

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการจัดทองแดงไอออนโดยการเปลี่ยนเป็นคิวปริคเฟอร์ไรท์โดยออกแบบแผนทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (Central Composite Design: CCD) โดยผลการศึกษาการสร้างสมการทำนายความเข้มข้นทองแดงที่เหลืออยู่ในสารละลายเชิงซ้อนของทองแดง หลังการจัดทองแดงโดยการเปลี่ยนเป็นคิวปริคเฟอร์ไรท์ (CuFe_2O_4) โดยตรวจสอบความเหมาะสมของสมการทำนายและรูปแบบการทดลองโดยใช้หลักการทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 16.0 ได้แก่

5.1.1. ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบจำลอง

จำลองสมการแบบการทดลอง Quadratic Model ได้ 4 แบบ ได้แก่ 1) Linear model 2) Linear + interaction model 3) Linear + square model และ 4) Full quadratic model โดยวิเคราะห์จากค่า Standard Deviation (Std. Dev.), R-Squared (R^2), Adjusted R-Squared (Adj- R^2) และ Predicted R-Squared (Pred- R^2)

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่นำมาใช้ในแบบจำลอง โดยการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_c) มีการทดสอบของตัวแปรอิสระทุกตัวพร้อมกันและทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_c) ของตัวแปรอิสระแต่ละตัว ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ผลการวิเคราะห์ในภาคผนวก ก) มีการทดสอบ 2 ลักษณะดังนี้ (Minitab, 2010)

1) การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_c) ของตัวแปรอิสระแต่ละตัว โดยกำหนดสมมติฐานทางสถิติตั้งนี้จากตารางที่ 4.3 พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า P-value ของตัวแปร รวมถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ พบว่า พีเอช อุณหภูมิ ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าจะตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (หรือยอมรับสมมติฐาน H_1) นั่นคือตัวแปรอิสระที่ i มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม (Montgomery, 2008) แสดงว่าตัวแปรและปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวมีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อการจัดทองแดงอย่างมีนัยสำคัญ

2) การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของตัวแปรอิสระทุกตัวพร้อมกัน จากค่าความแปรปรวน (Analysis of variance (ANOVA) จากตารางที่ 4.3 พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (หรือยอมรับสมมติฐาน H_1) นั่นคือตัวแปรอิสระในแบบจำลองอย่างน้อย 1 ตัวในแบบจำลองสามารถใช้พยากรณ์ตัวแปรตามได้

นอกจากนี้พบว่าสมการทำนายที่เลือก คือ มีค่า Lack of Fit (ภาคผนวก ก) เท่ากับ 0.007 แสดงว่า สมการทำนายมีความเหมาะสมในการทำนายผลการทดลอง เพราะจากการพิจารณา ค่า R-Squared (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9916 หมายความว่า สามารถใช้สมการดังกล่าวอธิบายความเข้มข้นของทองแดงที่เหลืออยู่ใน

สารละลายได้ร้อยละ 99.16 เมื่อค่า R^2 เข้าใกล้ 1 จะหมายถึงสมการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสมในการใช้อธิบายความสัมพันธ์ของผลตอบสนองกับตัวแปร

3) ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

ผลการทดสอบค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ โดยจากกราฟฮิสโตแกรมมีการกระจายตัวเป็นรูปทรงปกติ เพราะค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ตรงกลาง ความเสถียรของค่าแปรปรวน (Variance Stability) ของค่าส่วนตกค้าง ซึ่งพบว่ากราฟไม่มีลักษณะลู่เข้าหรือลู่ออก และไม่มีรูปแบบปรากฏให้เห็น แสดงว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของข้อมูล และการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง พบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างไม่มีรูปแบบและไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

5.1.3 ผลการศึกษาหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยคือ อุณหภูมิ เวลา และค่าความเป็นกรด-เบส เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงออกจากสารละลายเชิงซ้อนทองแดงโดยการเปลี่ยนเป็นคิวปริสเซอไรท์ ($CuFe_2O_4$) สูงสุด จากการสร้างพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM)

1) ผลการศึกษาการสร้างพื้นผิวตอบสนองระหว่างตัวแปรอิสระต่อประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง จากแผนการทดลองเซ็นทรัลคอมโพสิต สามารถนำมาสร้างพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรต่อประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง ได้ผลดังในรูปที่ 4.3-4.5

2) ผลการศึกษาหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่อประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง จากสมการทำนายประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง ที่ได้จากแบบจำลอง Full Quadratic สามารถนำมาวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสม โดยฟังก์ชัน Response Optimization ในโปรแกรม Minitab Version 16.0 สำหรับคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ ในการประมวลผล

5.1.4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณทองแดงที่เหลือจากการทดลองกับจากการทำนายของแบบจำลอง จากการใช้สภาวะที่เหมาะสมจากแบบจำลองการทดลองเพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายไอออนทองแดงเหลืออยู่ เท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่เหลืออยู่โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนายมีค่าเท่ากับ 2.77 โดยมีร้อยละความคลาดเคลื่อน 27.80 (ตารางที่ 4.4) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นของทองแดงที่เหลืออยู่ที่กำหนดเป็นค่าเป้าหมาย ดังนั้นแบบจำลองจึงมีความเหมาะสมในระดับดี ในการทำนายความเข้มข้นของทองแดงไอออนที่เหลืออยู่ โดยลักษณะสีของสารละลายคอปเปอร์แอมมินสังเคราะห์เริ่มต้นและหลังผ่านการกำจัดทองแดงที่สภาวะเหมาะสม มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการใช้สภาวะที่เหมาะสมจากแบบจำลองการทดลองเพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายไอออนทองแดงเหลืออยู่ เท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่เหลืออยู่มีค่าเท่ากับ 2.77 โดยมีร้อยละความคลาดเคลื่อน 27.80 ซึ่งจัดว่ามีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง อาจจะเป็นเนื่องจากการกำหนดเป้าหมายและค่าขอบเขตล่างไม่ได้อยู่ในช่วงที่ได้จากผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต