บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ก่อนการทดลอง

การหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว สำหรับใช้ในการทดลอง ได้เก็บรวบรวมมาจากหลายแหล่ง ปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไป ทำให้มีสิ่งปนเปื้อนที่แตกต่างกันเมื่อนำมาเทรวมกันจึงจำเป็นต้องสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว เพื่อตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสี โดยการทดลองจะสุ่มตัวอย่าง จำนวน 10 ตัวอย่าง ซึ่งจากข้อมูลที่ได้พบว่า ปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว มีปริมาณที่พบสูงสุดคือ 1,824 ppm และที่พบต่ำสุดคือ 1,475 ppm และพบว่า ปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ก่อนการทดลอง โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 1,650ppm ดังนั้นจากข้อมูลการทดลองที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกตัวสกัดแยกสารที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัยได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว หลังจากที่ผ่านชุดอุปกรณ์สกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ซึ่งสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสีออกด้วยตัวสกัดแยกสาร ที่ใช้ในการทดลองจะต้องมีปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีปนอยู่น้อยมากหรือเกือบไม่มีเลย

5.2 การหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของตัวสกัดแยกสารที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัย

ในการวิจัยเรื่องนี้ได้เลือกใช้ตัวสกัดแยกสารคือ สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต $[(NH_4)_2SO_4]$ โดยการทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สามารถสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วได้มากที่สุด โดย

การทดลองเปลี่ยนค่าความเข้มข้น จำนวน 10 ค่า ซึ่งจากข้อมูลที่ได้พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ที่สามารถสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วได้น้อยที่สุดมีความเข้มข้นประมาณ 4 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และที่ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตประมาณ 8 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักจะสามารถสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ได้มากที่สุดและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นให้มากขึ้นกว่านี้อีก ก็จะไม่มีผลทำให้การสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ได้เพิ่มมากขึ้นไปกว่าเดิม อีกทั้งยังสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายไปโดยเปล่าประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ ได้เลือกสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เพื่อนำมาใช้ในการสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ทั้งนี้เพราะที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณของแอนไอออน (ไอออนประจุลบ) ที่จะเป็นตัวรวมกับไอออนของโลหะสังกะสี นั้นมีปริมาณมากพอ

5.3 การหาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ

5.3.1 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกสารคงที่ และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ที่ใช้ในการทดลอง มีปริมาณไอออนของโลหะสังกะสี โดยเฉลี่ยประมาณ 1,650 ppm

5.3.1.1 เมื่อให้อัตราการไหล ของตัวสกัดแยกต่ออัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 โดยที่ความเร็วรอบของมอเตอร์เป็น 100, 300, 500, 700 และ 900 รอบ/นาที หลังจากผ่านชุดอุปกรณ์สกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์แล้ว ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.1-ก.5 และในกราฟรูปที่ ก.1-ก.5 ซึ่งข้อมูลที่ได้ พบว่าที่แต่ละอัตราส่วนของอัตราการไหลของสารค่าเดียวกันที่เวลาต่างๆ กัน จะมีปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะเกิดการสกัดแยกสารโดยสมบูรณ์ภายในคอลัมน์ ก่อนที่จะออกมาภายนอกซึ่งใช้เวลาภายในคอลัมน์ประมาณ 20-25 นาที (Retention time) และจากกราฟรูปที่

4.1 และ 4.2 พบว่า ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ค่าเดียวกัน ตัวอย่างเช่น เส้นกราฟที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 100 รอบ/นาที เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอัตราการไหลให้สูงขึ้น (จาก 1:1 ถึง 1:5) ปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วในวัฏภาคราฟฟิเนต จะสูงมากขึ้นตามไปด้วย (หมายถึงถูกกำจัดออกได้น้อย)แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ให้สูงขึ้นอีก จะพบว่าปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ในวัฏภาคราฟฟิเนตที่อัตราส่วนของอัตราการไหลค่าเดียวกันจะมีปริมาณลดลง (หมายถึงถูกกำจัดออกได้มาก) ทั้งนี้เพราะเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ให้สูงขึ้น น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว จะถูกตีให้แตกกระจายเป็นเม็ดเล็กๆ (Dispersed phase) ในตัวสกัดแยกสารซึ่งเป็นวัฏภาคแบบต่อเนื่อง (Continuous phase) ทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกันของสารเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดการถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ดังนั้นจากผลการทดลองเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ ให้สูงมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 500 รอบ/นาที พบว่าที่อัตราส่วนของอัตราการไหลของสารเป็น 1:1 และ 1:2 จะมีปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต ใกล้เคียงกับที่อัตราส่วนของอัตราการไหลของสารเป็น 1:1, 1:2 และ 1:3 ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 700 รอบ/นาที คือมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 10 ppm ส่วนที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 900 รอบ/นาที พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอัตราการไหลของสารให้เพิ่มมากขึ้น (จาก 1:1 ถึง 1:5) ก็จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต นั่นคือจะมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 10 ppm เท่ากันโดยตลอด ทั้งนี้เพราะการสกัดแยกสารเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในคอลัมน์

จากการทดลองกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนค่าอัตราส่วนของอัตราการไหลของสารและความเร็วรอบของมอเตอร์ จะมีผลต่อปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต แต่เมื่อระบบดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลการเปลี่ยนค่าของตัวแปรดังกล่าวข้างต้น ก็จะไม่มีผลต่อปริมาณไอออนของโลหะสังกะที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต สำหรับภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ในกรณีนี้ คือที่อัตราการไหลของตัวสกัดแยกสารต่ออัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วเป็น 1:5 ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 900 รอบ/นาที ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดเพราะนอกจากปริมาณ

ไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต จะมีค่าต่ำ (ประมาณ 10 ppm)แล้ว ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ที่ได้หลังจากถูกกำจัดไอออนของโลหะสังกะสีออกไปจะมีปริมาณมากกว่า และยังสิ้นเปลืองสารที่ใช้เป็นตัวสกัดแยกน้อยกว่าที่ภาวะอื่นๆ

5.3.2 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว คงที่ และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ที่ใช้ในการทดลอง มีปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีโดยเฉลี่ยประมาณ 1,650 ppm

5.3.2.1 เมื่อให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกต่อ อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วเป็น 1:1,2:1,3:1,4:1 และ 5:1 โดยที่ความเร็วรอบของมอเตอร์เป็น 100,300,500,700 และ 900 รอบ/นาที หลังจากผ่านชุดอุปกรณ์สกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์แล้ว ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.6-ก.10 และในกราฟรูปที่ ก.6-ก.10 ซึ่งข้อมูลที่ได้พบว่า ที่แต่ละอัตราส่วนของอัตราการไหลของสารค่าเดียวกัน ที่เวลาต่างๆ กัน จะมีปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า การสกัดแยกและการถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลภายในคอลัมน์ ก่อนที่จะออกมาภายนอก และจากกราฟรูปที่ 5.3 และ 5.4 พบว่า ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ค่าเดียวกัน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอัตราการไหลของสารให้สูงขึ้น (จาก 1:1 ถึง 5:1) ปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต จะลดลงเรื่อยๆ (ถูกกำจัดออกได้มากขึ้น) จนกระทั่งดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10 ppm และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ให้สูงขึ้น พบว่า ที่อัตราส่วนของอัตราการไหลของสารค่าเดียวกัน ปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนตจะลดลง (ถูกกำจัดออกได้มาก) การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลก็จะเกิดได้เร็ว และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของมอเดอร์ จนถึง 500 รอบ/นาที พบว่าทุกๆ อัตราส่วนของอัตราการไหลของสาร จะมีปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต ใกล้เคียงกันกับที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ เป็น 700 และ 900 รอบ/นาที กล่าวคือ ทุกๆ อัตราส่วนของอัตราการไหลของสาร จะดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เหมือนกัน

ทั้งหมด และถึงแม้จะมีการเพิ่มอัตราส่วนของอัตราการไหลของสารให้สูงขึ้นหรือเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ให้สูงขึ้นอีกก็ตาม ปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต ก็ยังคงมีค่าเท่าเดิม ซึ่งแสดงว่า การสกัดแยกสารดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนของอัตราการไหลของสารและการเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ให้สูงขึ้น ก็จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลของระบบดังกล่าว

จากการทดลองกล่าวได้ว่า ในกรณีนี้การจะกำจัดไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วให้เหลือประมาณ 10 ppm จำเป็นต้องใช้ตัวสกัดแยกปริมาณมากกว่ากรณีแรก ตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนของอัตราการไหลของสารเป็น 1:1 ระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุล เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์ประมาณ 700 รอบ/นาที, ที่อัตราส่วนของอัตราการไหลของสารเป็น 2:1 ระบบจะดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลได้รวดเร็วกว่า โดยจะดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ประมาณ 500 รอบ/นาที และที่อัตราส่วนของอัตราการไหลของสารเป็น 3:1, 4:1 และ 5:1 ระบบจะดำเนินเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ประมาณ 300 รอบ/นาที โดยที่ภาวะสมดุลของระบบ จะมีปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในวัฏภาคราฟฟิเนต ประมาณ 10 ppm

5.4 การสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสี ที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วโดยใช้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต [$(NH_4)_2SO_4$] เป็นตัวสกัดแยก

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ตัวสกัดแยกสารคือ สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นตัวสกัดแยกเพื่อที่จะสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสีที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจเขียนได้ดังนี้

$$(NH_4)_2SO_4 + H_2O \longrightarrow (NH_4)_2SO_4.H_2O$$

$$(NH_4)_2SO_4.H_2O + n(Zn^{2+}) \longrightarrow n(ZnSO_4) + 2(NH_4).H_2O$$

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้ศึกษาถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate of Reaction) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer coefficient) ซึ่งจะช่วยอธิบายปรากฏการต่างๆ ได้มากขึ้น