



รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักจากน้ำทิ้งของห้องปฏิบัติการ
ของเปลือกไข่และกากกาแฟร่วมกับระบบชั้นกรองหลายชั้น

โดย

นายกฤษณะ จิรสารสวัสดิ์

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตโครงการงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครเมียม	3
2.2 ของเสียจากห้องปฏิบัติการ	4
2.3 ลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ	5
2.4 วิธีการบำบัดน้ำเสีย	7
2.5 กระบวนการเกาะติดผิว	8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง	
3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	14
3.2 การเตรียมกากกาแฟและเปลือกไข่ที่ใช้ในการทดลอง	14
3.3 คอลัมน์สำหรับดูดซับที่ใช้ในการทดลอง	15
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	17
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 คุณสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	19
4.2 ประสิทธิภาพของเปลือกไข่ไก่และกากกาแฟในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ	19
4.3 ประสิทธิภาพของเปลือกไข่ไก่และกากกาแฟในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการร่วมกับระบบชั้นกรองหลายชั้น	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	26
5.2 ข้อเสนอแนะ	26

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 รูปตัดโพร่งหรือช่องว่างภายในของถ่านกัมมันต์	9
ภาพที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Langmuir isotherm	12
ภาพที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Freundlich isotherm	13
ภาพที่ 3.1 กากกาแพและเปลือกไข่ที่ใช้ในการทดลอง	14
ภาพที่ 3.2 การจัดเรียงสารดูดซับลงในคอลัมน์ดูดซับ	15
ภาพที่ 3.3 ระบบบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการโดยใช้คอลัมน์ในการดูดซับ	16
ภาพที่ 4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับ Cr^{+6} ของเปลือกไข่ไก่ที่ระยะเวลาต่างๆ	20
ภาพที่ 4.2 ค่า pH ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากการดูดซับ Cr^{+6} โดยเปลือกไข่	20
ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับ Cr^{6+} ที่เปลือกไข่ไก่ปริมาณต่างๆ	21
ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับ Cr^{+6} ของกากกาแพที่ระยะเวลาต่างๆ	22
ภาพที่ 4.5 ค่า pH ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากการดูดซับ Cr^{+6} โดยกากกาแพ	22
ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการดูดซับ Cr^{6+} ของกากกาแพที่ปริมาณต่างๆ	23
ภาพที่ 4.7 ค่า pH ของน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์ดูดซับทั้ง 3 คอลัมน์	24
ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr^{6+} ของเปลือกไข่และกากกาแพ	25

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์	18
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์ (สำหรับการทดลองแบบกะ)	19
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์ (สำหรับการทดลองแบบต่อเนื่อง)	19

สวพ.
มทร.สุวรรณภูมิ

เอกสารอ้างอิง

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2538. **ทำเนียบรายชื่อโรงงานอุตสาหกรรม**. กรมโรงงาน. กรุงเทพมหานคร.
2. จิระศักดิ์ แสงพุ่ม และคณะ. 2000. **ผลของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวดูดซับผักตบชวาสำหรับการดูดไอเบนซิน**. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยรังสิต. 4(1) : 45-48
3. ซาลินี ศักดิ์แสน และ ศศิธร พุทธวงษ์. 2550. **การบำบัดโครเมียมและอาร์เซนิกด้วยหญ้าแฝกและรูดฤาษีในบึงประดิษฐ์**. เอกสารการประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1: 1-6
4. จักริน ไหมศรีและ ธรรมบุญ เจริญสิทธิ์. 2543. **การบำบัดตะกั่วไอออนจากน้ำทิ้งโรงงานแบตเตอรี่โดยใช้ผักตบชวา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
5. อัญชุลี เลิศสงคราม. 2554. **การดูดซับโลหะหนักทางชีวภาพ**. วารสารเพื่อการวิจัยและพัฒนาองค์การเภสัชกรรม ปีที่ 18 ฉบับที่ 3: 17-22
6. ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง. 2531. **โลหะหนักในผักตบชวาจากแหล่งน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
7. V.K. Mishra, B.D Tripathi. 2009. **Accumulation of Chromium and zinc from aqueous solution using water hyacinth (*Eichhornia carssipes*)**. Journal of Hazardous Materials 164(2009) : 1059-1063.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันมหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาทั้งของภาครัฐและเอกชนได้จัดให้มีการเรียนการสอนทั้งในสาขาวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมซึ่งการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาดังกล่าวจำเป็นต้องมีการเรียนในภาคปฏิบัติในส่วนของการทำโครงการ หรือการเรียนการสอนที่มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งสารเคมีดังกล่าวในบางครั้งมีความเข้มข้นมากหรือมีความเป็นพิษสูง เช่นพวกโลหะหนัก สารอินทรีย์ กรด-ด่าง ดังนั้นในการปล่อยน้ำทิ้งออกจากห้องปฏิบัติการเคมีลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือระบบบำบัดน้ำเสียรวมของมหาวิทยาลัยโดยไม่ได้ผ่านการบำบัดขั้นต้นอาจเป็นการเพิ่มมลพิษให้กับแหล่งน้ำในธรรมชาติเป็นอย่างมากหรืออาจทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียรวมล้มเหลวได้เนื่องมาจากความเป็นพิษจากโลหะหนัก ความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากห้องปฏิบัติการ (วรวิทย์ จันทรสวรรณ และ ประเทืองทิพย์ โรจนวิพาทย, 2556)

กาแฟสดซึ่งจากกาแฟคั่วบดนั้นได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ในปัจจุบันซึ่งสังเกตได้จากร้านจำหน่ายกาแฟคั่วบดที่เพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด กากกาแฟเหล่านี้จะถูกทิ้งไปโดยที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เท่าที่ควร และถ้าไม่ได้รับการกำจัดที่เหมาะสมก็จะกลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรคได้ จากการศึกษาองค์ประกอบของกากกาแฟ พบว่า (Khenniche and Benissad-Aissani 2010; Boudrahem, Soualah et al. 2011) กากกาแฟมีส่วนประกอบที่เหมาะสม เช่น ความชื้น 5.36%, เถ้า 3.16%, Extractible 22.17%, ลิกนิน 8.78%, เซลลูโลส 25.39%, เฮมิเซลลูโลส 37.33% ซึ่งเหมาะสมในการนำมาเตรียมเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นตัวดูดซับ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมการฟอกสีของน้ำตาล ใช้ในการทำน้ำและอากาศให้บริสุทธิ์ ใช้ในการแก้ปัญหาหน้าเสียดจากโรงงานย้อมผ้า ใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มมูลค่าให้กับกากกาแฟและยังเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการกำจัดของเสีย (กากกาแฟ) ได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้มีแนวคิดนำเปลือกไข่ไก่มาศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารมลพิษในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเนื่องจากคนไทยบริโภคไข่ไก่เฉลี่ย 132 ฟองต่อคนต่อปี และคาดว่าจะมีแนวโน้มในการบริโภคเพิ่มขึ้น ไข่ฟองหนึ่งๆ จะมีเปลือกไข่เป็นส่วนประกอบเฉลี่ยร้อยละ 12-13 ของน้ำหนักเปลือก หรือร้อยละ 9-11 ของน้ำหนักแห้ง เปลือกไข่มีความหนาประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร โครงสร้างมีลักษณะเป็นรูพรุน ส่วนประกอบของเปลือกไข่แบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ได้แก่ ชั้นเคลือบผิวไข่ รูเปลือกไข่ เปลือกไข่ชั้นนอก เปลือกไข่ชั้นใน และเยื่อหุ้มเปลือกไข่ เปลือกไข่หนึ่งฟองจะมีรูประมาณ 7,000-17,000 รู (Stadelmal et.,all, 1995) โดยเปลือกไข่ไก่หนึ่งฟองจะมีรูอยู่ประมาณ 10,000 รู (Okubo et.,all. 1997) เปลือกไข่เป็ดจะมีปริมาณรูต่อตารางเซนติเมตรมากกว่าเปลือกไข่ไก่ องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต โปรตีน และน้ำ ร้อยละ 95.1, 3.3 และ 1.6 ตามลำดับ (สุวรรณ, 2519) เปลือกไข่ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของปุ๋ยหรือผสมในอาหารสัตว์ แต่มีการใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่เปลือกไข่จะถูกทิ้งไปจากลักษณะทางโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ที่มีรูพรุนจำนวนมาก และเยื่อหุ้มเปลือกไข่ที่มีลักษณะเหมือนโครงตาข่าย จึงได้มีการศึกษานำเอาเปลือกไข่มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ในขณะที่ปัจจุบันได้มีการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยชั้นดินและหินโดยอาศัยกระบวนการทางกายภาพทางเคมี และทางชีวภาพในการบำบัดน้ำเสีย (อเนกประชา, 2549) ได้ทำการศึกษาผลของความหนาชั้นวัสดุ และรูปแบบการป้อนน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยระบบดินและหินเรียงเป็นชั้น ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าชั้นดินและหินที่ใช้เป็นวัสดุกรองสามารถบำบัดสารมลพิษในรูปของ ซีโอดีของน้ำชะขยะมูลฝอยได้ในระดับหนึ่งงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาต่อยอดของระบบดังกล่าวโดยได้นำ กากกาแฟ และเปลือกไข่มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในการดูดซับสารมลพิษในรูปของโลหะหนักร่วมกับระบบชั้นกรอง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) ศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกไข่และกากกาแฟในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกไข่และกากกาแฟในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการร่วมกับระบบชั้นกรองแบบหลายชั้น

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
- 2) ชนิดของโลหะที่ทำการศึกษาการดูดซับของกากกาแฟและเปลือกไข่ไก่ได้แก่ ปรอท โครเมียม
- 3) พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง โครเมียม (VI)
- 4) จำลองระบบชั้นกรองแบบหลายชั้นโดยใช้คอลัมน์ในการทดลองที่มีการจัดเรียงวัสดุกรองได้แก่ กรวดหยาบ ทราย กรวดหยาบ ในคอลัมน์ที่ 1 (คอลัมน์ควบคุม) กรวดหยาบ เปลือกไข่ไก่ ทราย กรวดหยาบ ในคอลัมน์ที่ 2 และ หินปูน กากกาแฟ ทราย กรวดหยาบ ในคอลัมน์ที่ 3

บทที่ 2

ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครเมียม

โครเมียมเป็นสารเคมีที่มีอันตรายค่อนข้างสูง การได้รับโครเมียมเพียงเล็กน้อยอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอย่างรุนแรง โครเมียมในอุตสาหกรรมมีการใช้งานอยู่ 2 เลขออกซิเดชันได้แก่โครเมียม (III) และโครเมียม (IV) เมื่อพิจารณาถึงอันตรายพบว่าโครเมียม (IV) มีอันตรายมากกว่าโครเมียม (III) กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับโครเมียม (VI) มีปริมาณในน้ำทิ้งไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่โครเมียม (III) มีปริมาณน้ำทิ้งไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัม/ลิตร

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของโครเมียม

โครเมียมเป็นธาตุในหมู่ VI B จัดอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน มีลักษณะนวล สุกใส มีความผิดปกติ ไม่เป็นสนิม ซึ่งมีคุณสมบัติจำเพาะดังนี้

สัญลักษณ์	Cr
เลขอะตอม	24
น้ำหนักอะตอม	51.9961 g/mol
จุดเดือด	2,655 องศาเซลเซียส
จุดเยือกแข็ง	1,890 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	7.19 g/cm ³
สถานะที่ 20 องศาเซลเซียส	ของแข็ง

2.1.2 โครเมียมในสิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายของโครเมียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อม เกิดขึ้นได้จากการทิ้งของเสียและน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโครเมียมในการผลิตทางอุตสาหกรรมที่มีโครเมียมปะปนอยู่ โดยโครเมียมในรูปของไอออน +3 และ +6 เป็นสถานะที่พบมากในธรรมชาติ โดยจะพบโครเมียมในรูปไอออน +6 เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะอยู่ในรูปของโครเมต (CrO_4^{2-}) และไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) ขึ้นอยู่กับค่า pH และค่าความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม +6 แบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

ที่ pH ต่ำกว่า 2	โครเมียม +6 จะอยู่ในรูปของ $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
ที่ pH 2-7	โครเมียม +6 จะอยู่ในรูปของ HCrO_4^{2-}
ที่ pH มากกว่า 7	โครเมียม +6 จะอยู่ในรูปของ Cr_4^{2-}

นอกจากนี้ยังพบว่ามีกรนำเอาโครเมียมมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ หลายประเภท เช่น การชุบโลหะ ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ผลิตโลหะผสม (Alloy) ผลิตเม็ดสี ชุบเครื่องประดับ การย้อมผ้า การฟอกหนังสัตว์ เป็นต้น มีรายงานการศึกษาในสัตว์ทดลองและการศึกษาในระดับวิทยา ในคนงานที่สัมผัสกับ Cr^{6+} เป็นเวลานานๆ ที่สนับสนุนว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ซึ่งกลไกของโครเมียมขึ้นอยู่กับเลขออกซิเดชัน คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีในคนทั่วไปมีการประมาณว่าจะได้รับโครเมียมในรูป Cr^{3+} จากอาหารที่บริโภคประจำวัน 50-200 ไมโครกรัม และร้อยละ 3 – 5 ของอาหารที่บริโภคจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ส่วนโครเมียม Cr^{6+} จะถูกดูดซึมจากระบบทางเดินอาหารได้ดีกว่า Cr^{3+} 3 – 5 เท่า นอกจากนี้โครเมียมและสารประกอบโครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจ

2.1.3 การเปลี่ยนรูปโครเมียมในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

การเปลี่ยนรูปของไอออนของโครเมียมในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ขึ้นอยู่ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน

1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นการเปลี่ยนรูปจากโครเมียม (+3) ไปอยู่ในโครเมียม (+6) พบว่าสารประกอบที่เป็นตัวออกซิไดส์โครเมียมในน้ำ คือ แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ออกซิเจนละลายน้ำก็สามารถออกซิไดส์โครเมียมได้แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยา เกิดช้ากว่าการจับตัวกันตกตะกอนของโครเมียม เป็นผลทำให้โครเมียมในดินตกตะกอนไปก่อนได้

2) ปฏิกิริยารีดักชันเป็นการเปลี่ยนรูปจากโครเมียม (+6) ไปอยู่ในรูปโครเมียม (+3) พบว่าสารประกอบที่เป็นตัวรีดิวซ์โครเมียม คือ ซัลไฟด์, การเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์และเหล็ก (+2) โดยปฏิกิริยารีดักชันนี้เกิดขึ้นในสภาพเป็นกรดมีค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 2-3

2.2 ของเสียจากห้องปฏิบัติการ

การทำการทดลองเกี่ยวกับสารเคมี ตัวทำละลาย หรือสารละลายจะต้องเกิดของเสียขึ้นจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการทดลอง ของเสียจำพวกนี้อาจแบ่งแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ของเสียที่ไม่เป็นอันตราย (non-hazardous waste) และของเสียที่เป็นอันตราย (hazardous waste) โดยของเสียที่ไม่เป็นอันตรายสามารถทิ้งได้ตามท่อน้ำทิ้งโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพหรือสิ่งแวดล้อมมากนักแต่ต้องทำการเจือจางก่อนทิ้งหรือมีการทำให้เป็นกลางก่อน ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของของเสีย ปริมาณและความเข้มข้น แต่ของเสียที่เป็นอันตรายจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมหากไม่ได้จัดการอย่างถูกต้องตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย 2535 ของเสียอันตรายอาจจะประกอบด้วยคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งตามคำนิยามของวัตถุอันตราย คือ (วรวิทย์ และ ประเทืองทิพย์, 2556)

- 1) วัตถุระเบิดได้
- 2) วัตถุไวไฟ
- 3) วัตถุออกซิไดซ์และวัตถุเปอร์ออกไซด์
- 4) วัตถุมีพิษ
- 5) วัตถุทำให้เกิดโรค
- 6) วัตถุกัดกร่อน
- 7) วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม
- 8) วัตถุกัดกร่อน
- 9) วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง
- 10) วัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจจะทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์หรือสิ่งแวดล้อม

การกำหนดคำนิยามของของเสียอันตรายที่มีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศสำหรับองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S EPA) โดย Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) ได้กำหนดลักษณะของของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นจากห้องปฏิบัติการดังนี้

1) สารไวไฟ (ignitability) คือ ของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส หรือเป็นสารที่ไม่ใช่ของเหลวแต่สามารถลุกติดไฟได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐานเมื่อเกิดการเสียดสี การดูดความชื้นหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น สารละลายอินทรีย์ สารออกซิไดซ์ เป็นต้น

2) สารกัดกร่อน (corrosivity) คือของเหลวที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่าหรือเท่ากับ 12.5 หรือสูงกว่า เช่น H_2SO_4 , HCl , $NaOH$ เป็นต้น

3) สารเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (reactivity) คือของเสียที่มีสภาพไม่คงตัว สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรุนแรงและรวดเร็วโดยไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น เป็นสารที่ทำให้ปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ เป็นสารที่รวมตัวกันจะเกิดแก๊สที่เป็นพิษ

4) สารพิษ (toxicity) คือของเสียจำพวกโลหะหนักเช่น อาร์เซนิกมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียมมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่วมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรอทมากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

การแบ่งของเสียจากห้องปฏิบัติการอาจจำแนกตามสถานะของของเสียเช่น ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส แต่ถ้าแบ่งตามวิธีการกำจัดหรือบำบัดอาจจำแนกได้ 5 ประเภทคือ

1) ของเสียสารเคมี (chemical waste) ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้สารเคมี ตัวทำละลาย สารละลายอินทรีย์ รวมทั้งสารตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตรวจวิเคราะห์ ของเสียประเภทนี้จัดเป็นของเสียอันตรายที่ต้องผ่านการบำบัดก่อนทิ้ง

2) ของเสียติดเชื้อ (infectious waste) ส่วนใหญ่จะพบจากสถานพยาบาลหรือห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยามากกว่าการทดลองในห้องปกติ เช่นการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ หรือของเสียที่มีเลือดเป็นองค์ประกอบ เป็นต้น

3) ของเสียกัมมันตรังสี (radioactivity) เป็นของเสียอาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส ที่สามารถแพร่กระจายรังสีของอนุภาค แอลฟา (alpha) เบตา (beta) หรือ แกมมา (gamma) รังสีเอกซ์ (x-ray) นิวตรอน โปรตอนและอิเล็กตรอนความเร็วสูง

4) ของเสียแหลมคม (sharp) คือของเสียที่เป็นอันตรายต่อผู้สัมผัสโดยตรงและหากมีการปนเปื้อนสารพิษ สารเคมีหรือเชื้อโรคก็จะมีอันตรายสูงมาก

5) ของเสียที่ไม่เป็นอันตราย (non-hazardous waste) เป็นของเสียที่ไม่มีการปนเปื้อนสารเคมี สารพิษ เชื้อโรคหรือสารกัมมันตรังสี

2.3 ลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

ของเสียที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการเคมีส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวและสารละลาย เนื่องจากการทดลองจะต้องใช้สารเคมีจำนวนมาก เช่น กรดแก่ ต่างแก่ ตัวทำละลายอินทรีย์หรืออนินทรีย์ เป็นต้น รวมทั้งน้ำที่ใช้ล้างอุปกรณ์ เครื่องแก้วต่างๆ ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวข้างต้นนั้นส่วนใหญ่มักถูกทิ้งลงในท่อน้ำทิ้งซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา

2.3.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่นำมาศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการรวบรวมจากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาคาร 18 ชั้น 8 คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี

2.3.2 อันตรายจากสารพิษและโลหะหนักในน้ำเสีย

การปล่อยน้ำเสียที่มีสารพิษและโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเสียก่อนย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ และอาจสะสมในพืชและสัตว์ซึ่งนำไปสู่อันตรายต่อมนุษย์ อันตรายของสารพิษและโลหะหนักที่จัดว่าเป็นปัญหาที่สำคัญและคาดว่าจะพบในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ

2.3.4 วิธีการจำแนกของเสียจากห้องปฏิบัติการ

ของเสียจากห้องปฏิบัติการสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มตามลักษณะของการจัดการดังนี้ (สิริพรรณ, 2556)

1) ของเสียไม่อันตรายที่สามารถปล่อยทิ้งได้ เช่น ของเสียจำพวกเกลือของโลหะหนักที่ไม่เป็นอันตราย ของเสียความเข้มข้นเจือจางที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (มีสารเคมีอยู่ไม่เกินร้อยละ 5) และของแข็งที่ไม่เป็นพิษ

2) ของเสียอันตรายที่ควรบำบัดในเบื้องต้นก่อนส่งทิ้งหรือส่งบำบัด แบ่งออกเป็นสารละลายกรดและเบส ตัวออกซิไดซ์ สารไวต่อน้ำ/อากาศ ของแข็งที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ปนอยู่และสารละลายประกอบด้วยโลหะหนักในปริมาณน้อย (น้อยกว่า 100 mg/L)

3) ของเสียอันตรายที่ต้องส่งกำจัดแบ่งออกเป็น 14 ประเภทหลัก ได้แก่ของเสียพิเศษ ของเสียที่มีไซยาไนด์ ของเสียที่มีสารออกซิไดซ์ ของเสียที่มีปรอท ของเสียที่มีโครเมต ของเสียที่มีโลหะหนัก ของเสียที่เป็นกรด ของเสียที่มีอัลคาไลน์ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ของเสียประเภท oxygenated ของเสียประเภท NPS ของเสียประเภทแฮโลเจน ของแข็ง และของเสียที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายอื่นๆ

4) ของเสียกลุ่มพิเศษ ได้แก่ สารกัมมันตรังสี ของเสียติดเชื้อ แผ่นฟิล์มเอกซเรย์

2.3.5 การจัดการน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี

น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีจัดเป็นน้ำเสียเนื่องจากการปนเปื้อนสารพิษหรือโลหะหนักที่เกิดจากการทดลองที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีชนิดต่างๆ เช่น แก๊สพิษ ตะกอน สารกัมมันตรังสี สารเคมีระเหยและจุลชีพ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดที่ถูกต้องซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการระบายลงสู่ท่อระบายน้ำทิ้งและลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ แม้ว่าสารพิษบางส่วนมีการจัดเก็บในภาชนะต่างๆ ซึ่งก็ยังเป็นปัญหาเพราะต้องส่งกำจัดซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง และบางแห่งมีการกำจัดที่ไม่ถูกต้องโดยให้เทศบาลหรือหน่วยงานภาครัฐดำเนินการฝังกลบเช่นเดียวกับขยะมูลฝอยทั่วไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเวลาต่อมา เช่นคุณภาพดิน คุณภาพน้ำผิวดิน หรือน้ำบาดาล เป็นต้น

ของเสียในห้องปฏิบัติการเคมีมีหลายชนิดแต่ในที่นี้เราจะพิจารณาของเสียที่เป็นน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ น้ำเสียจะมีลักษณะและปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของการทดลอง การใช้สารเคมีอันตรายของสารเคมี เป็นต้น น้ำเสียที่เกิดขึ้นก็เกิดจากสาเหตุที่ต่างกัน ดังนั้นในการจัดการน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการต้องพิจารณาชนิดของน้ำเสียเป็นสำคัญ วิธีการบำบัดที่เหมาะสมแบ่งตามประเภทของเสียได้ 23 ประเภท ดังนี้ (ศิษยา และ สิริโสภา, 2542)

- 1) น้ำเสียที่เป็นกรด
- 2) น้ำเสียที่เป็นเบส
- 3) น้ำเสียที่เป็นเกลือ

- 4) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยฟลูออไรด์
- 5) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยไซยาไนด์
- 6) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยไซยาไนด์ที่สลายตัวยาก
- 7) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยโครเมียม (VI)
- 8) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยปรอทอินทรีย์
- 9) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยปรอทอนินทรีย์
- 10) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยอาร์เซนิก
- 11) น้ำเสียที่เป็นไอออนของโลหะหนัก
- 12) น้ำเสียที่เป็นสารออกไซด์
- 13) น้ำเสียที่เป็นสารรีดิคซ์
- 14) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่สามารถเผาได้ เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์
- 15) น้ำเสียที่เป็นน้ำมัน
- 16) น้ำเสียที่เผาไหม้ยาก เช่น สารประกอบอินทรีย์ของสารฮาโลเจน
- 17) น้ำเสียที่เป็นของเหลวอินทรีย์ที่ประกอบด้วยน้ำ
- 18) น้ำเสียที่เป็นสารไวไฟพิเศษ
- 19) น้ำเสียที่ได้จากการถ่ายภาพ
- 20) ของเสียที่ระเหยได้
- 21) สารกัมมันตรังสี
- 22) น้ำเสียที่มีจุลินทรีย์
- 23) ของเสียจาก pilot plant

2.4 วิธีการบำบัดน้ำเสีย

วิธีการบำบัดน้ำเสียในท้องปฏิบัติการเคมีอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือการบำบัดทางเคมี และการบำบัดทางกายภาพ การเลือกวิธีการบำบัดขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียหรือน้ำเสียบางประเภทจำเป็นต้องใช้การบำบัดทั้ง 2 ประเภทร่วมกัน

2.4.1 น้ำเสียที่มีปรอท

น้ำเสียที่มีปรอทมีวิธีการบำบัด 2 วิธี คือ

1) วิธีตกตะกอนซัลไฟด์ (sulfide sedimentation) วิธีนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีปรอทสูงโดยทำการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6-8 แล้วตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) น้ำที่ผ่านการตกตะกอนซัลไฟด์ต้องไปบำบัดก่อนด้วยวิธีดูดซับด้วยคลีเรตเรซิน (chelate resin adsorption)

2) วิธีการดูดซับด้วยคลีเรตเรซิน (chelate resin adsorption) วิธีนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีปรอทต่ำๆ ทำการกรองสารแขวนลอยแล้วทำการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 4-7 แล้วไปบำบัดต่อด้วยวิธีดูดซับด้วยคลีเรตเรซิน

2.4.2 น้ำเสียที่มีไซยาไนด์

น้ำเสียประเภทนี้จัดเป็นน้ำเสียที่มีความเป็นอันตรายสูง วิธีการบำบัดโดยการออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) เพื่อเปลี่ยนไซยาไนด์ให้อยู่ในรูปแบบทางเคมี (chemical form) ที่ไม่อันตรายและควรเก็บภายใต้ pH มากกว่า 10.5

2.4.3 น้ำเสียที่มีฟลูออไรด์

น้ำเสียประเภทนี้บำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หรือแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เรียกว่า calcification

2.4.4 น้ำเสียที่มีฟอสฟอรัส

น้ำเสียประเภทนี้บำบัดด้วยการตกตะกอนเช่นเดียวกับน้ำเสียที่มีฟลูออไรด์

2.4.5 น้ำเสียที่มีโลหะหนักทั่วไป

น้ำเสียที่มีโลหะหนักทั่วไปที่ไม่ใช่ โครเมียม (VI) และแคดเมียม มีวิธีการบำบัด 3 วิธี

- 1) การตกตะกอน (precipitation) โดยการปรับ pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อตกตะกอนโลหะให้

อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะตกตะกอนได้ที่ pH กัน

- 2) วิธีเฟอร์ไรท์ (ferrite method) โดยการใส่ฟอสฟอรัสและโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อตกตะกอนโลหะหนัก

- 3) วิธีการดูดซับ (adsorption) วิธีเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะปริมาณต่ำ (น้อยกว่า 100 mg/L) โดยทำการดูดซับโลหะหนักด้วยคลีเรตเรซิน

2.4.6 น้ำเสียที่เป็นกรด-ด่าง

ในการบำบัดน้ำเสียประเภทนี้จะต้องทำให้สารละลายเป็นกลาง (neutralization) โดยการทำปฏิกิริยากับกรดหรือเบสก่อนทิ้ง

2.5 กระบวนการเกาะติดผิว (Adsorption)

2.5.1 ทฤษฎีการเกาะติดผิว

การเกาะหรือการเกาะติดผิวเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับหรือติดบนผิวของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ adsorbate เรียกว่า adsorbent ตัวอย่างการเกาะติดผิวของโมเลกุลสีด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

2.5.2 กลไกการเกาะติดผิว

การเกาะติดผิวของสารประกอบอินทรีย์เกิดจากแรงรวมตัว (binding force) หลายชนิดระหว่างโมเลกุลของสารอินทรีย์และพื้นที่ผิวของคาร์บอน ซึ่งแรงทั้งหมดมีแหล่งที่มาจากอันตรกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic interaction) การเกาะติดผิวที่สำคัญมี 2 แบบคือการเกาะติดผิวทางกายภาพ (physisorption) และการเกาะติดผิวทางเคมี (chemisorption) การเกาะติดผิวทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้และยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้ เนื่องจากการเกาะติดผิวเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (mass transfer) จากก๊าซ-ของเหลว, ของแข็ง-ของแข็ง, ก๊าซ-ของแข็ง, ของเหลว-ของเหลว

หรือ ของแข็ง-ของแข็ง ซึ่งปรากฏการณ์มีขั้นตอนการเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะติดต่อกัน ดังแสดงกลไกการเกาะติดผิวของเม็ดถ่านในการกำจัดน้ำเสียดังนี้

ระยะที่ 1 โมเลกุลหรือคอลลอยด์ (adsorbate) จะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของเม็ดถ่าน

ระยะที่ 2 โมเลกุลหรือคอลลอยด์จะฟุ้งกระจาย (diffusion) เข้าไปในรูพรุนของเม็ดถ่าน

ระยะที่ 3 เกิดการเกาะติดผิวในรูพรุนนี้ระหว่าง adsorbate และพื้นที่ผิวของเม็ดถ่านซึ่งอาจติดติดด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้ง 2 ชนิดพร้อมกัน แต่ในทางการกำจัดน้ำเสียการเกาะติดผิวจะพิจารณาการเกาะติดผิวด้วยแรงทางฟิสิกส์มากกว่าทางเคมี แสดงกลไกการเกาะติดผิวดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 รูปตัดโพรงหรือช่องว่างภายในของถ่านกัมมันต์

ที่มา : (Bruce *et. al*, 2007)

2.5.3 อัตราการเกาะติดผิว (rate of adsorption)

อัตราการเกาะติดผิวมีความสำคัญอย่างมาก อัตราการเกาะติดผิวที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วยิ่งขึ้น อัตราการเกาะติดผิวจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการเกาะติดผิว ขั้นตอนในการติดผิวของสารจากสารละลายโดยสารเกาะติดผิวที่มีรูพรุนมี 3 ขั้นตอน คือ

- 1) การขนส่งทั้งก้อน (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวต่างๆ ที่ห่อหุ้มสารเกาะติดผิว
- 2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวต่างๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารเกาะติดผิว การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการเกาะติดผิวอีกขั้นตอนหนึ่ง
- 3) การขนส่งภายในอนุภาค (intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารเกาะติดผิว (pore diffusion) และทำให้เกิดการเกาะติดผิวขึ้น

2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว (factor influencing adsorption)

1) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดติดผิว (size and surface area) ความสามารถในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิว มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดติดเป็นส่วนผกผันกับขนาดของสารที่ถูกดูดติดผิว เนื่องจากปฏิกิริยาที่พื้นที่ผิวเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของพื้นที่ผิว อัตราการดูดติดผิวเป็นส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดติดผิวเมื่อสารดูดติดผิวไม่มีความพรุน สำหรับการดูดติดผิวที่มีความพรุนอัตราการเคลื่อนที่สู่พื้นผิวในรูปพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกกันว่าการขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) ดังนั้น อัตราการดูดติดผิวจะเป็นอัตราส่วนเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดติดผิว ในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเป็นส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดติดผิว

2) ขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดติดผิว (molecular size of the adsorbate) สิ่งสำคัญในการดูดติดผิวตัวถูกละลายจากสารละลายอย่างหนึ่งก็คือความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากการดูดติดผิวตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการละลายของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อความยาวพันธะลูโกโซยาวขึ้น โมเลกุลของสารที่มีขนาดใหญ่เช่น $-CH_2-$ มีความสามารถในการละลายน้ำลดลงและความสามารถในการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งโมเลกุลมีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูพรุนเนื่องจากโมเลกุลมีขนาดเพิ่มขึ้นอัตราการแพร่เข้าสู่ถ่านกัมมันต์ก็จะลดลง

3) ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดติดผิว (adsorbate concentration) ความเข้มข้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการดูดติดผิว อัตราการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย ความเข้มข้นเริ่มต้นจะเป็นการเพิ่มปริมาณของสารที่ถูกกำจัดจากสารละลายต่อหน่วยเวลา แต่จะไม่มีผลต่อเวลาในการกำจัดส่วนที่เท่ากันจากค่าการดูดติดผิวสูงสุดของสารที่ปริมาณต่างกัน

4) พีเอช (pH) ผลจากพีเอชต่อการเกาะติดผิวนั้นพบว่ากระบวนการเกาะติดผิวต้องขึ้นกับพีเอชและพบว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญที่กำหนดความสามารถของการเกาะติดผิวซึ่งจะสามารถอธิบายคือที่พีเอชต่ำ (สภาวะเป็นกรด) จะไม่เกิดการเกาะติดผิวเลยแต่เมื่อพีเอชเริ่มเพิ่มขึ้นถึงแม้จะเป็นช่วงแคบๆ แค่ 1-2 หน่วยก็ตาม ที่จุดนั้นการเกาะติดผิวเริ่มเกิดขึ้นมากเรื่อยๆ จาก 0 จนเกือบจะถึง 100 % แต่ถ้าพีเอชยังคงเพิ่มต่อไปเรื่อยๆ จะทำให้เกิดการคายสารที่ติดผิวออกมา ดังนั้นช่วงพีเอชที่น่าสนใจจึงแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงพีเอชที่ทำให้เกิดการเกาะติดผิวมากที่สุดและช่วงพีเอชที่ทำให้เกิดการคายสาร ซึ่งทั้งสองช่วงนี้จะเกิดขึ้นที่พีเอชสูงๆ นอกจากจะขึ้นอยู่กับพีเอชแล้วจำนวนประจุของไอออนบวกก็มีผลด้วย สำหรับสารอินทรีย์ที่มีความเป็นกรด-เบสอ่อนๆ ค่าพีเอชจะมีความสำคัญอย่างมากต่อการดูดติดผิว โดยเมื่อโมเลกุลอยู่ในช่วงพีเอชที่เป็นกลางความสามารถในการดูดติดผิวจะสูงเมื่อพีเอชอยู่ในช่วงที่เป็นไอออนิก เมื่อแรงดึงดูดของน้ำมีค่าสูงอัตราการดูดติดผิวจะมีค่าต่ำ

5) ความปั่นป่วน (Mixing speed) อัตราเร็วในการดูดติดผิวขึ้นอยู่กับอัตราการส่งผ่านโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ขั้นตอนจะประกอบไปด้วยการแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ในระบบที่มีช่องไหลที่มีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มของเหลวที่อยู่ล้อมรอบสารดูดติดผิวจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดติดผิว ในกรณีนี้การแพร่ผ่านฟิล์มจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ในทางกลับกันระบบที่

ของเหลวมีความปั่นป่วนสูงความหนาของชั้นฟิล์มที่ลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดติดผิวเร็วขึ้น ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว

6) ระยะเวลาสัมผัส (contact time) เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิว และอายุการใช้งานของคอลัมน์ เวลาสัมผัสที่ยาวนานและปริมาณสารในน้ำที่มีจำนวนน้อยๆ จะช่วยให้อายุการใช้งานของสารเกาะติดผิวนานขึ้น

7) อุณหภูมิ (temperature) การเกาะติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นความสามารถในการเกาะติดผิวจะลดลง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยไม่มีผลมากกับการเกาะติดผิว

2.5.5 สมดุลของการเกาะติดผิว

สมดุลของการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นเมื่อสารที่ถูกเกาะติดผิววัสดุดูดซับเคลื่อนย้ายจากน้ำเข้ามายังตัวเกาะติดผิวจนกระทั่งความเข้มข้นของ adsorbate ในน้ำเท่ากับความเข้มข้นใน adsorbent ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ นั้นเราใช้ adsorption isotherm เป็นตัวแทนในการอธิบายความสมดุลที่เกิดขึ้น adsorption isotherm คือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกเกาะติดผิวต่อหน่วยน้ำหนักของ adsorbent และความเข้มข้นของสารนั้นที่ยังเหลืออยู่ในน้ำแล้วนำไปพลอตกราฟลอการิทึม โดยให้ความเข้มข้นของสารนั้นที่ยังเหลืออยู่ในน้ำเป็นแกนในแนวนอนและปริมาณสารที่ถูกเกาะติดผิวต่อหน่วยน้ำหนัก adsorbent เป็นแนวตั้ง เส้นโค้งที่เกิดจากการลากผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมดเรียกว่า adsorption isotherm ซึ่งมีประโยชน์มากในการหาความสามารถในการเกาะติดผิวของสิ่งสกปรกในน้ำเพื่อเปรียบเทียบชนิดของ adsorbent ที่ดีที่สุด

Adsorption isotherm มีหลายชนิด เนื่องจากมีหลายทฤษฎีที่นำมาอธิบายเกี่ยวกับสมดุลของการเกาะติดผิวที่เกิดขึ้น แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Langmuir adsorption isotherm และ Freundlich adsorption isotherm

สมมติฐานที่สำคัญของแบบจำลอง Langmuir

- 1) ผิวเคลือบทุกจุดมีความสามารถในการเกาะติดผิวได้เท่าเทียมกัน ในกรณีนี้คิดว่าบนผิวเคลือบที่มีจุดกัมมันต์ก็ให้ถือว่าจุดกัมมันต์แต่ละจุดมีความสามารถในการเกาะติดผิวเท่ากัน
- 2) โมเลกุลที่เกาะติดผิวอยู่มาปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน
- 3) การเกาะติดผิวเกิดขึ้นจากกลไกที่เหมือนกัน และสารที่เกาะติดผิวมีโครงสร้างเหมือนกัน
- 4) การเกาะติดผิวเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียวแบบผิวของแข็ง

Langmuir adsorption isotherm มีสมการดังนี้

$$x/m = abC/(1 + bC) \quad (1)$$

จาก (1) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

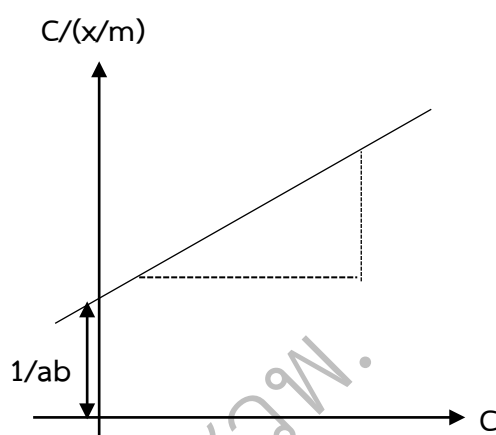
$$C/(x/m) = 1/ab + (1/a)C \quad (2)$$

เมื่อ

$$x = \text{ปริมาณมวลสาร (adsorbate) ที่ถูกกำจัด} = (C_0 - C)V \text{ มก.}$$

m	=	ปริมาณตัวเกาะติดผิว (adsorbate) มก.
C_0	=	ความเข้มข้นเริ่มต้นของมวลสารก่อนผ่านการเกาะติดผิว, มก./ล.
C	=	ความเข้มข้นของมวลสารหลังจากเกาะติดผิว, มก./ล.
V	=	ปริมาตรของน้ำที่ใช้ในการทดลอง, ลิตร
a, b	=	ค่าคงที่

จากสมการที่ (1) และ (2) และผลการทดลองการเกาะติดผิวที่ได้ พล็อตกราฟระหว่างค่า C และ $C/(x/m)$ ในกระดาษกราฟธรรมดา ดังภาพที่ 2.2 สำหรับค่าพารามิเตอร์ a และ b สามารถหาได้จากค่า slope และ intercept ของเส้นกราฟดังกล่าว



ภาพที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Langmuir isotherm

Freundlich adsorption isotherm

Freundlich ได้ทำการพัฒนาสมการความสัมพันธ์ของไอโซเทอมซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการศึกษาการเกาะติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ในน้ำเสีย สมการของ Freundlich adsorption isotherm มีดังนี้

$$x/m = kC^{1/n} \quad (3)$$

เมื่อ

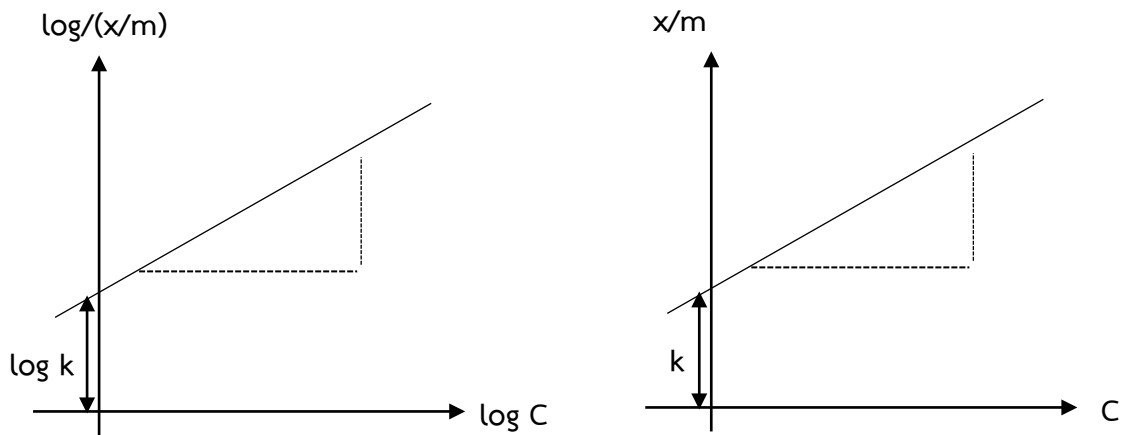
k, n ค่าคงที่

จากสมการ (3) ทำให้อยู่ในรูปของ logarithm ได้ดังนี้

$$\log(x/m) = \log k + (1/n) \log C \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) และผลการทดลองการเกาะติดผิวที่ได้สามารถพล็อตกราฟระหว่างค่า $\log C$ และ $\log(x/m)$ ในกระดาษกราฟหรือพล็อตค่า C และ (x/m) ในกระดาษกราฟ $\log - \log$ แสดงในภาพที่ 2.3 เพื่อนำกราฟเส้นตรงที่ได้ไปคำนวณค่าคงที่

จากการทดลองหาความสัมพันธ์ adsorption isotherm สามารถเลือกใช้ชนิดของถ่านกัมมันต์ได้เหมาะสม อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้อาจไม่เพียงพอต่อการออกแบบจะต้องมีการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์เพื่อหาอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ชนิดที่เลือกไว้แล้วว่าเมื่ออายุเท่าไรจึงจะเสื่อมคุณภาพ



ภาพที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Freundlich isotherm

สวพ.
มทร.สุวรรณภูมิ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการจากสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมโดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการเรียนการสอนของนักศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

3.2 การเตรียมกากกาแฟและเปลือกไข่ที่ใช้ในการทดลอง

- เปลือกไข่

- 1) นำเปลือกไข่ไก่ที่ใช้แล้วล้างด้วยน้ำประปาหลายๆ หลังจากนั้นนำไปผึ่งแดดให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน
- 2) ทำการบดเปลือกไข่หลังจากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรงคัดขนาด จนได้เปลือกไข่ขนาด 4.75 มิลลิเมตร
- 3) นำเปลือกไข่ที่ผ่านการร่อนคัดขนาดแล้วในข้อที่ 2) มาแช่น้ำกลั่นเพื่อให้เยื่อของเปลือกไข่หลุดออกมา
- 4) ตากเปลือกไข่ทิ้งไว้ให้แห้ง
- 5) ทำการอบเปลือกไข่ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

- กากกาแฟ

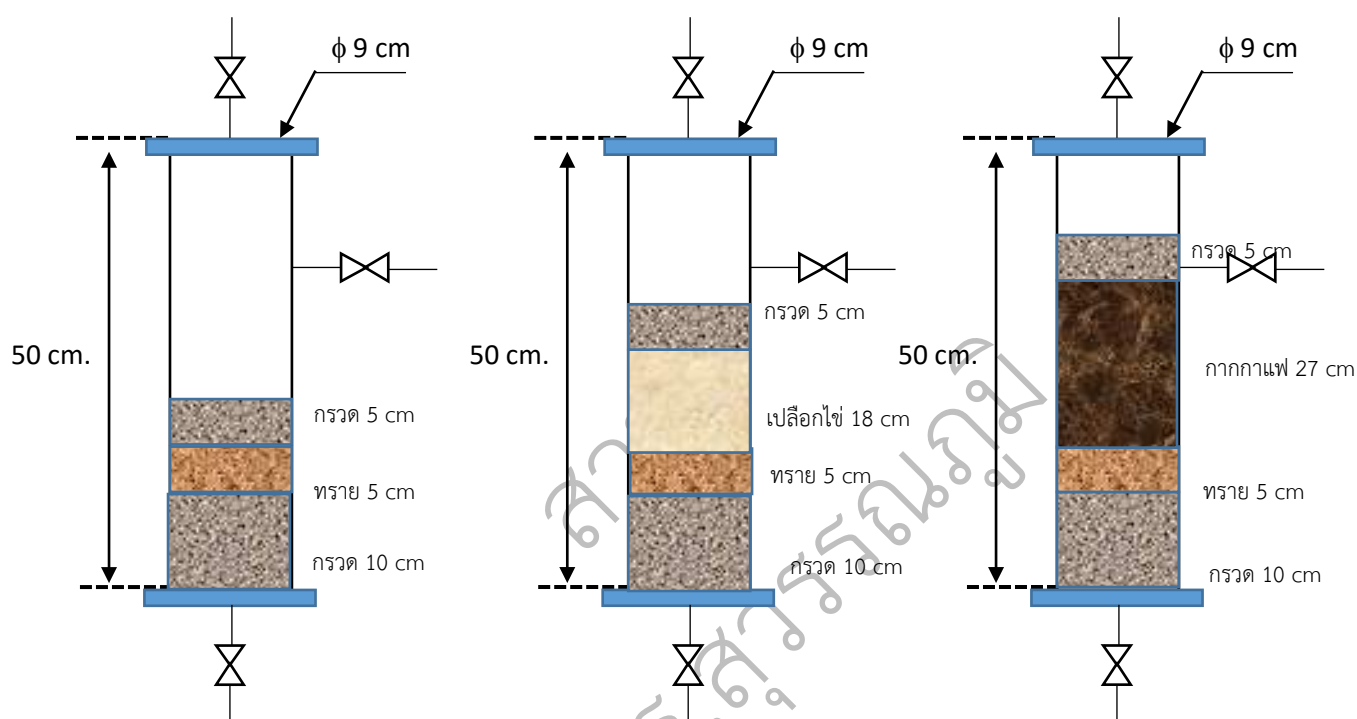
- 1) นำกากกาแฟที่ใช้แล้วตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน
- 2) แช่กากกาแฟทิ้งไว้ 3 วันโดยเปลี่ยนน้ำทุกวัน
- 3) ล้างกากกาแฟด้วยน้ำประปา 5 – 10 ครั้ง
- 4) ตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 – 2 วัน
- 5) นำกากกาแฟเข้าตูอบที่ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



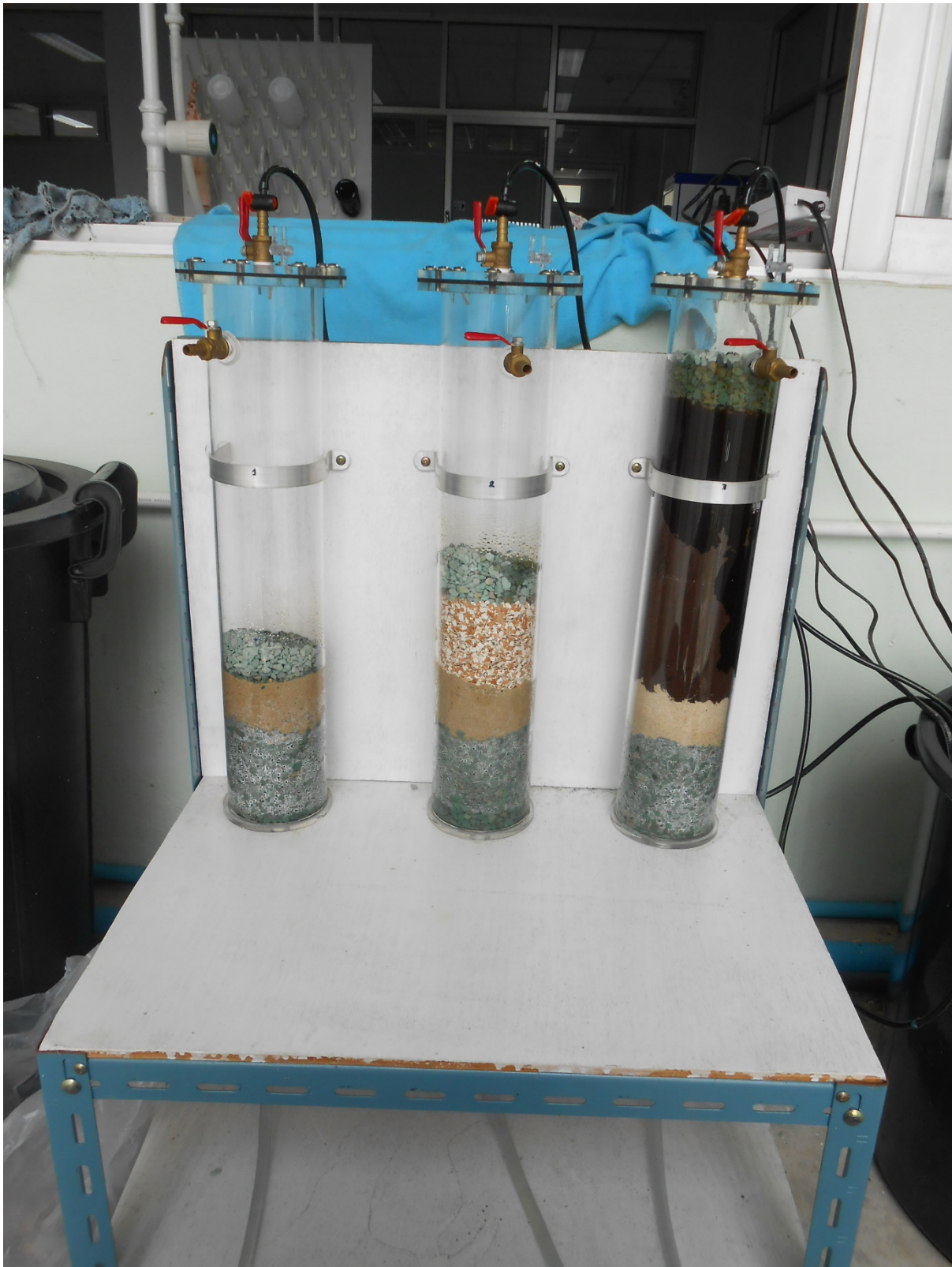
ภาพที่ 3.1 กากกาแฟและเปลือกไข่ที่ใช้ในการทดลอง

3.3 คอลัมน์สำหรับดูดซับที่ใช้ในการทดลอง

คอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองทำจากอะคริลิกใสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตรจำนวน 3 คอลัมน์ โดยในคอลัมน์ (ควบคุม) ประกอบไปด้วยกรวดหยาบ 10 เซนติเมตร ททราย 5 เซนติเมตรและกรวดหยาบอีก 5 เซนติเมตร คอลัมน์ที่ 2 ประกอบไปด้วยกรวดหยาบ 10 เซนติเมตร ททราย 5 เซนติเมตร เปลือกไข่ 18 เซนติเมตรและกรวดหยาบอีก 5 เซนติเมตร และคอลัมน์ที่ 3 ประกอบไปด้วยกรวดหยาบ 10 เซนติเมตร ททราย 5 เซนติเมตร กากกาแฟ 27 เซนติเมตรและกรวดหยาบอีก 5 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดของคอลัมน์แสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การจัดเรียงสารดูดซับลงในคอลัมน์ดูดซับ



ภาพที่ 3.3 ระบบบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการโดยใช้คอลัมน์ในการดูดซับ

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองศึกษาดังนี้

- การหาค่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม
- การหาค่าปริมาณของวัสดุดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม
- การทดสอบหาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมด้วยคอลัมน์ดูดซับ

3.4.1 การหาค่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมของเปลือกไข่และกากกาแฟ

กากกาแฟ

ใบ

- 1) นำน้ำเสียปริมาตร 800 มิลลิลิตรต่อกากกาแฟ 20 กรัมตามลำดับใส่ลงในปิกลอร์ทั้ง 6
- 2) ทำการกวนด้วยเครื่อง Jar Test ด้วยความเร็ว 200 rpm ที่เวลา 10 20 80 100 นาทีตามลำดับ
- 3) ทำการวัดค่า pH และ Cr^{6+}

เปลือกไข่

ใบ

- 1) นำน้ำเสียปริมาตร 800 มิลลิลิตรต่อกากกาแฟ 20 กรัมตามลำดับใส่ลงในปิกลอร์ทั้ง 6
- 2) ทำการกวนด้วยเครื่อง Jar Test ด้วยความเร็ว 200 rpm ที่เวลา 10 20 80 100 นาทีตามลำดับ
- 3) ทำการวัดค่า pH และ Cr^{6+}

3.4.2 การหาค่าตัวกลางที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมของเปลือกไข่และกากกาแฟ

กากกาแฟ

- 1) นำน้ำเสียปริมาตร 400 มิลลิลิตรต่อกากกาแฟ 3 9 15 21 และ 30 กรัม ในปิกลอร์ใบที่ 1 – 5 ตามลำดับส่วนใบที่ 6 เป็น Control
- 2) ทำการกวนด้วยเครื่อง Jar Test ด้วยความเร็ว 200 rpm ที่เวลา ที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด Cr^{6+} ที่ดีที่สุด (จากผลการทดลอง 3.4.1)
- 3) ทำการวัดค่า pH และ Cr^{6+}

เปลือกไข่

- 1) นำน้ำเสียปริมาตร 400 มิลลิลิตรต่อเปลือกไข่ 3 9 15 21 และ 30 กรัม ในปิกลอร์ใบที่ 1 – 5 ตามลำดับส่วนใบที่ 6 เป็น Control
- 2) ทำการกวนด้วยเครื่อง Jar Test ด้วยความเร็ว 200 rpm ที่เวลา ที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด Cr^{6+} ที่ดีที่สุด (จากผลการทดลอง 3.4.1)
- 3) ทำการวัดค่า pH และ Cr^{6+}

3.4.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมด้วยคอลัมน์ดูดซับ

ทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบโดยทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ของน้ำเสียที่เข้า – ออกระบบแสดงดังตารางที่ 3.1 และรูปแบบการป้อนน้ำเสียในคอลัมน์ทั้ง 3 คอลัมน์มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 0.30 มิลลิลิตรต่อวินาทีในคอลัมน์ที่มีการบรรจุกากกาแฟ
- 2) ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 0.20 มิลลิลิตรต่อวินาทีในคอลัมน์ที่มีการบรรจุเปลือกไข่
- 3) ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล XXX ในคอลัมน์ควบคุม

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	-	WTM03
โครเมียม (Cr^{6+})	mg/L	Colorimetric

หมายเหตุ: WTM03: In-house method : WTM03 base on Standard Method for Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF 21st Edition 2005, part 4500-H+B

สวพ.
ม.ทร.สุวรรณภูมิ

บทที่ 4

ผลการดำเนินการทดลอง

4.1 คุณสมบัติน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่นำมาใช้ในการศึกษาทดลองนั้น ผู้ทำการทดลองได้นำน้ำเสียมาใช้ในการทดลองแบบกะ (Batch Experiment) และการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Experiment)

น้ำเสียที่ใช้สำหรับการทดลองแบบกะ (Batch Experiment)

น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมโดยน้ำเสียมีคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์ (สำหรับการทดลองแบบกะ)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่า	วิธีการวิเคราะห์
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	-	0.3 ±0.15	WTM03
โครเมียม (Cr ⁶⁺)	mg/L	0.213 ±0.01	Colorimetric

หมายเหตุ: WTM03: In-house method : WTM03 base on Standard Method for Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF 21st Edition 2005, part 4500-H+B

น้ำเสียที่ใช้สำหรับการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Experiment)

น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมโดยน้ำเสียมีคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์ (สำหรับการทดลองแบบต่อเนื่อง)

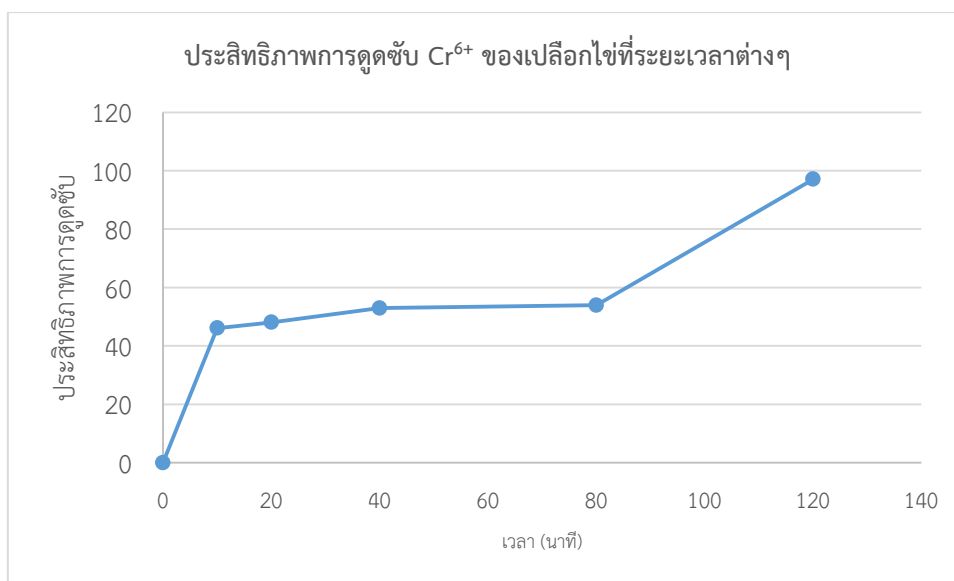
พารามิเตอร์	หน่วย	ค่า	วิธีการวิเคราะห์
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	-	1.85 ±0.19	WTM03
โครเมียม (Cr ⁶⁺)	mg/L	0.187 ± 0.02	Colorimetric

หมายเหตุ: WTM03: In-house method : WTM03 base on Standard Method for Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF 21st Edition 2005, part 4500-H+B

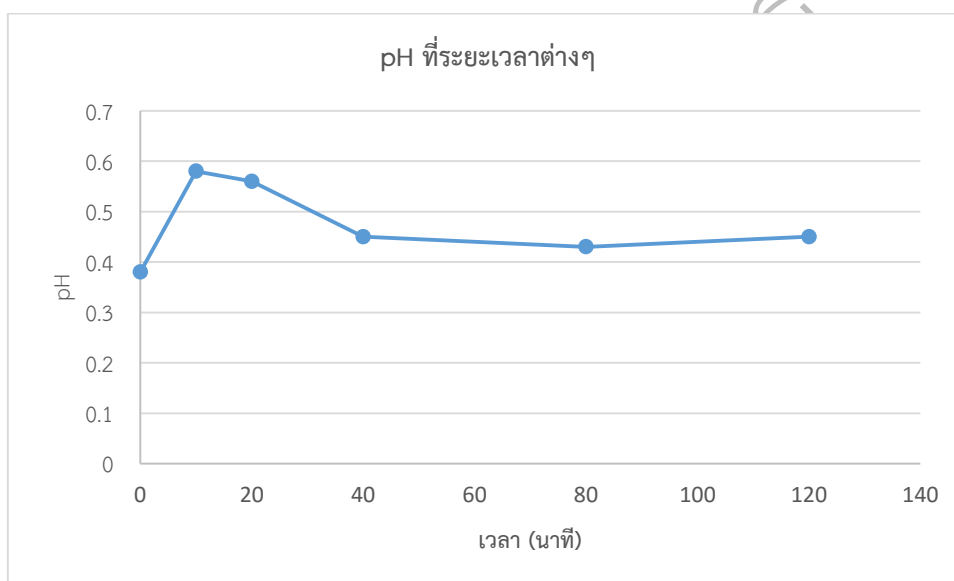
4.2 ประสิทธิภาพของเปลือกไข่และกากกาแฟในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

4.2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ Cr⁶⁺ ของเปลือกไข่ไก่

1) การทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ Cr⁶⁺ ของเปลือกไข่ไก่ ด้วยการเกาะติดผิวโดยใช้น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการมีค่า pH เริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.15 – 0.45 ความเข้มข้นของ Cr⁶⁺ อยู่ในช่วง 0.203 – 0.223 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้น้ำเสียปริมาตร 800 มิลลิลิตรต่อเปลือกไข่ 20 กรัม ทำการกวนด้วยเครื่อง Jar Test ด้วยความเร็ว 200 rpm ที่เวลา 10 20 40 80 120 นาทีตามลำดับจากผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลา 120 นาทีเปลือกไข่ไก่มีความสามารถในการดูดซับ Cr⁶⁺ สูงที่สุดโดยมีประสิทธิภาพ 97.05 % แสดงดังภาพที่ 4.1 และนอกจากนี้ยังพบว่าค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำเสียที่ทำการดูดซับโดยใช้เปลือกไข่ที่ระยะเวลาต่างๆ นั้นมีค่าไม่ต่างกันแสดงดังภาพที่ 4.2

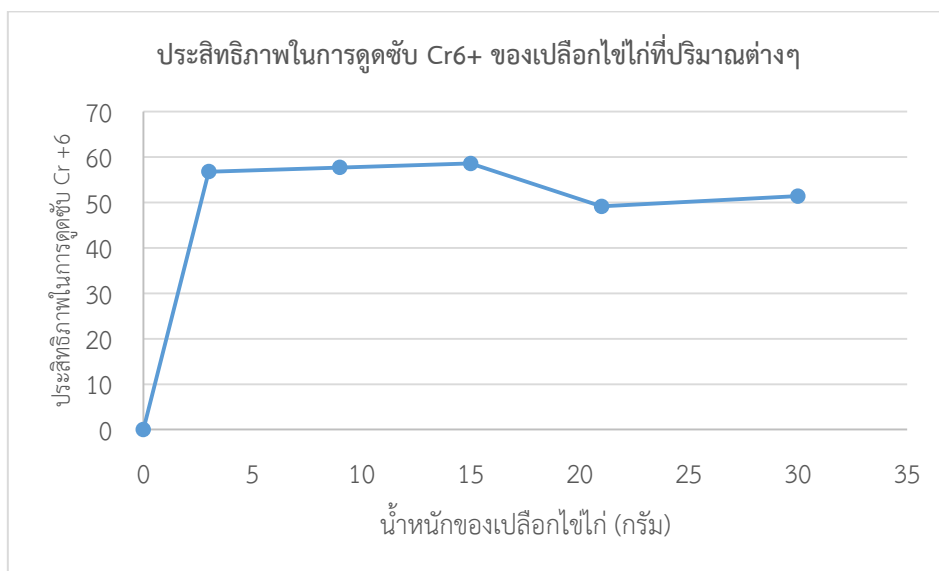


ภาพที่ 4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับ Cr^{6+} ของเปลือกไข่ไก่ที่ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.2 ค่า pH ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากการดูดซับ Cr^{6+} โดยเปลือกไข่

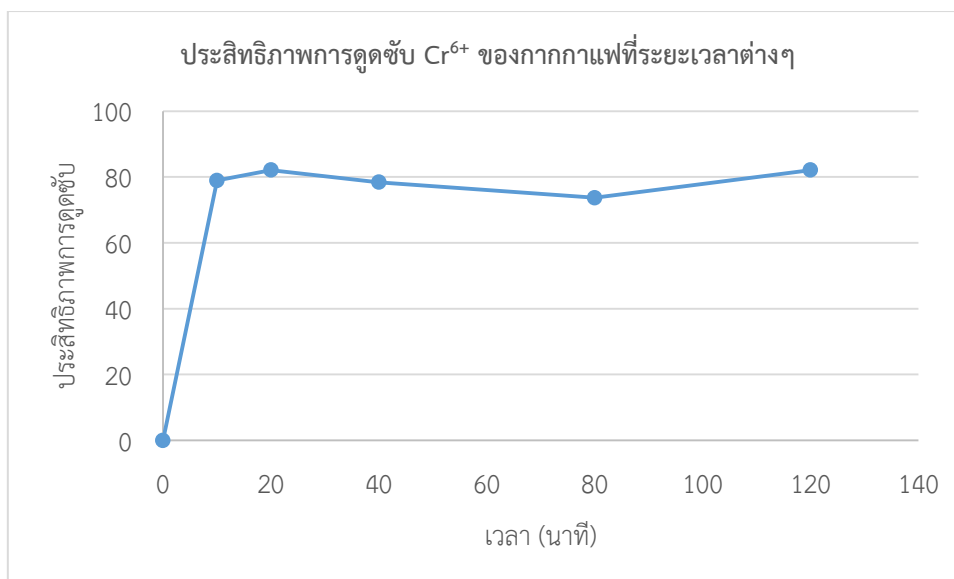
2) การทดลองหาปริมาณของเปลือกไข่ไก่ (วัสดุดูดซับที่เหมาะสม) ต่อกระบวนการดูดซับ โดยใช้น้ำเสียปริมาตร 400 มิลลิลิตร และทำการแปรผันปริมาณของเปลือกไข่ไก่เป็น 3 9 15 21 และ 30 กรัมตามลำดับ ทำการกวนด้วยเครื่อง Jar Test ด้วยความเร็ว 200 rpm เป็นระยะเวลา 120 นาที (จากผลการทดลองในข้อ 1) จากผลการทดลองพบว่าที่ปริมาณของเปลือกไข่ไก่ 15 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร (คิดเป็นอัตราส่วน (เปลือกไข่ไก่ (กรัม) : น้ำเสีย (มิลลิลิตร) 1 : 26.6) ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr^{6+} ดีที่สุดคือ ร้อยละ 58.55 แสดงดังภาพที่ 4.3



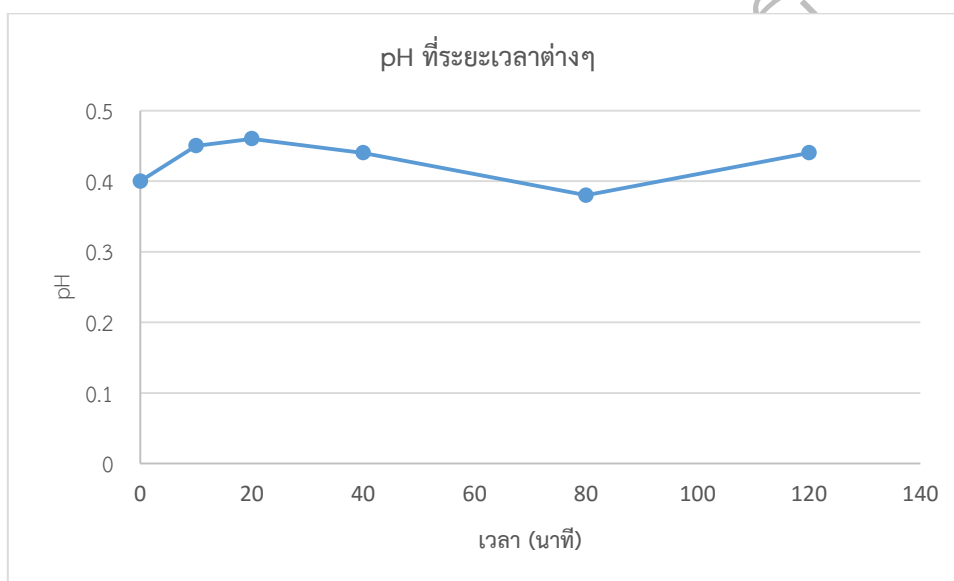
ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับ Cr^{6+} ที่เปลือกไข่ไก่ปริมาณต่างๆ

4.2.2 การศึกษาหาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ Cr^{6+} ของกากกาแพ

1) การทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ Cr^{6+} ของกากกาแพ ด้วยการเกาะติดผิวโดยใช้น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการมีค่า pH เริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.15 – 0.45 ความเข้มข้นของ Cr^{6+} อยู่ในช่วง 0.203 – 0.223 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้น้ำเสียปริมาตร 800 มิลลิลิตรต่อกากกาแพ 20 กรัม ทำการกวนด้วยเครื่อง Jar Test ด้วยความเร็ว 200 rpm ที่เวลา 10 20 40 80 120 นาทีตามลำดับจากผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลา 120 นาที กากกาแพมีความสามารถในการดูดซับ Cr^{6+} สูงที่สุดโดยมีประสิทธิภาพ 82.10 % แสดงดังภาพที่ 4.4 และนอกจากนี้ยังพบว่าค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำเสียที่ทำการดูดซับโดยใช้เปลือกไข่ที่ระยะเวลาต่างๆ นั้นมีค่าไม่ต่างกันแสดงดังภาพที่ 4.5

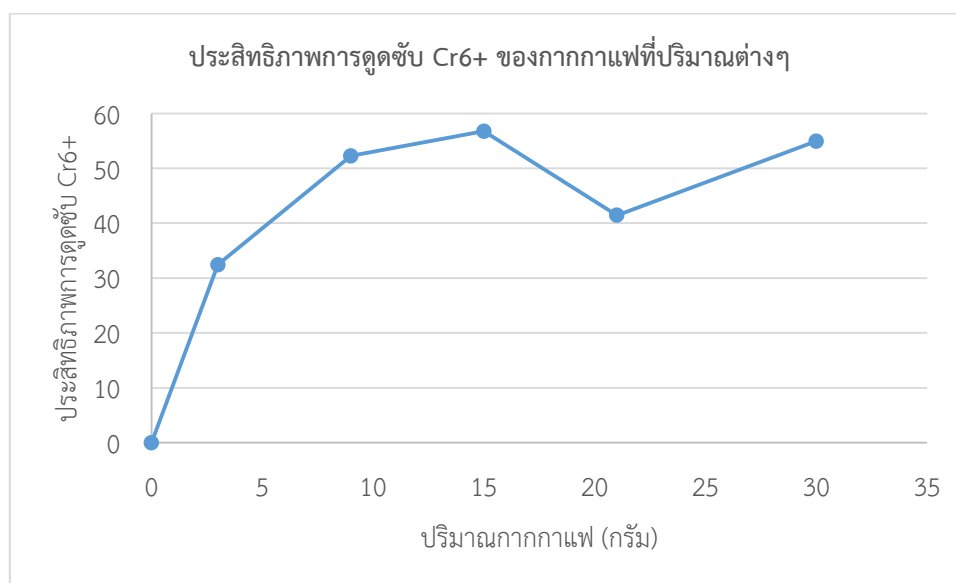


ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับ Cr^{6+} ของกากกาแฟที่ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.5 ค่า pH ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากการดูดซับ Cr^{6+} โดยกากกาแฟ

2) การทดลองหาปริมาณของกากกาแฟ (วัสดุดูดซับที่เหมาะสม) ต่อกระบวนการดูดซับ โดยใช้ น้ำเสียปริมาตร 400 มิลลิลิตร และทำการแปรผันปริมาณของกากกาแฟเป็น 3 9 15 21 และ 30 กรัมตามลำดับ ทำการกวนด้วยเครื่อง Jar Test ด้วยความเร็ว 200 rpm เป็นระยะเวลา 120 นาที (จากผลการทดลองในข้อ 1) จากผลการทดลองพบว่าที่ปริมาณของกากกาแฟ 15 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร (คิดเป็นอัตราส่วน (กากกาแฟ (กรัม) : น้ำเสีย (มิลลิลิตร) 1 : 26.6)ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr^{6+} ดีที่สุดคือ ร้อยละ 56.75 แสดงดังภาพที่ 4.6

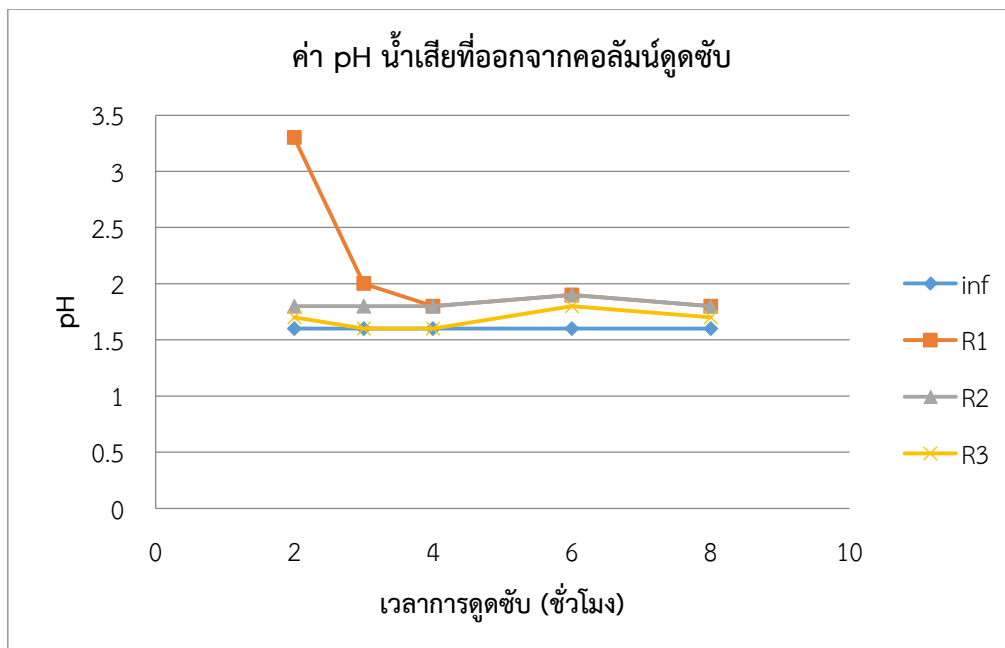


ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการดูดซับ Cr⁶⁺ ของกากกาแฟที่ปริมาณต่างๆ

4.3 ประสิทธิภาพของเปลือกไข่และกากกาแฟในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการร่วมกับระบบชั้นกรองแบบหลายชั้น

4.3.1 ค่าความเป็นกรด - ด่าง

จากผลการทดลองพบว่าในคอลัมน์ที่ 1 (คอลัมน์ควบคุม) มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 1.52 – 2.80 คอลัมน์ที่ 2 (เปลือกไข่ไก่) มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 1.78 – 1.86 คอลัมน์ที่ 3 (กากกาแฟ) มีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 1.60 – 1.76 ตลอดระยะเวลาการดูดซับแสดงดังภาพที่ 4.7



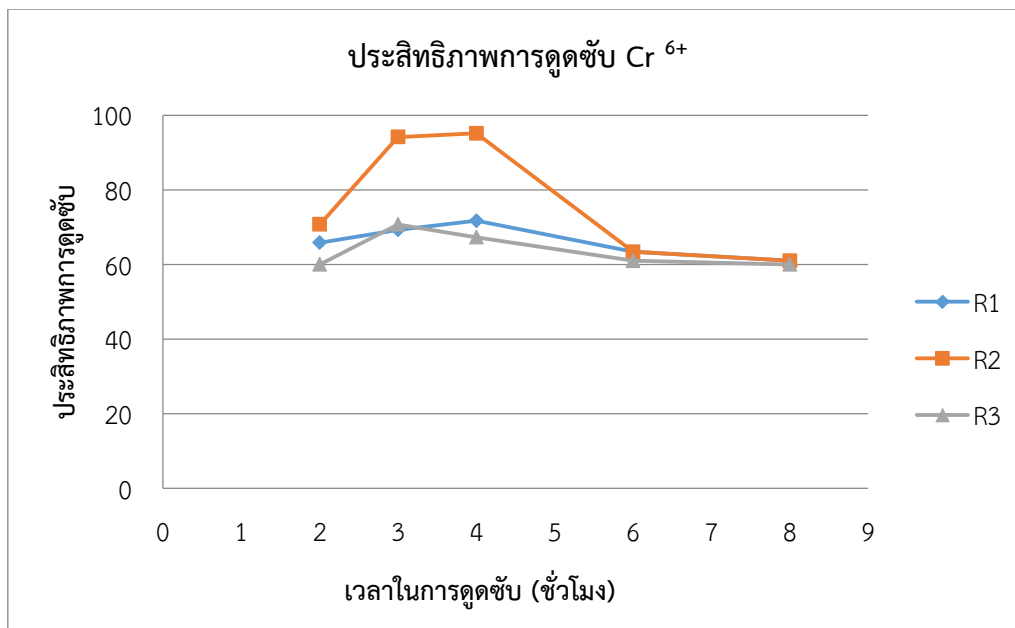
ภาพที่ 4.7 ค่า pH ของน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์ดูดซับทั้ง 3 คอลัมน์

หมายเหตุ :

Inf	=	น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ
R1	=	คอลัมน์ควบคุม กรวดหยาบ 10 cm ทราย 5 cm และกรวดหยาบอีก 5 cm
R2	=	กรวดหยาบ 10 cm ทราย 5 cm เปลือกไข่ 18 cm และกรวดหยาบอีก 5 cm
R3	=	กรวดหยาบ 10 cm ทราย 5 cm กากกาแฟ 27 cm และกรวดหยาบอีก 5 cm

4.3.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (การดูดซับ Cr^{6+}) จากห้องปฏิบัติการของเปลือกไข่ไก่ และกากกาแฟร่วมกับระบบชั้นกรองแบบหลายชั้น

จากผลการทดลองพบว่าคอลัมน์ที่ 1 (คอลัมน์ควบคุม) มีประสิทธิภาพในการดูดซับ (Cr^{6+}) อยู่ในช่วงร้อยละ 61.92 – 70.56 คอลัมน์ที่ 2 (เปลือกไข่ไก่) มีประสิทธิภาพในการดูดซับ (Cr^{6+}) อยู่ในช่วง 60.27 – 93.47 คอลัมน์ที่ 3 (กากกาแฟ) มีประสิทธิภาพในการดูดซับ (Cr^{6+}) อยู่ในช่วง 58.90 – 68.70 ตามลำดับที่ตลอดระยะเวลาในการดูดซับ แสดงให้เห็นว่าเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่ากากกาแฟ แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr^{6+} ของเปลือกไข่และกากกาแฟ

สวพ.
มทร.สุวรรณภูมิ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr^{6+} น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการของเปลือกไข่ไก่และกากกาแฟพบว่าเปลือกไข่ไก่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr^{6+} ได้ดีกว่ากากกาแฟทั้งในการทดลองแบบกะ (Batch Experiment) และแบบต่อเนื่อง (Continuous Experiment) โดยในการทดลองแบบกะพบว่าที่ระยะเวลา 120 นาที ที่อัตราส่วนของปริมาณเปลือกไข่ : น้ำเสีย (กรัม : มิลลิลิตร) เป็น 1 : 22.60 ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr^{6+} ได้ดีที่สุด

5.1.2 ศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกไข่และกากกาแฟในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการร่วมกับระบบชั้นกรองแบบหลายชั้นโดยใช้เป็นลักษณะคอลัมน์สำหรับดูดซับจากผลการทดลองพบว่าคอลัมน์ที่ใช้เปลือกไข่ไก่เป็นวัสดุดูดซับสามารถดูดซับ Cr^{6+} ได้ดีที่สุดคิดเป็นประสิทธิภาพในการดูดซับร้อยละ 95.12 และประสิทธิภาพในการดูดซับจะเริ่มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมงในทุกคอลัมน์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการทดลองนี้ยังไม่มีมีการปรับสภาพของวัสดุที่ใช้ในการดูดซับดังนั้นการทดลองในครั้งต่อไปควรเพิ่มเติมในส่วนของการปรับสภาพของวัสดุที่ใช้ในการดูดซับ

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมวัสดุที่ใช้ดูดซับชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากเปลือกไข่ไก่และกากกาแฟ

5.2.3 ประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักชนิดอื่นๆ นอกจาก Cr^{6+}

เอกสารอ้างอิง

- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ และ ประเทืองทิพย์ โจรณวิภาต. 2556. การดูดซับไอออนโลหะหนักในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยอิฐมอญ กรณีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. รายงานวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- ศิษยา บุญมานุช. 2542. ลักษณะสมบัติน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ สาธารณสุขศาสตร์มหาบัณฑิต สาขานามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น.
- สิริโสภา นิลพันธ์. 2542. การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่รวบรวมได้จากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยวิธีโคแอกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี: กรุงเทพฯ .
- สิริพรรณ นิลไพรัช อิฐมอญ [ออนไลน์]
<http://www.material.chula.ac.th/RADIO48/March/radio3-2.htm> (6 สิงหาคม 2556.)
- สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2519. ไข่และเนื้อไก่. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 390 น.
- อเนกประชา แก้วมณี. 2549. ผลของความหนาแน่นวัสดุและรูปแบบการป้อนน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยระบบดินและหินเรียงเป็นชั้น. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ .
- Boudrahem, F., A. Soualah, et al. (2011). "Pb(II) and Cd(II) Removal from Aqueous Solutions Using Activated Carbon Developed from Coffee Residue Activated with Phosphoric Acid and Zinc Chloride." *Journal of Chemical & Engineering Data* 56(5): 1946-1955.
- Bruce Seelig, Fred Bergsrud & Russell Derickson. (2007). *Treatment Systems for Household Water Supplies Activated Carbon Filtration*. Retrieved August 19, 2010 from <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/h2oqual/watsys/ae1029w.htm>
- Khenniche, L. and F. Benissad-Aissani (2010). "Adsorptive Removal of Phenol by Coffee Residue Activated Carbon and Commercial Activated Carbon: Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamics." *Journal of Chemical & Engineering Data* 55(11): 4677-4686.
- Okubo, T., Akachi, S. and Hatta, H. 1997. *Structure of Hen Eggs and Physiology of Egg Laying*. pp 1-5. In Takehiko Yamamoto. (ed.) "Hen Egg" Their Basic and Applied Science. CRC press.
- Stadelman, W.J. and Cotterill, O.J. 1995. *Egg Science and Technology* 4 th ed.. Food Product press, New York. 204 p.