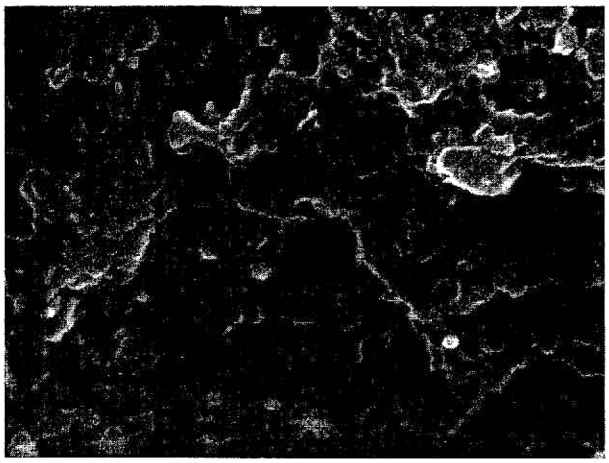
การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยใช้เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ



การนำเปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่มากมายมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งเทคโนโลยีที่นำมาใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชุมชนที่มีปัญหาเรื่องแหล่งน้ำได้ และในอนาคตจึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ให้กับโรงงานอุตสาหกรรมไทยในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย

เรียบเรียงโดย
อัจฉรา ดวงเดือน
อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

1. *สุนทรี สุภากรณ์. 2542. การลดปริมาณแมงกานีสในน้ำสังเคราะห์โดยการกรองด้วยเถ้า แกลบดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.*
2. *Kuh, S.E. and D.S. Kim. 2000. Removal Characteristics of Cadmium ion by Weste Egg Shell. Envi. Tech. 21: 883-890*
3. *Stadelman, W.J. and Owen J. Cotterill. 1995. Egg Science and Technology 4 th ed. Food Product press. 204 p.*

อจฉรา ดวงเดือน. "การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ" *LAB. TODAY* 2, 1 (พ.ย.-ธ.ค. 2545) 62-65

แคดเมียมและตะกั่ว เป็นโลหะหนักที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท รวมทั้งการทำเหมืองแร่ที่เปิดโอกาสให้โลหะหนักหลายชนิดที่ปะปนอยู่ในสินแร่ออกสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ มีโลหะหนักเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูง ถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัดก็จะไปสะสมในแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ นอกจากนั้น ยังเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ที่บริโภคน้ำ พืชน้ำ และสัตว์น้ำที่มีโลหะหนักสะสมอยู่ แคดเมียมและตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้ว บางส่วนจะถูกขับออก บางส่วนจะสะสมในส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น กระดูก ตับ ไต และเลือด กรณีที่มีแคดเมียมสะสมในร่างกายในปริมาณมาก จะทำให้เกิดโรคพิษจากแคดเมียมหรือโรคอิไต-อิไต ซึ่งจะเกิดความผิดปกติของกระดูกมีการผุกร่อนเสียรูปไป นอกจากนี้ ยังมีผลทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ทำให้ตับและไตเสื่อม ส่วนในกรณีที่มีตะกั่วสะสมในร่างกายในปริมาณมาก จะทำให้มีความผิดปกติของระบบประสาท ความจำและการเรียนรู้ด้อยลง มีความผิดปกติของระบบการสร้างเม็ดเลือดทำให้เกิดโรคโลหิตจาง เพื่อบรรเทาปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่วในแหล่งน้ำ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (2539) ประกาศว่า "น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีแคดเมียมเจือปนได้ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะมีตะกั่วเจือปนได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร"

การกำจัดแคดเมียมและตะกั่วในน้ำเสีย

วิธีการกำจัดมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมีแล้วแยกออกจากน้ำด้วยการกรอง การออสโมซิสผันกลับ โดยการสูบน้ำเสียอัดผ่านเยื่อเมมเบรนกึ่งซึมได้ด้วยความดันที่สูงกว่าความดันออสโมติก การสกัดด้วยตัวทำละลาย การแลกเปลี่ยนอิออนเป็นการสับเปลี่ยนอิออนกลับไปกลับมา ระหว่างสารละลายกับสารประกอบที่ไม่ละลาย และการดูดติดผิว เป็นการที่สารตัวกลางหรือสารดูดติดผิว (adsorbent) สามารถดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำเสียมาเกาะติดที่ผิวได้ สารดูดติดผิวที่นิยมใช้ คือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวข้างต้นสามารถกำจัดโลหะหนักได้ แต่มีความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายสูง

ในการศึกษาครั้งนี้ มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะวิธีการดูดติดผิว และใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นสารดูดติดผิวแทนถ่านกัมมันต์ซึ่งมีราคาแพง โดยใช้เปลือกไข่ในการกำจัดแคดเมียมและใช้เถ้าแกลบดำในการกำจัดตะกั่ว

เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ

เปลือกไข่โดยทั่วไปมีความหนาประมาณ 0.2 - 0.4 มิลลิเมตร โครงสร้างมีลักษณะเป็นรูพรุน เปลือกไข่ฟองหนึ่ง จะมีรูพรุนประมาณ 7,000-17,000 รู (Stadelman, 1995) มีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต 95.1 % โปรตีน 3.3% น้ำ 1.6 % (Stadelman, 1995) Kuh (2000) ทดลองนำเปลือกไข่มาดูดซับแคดเมียมในน้ำเสีย โดยทำการทดลองแบบทีละเท (Batch) พบว่า สามารถกำจัดแคดเมียมได้

เถ้าแกลบดำ ได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิสูง แต่ไม่เกิน 1,200 องศาเซลเซียส องค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วย ซิลิกา 70 -95% และมีคาร์บอน 5 -30% โครงสร้างของซิลิกาเป็นโพรง ซึ่งทำหน้าที่ในการดูดติดผิวและการกรองได้ดี และการที่มีคาร์บอนปนอยู่จะช่วยในการฟอกสีและดูดกลิ่นได้ (สุนทรี 2542) ได้ใช้เถ้าแกลบดำเป็นสารกรองและดูดติดผิว ในการกำจัดแมงกานีสในน้ำเสีย พบว่า ได้ผลดี จึงคาดว่ามีความเป็นไปได้ในการนำเปลือกไข่และเถ้าแกลบดำมาใช้เป็นสารดูดติดผิวและสารกรองในการกำจัดแคดเมียมและตะกั่วในน้ำ โดยได้ประยุกต์การกรองเข้ามาร่วมด้วย ทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่องด้วยถังดูดติดผิวทรงกระบอก

รูปที่ 1 เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ

การเตรียมเปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ

เถ้าแกลบดำที่ได้มาจากโรงสี ต้องนำมาล้างเพื่อแยกแกลบข้าว และเศษผงที่ติดมาออก แล้วนำไปอบไล่ความชื้นก่อนใช้ เปลือกไข่ที่ได้มาต้องนำมาล้างให้สะอาด ลอกเยื่อเปลือกไข่ออก นำมาบด และร่อนผ่านตะแกรงเพื่อคัดขนาด ในที่นี้ได้ใช้ขนาด 0.3 -0.85 มิลลิเมตร และนำมาล้างน้ำแล้วอบไล่ความชื้นก่อนใช้

หลักการดำเนินการ

ในการกำจัดแคดเมียมโดยใช้เปลือกไข่ และกำจัดตะกั่วด้วยเถ้าแกลบดำ ใช้หลักการเหมือนกัน คือ การทำให้โลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำเสียมาเกาะติดที่ผิวของสารดูดติดผิว ในที่นี้คือ เปลือกไข่ไก่หรือเปลือกไข่เป็ดที่บดละเอียด และเถ้าแกลบดำที่ล้างสะอาดซึ่งบรรจุอยู่ในถังทรงกระบอก เนื่องจากเปลือกไข่และเถ้าแกลบดำมีความพรุนสูงและมีองค์ประกอบทางเคมี ที่เอื้ออำนวยให้โลหะหนักมาเกาะติดที่ผิวของมัน ดังนั้นโลหะหนักจึงถูกกำจัดออกจากน้ำเสียได้

ขั้นตอนการทำงาน

1. **การกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียด้วยเปลือกไข่** แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ

- ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเปลือกไข่ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope และศึกษาลักษณะทางเคมีของเปลือกไข่ด้วยด้วยเครื่อง Neutron Activation Analyzer
- ศึกษาหา pH ที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังดูดติดผิวทรงกระบอก ทำการทดลองแบบทีละเท (batch) โดยเติมน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 9 ขวด ปรับ pH ในขวดต่างๆ ให้มีค่า 2,3,4,5,6,7,8,9 และ 10 ตามลำดับ เติมเปลือกไข่ 2.5 กรัม ลงในแต่ละขวด นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แยกเปลือกไข่ออก นำสารละลายที่ได้ไปย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น แล้ววิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
- ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมแบบต่อเนื่องด้วยถังติดผิวทรงกระบอก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 100 เซนติเมตร) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อใช้เปลือกไข่ต่างชนิดกัน บรรจุเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ดลงในถังดูดติดผิวทรงกระบอก แต่ละถังหนา 50 เซนติเมตร (5.2 กก.) ป้อนน้ำเสียแบบไหลลง อัตราการกรอง 1.5 ม./ชม. เก็บตัวอย่างทุกชั่วโมงต่อเนื่อง 6 ชั่วโมง นำไปย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น แล้ววิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่

2. **การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยเถ้าแกลบดำ** แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ

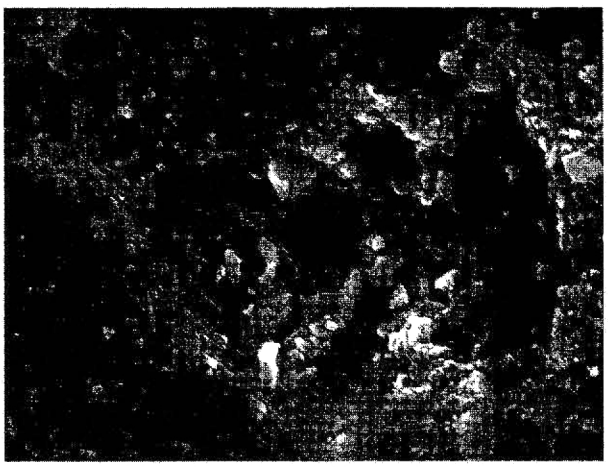
- ศึกษาหา pH ที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังดูดติดผิวทรงกระบอก ทำการทดลองแบบทีละเท (batch) โดยเติมน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 7 ขวด ปรับ pH ในขวดต่างๆ ให้มีค่า 1,2,3,4,5,6, และ 7 ตามลำดับ เติมเถ้าแกลบดำ 2 กรัม ลงในแต่ละขวด นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แยกเถ้าแกลบดำออก นำสารละลายที่ได้ไปย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น แล้ววิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่
- ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่องด้วยตัวดูดติดผิวทรงกระบอก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว สูง 100 เซนติเมตร) โดยบรรจุเถ้าแกลบดำลงในถังดูดติดผิวทรงกระบอก หนา 60 เซนติเมตร (4.4 กก.) ป้อนน้ำเสียแบบไหลลง ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เมื่อใช้อัตราการกรองแตกต่างกัน คือ 0.4 0.6 และ 0.8 ม./ชม. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกชั่วโมงต่อเนื่อง 6 ชม. นำไปย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่

ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก

ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการที่สำคัญ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH ของน้ำเสีย ซึ่งค่าpH ที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียเพื่อกำกัดโลหะหนักแต่ละประเภทจะแตกต่าง อัตราการกรองน้ำเสีย ถ้ายิ่งอัตราการกรองช้า จะมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากน้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกับสารดูดติดผิวในถังกรองได้นานกว่า ทำให้เกิดการดูดติดผิวได้มากขึ้น ความหนาของชั้นดูดติดผิวในถังกรอง ถ้าชั้นของสารดูดติดผิวหนา ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจะสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะมีพื้นที่ผิวให้โลหะหนักไปเกาะติดที่ผิวมากขึ้น

ผลการศึกษา

- **กรณีการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียด้วยเปลือกไข่**



รูปที่ 2 เปลือกไข่ไก่ กำลังขยาย 2,300 เท่า

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ พบว่า เปลือกไข่มีรูพรุนเล็กๆ เป็นจำนวนมาก รูเปลือกไข่ไก่ใหญ่กว่ารูเปลือกไข่เป็ด โดยเปลือกไข่ไก่มีรูขนาด 64,700 A° ส่วนเปลือกไข่เป็ดมีรูขนาด 11,000 A° องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต pH ที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าถังดูดติดผิวอยู่ที่ pH 5-6 ซึ่งถ้าใช้ pH มากกว่า 6 แคดเมียมในน้ำเสียจะอยู่ในรูปไม่ละลายน้ำ เกิดตะกอนไม่เหมาะสำหรับกระบวนการดูดติดผิว

ในการกำจัดแคดเมียมเมื่อใช้เปลือกไข่ต่างชนิดกัน พบว่าเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ดมีประสิทธิภาพ 99.84% และ 86.41% ตามลำดับเมื่อใช้ปริมาณเปลือกไข่และอัตราการกรองเท่ากัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเปลือกไข่เป็ด ทั้งนี้ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีแตกต่างกัน เปลือกไข่ไก่จึงมีความจำเพาะในการดูดติดผิวแคดเมียมออกได้ดีกว่า

- **กรณีการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยเถ้าแกลบดำ**

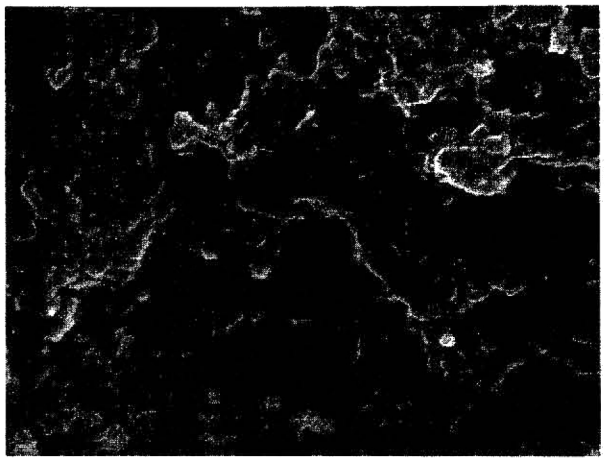
ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังดูดติดผิว พบว่า เมื่อ pH ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป เถ้าแกลบดำสามารถดูดติดผิวตะกั่วได้ดี ดังนั้น pH ที่เหมาะสม คือ 3 ซึ่งไม่มีความจำเป็นต้องปรับ pH ให้สูงกว่านี้ เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองสารเคมี และสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเมื่อใช้อัตราการกรองต่างกัน คือ 0.4, 0.6 และ 0.8 ม./ชม. พบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่า 99.85%, 99.58% และ 74.13% ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณเถ้าแกลบดำเท่ากัน จะเห็นได้ว่าที่อัตราการกรองต่ำจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะน้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกับสารดูดติดผิวในถังดูดติดผิวได้นานกว่า ทำให้เกิดการดูดติดผิวได้มากขึ้น

สรุป

การกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียด้วยเปลือกไข่ พบว่าเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ดีกว่าเปลือกไข่เป็ด โดยมีประสิทธิภาพสูงถึง 99.84% เมื่อใช้อัตราการกรอง 1.5 ม./ชม. ใช้เปลือกไข่ 5.2 กก. สำหรับการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยเถ้าแกลบดำพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดมากกว่า 99.85% เมื่อใช้อัตราการกรอง 0.4 ม./ชม. ใช้เถ้าแกลบดำ 4.4 กก.

วิธีการกำจัดสารดูดติดผิวที่ใช้แล้ว

ทำได้โดยการนำสารดูดติดผิวที่ใช้แล้วมาปรับสภาพด้วยปูนขาวก่อน แล้วจึงรวบรวมบรรจุใส่ถุงพลาสติก หล่อด้วยซีเมนต์ทำให้เป็นแท่ง นำไปฝังในพื้นที่ห่างไกลชุมชนและแหล่งน้ำ หรืออาจนำส่งไปกำจัดยังโรงงานกำจัดกากสารพิษอันตราย



รูปที่ 3 เปลือกไข่เป็ด กำลังขยาย 14,000 เท่า

ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

ทำให้สามารถใช้เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่มากมายให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งเทคโนโลยีที่นำมาใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชุมชนที่มีปัญหาเรื่องแหล่งน้ำได้ และในอนาคตจึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ให้กับโรงงานอุตสาหกรรมไทยในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย

ข้อแนะนำในการนำไปใช้งาน

1. น้ำภายหลังจากการกำจัดโลหะหนักด้วยเปลือกไข่ มักจะมีกลิ่นคาวของไข่ ดังนั้นควรเพิ่มชั้นเถ้าแกลบดำหรือชั้นถ่านบดร่วมด้วยเพื่อช่วยดูดกลิ่น

2. ในกรณีน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักมาก ควรจะมีการตกตะกอนด้วยสารเคมีก่อน แล้วจึงนำมาเข้าสู่ระบบการดูดติดผิวด้วยเปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดียิ่งขึ้น และยังเป็นการยืดอายุการใช้งานสารดูดติดผิวด้วย

3. ข้อสังเกตการหมดอายุของสารดูดติดผิว สามารถดูได้จากการนำน้ำที่ผ่านถังดูดติดผิวมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ หรืออาจจะสังเกตได้จากอัตราการกรองเริ่มลดลงจากเดิม หรือสังเกตลักษณะทางกายภาพของน้ำที่ออกมาเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งก็จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ต้องเปลี่ยนสารดูดติดผิวใหม่

LAB.TODAY