บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ ซึ่งได้แก่ กากตะกอน, กากข้าว, กากยีสต์ และ *S.cerevisiae* ในการดูดซับ แคดเมียม นิกเกิล และทองแดง โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ เวลาสัมผัส ความเข้มข้น pH อุณหภูมิ การมีอยู่ร่วมกันของโลหะหนักชนิดอื่น ประสิทธิภาพสารละลายและเวลาสัมผัสในการสกัดโลหะหนัก และการนำวัสดุดูดซับกลับมาใช้ใหม่หลายรอบ รวมถึงการศึกษาความสามารถในการใช้งานของวัสดุดูดซับในแบบจำลอง จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองดังแสดงไว้ในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการทดลองศึกษาได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนักของ กากตะกอน, กากข้าว, กากยีสต์ และ *S.cerevisiae* โดยใช้เวลาสัมผัส 0-180 นาที พบว่าการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วช่วงเวลา 0-30 นาที และเริ่มเข้าสู่สมดุลการดูดซับภายในเวลาประมาณ 60 นาที ซึ่งเมื่อเวลาสัมผัสมากกว่าค่านี้ประสิทธิภาพในการดูดซับจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ให้ผลคล้ายกันทั้ง กากตะกอน, กากข้าว, กากยีสต์ และ *S.cerevisiae*ค่าความจุในการดูดซับแคดเมียมที่เวลาสมดุลพบว่ากากตะกอนมีค่าการดูดซับสูงที่สุด รองลงมาคือ *S.cerevisiae* , กากข้าว และ กากยีสต์ ตามลำดับ ในการดูดซับนิกเกิลค่าความจุที่เวลาสมดุลพบว่ากากตะกอนมีค่าการดูดซับสูงที่สุด รองลงมาคือ กากข้าว, *S.cerevisiae* และ กากยีสต์ ตามลำดับ ในการดูดซับทองแดงค่าความจุที่เวลาสมดุลพบว่ากากตะกอนมีค่าการดูดซับสูงที่สุด รองลงมาคือ *S.cerevisiae* , กากข้าวมีค่า และ กากยีสต์ ตามลำดับ

2. จากการทดสอบหาไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freudlich พบว่า ลักษณะกราฟมีความสอดคล้องกับสมการ Langmuir มากกว่า Freudlich โดยวัสดุดูดซับทั้ง 4 ชนิดมีความสามารถในการดูดซับเรียงตามลำดับดังนี้ คือ ทองแดง> แคดเมียม>นิกเกิล และจากการพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับของวัสดุทั้ง 4 ชนิดพบว่า วัสดุดูดซับที่มีค่าการดูดซับสูงสุด (q_{max}) มากที่สุดได้แก่ กากตะกอน รองลงมาสำหรับแคดเมียมคือ กากข้าว, กากยีสต์ และ *S.cerevisiae* ตามลำดับและสำหรับนิกเกิลและทองแดงคือ *S.cerevisiae* , คือ กากยีสต์

และ กากข้าวตามลำดับ และจากการสังเกตความสามารถในการตกตะกอน พบว่า กากตะกอนสามารถตกตะกอนได้ดีกว่า เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ กากตะกอน สำหรับการศึกษาการดูดซับโลหะหนักขั้นต่อไป

3. จากการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนักของ กากตะกอน โดยใช้ค่า pH เริ่มต้นของสารละลายระหว่าง 2-10 ซึ่งพบว่าความจุในการดูดซับของกากตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นสำหรับนิกเกิล และทองแดงค่าความจุในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก pH 2 ถึง pH 4 ต่อจากนั้นเริ่มคงที่ตั้งแต่ pH 4 ถึง pH 8 และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ pH มากกว่า 8 เมื่อสังเกตกราฟการตกตะกอน ของแคดเมียมพบว่าแคดเมียมเริ่มตกตะกอนที่ pH 6 สำหรับการตกตะกอนของนิกเกิลและทองแดงพบว่าเริ่มตกตะกอนที่ pH 8 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าช่วง pH ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซับแคดเมียมของกากตะกอนอยู่ระหว่าง pH 5-6 และสำหรับนิกเกิลและทองแดงอยู่ระหว่าง pH 4-8

4. จากการศึกษาความสามารถของการดูดซับโลหะหนักของ กากตะกอน โดยใช้อุณหภูมิสารละลายระหว่าง 4-50 องศาเซลเซียส พบว่า กากตะกอนสามารถการดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าการดูดซับ แคดเมียม นิกเกิล และ ทองแดงเท่ากับ 7.62 mgCd/g, 5.52 mgNi/g และ 9.50 mgCu/g ตามลำดับดัง อย่างไรก็ตามเมื่อสังเกตจากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 4-50 องศาเซลเซียส ความสามารถในการดูดซับโลหะมีความแตกต่างกันไม่มาก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลเล็กน้อยต่อการดูดซับโลหะหนักโดยใช้กากตะกอน

5. จากการศึกษาความสามารถในการสกัด แคดเมียม นิกเกิล และทองแดง ออกจากกากตะกอน โดยใช้สารละลาย HCl, HNO_3, NaOH, $CaCl_2$, NaCl และ EDTA ความเข้มข้น 0.1 M พบว่า สารละลาย HCl สามารถสกัดแคดเมียมได้ดีที่สุด รองลงมาคือ HNO_3, EDTA, $CaCl_2$, NaCl และ NaOH ตามลำดับ และ NaCl ตามลำดับ สำหรับนิกเกิล HNO_3 สามารถสกัดนิกเกิลได้ดีที่สุดรองลงมาคือ HCl, NaOH, NaCl, EDTA และ CaCl ตามลำดับ และทองแดงนั้น HNO_3 สามารถสกัดทองแดงได้ดีที่สุด รองลงมาคือ EDTA, HCl, NaOH, CaCl และ NaCl ตามลำดับ และเลือกใช้ EDTA เป็นสารสกัดในการทดลองต่อไปเนื่องจาก EDTA ไม่ทำลาย โครงสร้างพื้นฐานของกากตะกอน

6. จากการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการสกัด แคดเมียม นิกเกิล และทองแดงออกจาก กากตะกอน โดยใช้สารละลาย EDTA ความเข้มข้น 0.1 M และใช้เวลาสัมผัส 0-60 นาที พบว่า แคดเมียม, นิกเกิล และทองแดง ถูกสกัดออกจาก กากตะกอน ได้อย่างรวดเร็วในช่วงเวลา

30 นาที และประสิทธิภาพในการสกัดเริ่มคงที่ในเวลา 30-60 นาที ซึ่งโดยภาพรวมของการสกัดโลหะหนักแคดเมียม นิกเกิล และทองแดง หลังจากเวลาสัมผัส 60 นาทีนั้นค่าการสกัดโลหะหนักค่อนข้างคงที่ จึงเลือกใช้เวลาที่ 60 นาที

7. จากการศึกษาการนำ กากตะกอนกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับโลหะหนักและสกัดด้วยสาร ละลาย EDTA ความเข้มข้น 0.1 M.จำนวน 5 รอบ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมของกากตะกอนรอบที่ 5 ลดลง 68.14% ของเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับในรอบที่ 1 ส่วนนิกเกิล ประสิทธิภาพการดูดซับรอบที่ 5 ลดลง 99.42% ของเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับในรอบที่ 1 และทองแดง ประสิทธิภาพการดูดซับรอบที่ 5 ลดลง 78.82% ของเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับในรอบที่ 1 สำหรับการสกัดแคดเมียมออกจาก กากตะกอนระหว่างรอบที่ 1-5 พบว่าประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 75.74%, 79.23%, 74.25%, 75.04% และ 74.75% ของปริมาณแคดเมียมที่สกัดออกมาได้เมื่อเทียบกับปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับไปในกากตะกอน ตามลำดับ สำหรับการสกัดนิกเกิลมีค่าเท่ากับ 29.64%, 26.35%, 91.01%, 0.00% และ 0.00% ของปริมาณนิกเกิลที่สกัดออกมาได้เมื่อเทียบกับปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับไปในกากตะกอน ตามลำดับ และการสกัดทองแดงมีค่าเท่ากับ 98.90%, 60.34%, 92.35%, 78.20% และ 76.59% ของปริมาณทองแดงที่สกัดออกมาได้เมื่อเทียบกับปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับไปในกากตะกอน ตามลำดับ

8. จากการศึกษาอิทธิพลของไอออนแคดเมียม นิกเกิล และ ทองแดงที่อยู่ร่วมกัน จากผลการทดลองพบว่าลำดับความชอบในการดูดซับโลหะของ กากตะกอน คือ ทองแดง > แคดเมียม > นิกเกิล ตามลำดับ

9. จากการศึกษาประสิทธิภาพหรือความสามารถในการใช้งานของ กากตะกอนในแบบจำลองใช้ถังปฏิกิริยา Fixed Bed Reactor พบว่าที่นิกเกิลความเข้มข้นเริ่มต้น 41.6 และ 72.2 มิลลิกรัม/ลิตร กราฟจะเริ่มเข้าสู่เบรคทรูที่เวลา 67 ชั่วโมง และ 28 ชั่วโมง ตามลำดับ ความเข้มข้นโลหะหนักนิกเกิลในน้ำออกก่อนถึงจุดเบรคทรูมีค่าต่ำกว่า 0.0044 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตรตามมาตรฐานน้ำทิ้งประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม., 2535) และพบว่าความสามารถของกากตะกอนในการดูดซับนิกเกิลที่จุดเบรคทรูมีค่าเท่ากับ 10.13 มิลลิกรัม/กรัม และ 7.35 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับส่วนจุดสิ้นสภาพของการทดลองอยู่ที่เวลา 112 ชั่วโมงสำหรับความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 41.6มิลลิกรัม/ลิตร และ 85 ชั่วโมงสำหรับความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 72.2 มิลลิกรัม/ลิตร

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักของวัสดุดูดซับชนิดอื่น ๆ
2. ควรมีการศึกษาการนำวัสดุดูดซับทดลองกับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยนเรศวร