่านกัมมันต์

2.4.1.2 กลุ่มแร่ธาตุจากธรรมชาติ วัสดุกลุ่มนี้ภายในโครงสร้างจะประกอบด้วยแผ่นซิลิกาเตตระฮีดรอล เชื่อมต่อกันกับแผ่นอลูมินาออกตะฮีดรอล การดูดซับไอออนของตัวดูดซับเกิดจากการที่มีการแตกหักของพันธะเคมีภายในโครงสร้าง ทำให้เกิดประจุตกค้างขึ้น โดยมีประจุตกค้างเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถดึงดูดประจุบวกที่มีอยู่ในสภาพมีโมเลกุลน้ำล้อมรอบ (Hydrate) ไว้ที่ผิวของมันได้ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต เช่น ดินขาวหรือเกวลิน เบนโทไนต์ และซีโอไลต์

2.4.2 ลักษณะหรือรูปแบบของการดูดซับที่เกิดขึ้น อาจแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

2.4.2.1 การดูดซับแบบกายภาพ (Physical adsorption) การดูดซับแบบนี้ อาศัยการดูดติดด้วยแรงประเภท van der waals หรือพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีลักษณะเป็นแรงอ่อน ไม่ยึดติดแน่นและยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ง่าย และการดูดซับอาจเกิดซ้อนกันได้เป็นหลายชั้น (Multilayer) มักจะเหมาะสมกับสภาวะอุณหภูมิต่ำ

2.4.2.2 การดูดซับแบบเคมี (Chemical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่ โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว(monolayer)

2.4.2.3 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Exchange adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์บริเวณผิว เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุ กับตัวดูดซับที่มีประจุตรงข้ามกัน

2.4.2.4 การดูดซับแบบเจาะจง (Specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจาก มีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชั่นอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับแบบกายภาพและแบบเคมี

2.4.3 ขั้นตอนการดูดซับ มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.4.3.1 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าหาสารดูดซับ โดยการเคลื่อนที่อาจเกิดเนื่องจากมีการกวนน้ำจนทำให้เกิดการปั่นป่วน หรือเนื่องจากกลไกการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน การเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่มีกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดในเครื่องกรองน้ำ

2.4.3.2 Film diffusion โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้ามาถึงสารดูดซับ ซึ่งมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบางๆ โมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้จึงจะเข้าถึงผิวของสารดูดซับได้

2.4.3.3 Pore diffusion เนื่องจากสารดูดซับ มีลักษณะของพื้นที่ผิวเป็นโพรงหรือช่องว่างภายใน โมเลกุลของตัวถูกละลายจึงต้องแทรกตัวเข้าให้ถึงช่องว่างภายในสารดูดซับ จึงจะมีการดูดซับเกิดขึ้น

2.4.3.4 โมเลกุลต้องเกาะติดบนผิวของสารดูดซับโดยไม่หลุด

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.4.4.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ เนื่องจากปฏิกิริยาที่พื้นที่ผิวสารดูดซับเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของพื้นที่ผิว ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของ

สารดูดซับ แต่สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยขั้นตอนการขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจึงเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับและในทางตรงข้าม ถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ การดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ

2.4.4.2 ลักษณะของสารถูกดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในกระบวนการดูดติดผิวตัวถูกดูดซับหรือตัวถูกละลายจะถูกดึงออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ถ้าอัตราการดูดซับถูกควบคุมด้วยอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรง ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย และขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

2.4.4.3 พีเอช พีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออน และการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนก็เป็นไอออนที่สามารถดูดซับได้อย่างดี โดยทั่วไปแล้วการดูดซับของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชลดลง

2.4.4.4 อุณหภูมิ อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็ว และขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิแต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นแบบปฏิกิริยาคายความร้อน

2.4.4.5 ความปั่นป่วน อัตราดูดซับอาจขึ้นอยู่กับขั้นตอนการขนส่งผ่านฟิล์มและการแพร่เข้าสู่โพรง ซึ่งในระบบที่มีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มของของเหลวที่อยู่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้ film transport เป็นตัวควบคุมการดูดซับ ในทางตรงข้ามถ้ามีความปั่นป่วนสูง ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนเข้าสู่สารดูดซับได้เร็วขึ้น ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

2.4.4.6 เวลาสัมผัส เวลาสัมผัสในกระบวนการดูดซับ เป็นพารามิเตอร์สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของการดูดซับแบบต่อเนื่อง

2.5 บทสรุป

ปัญหามลพิษทางน้ำเป็นปัญหาที่ทุกคนต้องตระหนักร่วมกัน ไม่ว่าจะสร้างจิตสำนึกในการปล่อยน้ำทิ้งออกสู่ชุมชน หรือแม้กระทั่งโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆยังต้องตระหนักอยู่เสมอว่าการปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง จะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดอันตรายต่อ

สิ่งมีชีวิตทุกชีวิต เราจะมีวิธีแก้ปัญหามลพิษทางน้ำอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับศักยภาพของแต่ละบุคคล หน่วยงานนั้นว่าจะเลือกใช้วิธีการบำบัดอย่างไรเพื่อทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิม ในแง่ของการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำนั้น การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ตัวดูดซับที่ทำจากวัสดุธรรมชาตินั้นก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ยุ่งยากนัก และไม่ต้องใช้สารเคมีในปริมาณที่มากในการบำบัดน้ำ ดังนั้นการศึกษาการดูดซับโครเมียมโดยใช้กกตุ้มหูครั้งนี้จึงน่าที่จะเป็นประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะปนเปื้อนอยู่และเพื่อที่จะพัฒนาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึง รูปแบบการวิจัย การเตรียมตัวดูดซับ การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ สารเคมีและอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการทดลอง

3.1 รูปแบบการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยปัจจัยที่ศึกษามี 6 ปัจจัย คือ อายุของกกตุ้มหู ขนาดของกกตุ้มหู ระดับพีเอช ระยะเวลาที่สัมผัส อุณหภูมิ และความปั่นป่วน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม โดยดูจากประสิทธิภาพของกกตุ้มหูที่ใช้เป็นสารดูดซับโครเมียมในน้ำเสีย ซึ่งทำการทดลองแบบทีละเท (Batch study) ในห้องปฏิบัติการที่สภาวะแตกต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

3.1.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาเบื้องต้น (Preliminary study) เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหูที่จะนำมาใช้ในการดูดซับน้ำเสียที่มีโครเมียม 70 มก./ล.

3.1.2 ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม จาก 6 ปัจจัย คือ อายุของกกตุ้มหู (เปรียบเทียบต้นเล็ก กับต้นใหญ่) ขนาดของกกตุ้มหู(เปรียบเทียบแบบปั่นกับแบบตัด) ระดับพีเอช (มี 4 ระดับ คือ พีเอช 2, 3, 4 และ 5) ระยะเวลาสัมผัส (มี 9 ระดับ คือ ที่เวลา 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที) อุณหภูมิ (มี 5 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30, 40 และ 50 °ซ) และความปั่นป่วน(มี 4 ระดับ คือ 0, 100, 200 และ 300 รอบ/นาที) โดยใช้ปริมาณของกกตุ้มหูที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้น นำมาทำการทดลอง

3.2 ตัวแปรที่ศึกษาและการวัดตัวแปร

3.2.1 ตัวแปรคงที่ ได้แก่

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ วัดโดยใช้เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrophotometer หน่วยวัดคือ มก./ล.

3.2.2 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

3.2.2.1 ระดับพีเอชในน้ำเสีย วัดโดยเครื่องมือ pH meter

3.2.2.2 ระยะเวลาสัมผัส วัดโดยใช้นาฬิกาจับเวลา หน่วยวัดคือ นาที

3.2.2.3 อุณหภูมิ วัดโดยใช้เครื่องเขย่า หน่วยวัดคือ °ซ

3.2.2.4 ความปั่นป่วน วัดโดยใช้เครื่องเขย่า หน่วยวัดคือ รอบ/นาที

3.2.3 ตัวแปรตาม ได้แก่

ค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียหลังการทดลองวัดโดยใช้เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrophotometer หน่วยวัดคือ มก./ล.

3.3 การเตรียมตัวดูดซับจากกกตุ้มหู

นำกกตุ้มหูตัดเอาเฉพาะลำต้นมาตัดเป็นท่อนๆ แล้วล้างน้ำให้สะอาด หลังจากนั้นนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1 ซม. แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออนอีกครั้ง หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °ซ เป็นเวลา 24 ชม. นำออกทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียด และเก็บในโถดูดความชื้นเพื่อเก็บไว้ใช้วิเคราะห์ต่อไป

3.4 การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 70 มก./ล. โดยการชั่งสาร Chromium (III) chloride hexahydrate ($CrCl_3.6H_2O$) ตามที่คำนวณไว้ ละลายในน้ำกลั่น

3.5 สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 สารเคมี

3.5.1.1 โครเมียม (III) คลอไรด์ เกรดสำหรับการวิเคราะห์ (Chromium (III) chloride hexahydrate: $CrCl_3.6H_2O$, AR grade) ยี่ห้อ Merck

3.5.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดสำหรับการวิเคราะห์ (Sodium hydroxide: NaOH, AR grade) ยี่ห้อ Carlo

3.5.1.3 กรดไนตริกเข้มข้น เกรดสำหรับการวิเคราะห์ (Concentrated nitric acid: HNO_3, AR grade) ยี่ห้อ Carlo

3.5.2 เครื่องมือ

3.5.2.1 ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven) รุ่น 1375 FX ยี่ห้อ Shel lab บริษัท เคลตาแล็บบอราตอรี่ จำกัด

3.5.2.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น LC 6201S ยี่ห้อ Sartorius บริษัท ไซแอนติฟิค จำกัด

3.5.2.3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น PP25 ยี่ห้อ Sartorius

3.5.2.4 เครื่องปั่น รุ่น BE 122G ยี่ห้อ OTTO บริษัทออตโต้ คิงศ์คลาส จำกัด

3.5.2.5 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น Analyst 200 ยี่ห้อ Perkin elmer บริษัท Perkin elmer

3.5.2.6 เครื่องเขย่าผสมสารเคมี (Shaker) รุ่น VS-8480SF บริษัท วิชั่นไซแอนติฟิค จำกัด

3.5.3 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่จำเป็น เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง ขวดวัดปริมาตร ขวดรูปชมพู่ ปิเปต แท่งแก้วคน ช้อนตักสาร เป็นต้น

3.6 วิธีดำเนินการทดลอง

3.6.1 การศึกษาเบื้องต้น (Preliminary study) เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหูที่จะนำมาใช้ในการดูดซับน้ำเสียที่มีโครเมียม 70 มก./ล. มีขั้นตอน ดังนี้

3.6.1.1 เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 70 มก./ล.

3.6.1.2 วิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้ โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เพื่อตรวจสอบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมมีปริมาณโครเมียมตามที่ต้องการหรือไม่

3.6.1.3 ชั่งกกตุ้มหู จำนวน 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 4, 6 และ 8 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. ตามลำดับ

3.6.1.4 เติมน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ ข้อ 3.6.1.3 ปิดฝาด้วยกระดาษอะลูมิเนียม

3.6.1.5 นำขวดรูปชมพู่ไปเขย่าในเครื่องเขย่า ที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นระยะเวลา 24 ชม.

3.6.1.6 จากนั้นนำของผสมไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman เพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งกับของเหลวออก

3.6.1.7 นำส่วนที่เป็นของเหลว ในแต่ละขวดที่ผ่านการเตรียม สำหรับใช้วัดกับเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) เรียบร้อยแล้ว ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่เหลือ โดยใช้ เครื่อง AAS

3.6.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ มี 6 ปัจจัย ดังนี้

3.6.2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม ในน้ำเสียสังเคราะห์ของกกตุ้มหูที่มีอายุต่างกัน

การศึกษาเปรียบเทียบอายุของกกตุ้มหู ในการศึกษาครั้งนี้มิได้ทำการศึกษาอายุที่แน่นอนของกกตุ้มหูแต่ต้องการศึกษาถึงผลของกกตุ้มหูที่มีอายุต่างกัน โดยคัดเลือกกกตุ้มหูที่มีอายุน้อย ลำต้นสูงประมาณ 20 ซม. กับกกตุ้มหูที่มีอายุมาก ลำต้นสูงประมาณ 40 ซม. นำกกตุ้มหูทั้ง 2 ขนาดมาดูดซับโครเมียมที่มีความเข้มข้น 70 มก./ล. หลังจากนั้นนำไปดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ตามวิธีในหัวข้อ 3.6.1 โดยกกตุ้มหูที่ใช้ให้ใช้ตามปริมาณที่หาได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.6.1 (เลือกมาปริมาณเดียวที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุด) เขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นระยะเวลา 24 ชม.

3.6.2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม ในน้ำเสียสังเคราะห์ของกกตุ้มหูที่มีขนาดต่างกัน

โดยทำการทดลองใช้กกตุ้มหูที่มีขนาดต่างกัน คือ กกตุ้มหูที่อบแห้งแล้วผ่านการปั่นละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 35 กับกกตุ้มหูที่ตัดเป็นท่อนๆ ยาวประมาณ 1 ซม. แล้วอบแห้ง นำกกตุ้มหูทั้งสองขนาดมาทำการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ตามวิธีในหัวข้อ 3.6.1 โดยกกตุ้มหูที่ใช้ให้ใช้ตามปริมาณที่หาได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.6.1 (เลือกมาปริมาณเดียวที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุด) เขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นระยะเวลา 24 ชม.

3.6.2.3 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู

โดยทำการใช้ปริมาณกกตุ้มหูที่หาได้จากการทดลองที่ 3.6.1 มาเขย่าผสมกับสารละลายโครเมียม 70 มก./ล. ปริมาตร 1,000 มล. ในขวดรูปชมพู่ เขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที และเขย่าเป็นระยะเวลาทั้งหมด 180 นาที แต่เมื่อถึงที่เวลา 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ให้เก็บตัวอย่างน้ำมา 5 มล. แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

ยี่ห้อ Whatman เพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวกับของแข็งออก แล้วจึงนำไปวัดค่าความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3.6.2.4 การศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู

โดยทำการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ ให้มีพีเอชตามที่ต้องการ คือ พีเอช 2, 3 , 4 และ 5 โดยใช้สารละลายกรดไนตริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับค่าพีเอชให้ได้ตามที่ต้องการ เมื่อได้น้ำเสียที่มีพีเอชตามที่ต้องการแล้ว จากนั้นตวงมา 100 มล. ใส่ในขวดรูปชมพู่นำไปเขย่าผสมกับกกตุ้มหูตามปริมาณที่หาได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.6.1 เขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นระยะเวลา 2 ชม. จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman เพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวกับของแข็งออก แล้วจึงนำไปวัดค่าความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3.6.2.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู

โดยทำการใช้กกตุ้มหูตามปริมาณที่หาได้จากการทดลอง ในหัวข้อ 3.6.1 จากนั้นนำไปเขย่าผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 100 มล.ในขวดรูปชมพู่ ที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที โดยใช้ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน คือ 20, 25, 30, 40 และ 50 °ซ ใช้เวลาเขย่า 2 ชม. จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman เพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวกับของแข็งออก แล้วจึงนำไปวัดค่าความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3.6.2.6 การศึกษาผลของความปั่นป่วนต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู

โดยทำการใช้กกตุ้มหูตามปริมาณที่หาได้จากการทดลอง ในหัวข้อ 3.6.1 นำมาเขย่าผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 100 มล. ในขวดรูปชมพู่ ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และที่ความเร็วรอบต่างๆกัน คือ ที่ 0, 100, 200 และ 300 รอบ/นาที ใช้เวลาเขย่า 2 ชม. จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman เพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวกับของแข็งออก แล้วจึงนำไปวัดค่าความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3.7 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิจารณ์

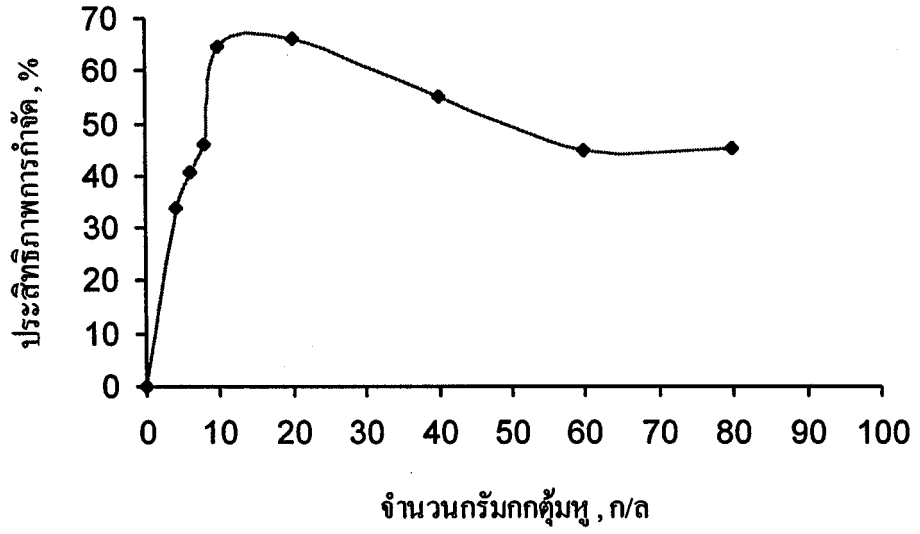
จากการทดลองนำกกตุ้มหูมาอบแห้งและปั่นให้ละเอียด แล้วนำไปดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ การทดลองได้ศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหูในเบื้องต้นก่อน หลังจากนั้นจึงทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู อาทิ ผลของขนาดของกกตุ้มหู ผลของอายุกกตุ้มหู ผลของระยะเวลาสัมผัส ผลของพีเอช ผลของอุณหภูมิ และผลของความปั่นป่วน

4.1 ผลการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการนำกกตุ้มหูที่มีปริมาณต่างๆมาดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลตามตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 พบว่า ในช่วงที่ปริมาณกกตุ้มหูที่ปริมาณ 4 ถึง 10 ก./ล.ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนกรัมที่เพิ่มขึ้นของกกตุ้มหู ส่วนในช่วงที่สองที่ปริมาณตั้งแต่ 20 ถึง 80 ก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมมีแนวโน้มลดลงและเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 60 ก./ล. โดยกกตุ้มหูที่มีปริมาณ 20 ก./ล. จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมสูงที่สุด คือ 66.14 % ในทางตรงข้ามเมื่อดูค่าปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับต่อปริมาณกกตุ้มหู ค่าที่ได้จะเห็นว่าเมื่อปริมาณกกตุ้มหูมีค่ามากขึ้นค่าปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับมีแนวโน้มลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Katarzyna Chojnacka ซึ่งทำในปี ค.ศ 2005 โดยงานวิจัยนี้ ศึกษาผลของการเพิ่มตัวดูดซับซึ่งตัวดูดซับที่ใช้ คือ เปลือกไข่ในการดูดซับโครเมียม+3 ซึ่งแนวโน้มของกราฟที่ได้ คือ เมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกไข่ขึ้น ค่าปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับจะมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน จึงอาจสรุปได้ว่า ถึงแม้ปริมาณกกตุ้มหูจะมากขึ้นแต่ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับก็ไม่ได้มากขึ้นตาม นั่นก็อาจเป็นเพราะปริมาณโครเมียมมีปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณกกตุ้มหู แต่เมื่อดูที่ปริมาณกกตุ้มหูน้อยจะมีค่าปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับมาก นั่นก็แสดงให้เห็นได้ว่าปริมาณโครเมียมมีมากกว่าปริมาณกกตุ้มหู ค่าปริมาณสารที่ถูกดูดซับจึงมีค่ามาก เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าปริมาณของกกตุ้มหูที่จะนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป โดยดูจากค่าประสิทธิภาพการกำจัด คือ กกตุ้มหูที่ปริมาณ 20 ก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมสูงที่สุด

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณกกตุ้มหูที่ปริมาณต่างๆ ในการดูดซับโครเมียม

ปริมาณกกตุ้มหู (ก./ล.)	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ/ปริมาณกกตุ้มหู (มก./ก.)	ความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (%)
4	6.11	48.00	33.75
6	4.91	43.00	40.65
8	4.18	39.00	46.17
10	4.44	24.20	64.72
20	2.27	23.23	66.14
40	0.95	30.78	55.34
60	0.52	37.76	44.96
80	0.39	37.58	45.21



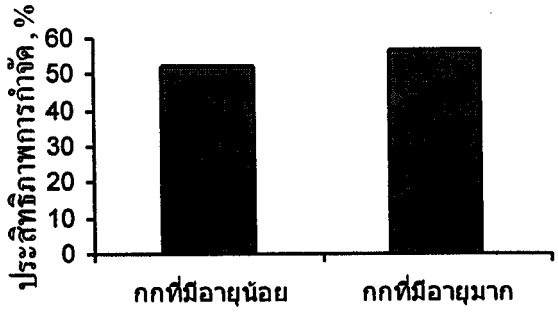
ภาพที่ 4.1 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับปริมาณต่างๆ ของกกตุ้มหู

4.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบอายุของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของอายุกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมของกกตุ้มหูที่มีอายุน้อยมีค่าเท่ากับ 52 .40% ส่วนกกตุ้มหูที่มีอายุมากกว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 56.99% ตามตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้ว กกตุ้มหูที่มีอายุมากมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมมากกว่ากกตุ้มหูที่มีอายุน้อยเพียงเล็กน้อย นั่นก็อาจเป็นเพราะว่าต้นพืชโดยทั่วไปเมื่อมีอายุที่มากขึ้น ก็จะมีโครงสร้างที่ไม่เหมือนต้นอ่อน ในแง่ของเซลล์หรือรูพรุนซึ่งจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น นั่นก็หมายถึงว่าต้นที่แก่กว่าก็จะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้นนั่นเอง จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมมากขึ้น

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับอายุของกกตุ้มหู

อายุของกกตุ้มหู	ความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (%)
อายุน้อย	31.35 ± 0.13	52.40 ± 0.20
อายุมาก	28.33 ± 0.19	56.99 ± 0.28



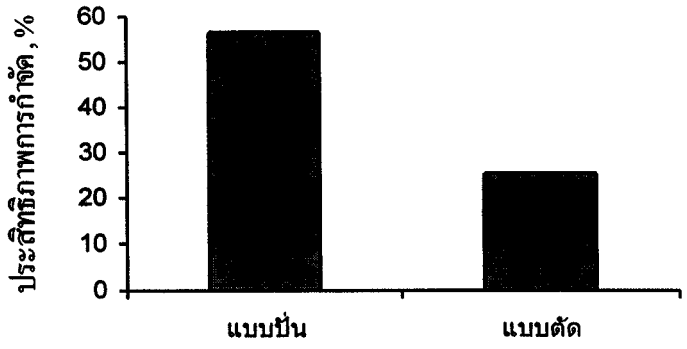
ภาพที่ 4.2 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับอายุของกกตุ้มหู

4.3 ผลการศึกษาขนาดของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม

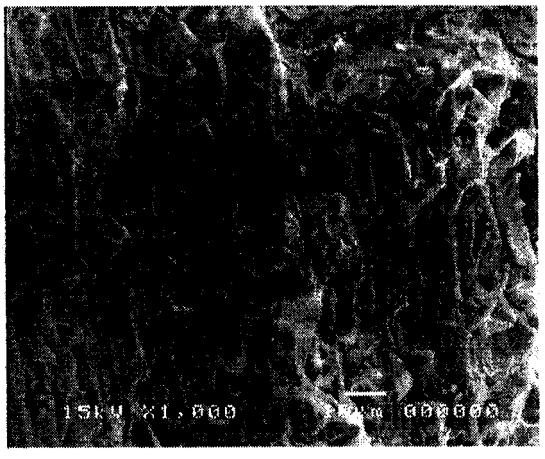
ผลการศึกษาขนาดของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมของกกตุ้มหูแบบตัดยาว 1 ซม. ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวน้อย มีค่าเท่ากับ 25.13% ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมของกกตุ้มหูแบบปั่นละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 35 เมซ ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวมาก มีค่าเท่ากับ 56.99% ตามตารางที่ 4.3 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า กกตุ้มหูที่ผ่านการปั่นละเอียดซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมได้ดีกว่าแบบตัดซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ ทั้งนี้พื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของตัวดูดซับได้มาจากช่องว่างหรือโพรงภายใน นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย อนึ่งในการศึกษาครั้งนี้ยังมิได้ทำการศึกษาหาพื้นที่ผิวสัมผัสโดยใช้เครื่อง Autosorb-1 ซึ่งจะเป็นการศึกษาที่ละเอียดขึ้น แต่การศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ในการถ่ายภาพกกตุ้มหูที่มีการปั่นละเอียดเพื่อแสดงถึงผิวของกกตุ้มหูที่มีรูพรุนแสดงให้เห็นเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับขนาดของกกตุ้มหู

ขนาดของกกตุ้มหู	ความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (%)
แบบปั่นมีพื้นที่ผิวมาก	28.33 ± 0.19	56.99 ± 0.28
แบบตัดมีพื้นที่ผิวมาก	49.31 ± 0.29	25.13 ± 0.44



ภาพที่ 4.3 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับขนาดของกกตุ้มหู



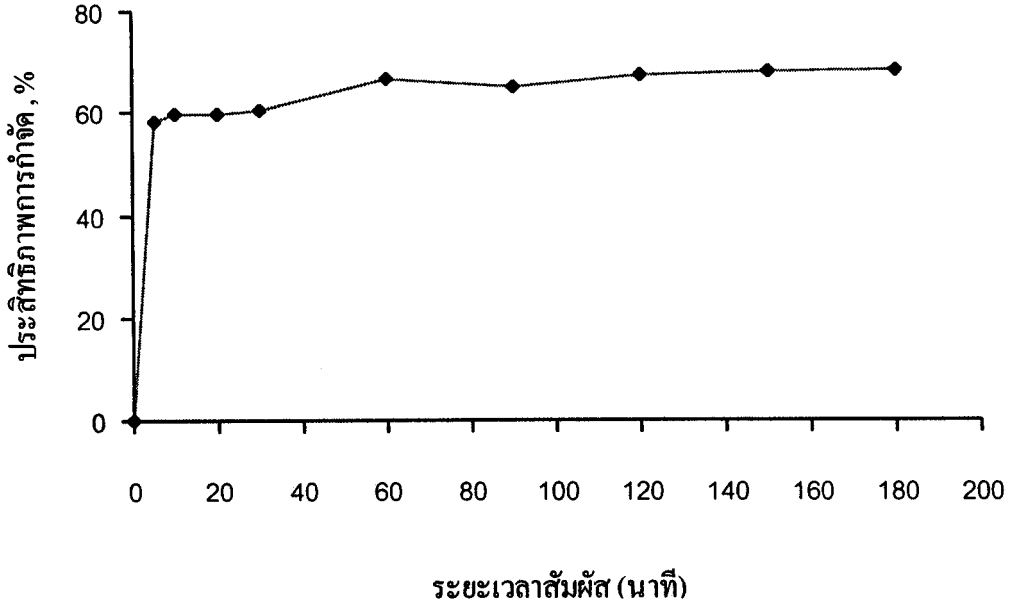
ภาพที่ 4.4 โพรงภายในกกตุ้มหู ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า

4.4 ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ช่วงเวลาเริ่มต้นจนถึง 30 นาที อัตราการดูดซับเกิดขึ้นรวดเร็วมาก ทั้งนี้ เนื่องจากในช่วงนี้ ปฏิกิริยาในการดูดซับระหว่างสารดูดซับกับสารถูกดูดซับยังเกิดขึ้นได้มาก เนื่องจากยังมีพื้นที่ผิวให้เกาะติดอยู่มาก ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับในช่วงที่สอง ที่เวลา 60 ถึง 180 นาที พื้นที่ผิวในการเกาะติดเริ่มน้อยลง จึงทำให้ระบบเริ่มเข้าสู่สมดุล เนื่องจากอัตราการดูดซับเริ่มเท่ากับอัตราการคายการดูดซับ โดยเริ่มเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 60 นาที จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในช่วงเวลาดังกล่าวมีแนวโน้มเริ่มคงที่ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ G. Blazquez และ F. Hernainz ซึ่งทำในปี ค.ศ 2005 ที่ได้ทำการศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมด้วย Olive Stones ผลที่ได้คือ ที่เวลา 15 นาที สามารถกำจัดแคดเมียมได้ 65% ส่วนที่เวลา 20 นาที สามารถกำจัดแคดเมียมได้ 80% และเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 120 นาที

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยใช้กกตุ้มหู ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (%)
5	31.80	58.16
10	30.50	59.87
20	30.60	59.74
30	30.00	60.53
60	25.20	66.84
90	26.60	65.00
120	24.80	67.37
150	24.20	68.16
180	23.70	68.82



ภาพที่ 4.5 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับระยะเวลาสัมผัส

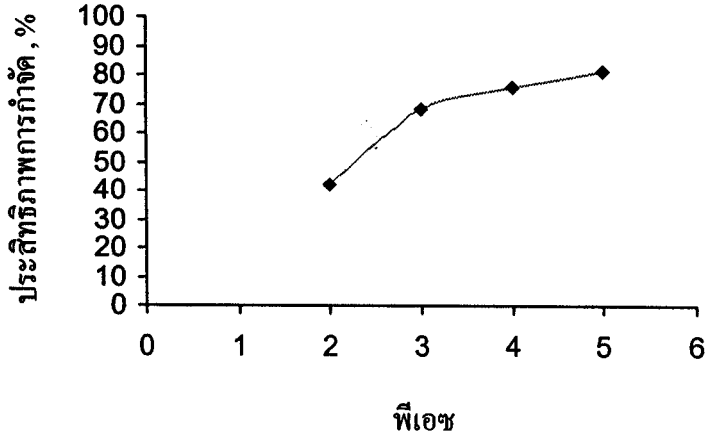
4.5 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับโครเมียม

จากการทดลองพบว่า พีเอชมีผลต่อการดูดซับโครเมียม โดยดูจากภาพที่ 4.6 เมื่อพีเอชมีแนวโน้มที่สูงขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมก็จะเพิ่มขึ้นด้วย อนึ่งที่พีเอชมากกว่า 5 ไม่ได้แสดงผลการทดลอง เนื่องจากระหว่างการทดลอง สังเกตุเห็นว่าที่พีเอชมากกว่า 5 เมื่อเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในสารละลายโครเมียมสารละลายโครเมียมเริ่มมีสีขุ่น ซึ่งอาจจะเกิดตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น และได้ทำการคำนวณช่วงของการเกิดตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ แสดงในภาคผนวก ค. ผลจากการคำนวณ พบว่าที่พีเอชมากกว่า 5 จะเกิดตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น จากแนวโน้มเมื่อเพิ่มพีเอชสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากโดยทั่วไปต้นพืชมีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ดังนั้นกกคุ้มหูก็จะมีพวกนี้เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย โดยที่พวกเซลลูโลส ลิกนิน จะมีหมู่ฟังก์ชั่นชนิดต่างๆ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (-OH), หมู่เมทอกซิล ($-OCH_3$) ซึ่งหมู่ฟังก์ชั่นเหล่านี้มีประจุลบมีคุณสมบัติในการดึงดูดสารถูกดูดซับที่เป็นไอออนที่มีประจุบวก ในที่นี้คือ ไอออนของโครเมียม +3 ดังนั้น ที่ระดับพีเอช 5 ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมมีค่าสูง สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในระบบการดูดซับประกอบไปด้วยสารดูดซับซึ่งอยู่ในรูปของของแข็ง และสารถูกดูดซับซึ่งอยู่ในรูปของไอออนในสารละลาย ในที่นี้สารดูดซับมีหมู่ฟังก์ชั่นเป็นประจุลบทำหน้าที่ในการดูดจับไอออนบวกในสารละลาย เมื่อสภาพพีเอชในสารละลายสูงขึ้น

จำนวนไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น แสดงว่า ขณะนี้ระบบประกอบไปด้วย กกตุ้มหู โครเมียมไอออน และ ไฮดรอกไซด์ไอออน ขณะเดียวกัน กกตุ้มหูมีหมู่ฟังก์ชั่นเป็นประจุลบ จะทำหน้าที่ในการดูดจับหรือดึงดูดกับโครเมียมไอออนที่มีประจุบวกแต่เพียงอย่างเดียว โดยจะไม่มีผลใดๆกับไฮดรอกไซด์ไอออนที่มีประจุลบเหมือนกัน ในทางตรงกันข้าม เมื่อพีเอชลดลง จำนวนไฮโดรเจนไอออนเพิ่มมากขึ้นในระบบ ไฮโดรเจนไอออนส่วนหนึ่งจะถูกดึงดูดกับหมู่ฟังก์ชั่นที่เป็นประจุลบของกกตุ้มหู ทำให้ความสามารถในการดูดจับโครเมียมไอออนของกกตุ้มหูลดลง ดังจะเห็นได้จากประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ระดับพีเอชที่สูงกว่า จะมีค่ามากกว่าที่ระดับพีเอชที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับ พีเอชที่ระดับต่างๆ

พีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (%)
2	43.90	42.24
3	24.00	68.42
4	18.30	75.92
5	14.00	81.58



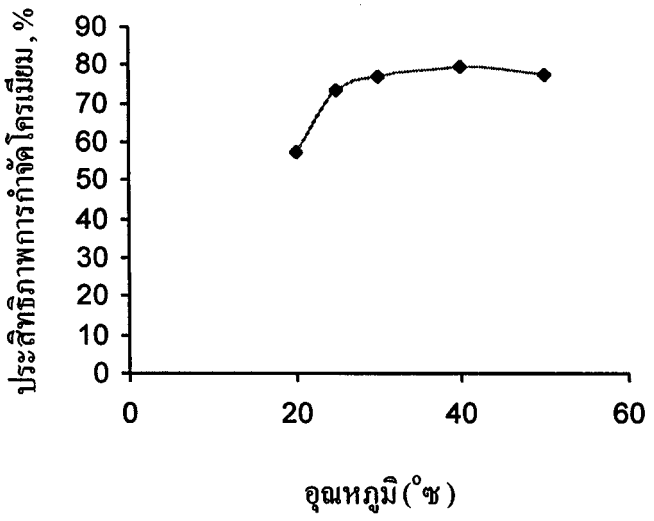
ภาพที่ 4.6 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับพีเอชที่ระดับต่างๆ

4.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับโครเมียม

จากภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ ในช่วง 20 – 40 °ซ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 40 °ซ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุด คือ 79.52% ตามตารางที่ 4.6 แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปถึง 50 °ซ ประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มที่จะลดลง เนื่องจากในช่วงแรกเมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้เกิดการกระจายตัวดีขึ้น เกิดการเกาะติดดีขึ้น แต่เมื่อถึงที่อุณหภูมิสูงมากๆ ในที่นี้คือ ที่อุณหภูมิ 50 °ซ สารที่ถูกจับยึดบนตัวดูดซับจะมีพลังงานจลน์สูงกว่าพลังงานการจับยึดทำให้สามารถเคลื่อนที่แยกตัวออกไปได้ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มที่จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ M.R.Othman และ A.M.Amin ซึ่งทำในปี ค.ศ 2003 โดย งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการใช้เทมเป้ดูดซับทองแดง สังกะสี ผลที่ได้พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงมากๆ จนมีพลังงานสูงมากค่าการดูดซับจะมีแนวโน้มที่จะลดลง

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม กับที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°ซ)	ความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (%)
20	27.88	57.41
25	16.80	73.33
30	14.35	77.22
40	12.90	79.52
50	14.00	77.77



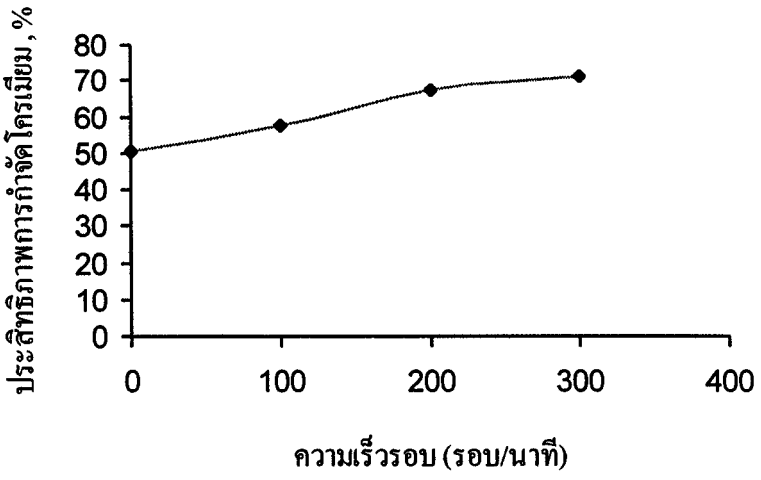
ภาพที่ 4.7 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่อุณหภูมิต่างๆ

4.7 ผลของความปั่นป่วนที่มีต่อการดูดซับโครเมียม

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบ/นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมอยู่ที่ 71.14% ซึ่งมีค่าสูงสุด รองลงมาคือที่ 200, 100 และ 0 รอบ/นาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความปั่นป่วนแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดก็เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ จึงทำให้ค่าการดูดซับต่ำ

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ความเร็วรอบต่างๆ

ความเร็ว (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (%)
0	37.89	50.15
100	32.50	57.46
200	24.80	67.37
300	21.73	71.14



ภาพที่ 4.8 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ ความเร็วรอบต่างๆ

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม ที่มีความเข้มข้น 70 มก./ล. โดยใช้กกตุ้มหู ในกรณีการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหู ผลของอายุ ผลของขนาด ผลของระยะเวลา ผลของพีเอช ผลของอุณหภูมิ และผลของความปั่นป่วน สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลของการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม

จากการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม ที่มีความเข้มข้น 70 มก./ล. พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของกกตุ้มหูอยู่ที่ระดับ 20 ก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมสูงที่สุด คือ 66.14% ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณกกตุ้มหูที่ 20 ก./ล. ใช้ในการทดลองหาปัจจัยที่มีต่อการกำจัดต่อไป

5.1.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบอายุของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม

จากการศึกษาเปรียบเทียบอายุของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม โดยใช้กกตุ้มหูที่มีอายุน้อยและอายุที่มากกว่า พบว่า อายุมีผลต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู โดยกกตุ้มหูที่มีอายุมากกว่า จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมอยู่ที่ 56.99% ส่วนกกตุ้มหูที่มีอายุน้อยกว่าจะมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมอยู่ที่ 52.40% ซึ่งจะเห็นว่ากกตุ้มหูที่มีอายุมากกว่าจะมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมได้ดีกว่า

5.1.3 ผลการศึกษาขนาดของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม

จากการศึกษาเปรียบเทียบอายุของกกตุ้มหูในการดูดซับโครเมียม โดยใช้กกตุ้มหูที่มีขนาดปั่นละเอียดกับขนาดที่ตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 1 ซม. พบว่ากกตุ้มหูที่มีขนาดปั่นละเอียดซึ่งจะมีพื้นที่ในการสัมผัสมากกว่า จะมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมอยู่ที่ 56.99% ส่วนกกตุ้มหูที่มีขนาดแบบตัดยาวประมาณ 1 ซม. ซึ่งจะมีพื้นที่ในการสัมผัสน้อยกว่า จะมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมอยู่ที่ 25.13% ซึ่งจะเห็นว่า กกตุ้มหูที่มีขนาดปั่นละเอียดซึ่งจะมีพื้นที่ในการสัมผัสมาก จะมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมได้ดีกว่า กกตุ้มหูที่มีขนาดแบบตัดยาวประมาณ 1 ซม. ซึ่งมีพื้นที่ในการสัมผัสน้อย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าก่อนที่จะนำกกตุ้มหูมาเป็นตัวดูดซับควรที่จะมีการปั่นให้ละเอียดเสียก่อนเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับให้มากขึ้น

5.1.4 ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู

จากผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู พบว่า ช่วงเวลาแรก คือ ที่ช่วงเวลาเริ่มต้นจนถึง 10 นาที อัตราการดูดซับเกิดขึ้นรวดเร็วมาก นั่นก็อาจเป็นผลมาจากการดูดซับยังมีพื้นที่ในการเกาะติดมาก ส่วนในช่วงที่เวลาเข้าสู่ 60 นาที อัตราการดูดซับจะคงที่และเริ่มเข้าสู่สมดุล จึงสามารถสรุปได้ว่าช่วงเวลา ที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม โดยใช้กกตุ้มหูจะอยู่ที่ช่วงเวลา 60 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อัตราการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุลนั่นเอง

5.1.5 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู

จากผลการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู พบว่าที่พีเอช 2, 3, 4 และ 5 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด เท่ากับ 42.24%, 68.42%, 75.92% และ 81.58% ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าที่พีเอชเท่ากับ 5 จะเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมของกกตุ้มหู

5.1.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู

จากผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู พบว่าที่อุณหภูมิ 20 , 25, 30, 40 และ 50 °ซ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 57.41%, 73.33%, 77.22%, 79.52% และ 77.77 % ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง จึงสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิสูงๆจะมีผลต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหูให้ลดลง เป็นผลเนื่องจากการทำลายการเกาะติดผิวของตัวดูดซับ

5.1.7 ผลของความปั่นป่วนที่มีต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู

จากผลของความปั่นป่วนที่มีต่อการดูดซับโครเมียมของกกตุ้มหู พบว่าที่ความปั่นป่วนเท่ากับ 0, 100, 200 และ 300 รอบ/นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด เท่ากับ 50.15%, 57.46%, 67.37% และ 71.14 % ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าที่ความปั่นป่วน 300 รอบ/นาที จะมีประสิทธิภาพการกำจัดมากที่สุด รองลงมาคือที่ 200, 100, และ 0 รอบ/นาที ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่นๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ปรอท เป็นต้น

5.2.2 ควรศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน

5.2.3 ควรศึกษาโดยทดลองใช้กกตุ้มหูดูดซับโครเมียมในน้ำเสียจริง

5.2.4 ควรศึกษาทดลองปรับสภาพของกกตุ้มหูโดยการปรับสภาพทางเคมี

5.2.5 ควรศึกษาหาขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสโดยใช้เครื่อง Autosorb-1

5.2.6 ควรศึกษาผลของอายุกกตุ้มหูที่แน่นอน

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : หจก.สยามสเตชั่นเนอรี่ซัพพลายส์, 2542.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

จุวัลณีย์ แสงระวี. ศึกษาความเป็นไปได้ของซังข้าวโพดในการดูดซับสารประกอบกลุ่มฟีนอลลิกในน้ำทิ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2004.

ดวงกมล พรหมสุวรรณ. การกำจัดโครเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียโดยใช้เส้นใยปาล์มปรับสภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยมหิดล, 2537.

นิตยา ผลประดง, พจมาลย์ วิจิตรกุล. การดูดซับโลหะหนักบางชนิด(ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี) ในน้ำโดยใช้ดินเบนโทไนต์. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2544.

ปกาศิต ฮงทอง. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505. การค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2548.

ประวิทย์ สุรนีรนาถ. กกตุ้มหู. http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt040.html. พฤษภาคม, 2549.

มั่นสิน ตัณฑุลม์เวศน์. วิศวกรรมการประปา. เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

วินัย สมบูรณ์. การใช้วัสดุธรรมชาติในการบำบัดโลหะในน้ำ. วารสารวิจัยสภาพสิ่งแวดล้อม. หน้า 58-74, 2533.

เอกชัย ประสาทมงคล. การดูดซับโครเมียมด้วยเส้นใยจากเปลือกสับปะรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.

Blazqnez, G., Hernainz, F., Calero, M., Ruiz.Nunez, L.F. Removal of cadmium ions with olive stones: the effect of somes parameters. Process Biochemistry. 46 : 2649-2654,2005.

Iqbal, M., Saeed, A., Akhtar, N. Petiolar felt-sheath of palm: a new biosorbent for the removal of heavy metals from contaminated water. Bioresource Technol. 81 : 151-153, 2002.

Katarzyna Chojnacka. Biosorption of Cr(III) ions by eggshells. Journal of Hazardous Materials. 167-173, 2005.

Nasernejad, B., Esslam Zadeh, T., Bonakdar. Pour, B., Esmaail Bygi, M., Zamani, A. Comparison for biosorption modeling of heavy metals Cr(III),Cu(II),Zn(II) adsorption from wastewater by carrot residues. Process Biochemistry, 2004.

Nurgul Basci, Erdem Kocadagistan, Beyhan Kocadagistan. Biosorption of copper(II) from aqueous solutions by wheat shell. Desalination. 164 : 135-140, 2004.

Othman, M.R., Amin, A.M. Comparative analysis on equilibrium sorption of metal ions by biosorbent Tempe. Biochemical Engineering Journal. 161 : 361-364, 2003.

Kristel S. Kizer. "Solubility of product", Chemistry at NCTC. http://www.northland.cc.mn.us/chemistry/default.htm. May, 2006.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีการเตรียมสารละลาย

ภาคผนวก ก
วิธีการเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมสารละลายโครเมียมวาเลนซี่+3 ที่ความเข้มข้น 70 มก./ล.

การเตรียมสารละลายโครเมียมวาเลนซี่+3 ที่ความเข้มข้น 70 มก./ล. ปริมาตร 1 ล. เตรียมโดยทำการชั่ง Chromium (III) chloride hexahydrate ($CrCl_3 . 6 H_2O$) มา 0.3587 กรัม ละลาย $CrCl_3$ ที่ชั่งได้ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรใน ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ล.

2. การเตรียมสารละลายสต็อกโครเมียม 100 มก./ล.

โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียม 1000 มก./ล. มา 10 มล. ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร สารละลายที่ได้คือ สารละลายสต็อกโครเมียม 100 มก./ล.

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมสำหรับใช้วัดด้วยเครื่อง AAS

โดยปิเปตสารละลายสต็อกโครเมียม 100 มก./ล. มา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 มล. สำหรับความเข้มข้นที่ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 มก./ล. ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 20 มล. จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร

ภาคผนวก ข
วิธีการคำนวณ

ภาคผนวก ข
วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม

การคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม คิดเป็น % คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด} = \frac{(\text{ปริมาณโลหะในน้ำเสียก่อนการดูดซับ} - \text{ปริมาณโลหะในน้ำเสียหลังการดูดซับ}) \times 100}{\text{ปริมาณโลหะในน้ำเสียก่อนการดูดซับ}}$$

ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ผลจากการทดลอง ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมก่อนการดูดซับเท่ากับ 70 มก./ล. กับค่าความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียมหลังการดูดซับมีค่าเท่ากับ 43.70 มก./ล. สามารถแสดงวิธีการคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด} = \frac{70 \text{ มก./ล.} - 43.70 \text{ มก./ล.}}{70 \text{ มก./ล.}} \times 100$$

$$= 38\ \%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมจะมีค่าเท่ากับ 38 %

2. การคำนวณหาปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ/ปริมาณกกตุ้มหู (มก./ก.)

คำนวณจากสูตร $q_e = \frac{(C_o - C_f)V_s}{m}$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ/ปริมาณกกตุ้มหู (มก./ก.)

C_o คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)

C_f คือ ความเข้มข้นสุดท้าย (มก./ล.)

V_s คือ ปริมาตรที่ใช้ (ล.)

m คือ ปริมาณกกตุ้มหู (ก.)

ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ผลจากการทดลอง ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมก่อนการดูดซับเท่ากับ 70 มก./ล. กับค่าความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียมหลังการดูดซับมีค่าเท่ากับ 43.70 มก./ล. และใช้กกตุ้มหูที่ 20 ก./ล. สามารถแสดงวิธีการคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ/ปริมาณกกตุ้มหู (มก./ก.)} = \frac{(70 \text{ มก./ล.} - 43.70 \text{ มก./ล.}) \times 1 \text{ ล.}}{20 \text{ ก.}}$$

$$= 1.32 \text{ มก./ก.}$$

ภาคผนวก ค
วิธีการคำนวณหาพีเอชที่สารละลายโครเมียมตกตะกอน

ภาคผนวก ค
วิธีการคำนวณหาพีเอชที่สารละลายโครเมียมตกตะกอน

1. วิธีการคำนวณหาพีเอชที่สารละลายโครเมียมตกตะกอน

การทดลองการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับโครเมียม ในการทดลองได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำการปรับพีเอชซึ่งเมื่อถึงพีเอชหนึ่งๆจะเกิดการตกตะกอนขึ้น ตะกอนที่เกิด คือ ตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($Cr(OH)_3$) ดังนั้นต้องมีการศึกษาดูคร่าวๆว่าที่พีเอชเท่าใด จะเกิดการตกตะกอนโครเมียมเป็นโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($Cr(OH)_3$) ซึ่งสามารถหาได้จากการคำนวณค่าของผลคูณไอออนเปรียบเทียบกับค่า Ksp ซึ่งเป็นค่าคงที่ของการละลาย ถ้าค่าผลคูณของไอออนมีค่ามากกว่าค่า Ksp นั่นก็แสดงว่าเกิดการตกตะกอนขึ้น และถ้าค่าของผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่าค่า Ksp นั่นก็แสดงว่าไม่เกิดการตกตะกอนเกิดขึ้น

1.1 การคำนวณผลคูณของไอออนที่พีเอชมีค่าเท่ากับ 2

การคำนวณผลคูณของไอออน ไอออนในที่นี้ คือ Cr^{3+} และ OH^-

$$Cr(OH)_3 \longleftrightarrow Cr^{3+}+3OH^- \qquad Ksp = 6.3 \times 10^{-31} \qquad (5)$$

โดย $[Cr^{3+}] = 2.63 \times 10^{-4}$ โมลาร์

$[OH^-] = 10^{-12}$ โมลาร์

จาก $Ksp = [Cr^{3+}][OH^-]^3$

ดังนั้น $6.3 \times 10^{-31} = (2.63 \times 10^{-4}) \times (10^{-12})^3$

$= (2.63 \times 10^{-40})$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่าค่า Ksp

สรุปว่าที่พีเอช 2 ไม่เกิดการตกตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์

1.2 การคำนวณผลคูณของไอออนที่พีเอชมีค่าเท่ากับ 3

โดย $[Cr^{3+}]$ = 2.63×10^{-4} โมลาร์

$[OH^-]$ = 10^{-11} โมลาร์

จาก $Ksp = [Cr^{3+}][OH^-]^3$

ดังนั้น $6.3 \times 10^{-31} = (2.63 \times 10^{-4}) \times (10^{-11})^3$

$= (2.63 \times 10^{-37})$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่าค่า Ksp

สรุปว่าที่พีเอช 3 ไม่เกิดการตกตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์

1.3 การคำนวณผลคูณของไอออนที่พีเอชมีค่าเท่ากับ 4

โดย $[Cr^{3+}]$ = 2.63×10^{-4} โมลาร์

$[OH^-]$ = 10^{-10} โมลาร์

จาก $Ksp = [Cr^{3+}][OH^-]^3$

ดังนั้น $6.3 \times 10^{-31} = (2.63 \times 10^{-4}) \times (10^{-10})^3$

$= (2.63 \times 10^{-34})$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่าค่า Ksp

สรุปว่าที่พีเอช 4 ไม่เกิดการตกตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์

1.4 การคำนวณผลคูณของไอออนที่พีเอชมีค่าเท่ากับ 5

โดย $[Cr^{3+}]$ = 2.63×10^{-4} โมลาร์

$[OH^-]$ = 10^{-9} โมลาร์

จาก $Ksp = [Cr^{3+}][OH^-]^3$

ดังนั้น $6.3 \times 10^{-31} = (2.63 \times 10^{-4}) \times (10^{-9})^3$

$= (2.63 \times 10^{-31})$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่ามากกว่าค่า Ksp

สรุปว่าที่พีเอช 5 เกิดการตกตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์

ภาคผนวก ง
ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

ภาคผนวก ง
ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) วันที่ 3 มกราคม 2549 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม เป็นกฎหมายที่ใช้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
1. พีเอช (pH)	5.5-9.0	
2. ทีดีเอส (TDS)	-ไม่เกิน 3,000 มก./ล. - ถ้าเป็นแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็มมากกว่า 2,000 มก./ล. หรือเป็นน้ำทะเลให้ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้แต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. (ขึ้นอยู่กับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภทอุตสาหกรรม)
3. สารแขวนลอย (SS)	ไม่เกิน 50 มก./ล.	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้แต่ไม่เกิน 150 มก./ล. (ขึ้นอยู่กับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภทอุตสาหกรรม)
4. อุณหภูมิ	ไม่เกิน 40°ซ	
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	
6. ซัลไฟด์	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7. ไซยาไนด์	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
8. โลหะหนักต่างๆ		
8.1 สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
8.2 โครเมียม (Cr^{6+})	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
8.3 โครเมียม (Cr^{3+})	**ไม่เกิน 0.75 มก./ล.**	
8.4 อาร์เซนิค (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
8.5 ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 0.20 มก./ล.	
8.6 ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	
8.7 แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
8.8 เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	
8.9 แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
8.10 ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8.11 นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
8.12 แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
9. น้ำมันและไขมัน	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้แต่ไม่เกิน 15 มก./ล. (ขึ้นอยู่กับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภทอุตสาหกรรม)
10. ฟอร์มาลดีไฮด์	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
11. สารประกอบฟีนอล	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
12. คลอรีนอิสระ	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
13. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางดวงดาว สัตยากูล
วัน เดือน ปี เกิด	16 กรกฎาคม 2517
ที่อยู่	109 หมู่ที่ 1 บ้านหนองโก ตำบลธาตุ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190 โทร.06-0620164
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2538 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2539 - ปัจจุบัน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
สถานที่ทำงาน	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190