

การทำนายพฤติกรรมการแยกสารโลหะไอออนด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงโดยใช้กระบวนการ
วิเคราะห์ทางกราฟแบบระบบไม่เชิงเส้น



นายเศรษฐา จตุระบุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

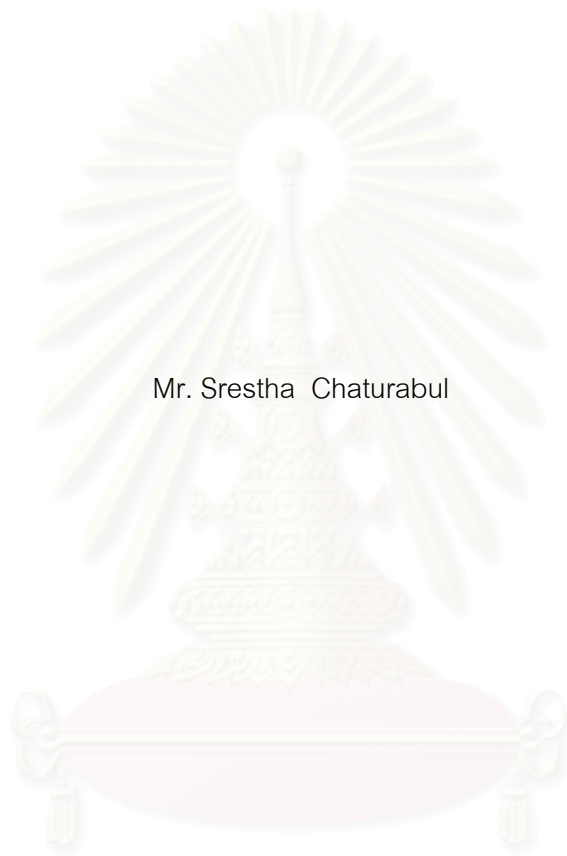
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5317-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A PREDICTION OF METAL IONS SEPARATION VIA HOLLOW-FIBER-SUPPORTED LIQUID
MEMBRANE BY NON-LINEAR GRAPHICAL ANALYSIS



Mr. Srestha Chaturabul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2005

ISBN 974-17-5317-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การทำนายพฤติกรรมการแยกสารโลหะไอออนด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางกราฟแบบระบบไม่เชิงเส้น

โดย

นายเศรษฐา จตุระบุล


สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี


อาจารย์ที่ปรึกษา

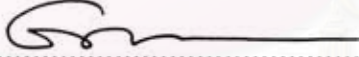
รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัญศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรงค์ ปวงกกร)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

เศรษฐา จตุระบุล : การทำนายพฤติกรรมการแยกสาร โลหะ ไอออนด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางกราฟแบบระบบไม่เชิงเส้น (A PREDICTION OF METAL IONS SEPARATION VIA HOLLOW-FIBER-SUPPORTED LIQUID MEMBRANE BY NON-LINEAR GRAPHICAL ANALYSIS) อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร. อูรา ปานเจริญ ; 160 หน้า. ISBN 974-17-5317-9.

กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง (Hollow-Fiber-Supported Liquid Membrane) เป็นกระบวนการที่ให้การสกัดแยกสารละลายที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถขยายกำลังการผลิตได้ง่ายด้วยวิธีการเพิ่มจำนวนหอสกัด กระบวนการนี้พบว่า สามารถวิเคราะห์ทำนายพฤติกรรมการสกัด ได้ด้วยวิธีการสร้างกราฟจากเส้นสมมูลระหว่างสารละลายที่มีสารที่ต้องการสกัด และสารละลายสกัดที่ถูกพองด้วยเส้นใยกลวงของเยื่อแผ่นเหลวนั้น

วิธีการวิเคราะห์โดยการสร้างกราฟนั้น ได้กำหนดใช้สมมุติฐานสมมูลระหว่างสารละลายไม่เชิงเส้นเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งได้จากการสกัดไอออนโลหะ ซีเรียม แลนทานัม นีโอติเมียม แพลเลเดียม โครเมต ทองแดง และ แพลตินัม พบว่าให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับผลการทดลองทั้งในระบบหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่ และยังมีความแม่นยำกว่าผลการทำนายจากการสร้างกราฟที่ใช้สมมูลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง โดยเฉพาะผลลัพธ์การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการนำกลับนั้น ให้ผลความแม่นยำที่ชัดเจนกว่ามาก นอกเหนือจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังพบว่าวิธีการยังสามารถใช้งานได้อย่างน่าพอใจกับลักษณะการปฏิบัติการสกัดแบบกึ่งไหลเวียน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างกราฟที่มีสมมูลสารละลายแบบไม่เชิงเส้น ก็ยังให้ผลที่ดีกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างกราฟที่มีสมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงในกรณีนี้

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต..... เศรษฐา จตุระบุล
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... [ลายมือ]

4571469021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORDS: NON LINEAR / LIQUID MEMBRANE / HOLLOW FIBER / GRAPHICAL / EQUILIBRIUM

SRESTHA CHATURABUL : A PREDICTION OF METAL IONS SEPARATION VIA HOLLOW-FIBER-SUPPORTED LIQUID MEMBRANE BY NON-LINEAR GRAPHICAL ANALYSIS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. URA PANCHAREON, Ph.D., 160 pp. ISBN 974-17-5317-9.

Hollow-Fiber-Supported Liquid Membrane (HFSLM) is a well-known process in providing high separation proficiency. It can be simply expanded to higher capability by adding module in series. It is found that simple graphical procedure can predict the separation of HFSLM. The graphical procedure utilizes equilibrium theory which is the equilibrium relationship between liquid membrane and an aqueous solution, where desired-to-extract substance is contained, to predict the separation at each cycle of the process.

Graphical prediction method uses an assumption based on non-linear equilibrium relationship between liquid membrane and an aqueous solution. It is found that the predicted results are well correlated with the experimental results of Cerium, Lanthanum, Neodymium, Palladium, Chromate, Copper and Platinum ions extraction in both single and double HFSLM operations. The predicted results give finer precision than the solution using linear equilibrium relationship; in particular to the case related to stripping process. Furthermore, it is found that the graphical method is applicable with the HFSLM process of semi-circulation operation as well. Again, the prediction using non-linear graphical solution for the semi-circulation operation gives finer solution than the linear graphical solution.

Department Chemical Engineering

Field of study Chemical Engineering

Academic year 2548

Student's signature.....

Advisor's signature.....

๒๕๓๙๙๙ ๙๗๗๗๗๗



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. วีรวัฒน์ ปัตติวงศา ผู้ซึ่งได้ให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้ง ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรงค์ ปวรอาจารย์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

ทำนุผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และขอบคุณน้องชาย ที่สนับสนุน ให้กำลังใจและห่วงใยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และขอบคุณเพื่อนทุกคน โดยเฉพาะ คุณกนกพร พงศิริเกษ ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ฐ |
| สัญลักษณ์..... | ณ |
| | |
| <u>บทนำ</u> | 1 |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 5 |
| ขอบเขตของการวิจัย | 5 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 5 |
| วิธีดำเนินการวิจัย | 6 |
| เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 7 |
| แนวคิดและทฤษฎี..... | 7 |
| เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 19 |
| วิธีดำเนินการวิจัย..... | 23 |
| เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย | 23 |
| การเก็บรวบรวมข้อมูล | 35 |
| การวิเคราะห์ข้อมูล | 35 |
| ผลการวิเคราะห์ข้อมูล | 39 |
| ประสิทธิภาพของเกณฑ์เปรียบเทียบ..... | 40 |
| ทำนายด้วยวิธีสร้างกราฟอาศัยความสัมพันธ์สมมูลสารละลาย ไม่เชิงเส้น | 43 |
| ประยุกต์ใช้การทำนายด้วยวิธีสร้างกราฟกับบทวิจัยอื่นของการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง | 66 |
| วิเคราะห์เปรียบเทียบ | 73 |
| สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ | 79 |
| สรุปผลการวิจัย..... | 79 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| ข้อเสนอแนะ..... | 81 |
| รายการอ้างอิง..... | 82 |
| ภาคผนวก..... | 86 |
| ภาคผนวก ก..... | 87 |
| ตัวอย่างการคำนวณร้อยละความแตกต่าง (% Error)..... | 87 |
| ภาคผนวก ข..... | 89 |
| ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาสัมประสิทธิ์อาร์กำลังสอง (RSQ)..... | 89 |
| ภาคผนวก ค..... | 91 |
| ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าดัชนีประสิทธิผล (PI)..... | 91 |
| ภาคผนวก ง..... | 93 |
| ผลคำนวณการสกัดและนำกลับ ไอออนซีเรียมด้วยวิธีการสร้างกราฟ..... | 93 |
| ภาคผนวก จ..... | 105 |
| ผลคำนวณการสกัดและนำกลับ ไอออนแลนทานัมด้วยวิธีการสร้างกราฟ..... | 105 |
| ภาคผนวก ฉ..... | 117 |
| ผลคำนวณการสกัดและนำกลับ ไอออนนีโอดีเมียมด้วยวิธีการสร้างกราฟ..... | 117 |
| ภาคผนวก ช..... | 129 |
| ผลคำนวณการสกัดและนำกลับ ไอออนแพลเลเดียมด้วยวิธีการสร้างกราฟ..... | 129 |
| ภาคผนวก ซ..... | 141 |
| ผลคำนวณการสกัดและนำกลับ โครเมตด้วยวิธีการสร้างกราฟ..... | 141 |
| ผลคำนวณการสกัดและนำกลับ ทองแดงด้วยวิธีการสร้างกราฟ..... | 146 |
| ผลคำนวณการสกัดและนำกลับ แพลตินัมด้วยวิธีการสร้างกราฟ..... | 152 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 156 |

สารบัญตาราง

| ตาราง | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1 คุณสมบัติของโมดูลเส้นใยกลวง (Hoechst Celanese Corporation, 1995) | 24 |
| ตารางที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณหา Avg % Error ของการสกัด..... | 36 |
| ตารางที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณหา RSQ..... | 37 |
| ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณ PI ของแต่ละชุดข้อมูลการทำนายที่ศึกษา | 38 |
| ตารางที่ 5 ผลการคำนวณเกณฑ์เปรียบเทียบกรณีการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว..... | 41 |
| ตารางที่ 6 ผลการคำนวณเกณฑ์เปรียบเทียบกรณีการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว | 42 |
| ตารางที่ 7 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว..... | 47 |
| ตารางที่ 8 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่..... | 47 |
| ตารางที่ 9 ร้อยละการสกัดและนำกลับที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัด Ce..... | 48 |
| ตารางที่ 10 ผลลัพธ์การหาสมมูลสารละลายที่ให้ค่าการทำนายร่วมของการสกัดและนำกลับอยู่ในเกณฑ์สูงลำดับต้น กรณีกระบวนการสกัด Ce..... | 49 |
| ตารางที่ 11 รูปแบบสมมูลสารละลายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี ในกระบวนการสกัด Ce... .. | 49 |
| ตารางที่ 12 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยว..... | 53 |
| ตารางที่ 13 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่..... | 53 |
| ตารางที่ 14 ร้อยละการสกัดและนำกลับที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัด Ln..... | 54 |
| ตารางที่ 15 ผลลัพธ์การหาสมมูลสารละลายที่ให้ค่าการทำนายร่วมของการสกัดและนำกลับอยู่ในเกณฑ์สูงลำดับต้น กรณีกระบวนการสกัด Ln | 55 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 16 รูปแบบสมมูลสารละลายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี ในกระบวนการสกัด Ln... | 55 |
| ตารางที่ 17 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Nd ระบบหอสกัดเดี่ยว | 59 |
| ตารางที่ 18 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Nd ระบบหอสกัดคู่ | 59 |
| ตารางที่ 19 ร้อยละการสกัดและนำกลับที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัด Nd..... | 60 |
| ตารางที่ 20 ผลลัพธ์การหาสมมูลสารละลายที่ให้ค่าการทำนายร่วมของการสกัดและนำกลับอยู่ในเกณฑ์สูงลำดับต้น กรณีกระบวนการสกัด Nd | 60 |
| ตารางที่ 21 รูปแบบสมมูลสารละลายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี ในกระบวนการสกัด Nd... | 61 |
| ตารางที่ 22 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Pd ระบบหอสกัดเดี่ยว..... | 64 |
| ตารางที่ 23 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Pd ระบบหอสกัดคู่..... | 64 |
| ตารางที่ 24 ร้อยละการสกัดและนำกลับที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัด Pd | 65 |
| ตารางที่ 25 ผลลัพธ์การหาสมมูลสารละลายที่ให้ค่าการทำนายร่วมของการสกัดและนำกลับอยู่ในเกณฑ์สูงลำดับต้น กรณีกระบวนการสกัด Pd..... | 66 |
| ตารางที่ 26 รูปแบบสมมูลสารละลายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี ในกระบวนการสกัด Pd ... | 66 |
| ตารางที่ 27 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Cr ระบบหอสกัดเดี่ยว | 68 |
| ตารางที่ 28 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Cu ระบบหอสกัดเดี่ยวที่มีปฏิบัติการแบบกึ่งไหลเวียน .. | 68 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง

หน้า

| | |
|--|----|
| ตารางที่ 29 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมดุ ลสารละลาย กรณีการสกัด Pt ระบบหอสกัดเดียว..... | 69 |
|--|----|



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

| ภาพประกอบ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1 รูปพหุคูณภาคของตัวรองรับแบบเส้นใยกลวง (ขวัญตา, 2546) | 2 |
| รูปที่ 2 ภาคตัดขวางของเส้นใยกลวงโดยป้อนสารในลักษณะไหลสวนทางกัน (ณรรฐพล, 2545). 2 | |
| รูปที่ 3 โมดูลเส้นใยกลวง (ขวัญตา, 2546) | 2 |
| รูปที่ 4 กลไกการถ่ายเทมวลของสารที่ต้องการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลว (วีรวัดณ์, 2546)..... | 3 |
| รูปที่ 5 แผนผังการไหลในชุดการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (วีรวัดณ์, 2546) 10 | |
| รูปที่ 6 แผนผังของรูปแบบสมดุการไหลในท่อ (วีรวัดณ์, 2546)..... | 11 |
| รูปที่ 7 แผนผังขั้นตอนการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัดณ์, 2546) | 13 |
| รูปที่ 8 วิธีการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้เส้นสมดุลักษณะไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึมในการสาธิต ... | 16 |
| รูปที่ 9 แผนผังขั้นตอนการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดคู่ (วีรวัดณ์, 2546) | 17 |
| รูปที่ 10 วิธีการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดคู่โดยใช้เส้นสมดุลักษณะไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึมในการสาธิต | 18 |
| รูปที่ 11 ชุดอุปกรณ์ Liqui-Cel [®] Laboratory ที่ใช้ในการทดลอง (Hoechst Celanese Corporation, 1995) | 24 |
| รูปที่ 12 รูปแบบการไหลแบบไหลสวนทางกันในโมดูลเส้นใยกลวง (ณรรฐพล, 2545) | 25 |
| รูปที่ 13 ลักษณะปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว (One-through Mode) (ณรรฐพล, 2545) .. | 26 |
| รูปที่ 14 ลักษณะปฏิบัติการแบบไหลเวียนรอบ (Circulating Mode) (ณรรฐพล, 2545)..... | 27 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 26 แผนผังการทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟสำหรับกรณีการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมดุลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึม..... | 39 |
| รูปที่ 27 แผนผังการทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟสำหรับกรณีการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมดุลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึม | 40 |
| รูปที่ 28 กราฟข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายและผลการทดลองของความเข้มข้นสารละลายป้อนที่เปลี่ยนไปของแต่ละรอบการไหลเวียน ในกรณีการสกัด Ce หอสกัดเดี่ยว . | 41 |
| รูปที่ 29 กราฟข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายและผลการทดลองของความเข้มข้นสารละลายนำกลับที่เปลี่ยนไปในแต่ละรอบการไหลเวียน กรณีการนำกลับ Ce หอสกัดเดี่ยว | 43 |
| รูปที่ 30 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมดุลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Ce หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Ce หอสกัดเดี่ยว... | 45 |
| รูปที่ 31 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมดุลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Ce หอสกัดคู่ และ (ข) การนำกลับ Ce หอสกัดคู่..... | 46 |
| รูปที่ 32 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมดุลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Ln หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Ln หอสกัดเดี่ยว.... | 51 |
| รูปที่ 33 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมดุลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Ln หอสกัดคู่ และ (ข) การนำกลับ Ln หอสกัดคู่ | 52 |
| รูปที่ 34 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมดุลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Nd หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Nd หอสกัดเดี่ยว .. | 57 |
| รูปที่ 35 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมดุลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Nd หอสกัดคู่ และ (ข) การนำกลับ Nd หอสกัดคู่..... | 58 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- รูปที่ 36** กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Pd โดยหอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Pd หอสกัดเดี่ยว 62
- รูปที่ 37** กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Pd หอสกัดคู่ และ (ข) การนำกลับ Pd หอสกัดคู่ 63
- รูปที่ 38** กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 ที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมของการสกัดและนำกลับ Pd 65
- รูปที่ 39** กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Cr หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Cr หอสกัดเดี่ยว 70
- รูปที่ 40** กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Cu หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Cu หอสกัดเดี่ยว... 71
- รูปที่ 41** กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Pt หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Pt หอสกัดเดี่ยว 72
- รูปที่ 42** กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย F-Lnr and S-Log และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว 74
- รูปที่ 43** กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 Non Zero และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยว 74
- รูปที่ 44** กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย F-Lnr and S-Log และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Nd ระบบหอสกัดเดี่ยว 75
- รูปที่ 45** กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Pt ระบบหอสกัดเดี่ยว 75
- รูปที่ 46** กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่..... 76

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- รูปที่ 47** กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพท์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่ 77
- รูปที่ 48** กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพท์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Nd ระบบหอสกัดคู่ 77
- รูปที่ 49** กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพท์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Pd ระบบหอสกัดคู่ 78



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์

| | |
|--------------------|---|
| RH | สารสกัดในเชื้อแผ่นเหลว |
| k_{1ex} | ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสกัดไปข้างหน้า |
| k_{2ex} | ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสกัดย้อนกลับ |
| k_{1re} | ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยานำกลับไปข้างหน้า |
| k_{2re} | ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยานำกลับย้อนกลับ |
| L | ความยาวของโมดูลเส้นใยกลวง |
| i | หมายเลขลำดับของชั้นตอนแต่ละชั้น |
| j | ลำดับการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของหน่วยย่อยแต่ละหน่วย |
| V_{aq} และ V_m | ปริมาตรของวัฏภาคของสารละลายและปริมาตรของเชื้อแผ่นเหลวต่อหนึ่งหน่วยเล็กในแต่ละลำดับชั้นตอน |
| HFSLM | เชื้อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง |
| TOA | สารสกัด Trinormal Octylamine |
| TRHCL-OA | สารสกัด Thioridazine-HCL |
| D2EHPA | สารสกัด Di (2-Ethylhexyl) Phosphate |
| RSQ | สัมประสิทธิ์อาร์กำลังสอง (R-Squared Coefficient) |
| PI | ดัชนีประสิทธิผล (Performance Index) |
| Ce | ซีเรียม (Cerium) |
| Ln | แลนทานัม (Lanthanum) |
| Nd | นีโอดิเมียม (Neodymium) |
| Pd | แพลเลเดียม (Palladium) |
| Cr | โครเมต (Chromate) |
| Cu | ทองแดง (Copper) |
| Pt | ทองคำขาว (Platinum) |

ตัวห้อย

| | |
|-----|----------------------|
| aq | วัฏภาคสารละลาย |
| org | วัฏภาคของสารอินทรีย์ |

บทที่ 1

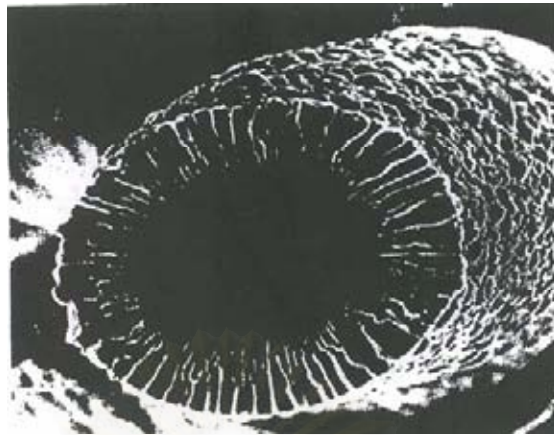
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

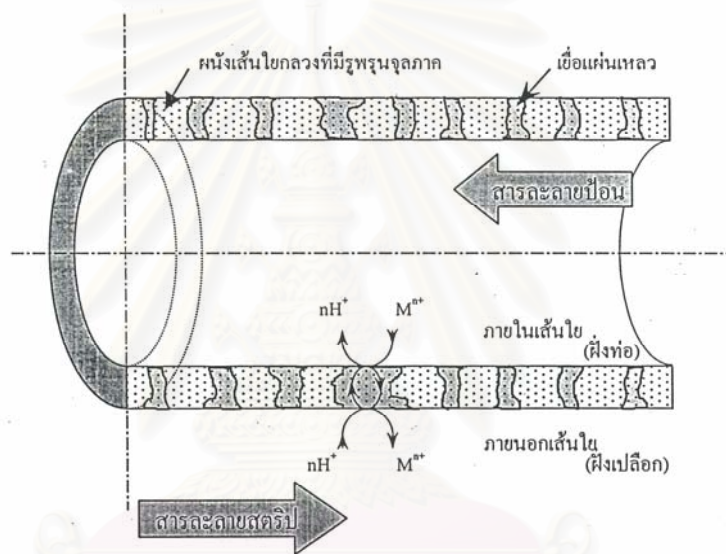
เยื่อแผ่นและเทคนิคการแยกด้วยเยื่อแผ่น ได้รับความสนใจและมีการพัฒนามากขึ้น ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและงานวิจัย ด้วยเหตุผลที่ว่า การแยกด้วยเยื่อแผ่นมีข้อดีเหนือการสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ มีค่าการเลือกสกัดสูง ใช้สารละลายสกัดและตัวทำละลายในปริมาณน้อย สามารถแยกสารที่มีความเข้มข้นเจือจางมาก ๆ ได้ ร้อยละการสกัดเร็วกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลาย และสามารถเกิดขึ้นตอนการสกัดและการนำกลับได้พร้อมกัน (นิติต สุไลมาน, 2543) นอกจากนี้การแยกด้วยเยื่อแผ่นสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิปกติ จึงสามารถใช้กับสารละลายที่ไวต่ออุณหภูมิได้โดยไม่ทำให้อุณหภูมิหรือโครงสร้างทางเคมีเสียหาย

กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นนี้ มีหลายรูปแบบ แต่รูปแบบที่ได้รับความนิยมและเป็นหัวข้อในการวิจัยนี้ คือ การแยกหรือการสกัด ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลาง เยื่อแผ่นเหลวชนิดนี้วัฏภาคของเยื่อแผ่นเหลวจะถูกยึดตรึงไว้ภายในรูพรุนของตัวรองรับด้วยแรงแคปิลลารี (Capillary Force) (Marr and Copp, 1982; Schulz, 1988) การยึดตรึงนี้เพื่อไม่ให้เยื่อแผ่นเหลวมีการเคลื่อนที่และทำให้มีความเสถียรมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถเรียกเยื่อแผ่นเหลวชนิดนี้ได้ว่า “Immobilized Liquid Membrane” (Schulz, 1988) รูพรุนจุลภาคภายในตัวรองรับสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ รูพรุนจุลภาคชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic Microporous) ซึ่งจะยอมให้วัฏภาคที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายเคลื่อนที่ผ่านหรือถูกยึดตรึงภายในรูพรุนจุลภาคได้เท่านั้น ส่วนอีกชนิดคือ รูพรุนจุลภาคชนิดชอบน้ำมัน (Hydrophobic Microporous) ซึ่งจะยอมให้วัฏภาคที่มีสารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายผ่านหรือถูกยึดตรึงได้เท่านั้น

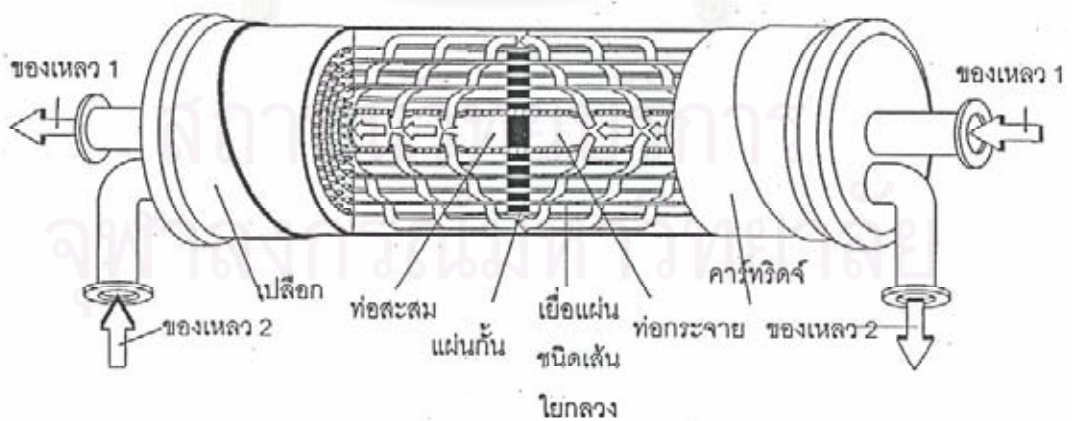
ตัวรองรับชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นใยกลางรูพรุนสูงดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 การนำไปใช้งานจะมัดเส้นใยกลางหลาย ๆ เส้นรวมกัน โดยปลายของเส้นใยทั้งสองด้านฝังอยู่ในชั้นฐานซึ่งอาจเป็นเรซินพอลิยูรีเทนหรือยางซิลิโคนใส่ไว้ในโมดูล (Module) ที่ทำจากอะโครลิกหรือเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรแสดงดังรูปที่ 3 โดยตัวรองรับแบบเส้นใยกลางนี้จะมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวรองรับแบบอื่น ๆ ที่มีขนาดเท่ากัน (Baker, 200)



รูปที่ 1 รูปทรงจุลภาคของตัวรองรับแบบเส้นใยกลาง (ขวัญตา, 2546)

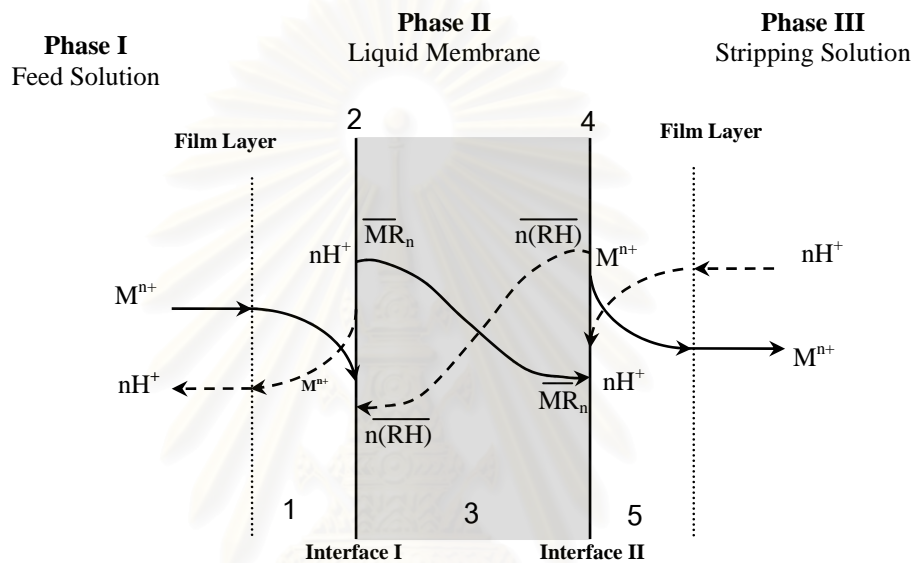


รูปที่ 2 ภาคตัดขวางของเส้นใยกลางโดยป้อนสารในลักษณะไหลสวนทางกัน (ณรรฐพล, 2545)



รูปที่ 3 โมดูลเส้นใยกลาง (ขวัญตา, 2546)

หลักการของการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นเหลว อาศัยกลไกที่ว่า เยื่อแผ่นมีของเหลวที่ขวางกั้นสาร 2 ภูมิภาคเอาด้วยกันและทำให้เกิดการแยกขึ้น โดยอาศัยความสามารถในการละลายของสารในตัวทำละลายที่แตกต่าง กระบวนการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวเป็นกระบวนการซึ่งรวมขั้นตอนการสกัดและขั้นตอนการนำกลับของกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายไว้เป็นขั้นตอนเดียวกัน ทำให้เกิดการสกัดและการนำกลับอย่างต่อเนื่อง กลไกการถ่ายเทมวลของสารที่ต้องการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กลไกการถ่ายเทมวลของสารที่ต้องการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลว (วีรวัฒน์, 2546)

จากรูปที่ 4 กระบวนการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวประกอบด้วยสาร 3 ภูมิภาค นั่นคือ ภูมิภาคสารละลายป้อน ภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลว และภูมิภาคสารละลายนำกลับ หรือสตริป ซึ่งภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลวจะกั้นกลางระหว่างภูมิภาคของสารละลายป้อนและภูมิภาคของสารละลายนำกลับ โดยผิวสัมผัสที่ I และ II เป็นผิวสัมผัสระหว่างภูมิภาคทั้งสองด้านของเยื่อแผ่นเหลวซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับถ่ายเทมวลข้ามภูมิภาคของสารที่ต้องการสกัดนั่นเอง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างภูมิภาคจะเกิดขึ้นฟิล์มบาง ๆ เพื่อแสดงขอบเขตบริเวณอิทธิพลการแพร่ของสารใกล้ผิวสัมผัส ซึ่งมีกลไกการถ่ายเทมวลของกระบวนการ 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง จากรูปที่ 4 แสดงด้วยสัญลักษณ์ (1) เป็นขั้นตอนที่สารที่ต้องการสกัดซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ M^{n+} จากกระแสภูมิภาคของสารละลายป้อนแพร่ผ่านชั้นฟิล์มบาง ๆ ไปยังบริเวณผิวสัมผัสระหว่างภูมิภาคสารละลายป้อนกับภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลว (ผิวสัมผัสที่ I) เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารที่ต้องการสกัด (Concentration Gradient) ไปสู่บริเวณผิวสัมผัสที่ I

ขั้นตอนที่สอง จากรูปที่ 4 แสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ (2) เป็นขั้นตอนที่ไอออนโลหะบริเวณผิวสัมผัสที่ 1 หลังจากแพร่ผ่านชั้นฟิล์มมาแล้ว จะเกิดการปฏิกิริยาสะกัดเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารละลายสะกัดกับไอออนของสารที่ต้องการสะกัด (MR_n) และไอออนไฮโดรเนียม (nH^+)

ขั้นตอนที่สาม จากรูปที่ 4 แสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ (3) เป็นขั้นตอนที่สารประกอบเชิงซ้อนของสารละลายสะกัดกับไอออนของสารที่ต้องการสะกัด (MR_n) แพร่ผ่านชั้นความหนาของเยื่อแผ่นเหลว อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนไปสู่บริเวณผิวสัมผัสที่ 2

ขั้นตอนที่สี่ จากรูปที่ 4 แสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ (4) เป็นขั้นตอนที่สารประกอบเชิงซ้อนหลังจากแพร่ผ่านชั้นความหนาของเยื่อแผ่นเหลวมายังบริเวณผิวสัมผัสที่ 2 แล้วนั้น จะเกิดปฏิกิริยาการนำกลับกับสารละลายนำกลับ ทำให้ไอออนของสารที่ต้องการสะกัดถ่ายเทมวลออกจากเยื่อแผ่นเหลว ณ บริเวณผิวสัมผัสที่ 2

และขั้นตอนที่ห้า จากรูปที่ 4 แสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ (5) เป็นขั้นตอนที่ไอออนของสารที่ต้องการสะกัดแพร่ออกจากบริเวณผิวสัมผัสที่ 2 ผ่านชั้นฟิล์มบางไปสู่กระแสสารละลายนำกลับ โดยมีกระบวนการคือไอออนเชิงซ้อนนั้นเกิดปฏิกิริยานำกลับที่เป็นการทำลายพันธะของสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ไอออนของสารที่ต้องการสะกัดถ่ายเทมวลออกจากภูมิภาคของเยื่อแผ่นเหลวเข้าสู่กระแสสารละลายนำกลับ โดยที่สารละลายสะกัดหลังจากแยกออกจากสารประกอบเชิงซ้อนแล้วจะแพร่ย้อนกลับเข้าไปในเยื่อแผ่นเหลว ออกจากบริเวณผิวสัมผัสที่ 2 ไปสู่ผิวสัมผัสที่ 1 ดังเดิมอันเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายสะกัดนั้น การสะกัดตามกลไกทั้ง 5 ที่กล่าวมาข้างต้นจะเกิดขึ้นไป ซ้ำมาโดยอาศัยแรงขับของกระบวนการจากความแตกต่างของความเข้มข้น (pH Gradient) ซึ่งเป็นสภาวะของกระบวนการ และความแตกต่างของความเข้มข้น จนเข้าสู่ภาวะคงตัวในที่สุด

อาศัยพื้นฐานของกลไกการสะกัดที่ได้อธิบายข้างต้น การศึกษารูปแบบจำลองโดยสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการสะกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวเพื่อทำนายพฤติกรรมการสะกัดได้มีกระทำกันอย่างแพร่หลาย สำหรับการสะกัดกรณีผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงนั้น ได้มีการพัฒนาโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสามารถสร้างกราฟทำนายพฤติกรรม (วีรวัฒน์, 2546) อาศัยสมมติฐานของความสัมพันธ์ของสมดุลสารละลายแบบเชิงเส้นตรงซึ่งอยู่ภายใต้กฎเฮ

นรีสำหรับสารละลายที่มีเข้มข้นเจือจางมาก ในครั้งนั้นผลจากการทำนายโดยใช้กราฟให้ผลที่น่าพอใจเป็นอย่างดี

สำหรับในบทวิจัยนี้ การศึกษาก็ยังคงอยู่ที่การทำนายพฤติกรรมการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวโดยใช้วิธีการสร้างกราฟเช่นเดิม เพียงแต่จะใช้วิธีการพิจารณาโดยความสัมพันธ์ของสมดุลสารละลายที่เป็นแบบไม่เชิงเส้น อันเนื่องจากการสกัดจะมีลักษณะปฏิบัติการที่มีการไหลเวียนรอบของสารละลาย และโดยเฉพาะสารละลายนำกลับซึ่งจะมีความเข้มข้นของสารที่ต้องการสกัดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบของการไหลเวียน ซึ่งคาดว่าจะมีพฤติกรรมหลุดออกจากพฤติกรรมของสารละลายเจือจางที่มีสมดุลของสารละลายแบบเชิงเส้นตรงภายใต้กฎของเฮนรี และทำให้แตกต่างจากสมดุลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำนายพฤติกรรมการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้วิธีการสร้างกราฟที่สร้างมาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มี (1) สมดุลระหว่างสารละลายป้อนและสารละลายสกัดที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลว และ (2) สมดุลระหว่างสารละลายนำกลับและสารละลายสกัดที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลว เป็นความสัมพันธ์ลักษณะไม่เชิงเส้น และประเมินความแม่นยำจากผลลัพธ์ที่ได้

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยจะพิจารณาถึงผลลัพธ์การทำนายที่ได้ของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านการไหลเวียนของแต่ละรอบการสกัด เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองในกรณีของทั้งกระบวนการสกัดในหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สภาวะสมดุลของสารละลายที่ให้ผลการทำนายการสกัดโดยวิธีการใช้กราฟที่แม่นยำขึ้น อีกทั้งยังสามารถหาสมดุลของสารละลายที่เป็นตัวแทนในแต่ละช่วงความเข้มข้นของไอออนโลหะที่ทำการสกัด โดยตัวแทนนี้ เมื่อนำไปใช้ในการหาผลลัพธ์การทำนายโดยการสร้างกราฟแล้ว สามารถให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำโดยไม่จำกัดที่ชนิดของไอออนโลหะ แต่ขึ้นกับช่วงความเข้มข้นที่พิจารณานั้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองที่ได้จากการสกัดสาร ไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. พัฒนาชุดคำสั่งโปรแกรมเพื่อการทำนายพฤติกรรมการสกัดโดยการสร้างกราฟที่มีสมมูลสารละลายแบบต่าง ๆ ทั้งแบบเชิงเส้นตรงและไม่เชิงเส้น
3. หาผลลัพธ์จากการทำนายพฤติกรรมการสกัดโดยการสร้างกราฟด้วยรูปแบบสมมูลสารละลายแบบต่าง ๆ และเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง
4. หาผลลัพธ์การทำนายที่ให้ค่าเทียบเคียงกับผลการทดลองมากที่สุด และสรุปผลการสกัดไอออนโลหะแต่ละกรณี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

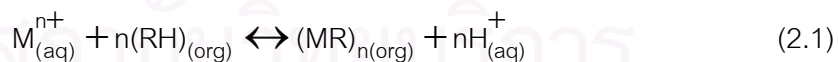
แนวคิดและทฤษฎี

แนวคิดและทฤษฎีซึ่งเป็นพื้นฐานในการพัฒนาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการทำนายการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวโดยการสร้างกราฟนั้น มีรูปแบบของกระบวนการเป็นไปตามกลไกเช่นเดียวกับรูปที่ 4 ดังที่แสดงไว้ในบทที่ 1

กระบวนการประกอบด้วยสาร 3 วัฏภาค คือ 1) วัฏภาคสารละลายป้อน 2) วัฏภาคสารละลายนำกลับ และ 3) วัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวซึ่งยึดตรึงอยู่ภายในรูพรุนจุลภาคของเส้นใยกลวง ทำให้สามารถขวางกั้นวัฏภาคที่หนึ่งและสองเอาไว้ได้ ขั้นตอนการถ่ายเทมวลมีทั้งหมด 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง เป็นขั้นตอนที่ไอออนโลหะซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ M^{n+} ในสารละลายป้อนแพร่ผ่านชั้นฟิล์มบาง ๆ ไปยังบริเวณผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวเนื่องด้วยความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนโลหะไปสู่บริเวณผิวสัมผัสที่ 1

ขั้นตอนที่สอง เป็นขั้นตอนที่ไอออนโลหะบริเวณผิวสัมผัสที่ 1 หลังจากแพร่ผ่านชั้นฟิล์มมาแล้ว เกิดการปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารละลายสกัดกับไอออนโลหะ (MR_n) และไอออนไฮโดรเนียม (nH^+) ปฏิกิริยาการสกัดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสที่ 1 สามารถแสดงได้ดังนี้



โดยที่อักษรห้อย aq แทนวัฏภาคสารละลาย (Aqueous Phase) ส่วนอักษรห้อย org แทนวัฏภาคของสารอินทรีย์ (Organic Phase) และอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสกัดดำเนินไปข้างหน้าสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.2

$$r_{ex,forward} = k_{1ex} [M^{n+}] [RH]^n \quad (2.2)$$

และสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสกัดย้อนกลับแสดงได้ดังนี้

$$-r_{ex,reverse} = k_{2ex} [MR_n] [H^+]^n \quad (2.3)$$

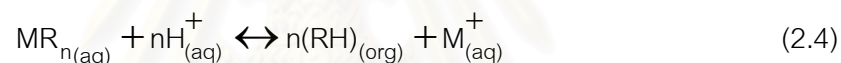
โดยที่ RH แทนสารละลายสกัดในเยื่อแผ่นเหลวและมีสมดุลปฏิกิริยาการสกัดเท่ากับ $K_{ex} = \frac{k_{1ex}}{k_{2ex}}$

k_{1ex} ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสกัดไปข้างหน้า

k_{2ex} ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสกัดย้อนกลับ

ขั้นตอนที่สาม เป็นขั้นตอนที่สารประกอบเชิงซ้อนของสารละลายสกัดกับไอออนโลหะ (MR_n) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสกัดบริเวณผิวสัมผัสที่ I แพร่ผ่านชั้นความหนาของเยื่อแผ่นเหลวด้วยความแตกต่างของความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อน ไปสู่บริเวณผิวสัมผัสที่ II

ขั้นตอนที่สี่ เป็นขั้นตอนที่สารประกอบเชิงซ้อนหลังจากแพร่ผ่านชั้นความหนาของเยื่อแผ่นเหลวมายังบริเวณผิวสัมผัสที่ II แล้วนั้น เกิดปฏิกิริยานำกลับกับสารละลายนำกลับทำให้ไอออนโลหะถ่ายเทมวลออกจากเยื่อแผ่นเหลว ณ บริเวณผิวสัมผัสที่ II ซึ่งปฏิกิริยาการนำกลับสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.4



โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยานำกลับไปข้างหน้าสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$r_{re,forward} = k_{1re} [MR_n][H^+]^n \quad (2.5)$$

และสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาการนำกลับดำเนินย้อนกลับสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.6

$$-r_{re,reverse} = k_{2re} [M^{n+}][RH]^n \quad (2.6)$$

$k_{1, re}$ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยานำกลับไปข้างหน้า

$k_{2, re}$ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยานำกลับย้อนกลับ

สารประกอบเชิงซ้อนหลังเกิดปฏิกิริยานำกลับกับไอออนไฮโดรเจนและปลดปล่อยไอออนโลหะออกไปแล้ว สารละลายสกัดจะกลับคืนสู่เยื่อแผ่นเหลวและเข้าสู่สภาวะสมดุลในที่สุด

ขั้นตอนที่ห้า เป็นขั้นตอนที่ไอออนโลหะหลังจากถ่ายเทมวลออกจากเยื่อแผ่นเหลวที่บริเวณผิวสัมผัสที่ II แล้ว จะแพร่ออกจากบริเวณผิวสัมผัสที่ II ผ่านชั้นฟิล์มบางไปสู่กระแสสารละลายนำกลับด้วยความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนโลหะที่ถ่ายเทมวลออกมา

กระบวนการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

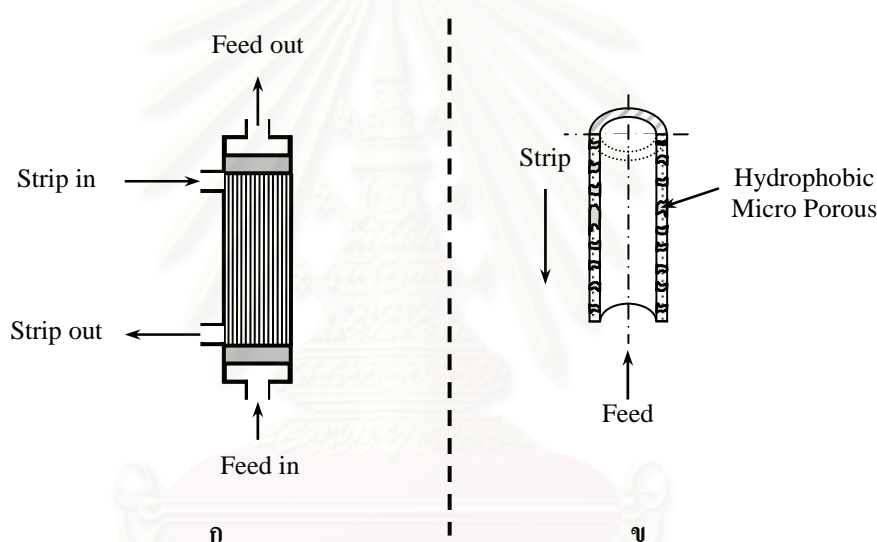
กระบวนการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง การปฏิบัติการจะเริ่มต้นด้วยการเตรียมเยื่อแผ่นเหลวในหอสกัด เพื่อยึดตรึงเยื่อแผ่นเหลวให้พร้อมสำหรับเริ่มต้นกระบวนการสกัด กระทำได้โดยป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวซึ่งเป็นสารละลายผสมระหว่างสารละลายสกัดกับตัวทำละลายอินทรีย์ในสัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายสกัดที่เหมาะสม โดยป้อนสารละลายผสมที่ได้ให้ไหลเข้าสู่ภายในท่อเส้นใยกลวงในหอสกัด สารละลายผสมนี้จะไหลเข้าไปในรูพรุนจุลภาคชนิดไม่ชอบน้ำของเส้นใยกลวงภายในหอสกัดซึ่งจะเป็นแหล่งยึดตรึงเยื่อแผ่นเหลวเอาไว้ด้วยแรงดึงดูดของรูพรุนจุลภาค (Capillary Force) และสัมพันธภาพอิเล็กตรอน (Electro Affinity) เกิดเป็นเยื่อแผ่นเหลวยึดตรึงอยู่ภายในรูพรุนจุลภาคของเส้นใยกลวง และทำหน้าที่ขวางกั้นวัฏภาคระหว่างภายนอกและภายในท่อเส้นใยกลวงเอาไว้ (Patthaveekongka et al., 2003) ทำให้โมดูลเส้นใยกลวงพร้อมสำหรับเริ่มต้นกระบวนการสกัดต่อไป

จากนั้นเริ่มดำเนินการสกัดด้วยการป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับพร้อมกันเข้าสู่หอสกัดโดยให้สารละลายป้อนไหลเข้าสู่ภายในท่อของเส้นใยกลวง ทันทีที่สารละลายป้อนสัมผัสกับเยื่อแผ่นเหลวจะเกิดปฏิกิริยาการสกัดดังสมการที่ 2.1 จากปฏิกิริยาการสกัดทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารละลายสกัดกับไอออนโลหะซึ่งเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลของไอออนโลหะออกจากสารละลายป้อนไปสู่เยื่อแผ่นเหลวที่ยึดตรึงอยู่ภายในรูพรุนจุลภาคของเส้นใยกลวง และดำเนินการสกัดไปจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลการสกัดอย่างรวดเร็ว (M.H. Yi, 1997)

ลำดับต่อมาสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะแพร่ผ่านชั้นเยื่อแผ่นเหลวไปสู่ผิวสัมผัสทางด้านฝั่งสารละลายนำกลับ และเกิดปฏิกิริยานำกลับกับสารละลายนำกลับดังสมการที่ 2.4 ซึ่งปฏิกิริยานำกลับนั้นจะปลดปล่อยไอออนโลหะออกจากวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวไปสู่วัฏภาคสารละลายนำกลับและเกิดเป็นสารละลายสกัดกลับคืนสู่วัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว ปฏิกิริยานำกลับจะเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลของไอออนโลหะออกจากวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวไปสู่วัฏภาคสารละลายนำกลับนั่นเอง และปฏิกิริยาการนำกลับจะดำเนินไปจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลการนำกลับอย่างรวดเร็ว

เช่นกัน (Mark and Porter, 1990; Marr and Kopp, 1982; Yi, 1995) กระบวนการจะดำเนินการตามขั้นตอนต่าง ๆ ข้างต้นจนกระทั่งครบปริมาตรของสารละลายทั้งสองเป็นอันจบรอบการปฏิบัติการแรก ปฏิบัติจะดำเนินการสักรอบต่อไปจนกระทั่งได้ครบตามจำนวนรอบการสกัดที่ต้องการต่อไป

กระบวนการตามขั้นตอนทั้งหมดข้างต้นมีผลทำให้ไอออนโลหะในสารละลายป้อนเกิดการถ่ายเทมวลออกไปสู่สารละลายนำกลับ โดยมีกลไกการถ่ายเทมวลเป็นการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายสกัดในเยื่อแผ่นเหลวที่ขวางกันสารละลายทั้งสองนั่นเอง (Jeong and Ju, 2002; Chaudry, 1996) กระบวนการสามารถแสดงแผนผังการไหลของวัฏภาคต่าง ๆ ในกระบวนการได้ดังรูปที่ 5

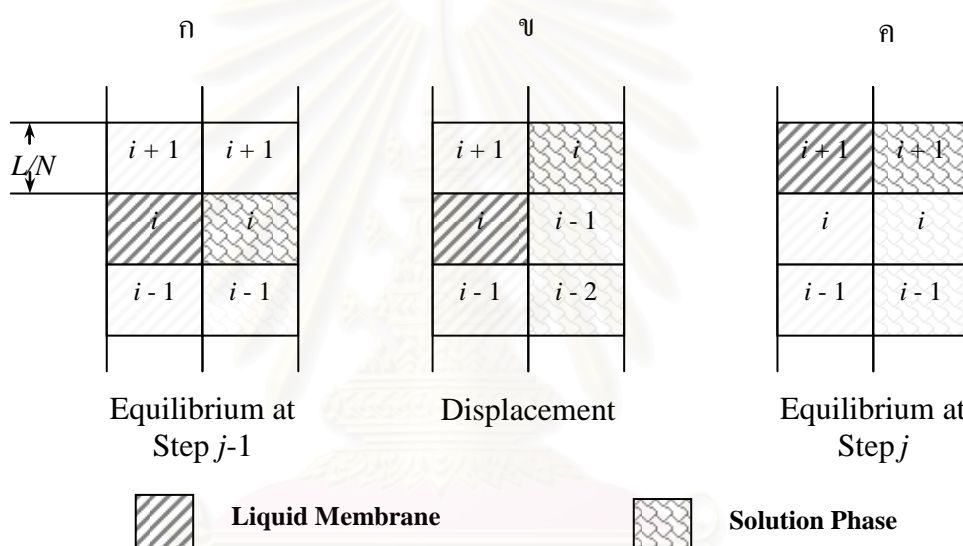


รูปที่ 5 แผนผังการไหลในชุดการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง (วีรวัฒน์, 2546)

พิจารณาจากรูปที่ 5 (ก) แสดงแผนผังของชุดการสกัดซึ่งมี 3 ส่วน ส่วนที่ 1 หอสกัด ส่วนที่ 2 ส่วนของสารละลายป้อน และส่วนที่ 3 ส่วนของสารละลายนำกลับ โดยที่ภายในหอสกัดจะบรรจุเส้นใยกลวงขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งเส้นใยกลวงแต่ละเส้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 (ข) ซึ่งแสดงภาพจำลองขยายขนาดของเส้นใยกลวง เส้นใยกลวงแต่ละเส้นจะมีรูพรุนจุลภาคชนิดไม่ชอบน้ำ ซึ่งรูพรุนจุลภาคเหล่านี้จะเป็นแหล่งยึดตรึงเยื่อแผ่นเหลวให้มีเสถียรภาพ (Thamphiphit, 1996; Ramakul and Panchareon, 2003) โดยลักษณะการปฏิบัติของกระบวนการจะสอดคล้องกับแบบจำลองการไหลในท่อซึ่งจะกล่าวในลำดับต่อไป

รูปแบบสมดุลการไหลในท่อ (Tubular Flow Model)

จากการศึกษาของ Chen และคณะ (1980) ก่อให้เกิดแนวความคิดใหม่อันนำไปสู่การประยุกต์ใช้รูปแบบสมดุลการไหลในท่อกับกระบวนการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงโดยพิจารณาจากรูปแบบขั้นตอนสมดุลการถ่ายเทมวลซึ่งจะแบ่งโมดูลเส้นใยกลวงให้เป็นหน่วยย่อย ๆ จำนวน N หน่วย ซึ่งแต่ละหน่วยจะมีขนาดเท่า ๆ กัน และมีขนาดเท่ากับ L/N โดยที่ L คือความยาวของโมดูลเส้นใยกลวง ขั้นตอนแต่ละขั้นจะถูกแทนด้วย (i, j) โดยที่ i คือ หมายเลขลำดับของขั้นตอนแต่ละขั้น ส่วน j คือ ลำดับการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของหน่วยย่อยแต่ละหน่วยดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนผังของรูปแบบสมดุลการไหลในท่อ (วีรวัฒน์, 2546)

จากรูปที่ 6 แสดงหน่วยเล็ก ๆ ของวัฏภาคสารละลายกับวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวที่ผิวสัมผัสของวัฏภาคทั้งสองในแต่ละลำดับขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยรูปย่อย 3 รูป (ก, ข และ ค) ตามลำดับของ j โดยในแต่ละรูปย่อยจะแบ่งได้เป็นสองส่วนนั่นคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่อยู่ทางด้านซ้ายมือซึ่งจะเป็นส่วนของเยื่อแผ่นเหลว และส่วนที่สองเป็นส่วนที่อยู่ทางด้านขวามือซึ่งจะเป็นส่วนของวัฏภาคสารละลาย

กระบวนการจะเริ่มต้นจากสมดุลของลำดับที่ $j-1$ ดังรูปย่อย ก จะแสดงหน่วยเล็กๆของวัฏภาคต่างๆ โดยแต่ละหน่วยเล็ก ๆ จะอยู่ในภาวะสมดุลซึ่งกันและกัน ดังนั้นจึงมีความเข้มข้นของไอออนโลหะสมดุลกันทั้งวัฏภาคสารละลายและวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวเมื่อถูกยึดตรึงในรูปพหุคูณของเส้นใยกลวงในหอสกัดไว้แล้วนั้น จะเป็นวัฏภาคที่หยุดนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ ลำดับต่อมาเป็นลำดับการแทนที่ของหน่วยเล็กๆ ในลำดับถัดไปดังรูปย่อย ข วัฏภาค

สารละลายจะไหลเคลื่อนย้ายตำแหน่งไปข้างหน้า 1 ตำแหน่งปริมาตร และความเข้มข้นของสารในแต่ละหน่วยเล็ก ๆ จะถูกย้ายตำแหน่งเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหนึ่งขั้นตอนตามลำดับ จากรูปพิจารณาหน่วยเล็ก ๆ ของวัฏภาคสารละลายในลำดับที่ i ซึ่งจะสมดุลกับหน่วยเล็ก ๆ ของวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวในลำดับที่ i ในรูปย่อย ก จะเคลื่อนย้ายตำแหน่งขึ้นไปหนึ่งตำแหน่งซึ่งจะตรงกับหน่วยเล็ก ๆ ของวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวในลำดับที่ $i+1$ ในรูปย่อย ข โดยที่หน่วยเล็ก ๆ ของวัฏภาคสารละลายในลำดับที่ i ตามลำดับ เป็นต้น ดังนั้นความเข้มข้นของไอออนโลหะในวัฏภาคสารละลายเท่ากับ $y(i, j-1)$ ที่เริ่มต้นอยู่ในตำแหน่ง i จะเคลื่อนย้ายตำแหน่งไปแทนที่ตำแหน่ง $i+1$ ซึ่งหลังจากนั้นจะเกิดสมดุลใหม่อย่างรวดเร็ว และขั้นตอนสมดุลถัดไปของลำดับที่ j (รูปย่อย ค) จะเริ่มดำเนินการเป็นลำดับต่อไปโดยที่สมดุลมวลของแต่ละองค์ประกอบที่ i และ j สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$V_{aq}y(i-1, j-1) + V_m x(i, j-1) = V_{aq}y(i, j) + V_m x(i, j) \quad (2.7)$$

เมื่อ V_{aq} และ V_m เป็นปริมาตรของวัฏภาคของสารละลายและปริมาตรของเยื่อแผ่นเหลวต่อ 1 หน่วยเล็ก ๆ ในแต่ละขั้นตอนตามลำดับ และสมมุติให้มีค่าคงที่ นอกจากนี้สมมุติฐานเพิ่มเติมที่ต้องใช้สำหรับสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์แสดงดังต่อไปนี้

1. การกระจายตัวของไอออนโลหะระหว่างวัฏภาคของเยื่อแผ่นเหลวและวัฏภาคของสารละลายมีลักษณะเป็นดังสมการที่ 2.8 โดยที่ y เป็นฟังก์ชันของ x สำหรับบทวิจัยนี้ ความสัมพันธ์ระหว่าง x และ y นั้นจะเป็นได้ทั้งความสัมพันธ์ของสมดุลสารละลายลักษณะเชิงเส้นตรงหรือแบบไม่เชิงเส้น

$$x = \text{function} (y) \quad (2.8)$$

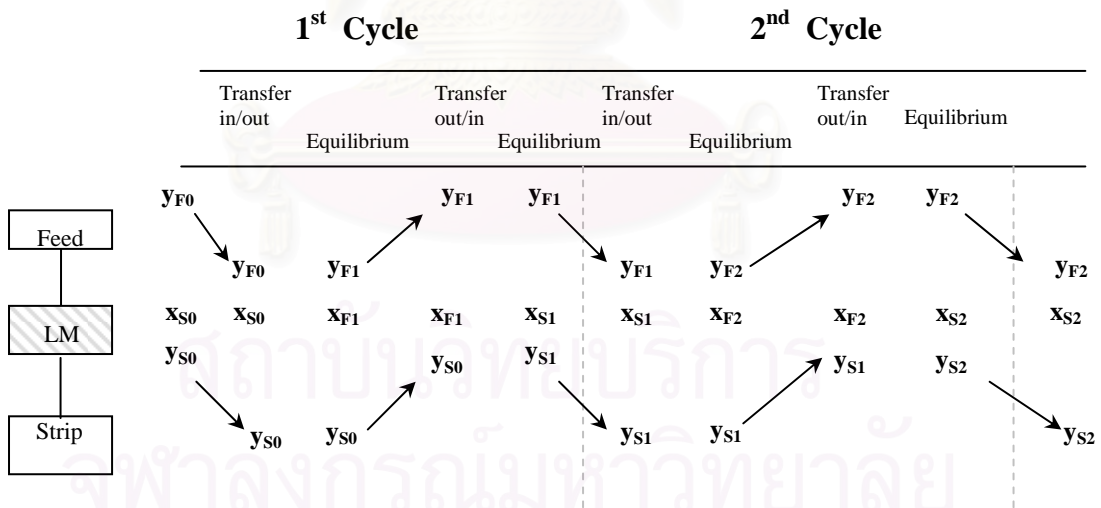
2. ปริมาตรของวัฏภาคของเหลวเท่ากับปริมาตรของเยื่อแผ่นเหลวต่อหนึ่งขั้นตอน
3. ปฏิกิริยาเกิดเร็วมาก ดังนั้นแต่ละหน่วยเล็ก ๆ จะเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็ว
4. เยื่อแผ่นเหลวมีขนาดบางมาก การแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

วิธีการสร้างกราฟสำหรับระบบหอสกัดเดี่ยว

จากการศึกษาของ Chen และคณะ (1980) ผนวกกับวิธีการหาจำนวนขั้นตอนสมดุลในกระบวนการสกัด (Distillation Process) ตามทฤษฎีของแมคเคป (McCabe Theory) (Smith et al., 2000) เป็นจุดเริ่มต้นของแนวความคิดในการประยุกต์วิธีการสร้างกราฟ

ความสัมพันธ์ของสมดุลระหว่างวัฏภาคต่าง ๆ ในกระบวนการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง สำหรับใช้ทำนaylorสกัดไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวด้วยวิธีการสร้างกราฟ ซึ่งแผนผังการดำเนินการและวิธีการเขียนกราฟสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

พิจารณาจากรูปที่ 6 ในส่วนของรูปย่อย ก กระบวนการทั้งหมดประกอบด้วยหอสกัดที่บรรจุเส้นใยกลวงที่ได้รับการยึดตรึงเยื่อแผ่นเหลวให้อยู่ภายในรูปทรงจุลภาพของเส้นใยกลวงไว้แล้ว โดยที่ปลายด้านหนึ่งของหอสกัดจะต่อเข้ากับถังพักสารละลายป้อนขาเข้า และปลายอีกด้านหนึ่งของหอสกัดจะต่อเข้ากับถังพักสารละลายป้อนขาออกจากหอสกัด บริเวณด้านข้างของหอสกัดจะเป็นช่องทางไหลเข้าและไหลออกจากหอสกัดของสารละลายนำกลับซึ่งจะไหลอยู่ภายนอกท่อเส้นใยกลวง โดยบริเวณต้นทางไหลเข้าจะต่อเข้ากับถังพักสารละลายนำกลับขาเข้า และที่ปลายทางไหลออกจะต่อเข้ากับถังพักสารละลายนำกลับขาออก โดยทั้งสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะป้อนเข้าสู่หอสกัดด้วยเครื่องสูบลมที่อัตราการไหลคงที่และเท่ากัน แต่มีลักษณะการไหลแบบไหลสวนทางกัน โดยกระบวนการจะดำเนินไปตามกลไกการสกัดตามขั้นตอนต่าง ๆ และสอดคล้องกับแผนผังการดำเนินการตามรูปแบบสมดุลการไหลในท่อดังที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 6 ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการปฏิบัติการในแต่ละรอบของการไหลเวียนได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังขั้นตอนการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัดน์, 2546)

จากรูปที่ 7 แสดงแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติการการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงในระบบหอสกัดเดี่ยว สารละลายป้อนและสารละลายนำกลับในถังพักก่อนเริ่มดำเนินการจะควบคุมให้มีค่าความเป็นกรด-เบส หรือ pH เท่ากับ pH_1 และ pH_2 ตามลำดับ

การปฏิบัติการจะเริ่มจากป้อนสารละลายป้อนที่มีไอออนโลหะเข้มข้น y_{F0} ให้ไหลเข้าสู่ภายในท่อ โมดูลเส้นใยกลวงในหอสกัด ไอออนโลหะในสารละลายป้อนจะทำปฏิกิริยากับสารละลายสกัดใน เยื่อแผ่นเหลวที่บริเวณผิวสัมผัส เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนโลหะกับสารละลาย สกัดในเยื่อแผ่นเหลวที่บริเวณผิวสัมผัสจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลการสกัด ในเวลาเดียวกันจะป้อน สารละลายนำกลับความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ y_{S0} ให้ไหลอยู่ภายนอกท่อ โมดูลเส้นใยกลวงในหอ สกัด สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนโลหะกับสารละลายสกัดที่เกิดขึ้นในฝั่งสารละลายป้อน จะแพร่มายังฝั่งสารละลายนำกลับและเกิดปฏิกิริยาการนำกลับกับสารละลายนำกลับทำให้ไอออน โลหะได้รับการปลดปล่อยออกจากสารประกอบเชิงซ้อนในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวออกไปสู่วัฏภาค สารละลายนำกลับโดยที่หน่วยเล็ก ๆ ของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ไหลเข้าสู่หอ สกัดกำหนดให้มีปริมาตรเท่ากัน ($V_F = V_S$) กำหนดให้ x และ y เป็นความเข้มข้นของไอออนโลหะ ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว และเป็นความเข้มข้นของไอออนโลหะในวัฏภาคของสารละลายตามลำดับ พิจารณาสมการที่ 2.8 สามารถสร้างเส้นสมดุลได้ 2 เส้นบนระนาบ x - y เดียวกันนั่นคือเส้นสมดุล การสกัด และ เส้นสมดุลการนำกลับ ซึ่งในที่นี้จะใช้สมดุลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึม เพื่อการสาธิต

ซึ่ง 1 รอบของการปฏิบัติการประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนป้อนสารละลายเข้าสู่หอสกัดโดยการป้อนสารละลาย ป้อนเริ่มต้น (F_0) ซึ่งมีความเข้มข้นของไอออนโลหะเท่ากับ y_0 ให้ไหลเข้าสู่ภายในท่อ โมดูลเส้นใย กลวงในหอสกัดพร้อมกันกับป้อนสารละลายนำกลับเริ่มต้น (S_0) ที่มีความเข้มข้นของไอออนโลหะ เท่ากันกับสารละลายป้อนให้ไหลอยู่ภายนอกท่อ โมดูลเส้นใยกลวงในหอสกัด

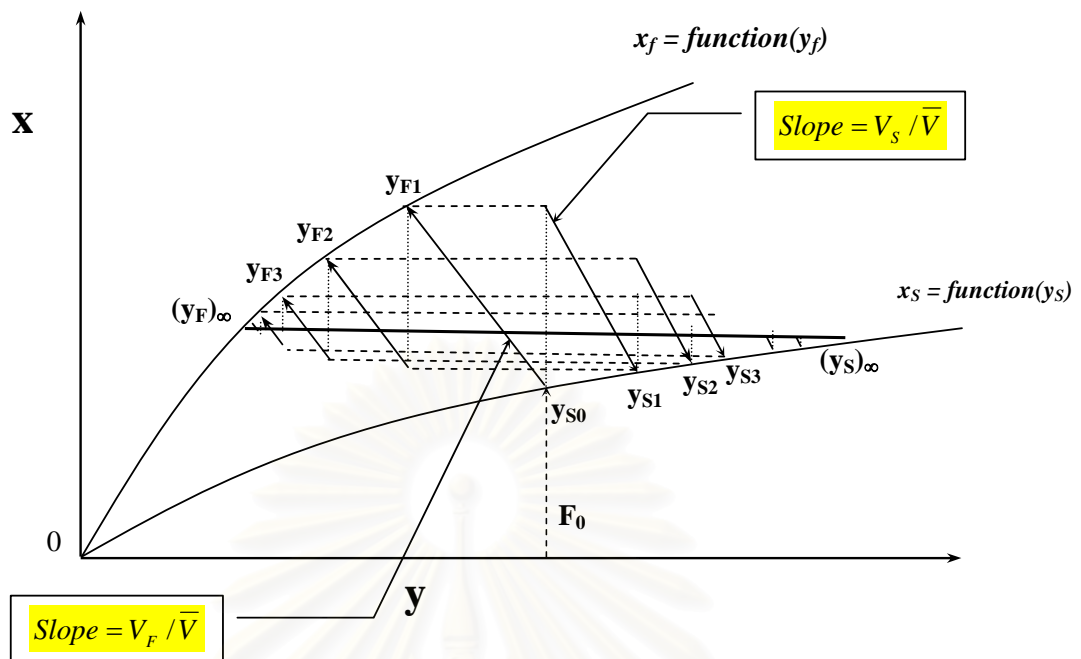
ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการเกิดสมดุลในเยื่อแผ่นเหลว ทันทีที่ไอออนโลหะใน สารละลายป้อนสัมผัสกับเยื่อแผ่นเหลวจะเกิดปฏิกิริยาการสกัดกับสารละลายสกัดในเยื่อแผ่นเหลว ที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนโลหะกับสารละลายสกัดใน เยื่อแผ่นเหลวอย่างรวดเร็วและเกิดสมดุลขึ้นทันทีกับเยื่อแผ่นเหลวบนเส้นสมดุลการสกัดที่ความ เข้มข้น (y_{F1}, x_{F1}) ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยจุด y_{F1} บนเส้นสมดุลระหว่างสารละลายป้อนกับ สารละลายสกัด สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะแพร่ไปยังผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคในฝั่ง สารละลายนำกลับและเกิดปฏิกิริยาการนำกลับกับสารละลายนำกลับ โดยไอออนโลหะใน สารประกอบเชิงซ้อนจะได้รับการนำกลับออกจากวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวไปสู่วัฏภาคสารละลาย นำกลับจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุลการนำกลับซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกับสารละลายนำกลับบน เส้นสมดุลการนำกลับที่ความเข้มข้น (y_{S1}, x_{S1}) (Chaudry, 1996) ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยจุด y_{S1}

บนเส้นสมดุลระหว่างสารละลายนำกลับและสารละลายสกัดเมื่อลากเส้นต่อจุดระหว่างจุด y_{F1} กับจุด y_{S1} จะได้เส้นปฏิบัติการ (Operating Line) มีค่าความชันเท่ากับ $-V_{aq}/V_m$

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนที่สารละลายไหลออกจากหอสกัดหลังจากสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเกิดปฏิกิริยาตามกลไกและเข้าสู่สถานะสมดุลกับวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวแล้ว สารละลายป้อนความเข้มข้น (y_{F1}, x_{F1}) จะไหลออกจากภายในท่อโมดูลเส้นใยกลวงในหอสกัดกลับไปสู่ถังพักสารละลายป้อนพร้อมกับสารละลายนำกลับความเข้มข้น (y_{S1}, x_{S1}) ซึ่งไหลอยู่ภายนอกท่อโมดูลเส้นใยกลวงในหอสกัดจะไหลกลับไปสู่ถังพักสารละลายนำกลับและพร้อมจะดำเนินการสกัดในรอบการปฏิบัติการต่อไป

การปฏิบัติการในรอบที่สองจะเริ่มจากการป้อนสารละลายป้อนจากถังพักสารละลายป้อนให้ไหลเข้าสู่ภายในท่อเส้นใยกลวงในหอสกัดพร้อมกับป้อนสารละลายนำกลับจากถังพักสารละลายนำกลับให้ไหลอยู่ภายนอกท่อเส้นใยกลวงในหอสกัด หลังจากนั้นกระบวนการจะดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ดังรูปที่ 7 โดยวิธีหาผลลัพธ์ด้วยวิธีการสร้างกราฟของกระบวนการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงในระบบหอสกัดเดี่ยวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8

เมื่อดำเนินการตามขั้นตอนต่าง ๆ จนครบรอบการปฏิบัติการอย่างสมบูรณ์และได้ดำเนินการในรอบถัด ๆ มา สิ่งที่เกิดขึ้นได้จากผลของการดำเนินการ คือจำนวนรอบของการปฏิบัติการ (N) จะมีค่ามากขึ้นและความเข้มข้นของไอออนโลหะในถังพักจะเข้าสู่สถานะคงตัว ซึ่งในถังพักสารละลายป้อนจะมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ $(y_F)_\infty$ และในถังพักสารละลายนำกลับจะมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ $(y_S)_\infty$ ตามลำดับ ที่สถานะคงตัวนี้ วัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวจะมีองค์ประกอบของไอออนโลหะคงที่ในภาวะสมดุลกับสารละลายป้อนที่ความเข้มข้นเท่ากับ $(y_F)_\infty$ และสารละลายนำกลับที่ความเข้มข้นเท่ากับ $(y_S)_\infty$ และเป็นไปตามสมการที่ 2.7 เมื่อลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดที่ความเข้มข้นเท่ากับ $(y_F)_\infty$ กับจุดที่ความเข้มข้นเท่ากับ $(y_S)_\infty$ แล้ว จะได้เส้นขนานกับแกน X นั่นเอง



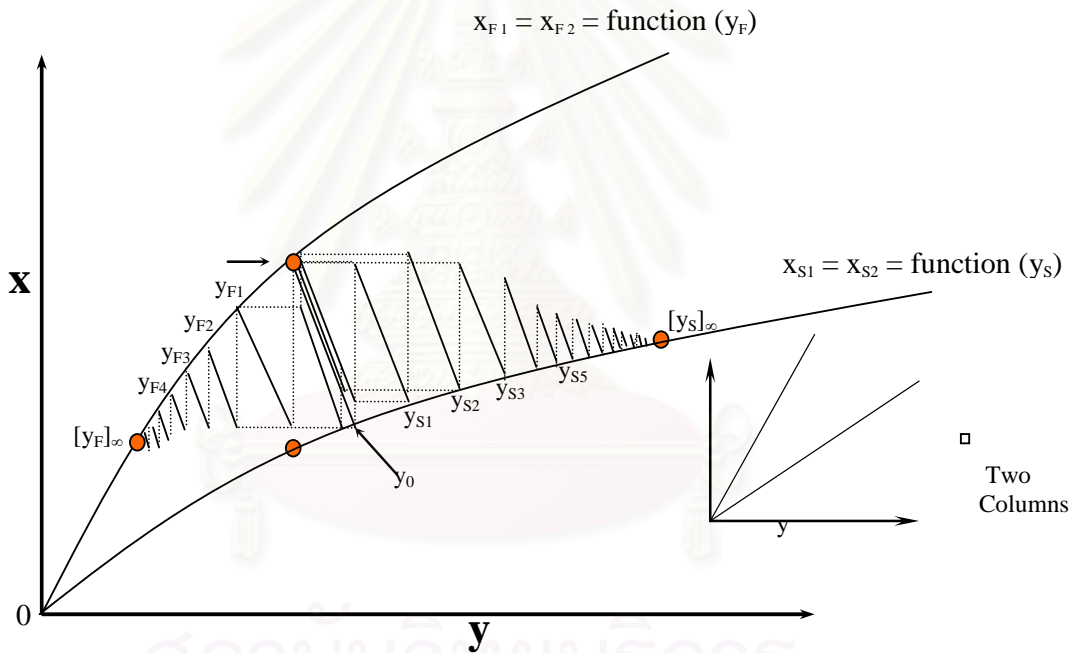
รูปที่ 8 วิธีการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้เส้นสมมูลลักษณะไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึมในการสาธิต

วิธีการสร้างกราฟสำหรับระบบหอสกัดคู่

สำหรับกระบวนการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงในระบบหอสกัดคู่ กระบวนการจะประกอบด้วยโมดูลเส้นใยกลวง (หอสกัด) จำนวนสองโมดูลต่ออนุกรมกัน และถึงพักสองถึง ถึงพักส่วนบนเป็นถึงพักสารละลายป้อน ส่วนถึงพักส่วนล่างเป็นถึงพักสารละลายนำกลับ ค่า pH ที่ถึงพักสารละลายป้อนจะควบคุมไว้ที่ pH_1 ส่วนที่ถึงพักสารละลายนำกลับจะควบคุมไว้ที่ pH_2 การปฏิบัติการเริ่มต้นด้วยการป้อนสารละลายป้อนความเข้มข้น y_0 จากถึงพักส่วนบนเข้าสู่ภายในท่อโมดูลเส้นใยกลวงของหอสกัดที่ 1 ซึ่งปริมาตรของสารละลายป้อนที่ป้อนเข้าไปนั้นจะเข้าไปแทนที่ปริมาตรของสารละลายป้อนที่มีอยู่ก่อนแล้วภายในหอสกัดที่ 1 ทำให้สารละลายป้อนที่มีอยู่ก่อนแล้วในหอสกัดที่ 1 ไหลออกไปสู่ภายในท่อโมดูลเส้นใยกลวงของหอสกัดที่ 2 ซึ่งจะเข้าไปแทนที่ปริมาตรของสารละลายป้อนที่มีอยู่ก่อนแล้วภายในหอสกัดที่ 2 สารละลายป้อนที่มีอยู่ก่อนแล้วในหอสกัดที่ 2 จะไหลกลับไปยังถึงพักส่วนบนตามลำดับ

ในเวลาเดียวกันขณะที่เริ่มป้อนสารละลายป้อน สารละลายนำกลับจะถูกป้อนให้ไหลอยู่ภายนอกท่อโมดูลเส้นใยกลวง โดยสารละลายนำกลับจะถูกดึงออกจากถังพักส่วนล่างให้ไหลเข้าสู่หอสกัดที่ 2 และไหลเข้าไปแทนที่สารละลายนำกลับที่มีอยู่ก่อนแล้วทำให้สารละลายนำกลับที่มีอยู่ก่อนแล้วในหอสกัดที่ 2 ไหลออกไปสู่ภายนอกท่อโมดูลเส้นใยกลวงในหอสกัดที่ 1 และสารละลายนำกลับที่มีอยู่ก่อนแล้วในหอสกัดที่ 1 จะไหลกลับคืนสู่ถังพักส่วนล่างตามลำดับเป็นอันครบหนึ่งรอบของการปฏิบัติการ ซึ่งขั้นตอนการปฏิบัติการสามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังการปฏิบัติการได้ดังรูปที่ 9 และสามารถอธิบายได้พอสังเขปเป็นลำดับดังต่อไปนี้

กระบวนการจะถูกดำเนินการตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว การนำเสนอการปฏิบัติการโดยวิธีการสร้างกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 วิธีการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดคู่โดยใช้เส้นสมดุลลักษณะไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึมในการสาธิต

พิจารณาจากรูปที่ 10 จะพบว่ารูปกราฟมีเส้นสมดุลของกระบวนการจำนวน 2 เส้นที่มีเส้นสมดุลสารละลายตามสมการที่ 2.8 กราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับกราฟที่ได้สำหรับการทำนายกระบวนการสกัดระบบหอสกัดเดี่ยว นั่นคือสารละลายป้อนเริ่มต้นมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ y_{F0} และสารละลายนำกลับเริ่มต้นซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ y_{S0} ถูกป้อนเข้าสู่หอสกัดทั้งสองโดยไอออนโลหะในสารละลายป้อนจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายสกัดในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวโดยที่เส้นปฏิบัติการเป็นผลลัพธ์จากการจัดรูปสมการที่ 2.7 มีค่าความชันเท่ากับ $-V_{aq} / V_m$

จนกระทั่งเข้าสู่สมดุลการสกัดบนเส้นสมดุลสารละลายป้อนที่จุด y_{F1} ลำดับต่อมาสารละลายป้อนหลังจากเข้าสู่สภาวะสมดุลในหอสกัดที่ 1 แล้ว สารละลายป้อนจะไหลออกและเข้าไปแทนที่สารละลายป้อนในหอสกัดที่ 2 ซึ่งแสดงได้ด้วยเส้นประในแนวดิ่ง ทันทีที่สารละลายป้อนเข้าสู่หอสกัดที่ 2 แล้วจะสัมผัสกับเยื่อแผ่นเหลวที่สมดุลเริ่มต้นในลำดับก่อนหน้านั้นซึ่งแสดงได้ด้วยเส้นประแนวระดับผ่านค่าความเข้มข้นเริ่มต้น y_{F0} โดยจุดตัดที่เกิดขึ้นแสดงได้ด้วยจุด F_1 และเป็นจุดเริ่มต้นของสารละลายป้อนในหอสกัดที่ 2 เกิดการสกัดจนเข้าสู่สมดุลใหม่ มีเส้นปฏิบัติการซึ่งมีค่าความชันเท่ากับ $-V_{aq} / V_m$ เช่นเดียวกันกับหอสกัดที่ 1 สมดุลใหม่ที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ด้วยจุด y_{F2} บนเส้นสมดุลการสกัด หลังจากนั้นสารละลายป้อนในหอสกัดที่ 2 จะถ่ายเทออกจากหอสกัดที่ 2 กลับไปยังถังพักสารละลายป้อนและดำเนินการซ้ำดังเช่นที่กล่าวมาจนกระทั่งกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงตัวต่อไป

ในขณะที่สารละลายป้อนไหลเข้าสู่หอสกัดที่ 1 สารละลายนำกลับจะป้อนเข้าสู่หอสกัดที่ 2 โดยสมดุลการนำกลับสามารถแสดงได้ด้วยจุด y_{S1} บนเส้นสมดุลการนำกลับ ลำดับต่อมาสารละลายนำกลับหลังจากเกิดสมดุลในหอสกัดที่ 2 แล้วจะถ่ายเทออกจากหอสกัดที่ 2 เข้าไปแทนที่สารละลายนำกลับในหอสกัดที่ 1 ซึ่งแสดงได้ด้วยเส้นประในแนวดิ่ง วัฏภาคสารละลายนำกลับจะสัมผัสกับเยื่อแผ่นเหลวในหอสกัดที่ 1 เกิดสมดุลกับสารละลายป้อนโดยสามารถแสดงได้ด้วยเส้นประในแนวระดับ จุดตัดที่เกิดขึ้นแสดงโดยจุด S_1 จะเป็นจุดเริ่มต้นของสารละลายนำกลับในหอสกัดที่ 1 ซึ่งจะเกิดปฏิบัติการนำกลับจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลการนำกลับโดยที่เส้นปฏิบัติการจะมีค่าความชันเท่ากับ $-V_{aq} / V_m$ เช่นเดียวกันกับขั้นตอนการสกัด สมดุลที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ด้วยจุด y_{S2} บนเส้นสมดุลการนำกลับ หลังจากนั้นสารละลายนำกลับในหอสกัดที่ 1 จะถ่ายเทออกจากหอสกัดกลับไปยังถังพักสารละลายนำกลับและพร้อมสำหรับเริ่มต้นในรอบการปฏิบัติการลำดับต่อไป สุดท้ายเมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงตัวจะพบว่า ค่า $(y_F)_\infty$ และ $(y_S)_\infty$ จะแสดงค่าความเข้มข้นของไอออนโลหะที่สภาวะคงตัวในถังพักสารละลายป้อนและในถังพักสารละลายนำกลับตามลำดับ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วีรวุฒน์, 2546 กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (Hollow-Fiber Supported Liquid Membrane Process, HFSLM) เป็นกระบวนการหนึ่งในกรรมวิธีการสกัดแยกไอออนโลหะออกจากสารละลาย ซึ่งเป็นกระบวนการสกัดแยกที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถขยายกำลังการผลิตได้ง่ายด้วยการเพิ่มจำนวนหอสกัด โดยในงานวิจัยนี้ได้ค้นพบวิธีการใหม่สำหรับ

ทำนายผลการสกัดของกระบวนการ โดยใช้วิธีการสร้างกราฟอย่างง่าย สามารถทำนายผลการสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในระบบหอสกัดเดี่ยวและระบบสองหอสกัด โดยได้พิสูจน์ผลของวิธีการที่ค้นพบเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองของกระบวนการ HFSLM สำหรับกระบวนการสกัดแยกไอออนโลหะ 4 ชนิด คือ 1. กระบวนการสกัดแยกซีเรียมไอออน โดยใช้สารละลายสกัด TOA ในตัวทำละลาย Kerosene Jet A-1 เป็นเยื่อแผ่นเหลว และมีสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นสารละลายสตรีป 2. กระบวนการสกัดแยกนีโอดีเมียมไอออน โดยใช้สารละลายสกัด D2EHPA ในตัวทำละลาย Kerosene Jet A-1 เป็นเยื่อแผ่นเหลว และมีสารละลายกรดไนตริกเป็นสารละลายสตรีป 3. กระบวนการสกัดแยกแลนทานัมไอออน โดยใช้สารละลายสกัด D2EHPA ในตัวทำละลาย Kerosene Jet A-1 เป็นเยื่อแผ่นเหลว และมีสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นสารละลายสตรีป และ 4. กระบวนการสกัดแยกแพลเลเดียมไอออน โดยใช้สารละลายสกัด TRHCl-OA ในตัวทำละลายคลอโรฟอร์มเป็นเยื่อแผ่นเหลว และมีสารละลายโซเดียมไนไตรต์เป็นสารละลายสตรีป จากผลการทดลองศึกษาพบว่า กระบวนการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลว ที่พุงด้วยเส้นใยกลวงในระบบหอสกัดเดี่ยว สามารถสกัดแยกซีเรียม นีโอดีเมียม แลนทานัม และแพลเลเดียมไอออนได้ถึง 32%, 47%, 46% และ 36% ตามลำดับ ส่วนในระบบสองหอสกัดกระบวนการสามารถสกัดแยกซีเรียม นีโอดีเมียม แลนทานัม และแพลเลเดียมไอออนได้ถึง 54%, 74%, 72% และ 60 % ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลการทำนาย ด้วยวิธีการสร้างกราฟที่ได้เสนอนั้น พบว่าได้ผลสอดคล้องเป็นอย่างดีทั้งในระบบเยื่อแผ่นเหลว ที่พุงด้วยเส้นใยกลวงแบบหอสกัดเดี่ยวและแบบสองหอสกัด วิธีการดังกล่าวนี้สามารถพัฒนาเพื่อทำนายผลของกระบวนการในระบบหลายหอสกัดได้อีกด้วย

ไพศาล, 2541 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อ การสกัดและนำกลับของโครเมียม (VI) ในรูปของโครเมตจากสารละลาย โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง สารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวประกอบด้วย เมทิลไตรออกซิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Methyl Trioctylammonium Chloride, Aliquat) ในฐานะเป็นสารละลายสกัด ละลายในเคโรซีน และมีโคเดคทานอลในฐานะเป็นตัวประสานร่วมอยู่ด้วย ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมตในสารละลายป้อนเป็น 100 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร เป็นสารละลายสตรีปในกระบวนการการนำกลับ จากผลการทดลองพบว่า ปฏิกริยาการสกัดเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าปฏิกริยาการนำกลับ การสกัดและการนำกลับเพิ่มขึ้น เมื่อความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นในสารละลายป้อนต่ำลง หรืออัตราการไหลของสารละลายต่ำลง เมื่อพิจารณาถึงสมดุลของโครเมตในวัฏภาคแห่งน้ำ และวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวในการทดลองแบบกะที่มีการใช้โคเดคทานอลร่วมด้วย

โคเดคานอลทำให้การสกัดและนำกลับโครเมตดีขึ้นมาก โดยการใช้ความเข้มข้นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ลักษณะการไหลทั้งแบบไหลในทิศทางเดียวกัน และไหลสวนทางกันไม่ส่งผลต่อการสกัดและการนำกลับโครเมต การถ่ายโอนมวลของโครเมตทั้งในส่วนของการสกัด และการกระบวนการนำกลับลดลงอย่างมาก เมื่อความเข้มข้นของโครเมตในสารละลายป้อนมีค่าต่ำกว่า 60 ส่วนในล้านส่วน

อิสรา, 2541 ศึกษาการสกัดไอออนทองแดงจากสารละลายที่เจือจางมาก ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสกัดนี้ อันได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายสกัดในตัวทำละลายอินทรีย์ในช่วงความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 25 โดยปริมาตร ชนิดของสารละลายสกัดซึ่ง ได้แก่ สารละลายสกัด D2EHPA สารละลายสกัด LIX84-I และสารละลายสกัด LIX860-I ความเข้มข้นไอออนทองแดงในสารละลายป้อนช่วง 1 ส่วนในหนึ่งล้านส่วนถึง 100 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน รูปแบบการไหลของสารละลายป้อนในลักษณะไหลในฝั่งท่อกับไหลในฝั่งเปลือกของโมดูลเส้นใยกลวง การควบคุมความเป็นกรด-เบส ของวัฏภาคสารละลายบัฟเฟอร์ และการไหลเวียน (Circulation) วัฏภาคสารละลายสตริปสารละลายอินทรีย์ที่ใช้ ได้แก่ เกลโรซีน (Kerosene) โดยใช้สารละลายกรดซันฟิวริคความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรเป็นสารละลายสตริป จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการถ่ายเทไอออนทองแดงผ่านเยื่อแผ่นเหลวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสกัดในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว สารละลายสกัดในกลุ่ม LIX สามารถถ่ายเทไอออนทองแดงได้ดีกว่าสารละลายสกัด D2EHPA ความสามารถในการถ่ายเทไอออนทองแดงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไอออนทองแดงในวัฏภาคสารละลายป้อน รูปแบบการไหลของสารละลายป้อนในลักษณะไหลในฝั่งท่อกับและไหลในฝั่งเปลือกของโมดูลเส้นใยกลวงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ ความสามารถในการถ่ายเทไอออนทองแดงผ่านเยื่อแผ่นเหลวจะเพิ่มขึ้นเมื่อควบคุมความเป็นกรด-เบสของวัฏภาคสารละลายป้อนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ให้มีค่าเท่ากับ 5 การใช้วัฏภาคสารละลายสตริปปริมาณน้อยและให้มีการไหลเวียนยังคงทำให้การถ่ายเทไอออนทองแดงเกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม ผลของการใช้วัฏภาคสารละลายสตริปที่มีปริมาณน้อยสามารถทำให้สารละลายสตริปมีความเข้มข้นของไอออนทองแดงสูง

ณรรฐพล, 2545 งานวิจัยนี้ศึกษาการนำกลับไอออนแพลเลเดียมจากกรดกัดทองใช้แล้วผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง นอกเหนือจากแพลเลเดียม ก็ยังพบว่า การนำกลับก็สามารถดึงกลับไอออนของแพลตินัมที่มีอนุภาคอยู่ในกรดกัดทองได้อีกด้วย เยื่อแผ่นเหลวประกอบด้วยสารละลายสกัดสองชนิด ได้แก่ สารละลายสกัดไธโอไรดาซีน (Thioridazine.HCl)

และสารละลายสกัดกรดโอเลอิก (Oleic Acid) ละลายในตัวทำละลายคลอโรฟอร์มเคลือบฝังภายในรูพรุนจุลภาคของเส้นใยกลวง โซเดียมไนไตรต์ที่ใช้เป็นสารละลายสตริปจะถูกป้อนภายนอกเส้นใยกลวง (Shell Side) สวนทางกับสารละลายป้อนภายในเส้นใยกลวง (Tube Side) ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายสกัดทั้งสองชนิด ความเป็นกรดเบสในกรดกัดทองใช้แล้ว ความเข้มข้นของสารละลายสตริปโซเดียมไนไตรต์ อัตราการไหลของสารละลายป้อน และสารละลายสตริป และจำนวนรอบในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวง จากผลการทดลองพบว่า ไอออนแพลเลเดียมถูกนำกลับได้ร้อยละ 29.10 ที่ความเข้มข้นของสารละลายสกัดไรโอไรดาซีน และกรดโอเลอิกเท่ากับ 0.0005 และ 0.05 โมลาร์ตามลำดับ ภายหลังจากเวลา 30 นาที ในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวง 1 รอบ ซึ่งที่ความเข้มข้นของสารละลายสกัดทั้งสองชนิดนี้จะก่อให้เกิดการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ (Synergistic Extraction) เกิดขึ้น ลำดับการนำกลับของไอออนโลหะภายในกรดกัดทองเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ Pd(II)>Pt(IV)>Cu(II)>Au(III) นอกจากนี้พบว่าเมื่อดำเนินการผ่านโมดูล 3 รอบสามารถนำกลับแพลเลเดียมได้สูงถึงร้อยละ 65.63 ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

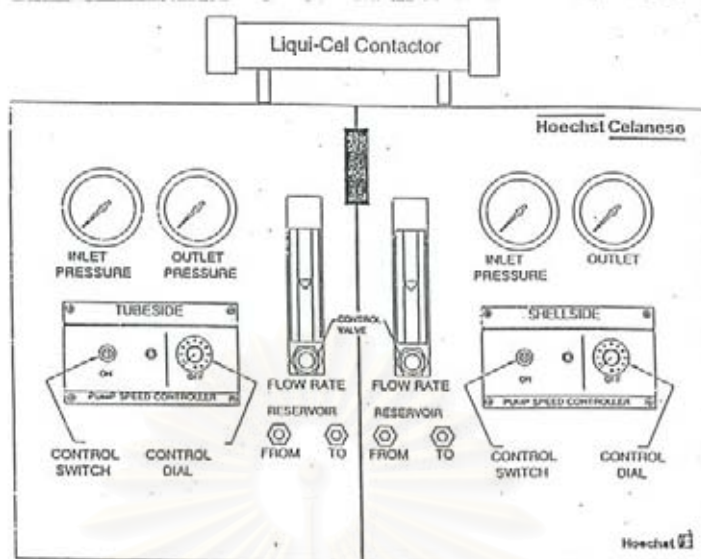
เครื่องมือเพื่อการวิจัยนี้ประกอบด้วย ชุดอุปกรณ์การทดลองเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง และชุดคำสั่งสำเร็จรูปเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายกระบวนการสกัดไอออนโลหะที่สนใจด้วยวิธีการสร้างกราฟ

ในส่วนของชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานั้นจะประกอบด้วย ชุดหอสกัด อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ และเครื่องมือตรวจวัดค่า ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของเครื่องมือวิจัยดังต่อไปนี้

อุปกรณ์การทดลอง

ชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษาการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงของแต่ละการทดลองที่ถูกอ้างอิงในบทวิจัยนี้นั้น ใช้ชุดทดลองศึกษาชุดเดียวกันทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย

1. ชุดทดลอง Liqui-Cel[®] Laboratory แสดงไว้ในรูปที่ 11 ประกอบด้วยเครื่องสูบลมสองชุดที่มีอัตราการไหลสูงสุด 1 ลิตรต่อนาที ชุดควบคุมความเร็วสองชุด มาตรฐานอัตราการไหลสองชุด และ มาตรวัดความดันสองชุด
2. ตัวรองรับได้แก่ เส้นใยกลวงโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ชนิดมีรูพรุน Celgard X-30 ที่มีความสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1
3. เครื่องมือวัดความเป็นกรด-เบส HI 8417 Microprocessor Bench pH Meter ของ บริษัท Hanna Instrument
4. เครื่อง Atomic Absorption / Flame Emission Spectrophotometer AA-670 ของบริษัท Shimadzu
5. เครื่อง AA Spectrometer UNICAM 989 QZ ของบริษัท UNICAM



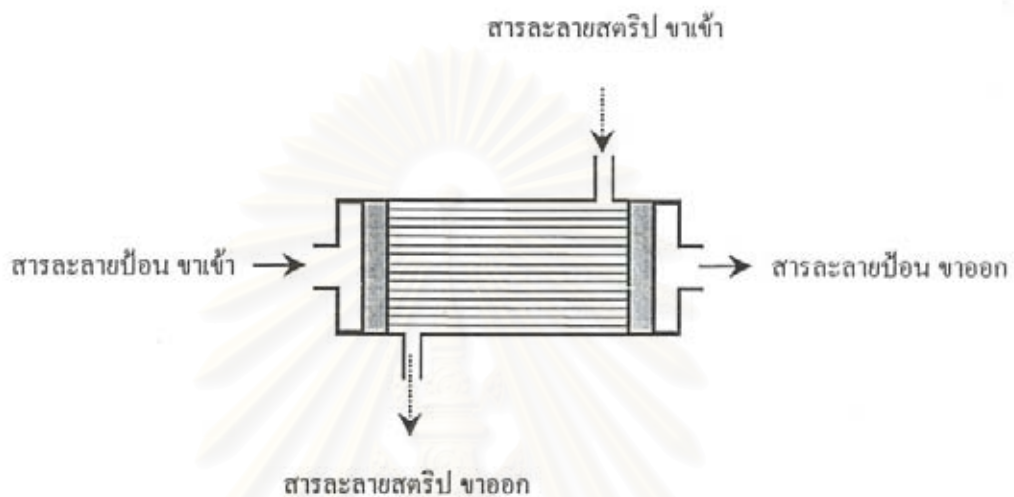
รูปที่ 11 ชุดอุปกรณ์ Liqui-Cel[®] Laboratory ที่ใช้ในการทดลอง (Hoechst Celanese Corporation, 1995)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของโมดูลเส้นใยกลวง (Hoechst Celanese Corporation, 1995)

| ลักษณะ | มิติ |
|----------------------|--------------------------------|
| Materials | Polypropylene |
| Fiber i.d. | 240 μm |
| Fiber o.d. | 300 μm |
| Size of Pore | 0.05 μm |
| Porosity | 30 % |
| Contact Area | 1.39 m^2 |
| Area per Unit Volume | 29.3 cm^2/cm^3 |
| Module Diameters | 6.3 cm |
| Module Length | 20.3 cm |

รูปแบบ (Mode) ในการปฏิบัติการของชุดทดลองการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงนั้น สามารถแบ่งรูปแบบตามลักษณะการป้อนสารเข้าสู่ชุดทดลองได้เป็น 2 รูปแบบดังนี้คือ รูปแบบที่ 1 เป็นรูปแบบชนิดไหลตามกัน (Co-current Flow) การปฏิบัติการของรูปแบบการไหลนี้จะทำการป้อนสารเข้าสู่ชุดทดลองให้ไหลตามกัน และรูปแบบที่ 2 คือ รูปแบบชนิดไหลสวนทางกัน (Counter-current Flow) การปฏิบัติการของรูปแบบการไหลนี้จะ

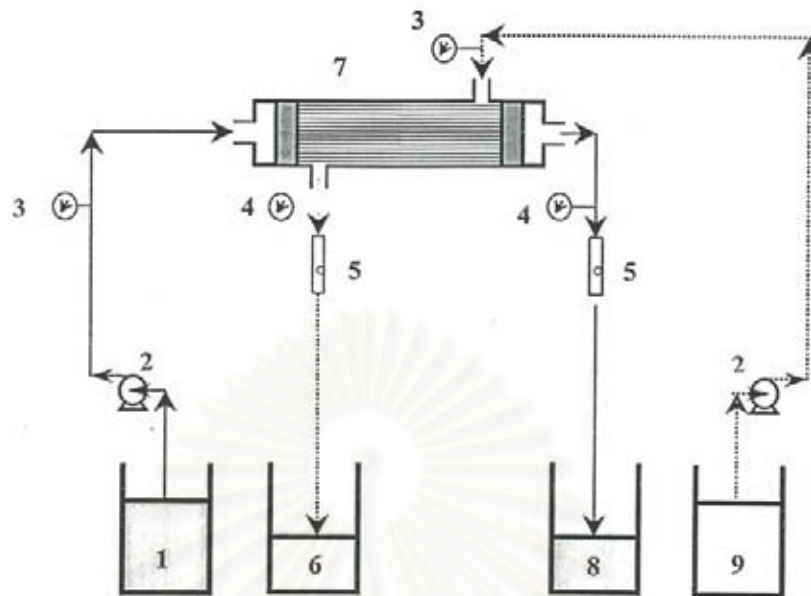
ทำการป้อนสารเข้าสู่ชุดทดลองให้ไหลสวนทางกันนั่นเอง ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมารูปแบบการไหลทั้งสองรูปแบบสำหรับชุดทดลองชุดนี้ ให้ผลการศึกษาที่ไม่แตกต่างกัน (ไพศาล, 2541) โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้รูปแบบการไหลแบบที่ 2 ที่เป็นแบบไหลสวนทางกันซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 รูปแบบการไหลแบบไหลสวนทางกันในโมดูลเส้นใยกลวง (นรรฐพล, 2545)

ซึ่งรูปแบบการไหลทั้งสองแบบนี้ยังสามารถออกแบบการปฏิบัติการได้หลายลักษณะอาทิเช่น ลักษณะการปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว (One-through Mode) ลักษณะการปฏิบัติการแบบไหลเวียนรอบ (Circulating Mode) ลักษณะการปฏิบัติการแบบผสม (Semi-circulating Mode) เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาผลการทดลองด้วยการไหลทั้ง 3 แบบนี้ วิเคราะห์เทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

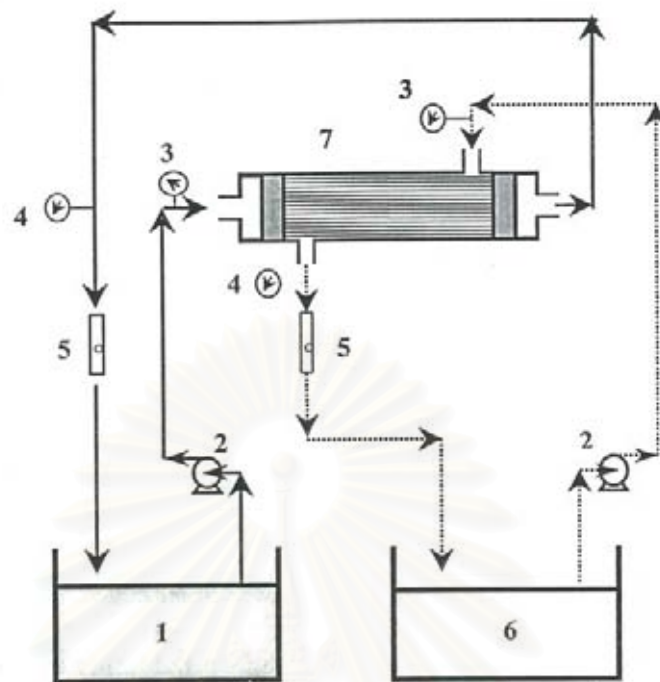
แสดงในรูปที่ 13 ลักษณะปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว เป็นลักษณะการปฏิบัติการที่จะดำเนินการป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับให้ไหลผ่านชุดโมดูลเส้นใยกลวงเพียงครั้งเดียว หมายเลข 1 แสดงถึงของสารละลายป้อนขาเข้า หมายเลข 2 แสดงเครื่องสูบลม หมายเลข 3 แสดงมาตรวัดความดันขาเข้า หมายเลข 4 แสดงมาตรวัดความดันขาออก หมายเลข 5 แสดงมาตรวัดอัตราการไหล หมายเลข 6 แสดงถึงของสารละลายนำกลับขาออก หมายเลข 7 แสดงโมดูลเส้นใยกลวง หมายเลข 8 แสดงถึงของสารละลายป้อนขาออก และ หมายเลข 9 แสดงถึงของสารละลายนำกลับขาเข้าตามลำดับ



รูปที่ 13 ลักษณะปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว (One-through Mode) (ฉรรฐพล, 2545)

ลักษณะปฏิบัติการแบบไหลเวียนรอบ จะดำเนินการป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับให้ไหลผ่านชุดโมดูลเส้นใยกลวงแบบไหลเวียนรอบซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 14 หมายเลข 1 แสดงถึงของสารละลายป้อน หมายเลข 2 แสดงเครื่องสูบลม หมายเลข 3 แสดงมาตรวัดความดันขาเข้า หมายเลข 4 แสดงมาตรวัดความดันขาออก หมายเลข 5 แสดงมาตรวัดอัตราการไหล หมายเลข 6 แสดงถึงของสารละลายนำกลับ หมายเลข 7 แสดงโมดูลเส้นใยกลวงตามลำดับ ชุดการทดลองนี้เป็นลักษณะปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัยนี้

รูปแบบสุดท้ายคือแบบกึ่งไหลเวียน (Semi-circulation Mode) ซึ่งจะคล้ายกับรูปแบบของการไหลเวียน เพียงแต่มีแค่สารละลายป้อนหรือสารละลายนำกลับอันใดอันหนึ่งเท่านั้นเองที่ไหลเวียน ในขณะที่สารละลายที่เหลือจะถูกนำเข้าระบบและไหลออกภายในครั้งเดียว การวิจัยสำคัญของโลหะทองแดง (เกษม, 2543) จะเป็นการทดลองที่สองคล้องกับลักษณะปฏิบัติการนี้คือ สารละลายป้อนทองแดงจะไหลเข้าและไหลออกในโมดูลเส้นใยกลวงเพียงครั้งเดียว ในขณะที่มีการไหลเวียนของสารละลายนำกลับตลอดเวลาจนกว่าการทดลองจะจบ



รูปที่ 14 ลักษณะปฏิบัติการแบบไหลเวียนรอบ (Circulating Mode) (ฉรรฐพล, 2545)

ชุดคำสั่งเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

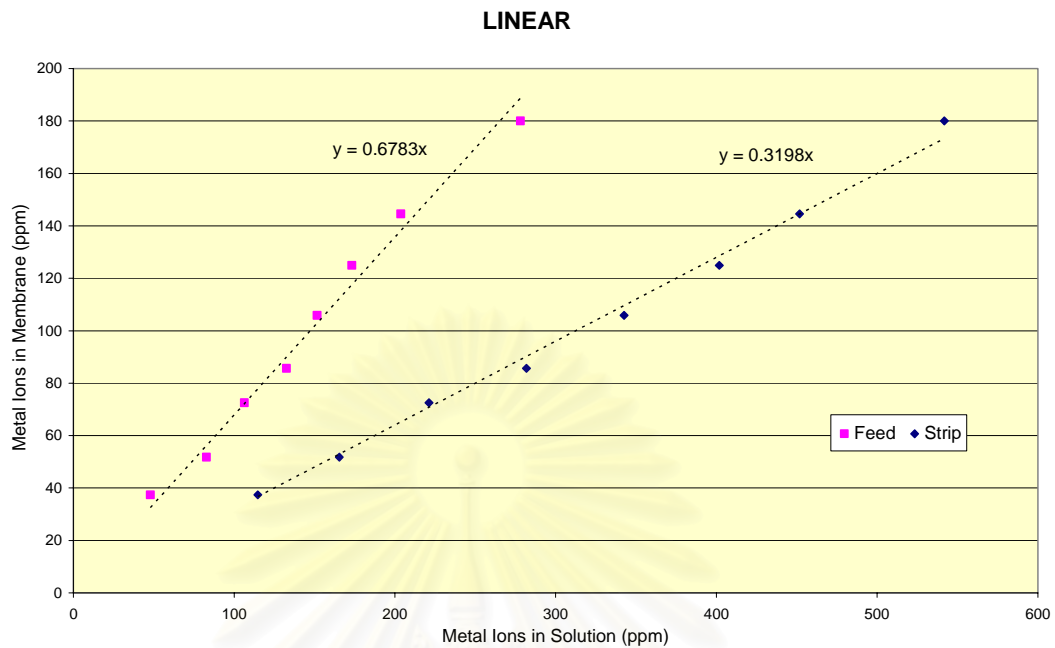
ชุดคำสั่งที่สร้างขึ้นสำหรับการวิจัยนี้นั้น ได้ถูกสร้างจากโปรแกรม ไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ซึ่งเป็นหนึ่งในชุดคำสั่งสำเร็จรูปของไมโครซอฟท์ เนื่องด้วยเหตุผลที่ว่า Microsoft Excel เป็นชุดคำสั่งสำเร็จรูปที่ใช้งานง่ายและคุ้นเคยอย่างดีกับบุคคลทั่วไปที่อยู่ในวงการศึกษาศาสตร์และพัฒนา ชุดคำสั่งสามารถดัดแปลงหรือปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมได้ง่ายเมื่อมีฐานข้อมูลเพิ่มมากขึ้นในอนาคต และรูปแบบการสร้างรายงานสามารถทำได้หลากหลาย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการสร้างกราฟทำนายพฤติกรรมการสกัดและนำกลับไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงนี้ ได้ถูกสร้างในลักษณะที่เป็นแบบการทำงานกึ่งอัตโนมัติ โดยรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนานั้นจะเกี่ยวเนื่องกับสมมุติฐานเชิงเส้นตรงและไม่เชิงเส้นของข้อมูลสมมูลระหว่างวิทยาศาสตร์ละลายและวิทยาศาสตร์สกัดที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลว รูปแบบจำลองที่ได้ถูกสร้างเพื่อใช้งานวิจัยนี้มีทั้งหมด 11 กรณี แสดงดังต่อไปนี้

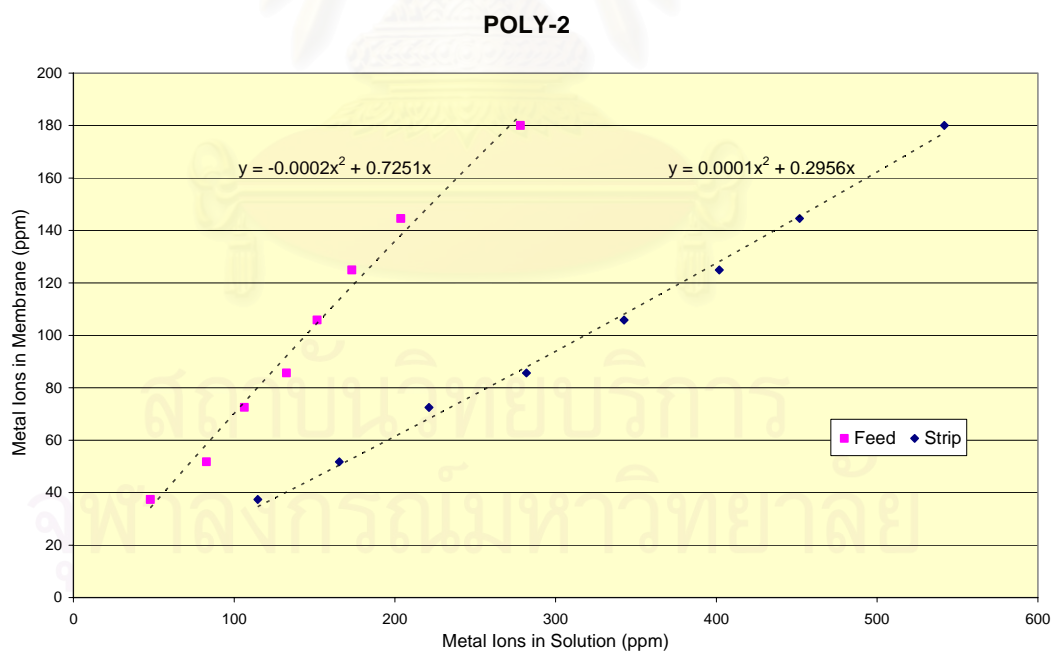
1. ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของสมมูลระหว่างสารละลายป้อน(หรือนำกลับ)และสารละลายสกัดในเยื่อแผ่นเหลว (Linear)
2. ความสัมพันธ์ของสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการพหุภาคกำลังสอง (Poly-2)

3. ความสัมพันธ์ของสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการพหุภาคกำลังสาม (Poly-3)
4. ความสัมพันธ์ของสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการพหุภาคกำลังสองโดยที่เส้นสมมูลไม่ผ่านจุดตัดระหว่างแกน (Poly-2 Non Zero)
5. ความสัมพันธ์ของสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการพหุภาคกำลังสามโดยที่เส้นสมมูลไม่ผ่านจุดตัดระหว่างแกน (Poly-3 Non Zero)
6. ความสัมพันธ์ของสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึม (Log)
7. ความสัมพันธ์ของสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการชี้กำลังเอกซ์โปเนนเชียล (Exp)
8. ความสัมพันธ์แบบผสมของสมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงในสารละลายป้อน และสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึมในสารละลายนำกลับ (F-Lnr and S-Log)
9. ความสัมพันธ์แบบผสมของสมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงในสารละลายป้อน และสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการชี้กำลังเอกซ์โปเนนเชียลในสารละลายนำกลับ (F-Lnr and S-Exp)
10. ความสัมพันธ์แบบผสมของสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึมในสารละลายป้อนและสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการชี้กำลังเอกซ์โปเนนเชียลในสารละลายนำกลับ (F-Log and S-Exp)
11. ความสัมพันธ์แบบผสมของสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการชี้กำลังเอกซ์โปเนนเชียลในสารละลายป้อนและสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึมในสารละลายนำกลับ (F-Exp and S-Log)

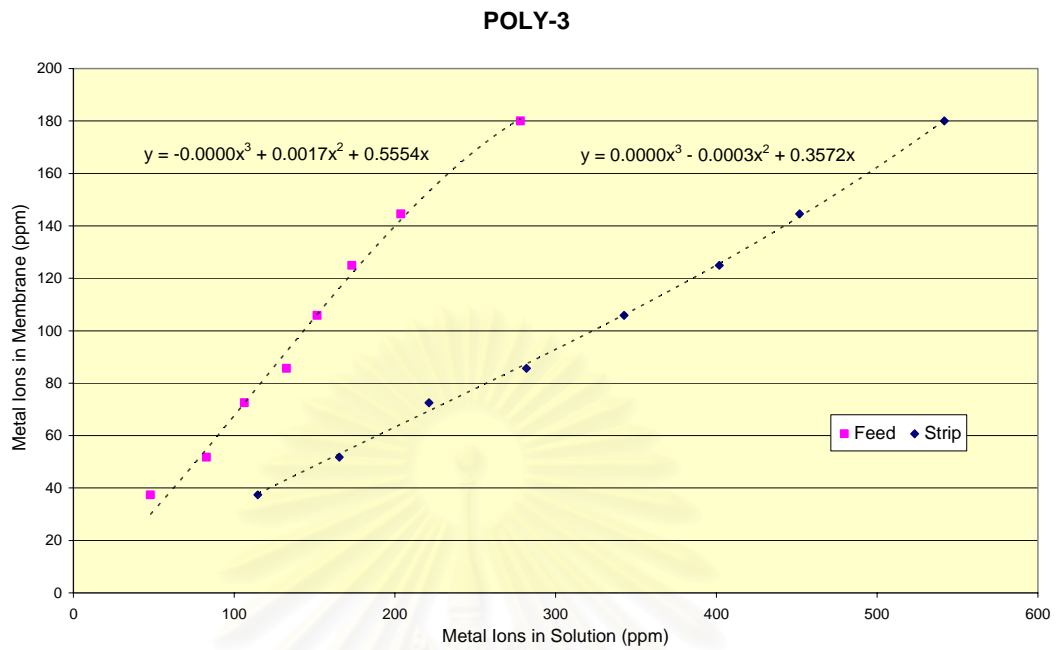
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



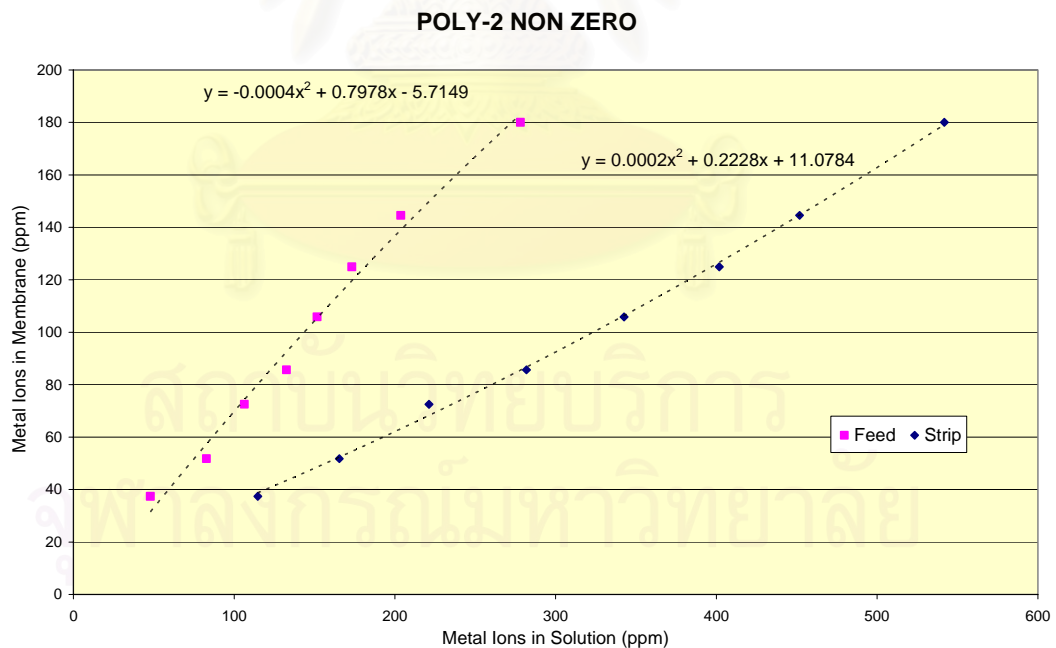
รูปที่ 15 รูปแบบสมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงที่ถูกรวบรวมเพื่อใช้ในการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง



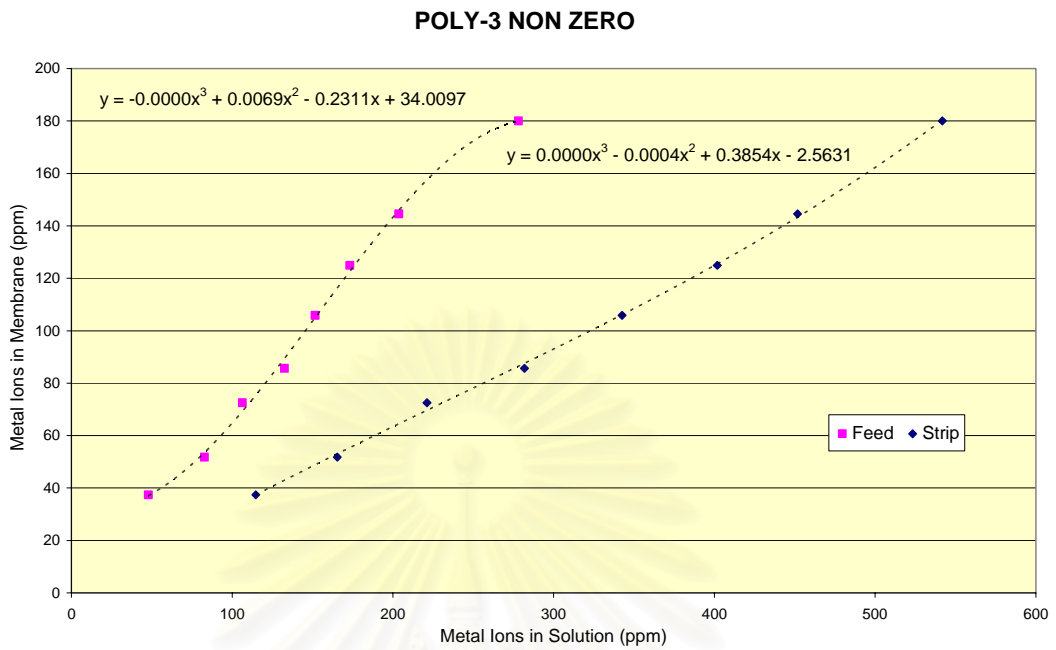
รูปที่ 16 รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 ที่ถูกรวบรวมเพื่อใช้ในการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง



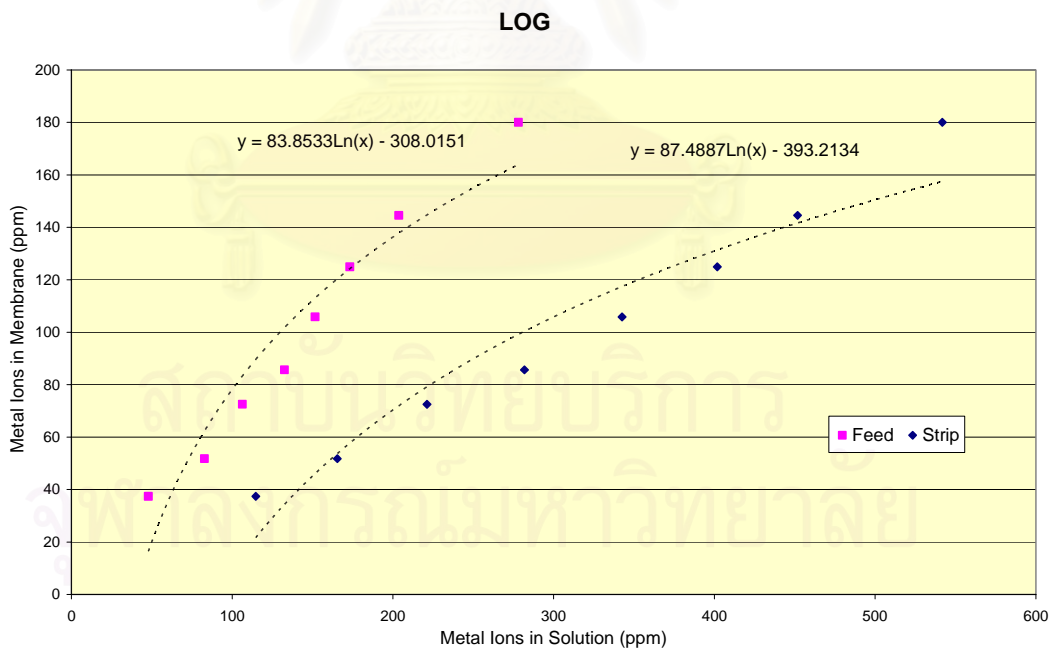
รูปที่ 17 รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-3 ที่ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในเพื่อการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง



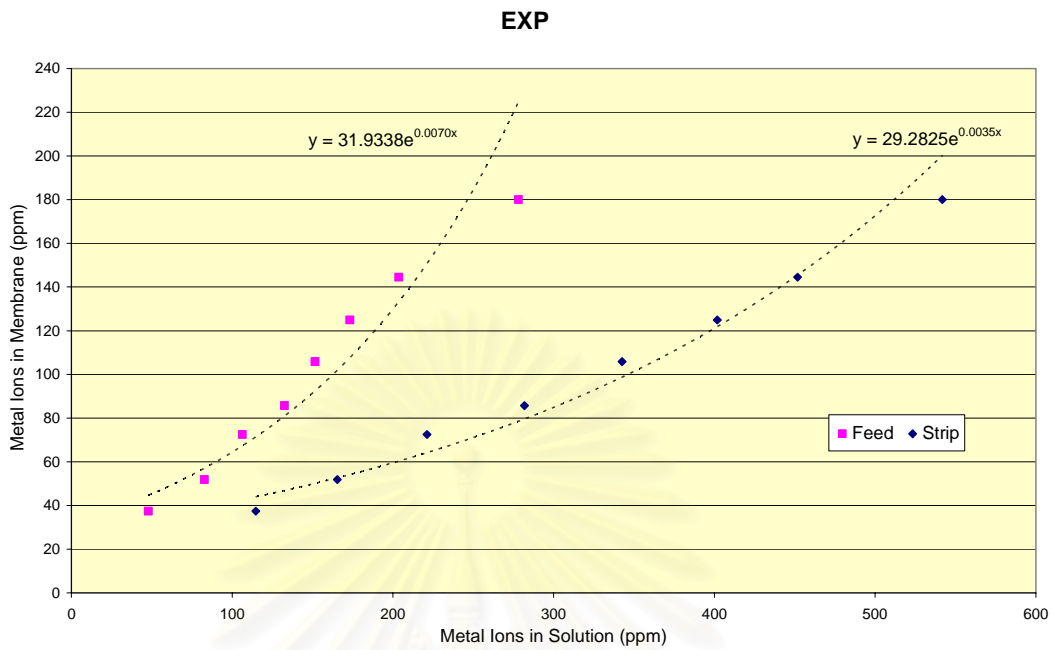
รูปที่ 18 รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 Non Zero ที่ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในเพื่อการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง



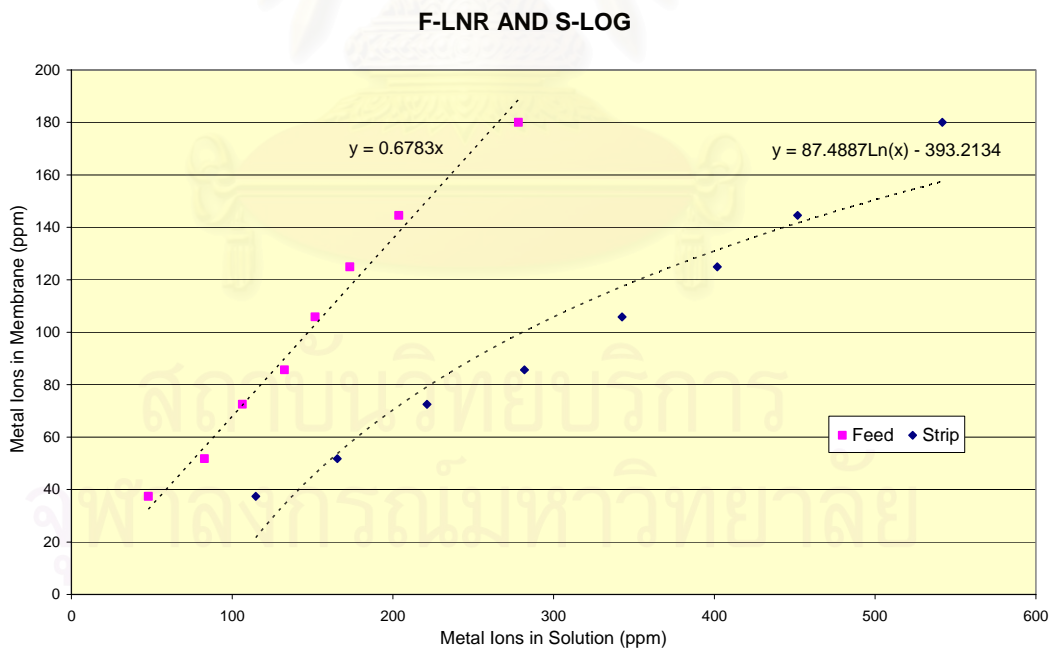
รูปที่ 19 รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-3 Non Zero ที่ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในเพื่อ การสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง



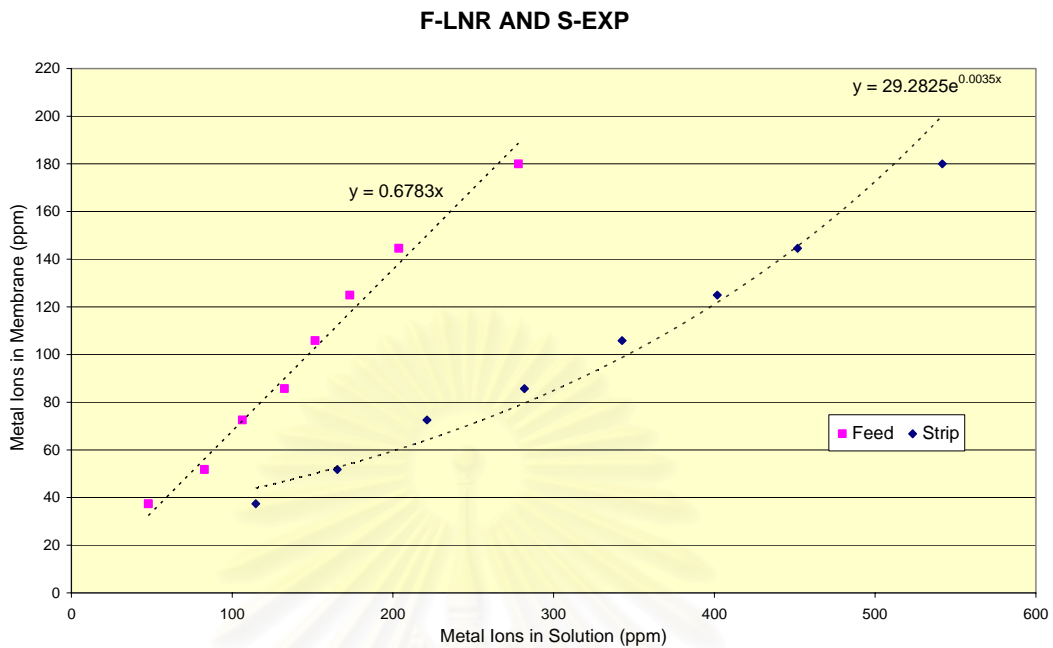
รูปที่ 20 รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Log ที่ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในเพื่อการสร้างกราฟ ทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง



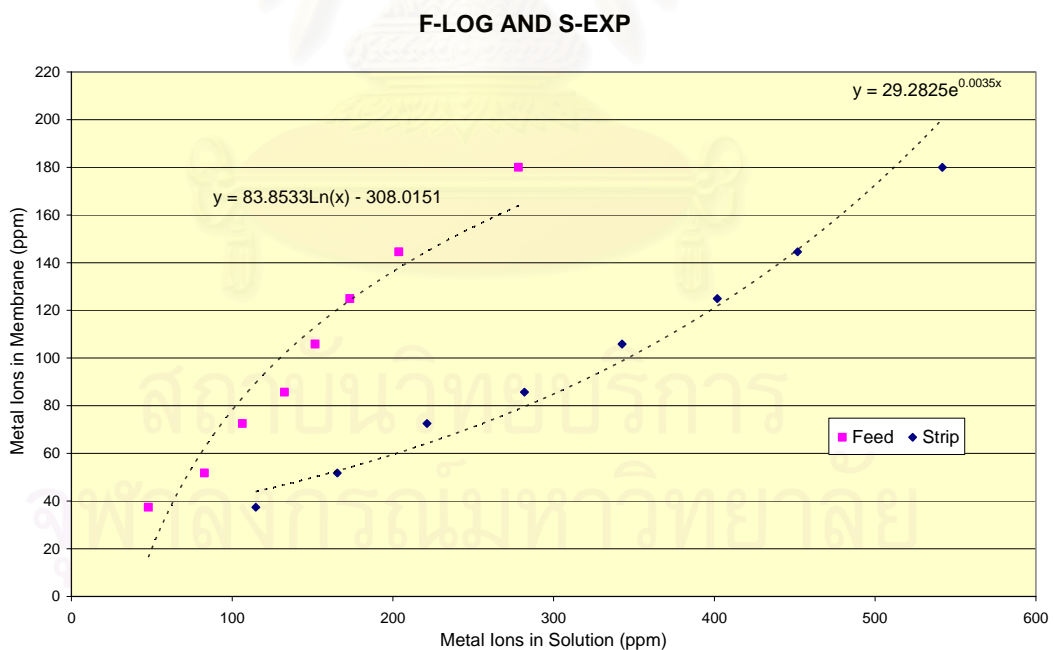
รูปที่ 21 รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Exp ที่ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง



รูปที่ 22 รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ F-Lnr and S-Log ที่ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในการสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

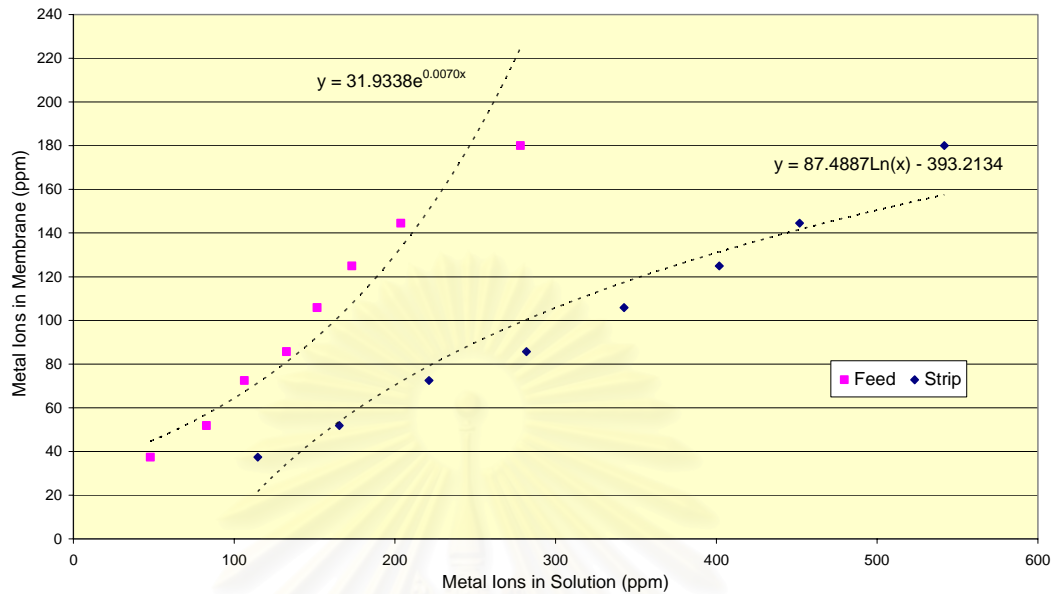


รูปที่ 23 รูปแบบสมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ F-Lnr and S-Exp ที่ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในการเพื่อ การสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง



รูปที่ 24 รูปแบบสมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ F-Log and S-Exp ที่ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในการเพื่อ การสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

F-EXP AND S-LOG



รูปที่ 25 รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ F-Exp and S-Log ที่ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในเพื่อ การสร้างกราฟทำนายผลการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

จะเห็นได้ว่ารูปแบบสมมูลสารละลายในหลายรูปแบบที่สร้างขึ้นนั้น ได้ถูกสร้างขึ้นด้วยวัตถุประสงค์เพื่อหาผลทำนายการสกัดโดยการสร้างกราฟที่เทียบเคียงและสอดคล้องกับผลการทดลองให้มากที่สุด วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการการทำนายผลการสกัดด้วยวิธีการสร้างกราฟนั้น ได้บรรยายไปแล้วในรายละเอียดของบทที่ 2 ซึ่งเป็นส่วนของทฤษฎีซึ่งใช้สำหรับงานวิจัยฉบับนี้

สมมูลระหว่างสารละลายนี้จะมีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งสะท้อนจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ชนิดของสารละลายที่ใช้ ความเข้มข้นของ ไอออนโลหะที่พิจารณา สภาพ pH ของระบบ อัตราการไหลหรือช่วงเวลาสัมผัสกันระหว่างสารละลายนั้น ๆ ด้วยเหตุนี้รูปแบบสมการสมมูลที่แตกต่างกันจึงได้ถูกกำหนดขึ้นบนพื้นฐานที่มีนัยดังนี้

Linear เพื่อทดสอบสมมูลสารละลายในความเข้มข้นระดับต่ำที่คาดว่ายังคงอยู่ภายใต้กฎของเฮนรีสำหรับสารละลายเจือจาง

Poly-2, Poly-3 หรืออื่นๆที่เกี่ยวข้องเช่น Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero เป็นรูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นระดับอ่อนเพื่อทดสอบการทำนาย

Log, Exp หรือ รูปแบบผสมระหว่าง Log และ Exp ซึ่งเป็นรูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นที่ชัดเจนเพื่อใช้ในการทดสอบการทำนาย

รูปแบบผสมคือ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp ซึ่งมีสมมูลที่เกี่ยวข้องกับสารละลายป้อนเป็นแบบเชิงเส้นตรงและสมมูลที่เกี่ยวข้องกับสารละลายนำกลับเป็นแบบไม่เชิงเส้นสมการ Log หรือ Exp รูปแบบนี้เป็นสมมูลที่กำหนดขึ้นด้วยสมมุติฐานคือ สารละลายป้อนจะมีความเข้มข้นลดลงเรื่อยๆทำให้ตลอดช่วงของการสกัดมีสมมูลที่เกี่ยวข้องคงลักษณะ Linear ในขณะที่สารละลายนำกลับจะมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆทำให้รูปแบบสมมูลเบี่ยงเบนจากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเข้าสู่ขอบเขตของระบบไม่เชิงเส้น

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ฐานข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำมาจากงานวิจัยซึ่งได้อ้างอิงในบทบรรยายของบทที่ 2

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หลักในบทวิจัยนี้จะพิจารณาถึงผลเทียบเคียงระหว่างผลลัพธ์การทำนายด้วยวิธีการสร้างกราฟกับผลของข้อมูลจากการทดลองที่มีการวัดความเข้มข้นของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ได้จากสกัดไอออนโลหะของงานวิจัยที่ถูกต้องอ้างอิง

เพื่อค้นหาผลเทียบเคียงที่มากที่สุดของผลการทดลองกับผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบของสัมพันธ์สมมูลสารละลาย เกณฑ์เปรียบเทียบดังต่อไปนี้จึงได้ถูกนำมาใช้

1. ร้อยละของความแตกต่างระหว่างผลการทำนายกับผลการทดลอง (% Error)
2. สัมประสิทธิ์อาร์กำลังสอง (R Squared Coefficient หรือ RSQ)
3. ดัชนีประสิทธิผล (Performance Index or PI)

ร้อยละของความแตกต่าง (% Error)

% Error เป็นการเกณฑ์เปรียบเทียบที่พิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นที่ของสารละลายที่ได้จากการทำนายและผลของความเข้มข้นของสารละลายจากการทดลอง

ในรูปร้อยละ การคำนวณจะกระทำทุกค่าข้อมูลที่ได้จากการทำนายของแต่ละรอบการไหลเวียน หลังจากนั้นจะนำมาหาค่าเฉลี่ยรวมเพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการพิจารณาผลการทำนายเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

เพื่อความเข้าใจ สมการที่ 3.1 - 3.2 แสดงถึงวิธีการคำนวณค่า Avg % Error เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และตารางที่ 2 แสดงถึงตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณหา % Error_i และ Avg % Error ของผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

$$\% \text{Error}_i = \left[\frac{\text{ความเข้มข้นที่ทำนายได้ที่รอบการไหลเวียนที่ } i - \text{ความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองที่รอบการไหลเวียนที่ } i}{\text{ความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองที่รอบการไหลเวียนที่ } i} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{Avg \% Error} = \frac{\text{ผลรวมทั้งหมดของ \% Error}_i}{\text{จำนวนรอบการไหลเวียนทั้งหมด}} \quad (3.2)$$

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณหา Avg % Error ของการสกัด

| รอบการสกัด ไหลเวียน | ความเข้มข้นสารละลายป้อน จากการทำนาย (x) | ความเข้มข้นสารละลายป้อน จากการทดลอง (y) | % Error _i |
|------------------------|--|--|----------------------|
| 1 | 228.51 | 232.21 | 1.59% |
| 2 | 211.80 | 211.65 | 0.07% |
| 3 | 198.83 | 205.34 | 3.17% |
| 4 | 188.80 | 180.92 | 4.35% |
| 5 | 181.06 | 185.67 | 2.49% |
| 6 | 175.10 | 187.11 | 6.42% |
| Avg % Error | | | 3.02% |

สัมประสิทธิ์อาร์กำลังสอง (R Squared Coefficient หรือ RSQ)

สัมประสิทธิ์อาร์กำลังสอง (R Squared Coefficient – RSQ) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้พิจารณาถึงความแปรปรวนที่เกิดขึ้นระหว่างร้อยละการสกัด (หรือนำกลับ) ที่ได้จากการคำนวณเมื่อเทียบกับร้อยละการสกัด (หรือนำกลับ) ที่ได้จากการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์นี้มีค่า

ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง โดยถ้าค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับหนึ่งจะหมายความว่าค่าที่วิเคราะห์นั้นมีแนวทางหรือทิศทางเดียวกับค่าซึ่งเป็นตัวอ้างอิง ในที่นี้ก็คือร้อยละการสกัด (หรือนำกลับ) ที่ได้จากการทำนายมีทิศทางเดียวกับร้อยละการสกัด (หรือนำกลับ) ที่ได้จากการทดลอง สมการที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์ RSQ มีดังนี้

$$\text{ร้อยละการสกัด} = \left(\frac{\text{ความเข้มข้นที่พิจารณา} - \text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

$$RSQ = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (3.4)$$

โดยที่

n = จำนวนรอบของการไหลเวียนที่พิจารณาทั้งหมด

x = ร้อยละการสกัดที่คำนวณได้ของสารละลายที่รอบการไหลเวียนที่ i

y = ร้อยละการสกัดที่ทดลองได้จากสารละลายที่รอบการไหลเวียนที่ i

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณหา RSQ

| รอบการสกัด ไหลเวียน | ผลจากการคำนวณ | | ผลจากการทดลอง | |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | ppm | % Extraction* | ppm | % Extraction* |
| 1 | 228.51 | 8.60% | 232.21 | 7.12% |
| 2 | 211.80 | 15.28% | 211.65 | 15.34% |
| 3 | 198.83 | 20.47% | 205.34 | 17.86% |
| 4 | 188.80 | 24.48% | 180.92 | 27.63% |
| 5 | 181.06 | 27.58% | 185.67 | 25.73% |
| 6 | 175.10 | 29.96% | 187.11 | 25.16% |
| 7 | 170.53 | 31.79% | 179.49 | 28.20% |
| RSQ | | | | 0.904 |

หมายเหตุ *ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่พิจารณาคือ 250 ppm

ดัชนีประสิทธิผล (Performance Index or PI)

PI เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบสุดท้ายที่สร้างขึ้นโดยอาศัย RSQ และ Avg % Error ของชุดข้อมูลที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดนำมาประกอบ โดยสังเขป สูตรการสร้าง PI เกิดจากผลลัพธ์การคูณของ RSQ และ สัดส่วนระหว่างค่าเฉลี่ย Avg % Error ที่คำนวณมาจากข้อมูลที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบทั้งหมด

$$PI = \left(\frac{\text{ค่าเฉลี่ยของ Avg \% Error ของชุดข้อมูลทั้งหมด}}{\text{Avg \% Error ของชุดข้อมูลที่พิจารณานั้น}} \right) \times RSQ \quad (3.5)$$

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณ PI ของแต่ละชุดข้อมูลการทำนายที่ศึกษา

| ดัชนี | ชุดข้อมูลการทำนายที่ 1 | ชุดข้อมูลการทำนายที่ 2 | ชุดข้อมูลการทำนายที่ 3 | ชุดข้อมูลการทำนายที่ 4 |
|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Avg % Error ⁽¹⁾ | 5.38% | 6.95% | 8.76% | 4.03% |
| RSQ | 0.949 | 0.949 | 0.949 | 0.941 |
| PI* | 1.112 | 0.861 | 0.682 | 1.473 |

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยของ Avg % Error ที่ได้จากชุดข้อมูลการทำนายทั้ง 4 เท่ากับ 6.28

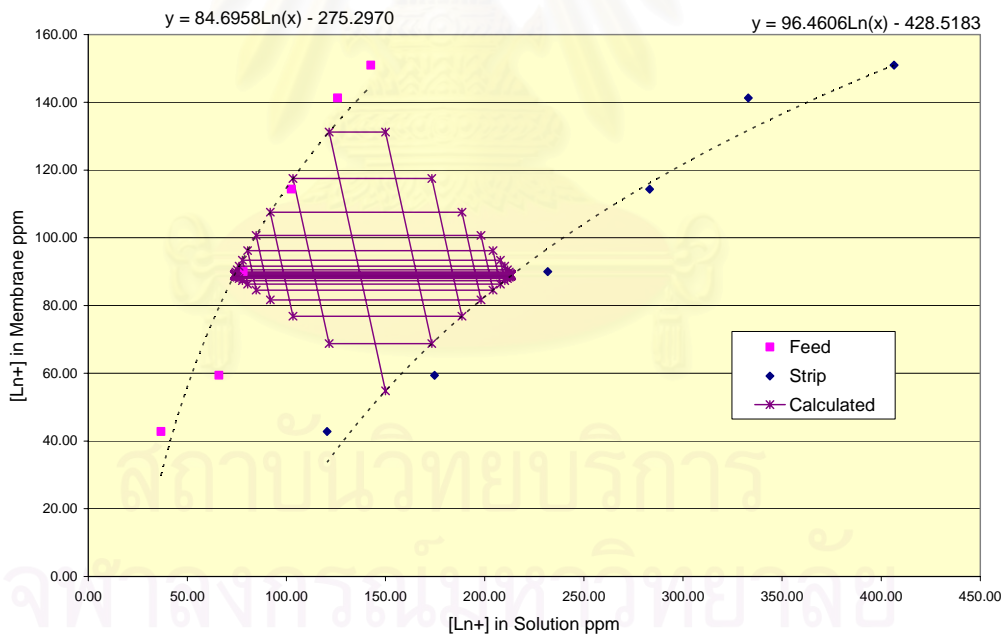
จากแนวคิดของเกณฑ์เปรียบเทียบข้อมูลทั้งหมดที่สร้างขึ้นและพิจารณาชุดข้อมูลที่คำนวณได้จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทำนายชุดที่ 4 นั้น ให้ PI สูงที่สุด ซึ่งในที่นี้หมายความว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลการทำนายชุดที่ 4 มีค่าเทียบเคียงหรือสอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุดเมื่อเทียบกับชุดข้อมูลอื่นๆที่ถูกพิจารณา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

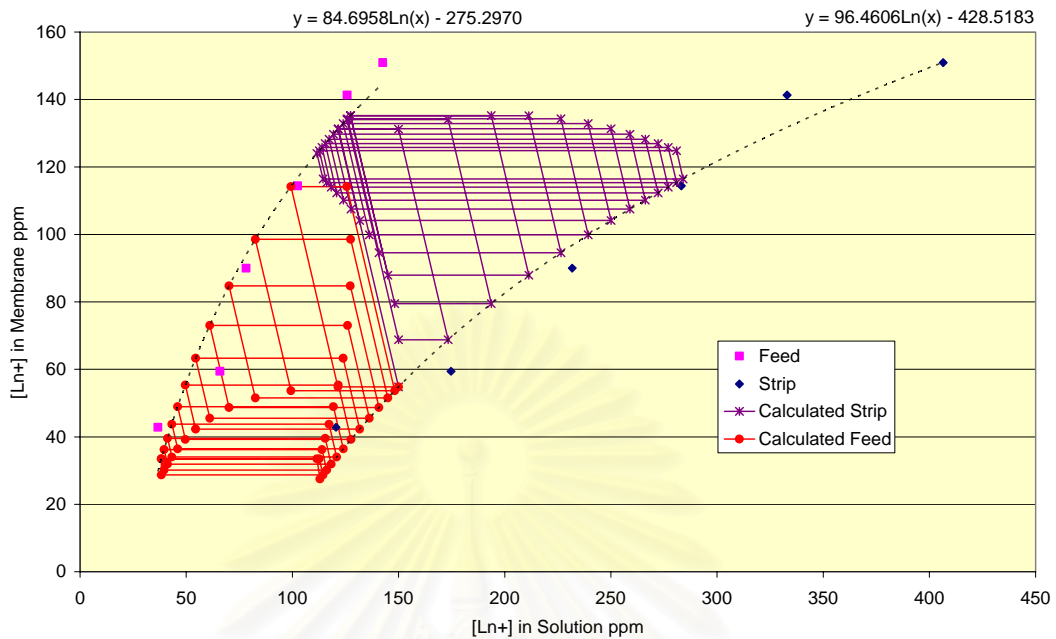
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทำนายพฤติกรรมการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงอาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของสมมูลสารละลาย (วีรวัฒน์, 2546) การวิจัยได้มีการนำไปสู่การประยุกต์วิธีการทำนายพฤติกรรมการสกัดโดยวิธีการสร้างกราฟที่มีแนวคิดของสมการสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นเป็นเอกลักษณ์ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นโดยอาศัยชุดคำสั่งไมโครซอฟท์เอ็กเซลเพื่อทำนายพฤติกรรมการสกัดที่แต่ละรอบของการสกัดดังที่บรรยายในบทที่ 3 ได้ถูกนำมาแสดงในภาคผนวก ง ถึง ภาคผนวก ฉ

จะเห็นได้ว่าทุกกรณีของงานวิจัยที่นำมาศึกษาในที่นี้สามารถสร้างกราฟเพื่อหาผลลัพธ์การทำนายได้เช่นเดียวกับวิธีการสร้างกราฟที่ใช้สมมูลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง รูปที่ 26 และ 27 แสดงแผนผังของการทำนายโดยใช้วิธีการสร้างกราฟจากสมมูลสารละลายแบบไม่เชิงเส้นสมการ Log สำหรับกรณีการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยว และ คู่ตามลำดับ



รูปที่ 26 แผนผังการทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟสำหรับกรณีการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึม



รูปที่ 27 แผนผังการทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟสำหรับกรณีการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้ สมดุลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึม

ประสิทธิภาพของเกณฑ์เปรียบเทียบ

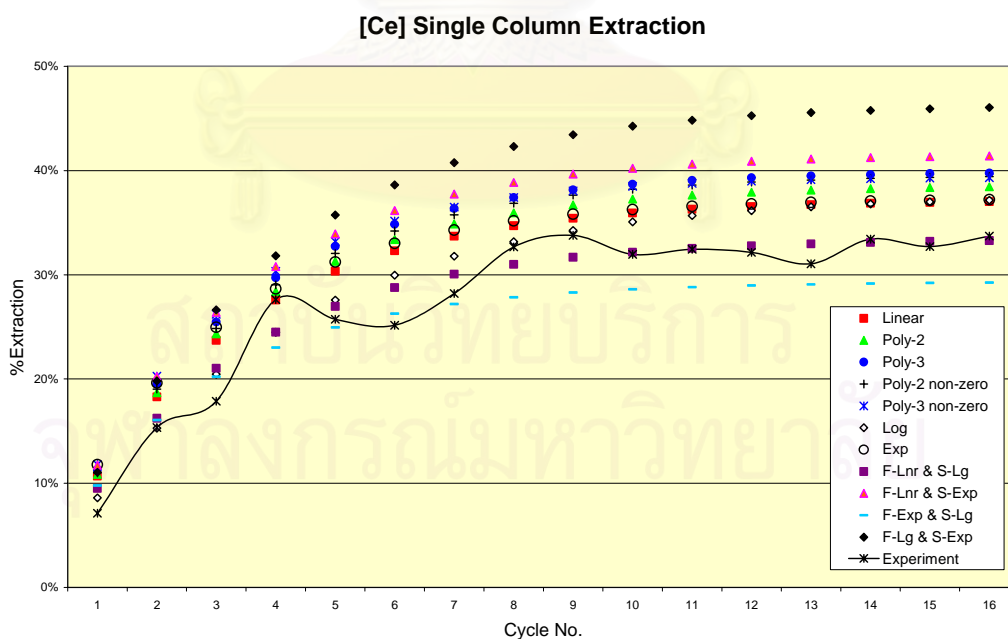
นำเกณฑ์เปรียบเทียบซึ่งบรรยายในบทที่ 3 มาทำการทดสอบประสิทธิภาพเพื่อการใช้งาน ฐานข้อมูลที่ใช้การทดสอบเกณฑ์เปรียบเทียบนั้นนำมาจากชุดข้อมูลผลลัพธ์จากการทำนาย และชุดข้อมูลของการทดลองที่เกี่ยวข้อง จุดพิจารณาที่ใช้คือเกณฑ์เปรียบเทียบจะต้องสามารถบ่งชี้รูปแบบสมดุลสารละลายที่ให้ผลการทำนายเทียบเคียงกับผลการทดลองได้มากที่สุด

พิจารณาเริ่มแรกด้วยชุดข้อมูลจากผลลัพธ์การสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว ตารางที่ 5 แสดงถึงผลคำนวณเกณฑ์เปรียบเทียบในกรณีนี้

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า ผลการทำนายที่ได้โดยการสร้างกราฟจากสมดุลสารละลายแบบผสม F-Lnr and S-Log มีค่า % Error คือ 2.03% ซึ่งต่ำที่สุดในกลุ่ม และ RSQ คือ 0.949 ซึ่งสูงที่สุดในกลุ่ม ให้ค่าของ PI คือ 3.393 สูงที่สุดในกลุ่มของผลการทำนายซึ่งได้จากแต่ละรูปแบบสมดุลสารละลายที่พิจารณา ผลจากการให้ค่า PI สูงที่สุดจึงบ่งชี้ในที่นี้ว่า ผลการทำนายที่ได้จากกราฟสร้างกราฟโดยมีสมดุลสารละลาย F-Lnr and S-Log ให้ผลเทียบเคียงกับผลการทดลองที่ดีที่สุดจากทุกรูปแบบสมดุลสารละลายทั้งหมดที่พิจารณา

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณเกณฑ์เปรียบเทียบกรณีการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว

| | % Error Avg | RSQ | PI | Ranking |
|-------------------|-------------|-------|-------|---------|
| Lnr | 5.38% | 0.949 | 1.283 | 4 |
| Poly-2 | 6.95% | 0.949 | 0.994 | 6 |
| Poly-3 | 8.76% | 0.949 | 0.787 | 8 |
| Poly-2 (Non Zero) | 8.08% | 0.949 | 0.854 | 7 |
| Poly-3 (Non Zero) | 8.81% | 0.947 | 0.782 | 9 |
| Log | 4.03% | 0.941 | 1.700 | 2 |
| Exp | 6.16% | 0.948 | 1.120 | 5 |
| F-Lnr and S-Log | 2.03% | 0.949 | 3.393 | 1 |
| F-Lnr and S-Exp | 10.66% | 0.949 | 0.647 | 10 |
| F-Log and S-Exp | 14.84% | 0.947 | 0.464 | 11 |
| F-Exp and S-Log | 4.29% | 0.947 | 1.605 | 3 |



รูปที่ 28 กราฟข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายและผลการทดลองของความเข้มข้นสารละลายป้อนที่เปลี่ยนไปของแต่ละรอบการไหลเวียน ในกรณีการสกัด Ce หอสกัดเดี่ยว

รูปภาพที่ 28 เป็นกราฟข้อมูลการสกัดที่เปรียบเทียบระหว่างผลทำนายการสกัดของแต่ละรูปแบบสมการละลายที่พิจารณาและผลการทดลอง จะเห็นได้ชัดเจนว่าจากกราฟว่าผลลัพธ์จากการทำนายด้วยรูปแบบสมการละลาย F-Lnr and S-Log ให้ผลเทียบเคียงกับการทดลองมากที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปในกรณีนี้ว่า เกณฑ์เปรียบเทียบที่นำมาใช้นี้สามารถใช้งานได้

พิจารณาลำดับขั้นต่อมาด้วยชุดข้อมูลการทำนายและการทดลองของการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว ตารางที่ 6 แสดงถึงผลการคำนวณเกณฑ์เปรียบเทียบที่ได้จากสมการละลายรูปแบบต่างๆ

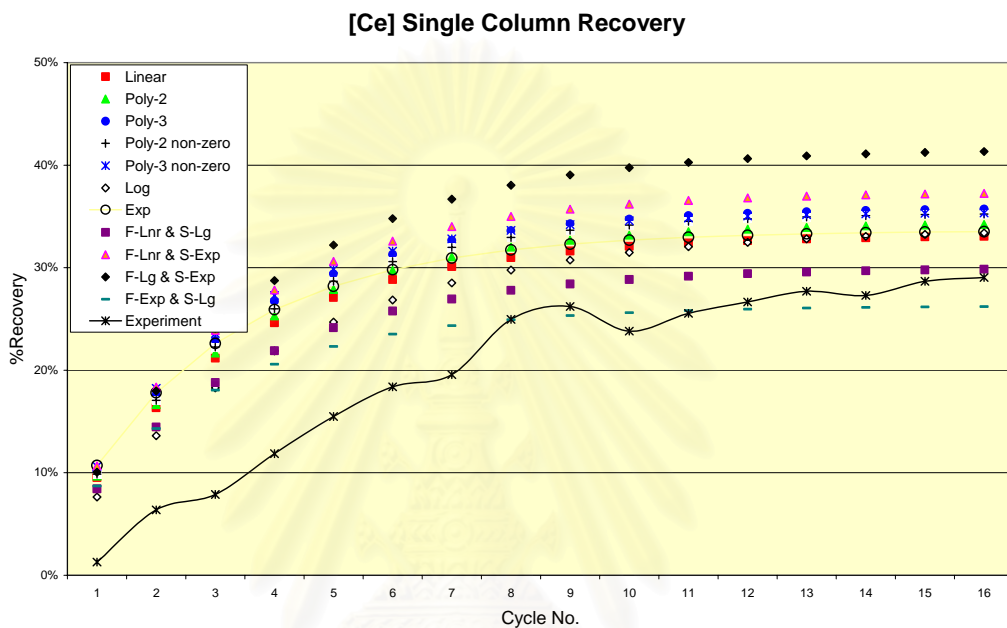
ตารางที่ 6 ผลการคำนวณเกณฑ์เปรียบเทียบกรณีการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว

| | % Error Avg | RSQ | PI | Ranking |
|-------------------|-------------|-------|-------|---------|
| Lnr | 6.86% | 0.916 | 1.011 | 4 |
| Poly-2 | 7.59% | 0.920 | 0.917 | 5 |
| Poly-3 | 8.76% | 0.912 | 0.789 | 8 |
| Poly-2 (Non Zero) | 8.28% | 0.920 | 0.842 | 7 |
| Poly-3 (Non Zero) | 8.84% | 0.895 | 0.766 | 9 |
| Log | 5.82% | 0.959 | 1.248 | 3 |
| Exp | 7.58% | 0.901 | 0.900 | 6 |
| F-Lnr and S-Log | 4.48% | 0.924 | 1.563 | 2 |
| F-Lnr and S-Exp | 9.82% | 0.914 | 0.705 | 10 |
| F-Log and S-Exp | 11.82% | 0.940 | 0.602 | 11 |
| F-Exp and S-Log | 3.47% | 0.892 | 1.948 | 1 |

จากผลที่แสดงในตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่า ผลการทำนายที่ได้โดยการสร้างกราฟที่มีสมการละลายไม่เชิงเส้นแบบผสม F-Exp and S-Log มีค่า % Error คือ 3.47% และ RSQ คือ 0.892 ให้ ค่า PI คือ 1.948 ซึ่งสูงที่สุดในกลุ่ม และบ่งชี้ในที่นี้ว่า ผลการทำนายด้วยรูปแบบสมการละลาย Exp and S-Log สำหรับการนำกลับ Ce ของสารละลายนำกลับ ให้ผลเทียบเคียงกับการทดลองที่ดีที่สุด

รูปภาพที่ 29 เป็นกราฟข้อมูลการนำกลับที่เปรียบเทียบระหว่างผลที่ทำนายได้จากแต่ละรูปแบบความสัมพันธ์สมการละลายกับผลการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า ข้อมูลจาก

การทำนายด้วยสมการหลาย F-Exp and S-Log ให้ผลเทียบเคียงกับการทดลองดีที่สุด เป็นข้อสังเกตว่า สมการหลายแบบ F-Exp and S-Log ไม่ได้ให้ค่า RSQ ที่สูงที่สุดของชุดข้อมูลที่พิจารณา แต่ทว่าผลของการเทียบเคียงโดยรวม ที่แสดงโดย PI ให้ผลเทียบเคียงมากที่สุดเมื่อเทียบกับผลการทดลอง



รูปที่ 29 กราฟข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายและผลการทดลองของความเข้มข้นสารละลายนำกลับที่เปลี่ยนไปในแต่ละรอบการไหลเวียน กรณีการนำกลับ Ce หอสกัดเดี่ยว

การทดสอบได้ประยุกต์ใช้กับกรณีการสกัดไอออนโลหะของกรณีอื่นๆทั้งหมดที่ใช้ในบทวิจัยนี้ ผลที่ได้ก็ยังคงยืนยันว่าเกณฑ์เปรียบเทียบนี้สามารถใช้งานได้กับทุกกรณี

ทำนายด้วยวิธีสร้างกราฟอัตรความสัมพันธ์สมการหลายไม่เชิงเส้น

ในส่วนนี้ จะนำข้อมูลจากบทวิจัยสำหรับงานสกัด Ce, Ln, Nd และ Pd ผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่ (วีรวัดน์, 2546) มาใช้เพื่อหาผลลัพธ์การทำนายพฤติกรรมการสกัดและนำกลับจากการสร้างกราฟที่มีสมการสมการหลายแบบไม่เชิงเส้น และเปรียบเทียบกับผลการทดลอง รวมทั้งประเมินความแม่นยำเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายโดยการสร้างกราฟที่มีสมการสมการหลายแบบเชิงเส้นตรง

ลำดับแรก จะพิจารณาถึงผลของการวิจัยสกัด Ce ที่การทดลองซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 250 ppm ทั้งในสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ การวิจัยได้กระทำในทั้งหอสกัด

เดี่ยวและหอสกัดคู่ และได้ตรวจวัดความเข้มข้นของทั้งสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เปลี่ยนไปทั้ง 16 รอบของการไหลเวียนในหอสกัด การทำนายด้วยวิธีการสร้างกราฟได้กระทำโดยใช้รูปแบบสมมูลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง และแบบไม่เชิงเส้นทั้ง 10 แบบดังที่ได้บรรยายไปแล้วข้างต้นในบทที่ 3

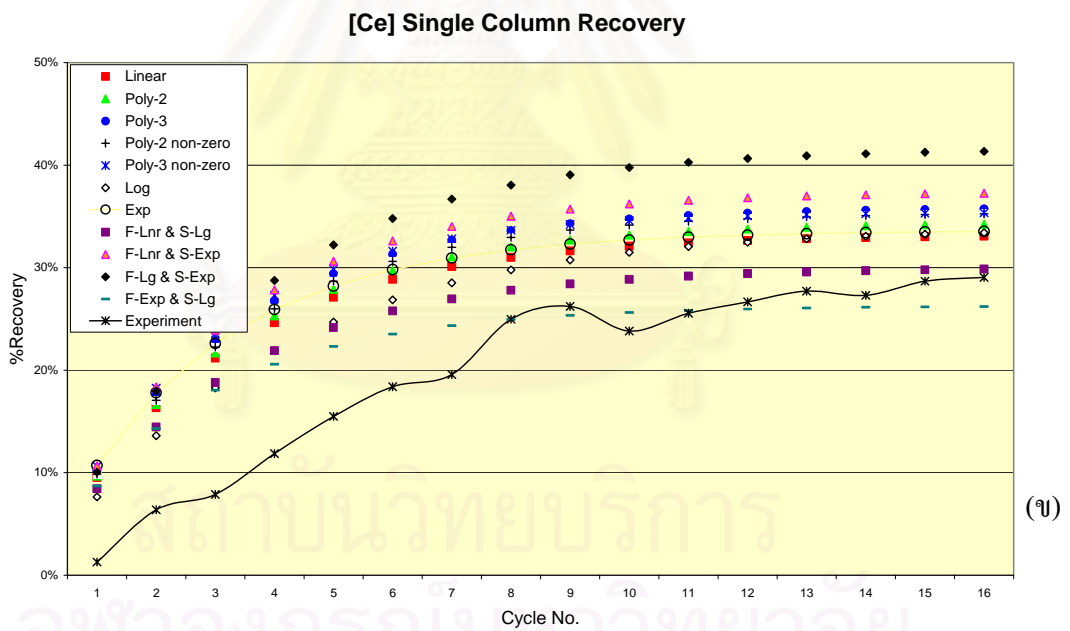
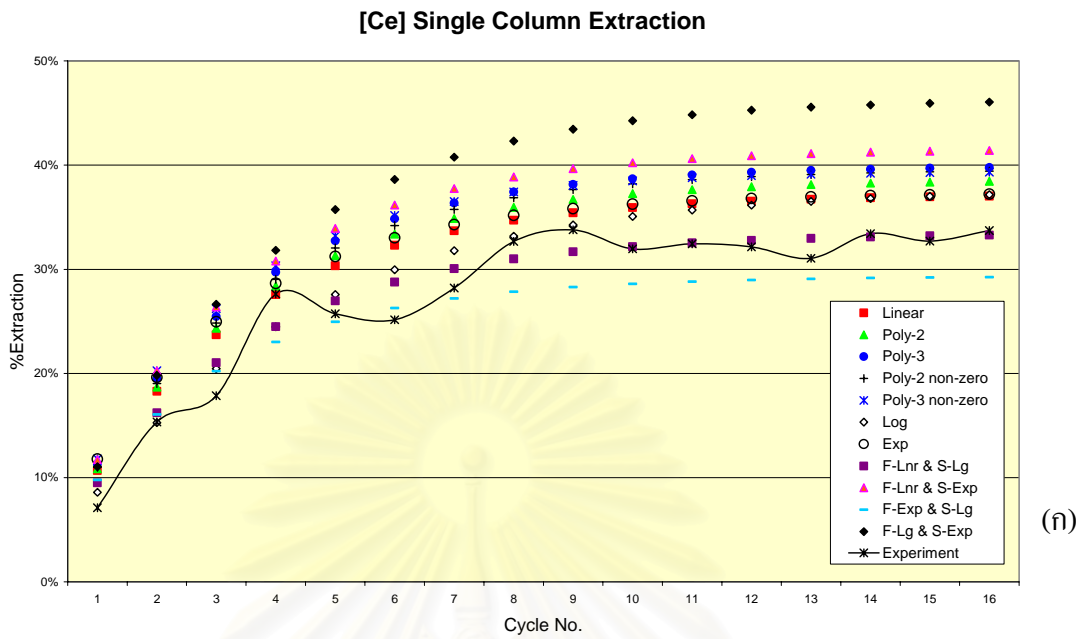
ผลของการทำนายพฤติกรรมการสกัดของ Ce ได้ถูกนำมาแสดงในภาคผนวก สำหรับแต่ละเข้มข้นของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ได้จากแต่ละรอบการไหลเวียนรูปที่ 30 และ รูปที่ 31 แสดงถึงผลจากการทำนายในแต่ละรอบไหลเวียนในรูปร้อยละการสกัดแยก Ce ในสารละลายป้อน และร้อยละการนำกลับ Ce ในสารละลายนำกลับที่เกิดขึ้นในระบบหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่ตามลำดับ

สำหรับผลสรุปการจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบความสัมพันธ์สมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ได้ถูกนำเสนอใน ตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8 สำหรับหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่ตามลำดับ

จากตารางที่ 7 และ 8 จะเห็นได้ว่าการทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟจากรูปแบบสมมูลสารละลายแบบไม่เชิงเส้น สามารถใช้งานได้ที่น่าพอใจ และพบว่า ผลการทำนายที่ได้จากรูปแบบสมมูลของสารละลายแบบไม่เชิงเส้น ให้ผลของความแม่นยำในลำดับที่เหนือกว่าผลการทำนายจากการสร้างกราฟที่มีสมมูลของสารละลายแบบเชิงเส้นตรงทั้งในระบบหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่

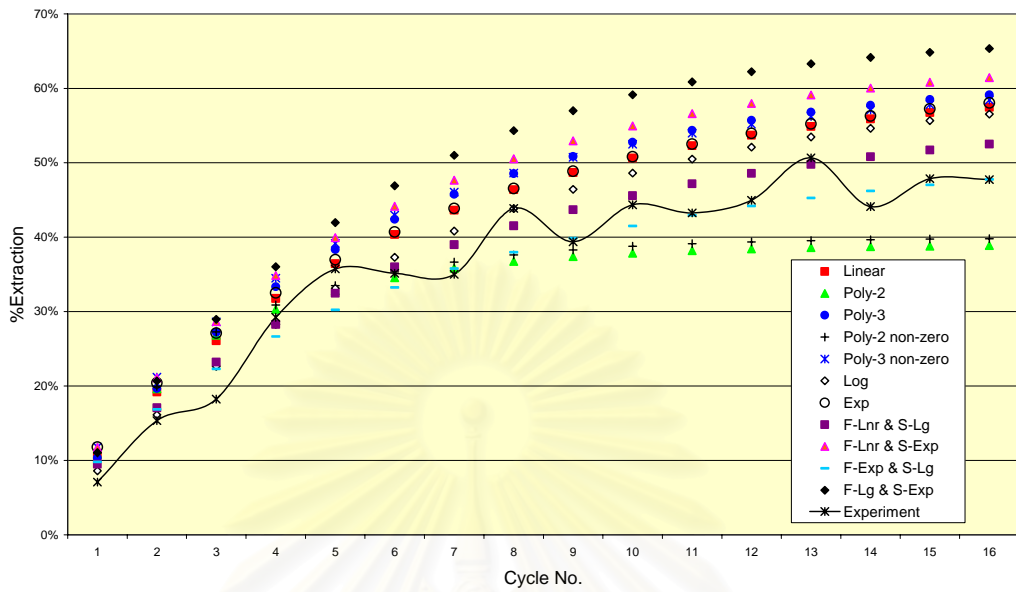
ในกระบวนการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวนั้น เมื่อสิ้นสุดรอบการไหลเวียนสุดท้ายแล้ว จะได้รับร้อยละการสกัด 33.71 % และร้อยละการนำกลับ 29.06 % ซึ่งผลลัพธ์จากการทำนายซึ่งให้ค่าความแม่นยำมากที่สุดจะให้ค่า 33.27% สำหรับร้อยละการสกัด และ 26.21% สำหรับร้อยละการนำกลับ

สำหรับการสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่นั้น ร้อยละการสกัดและนำกลับเมื่อสิ้นสุดรอบการไหลเวียนสุดท้ายจะมีค่า 47.73% และ 31.42% ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายซึ่งให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุดจะให้ค่า 47.77% สำหรับร้อยละการสกัด และ 33.48% สำหรับร้อยละการนำกลับ ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกันมาก



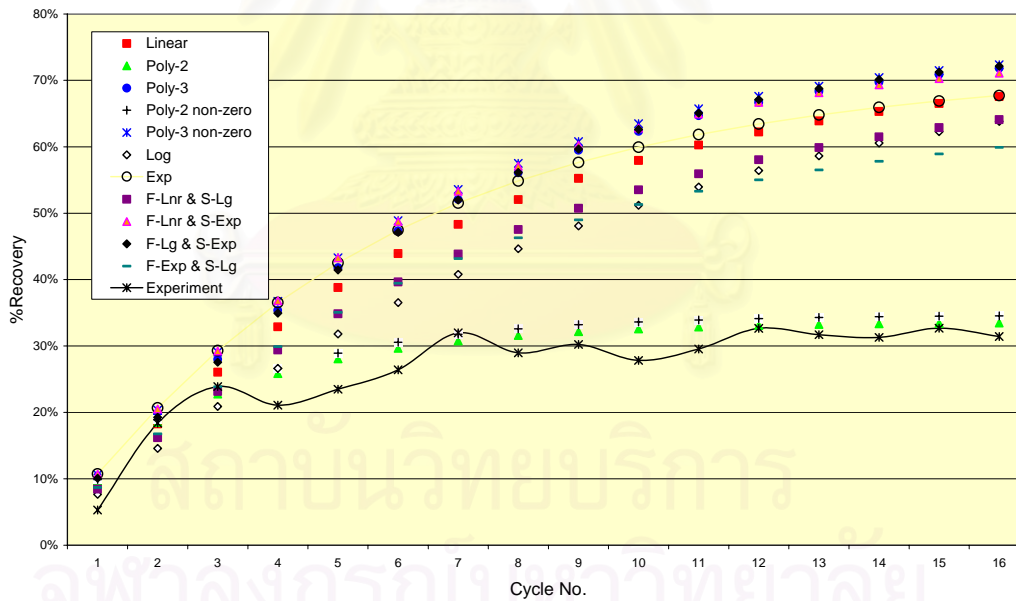
รูปที่ 30 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมการละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Ce หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Ce หอสกัดเดี่ยว

[Ce] Double Column Extraction



(ก)

[Ce] Double Column Recovery



(ข)

รูปที่ 31 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Ce หอสกัดคู่ และ (ข) การนำกลับ Ce หอสกัดคู่

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว

| Equilibrium | ผลของการสกัด | | | | ผลของการนำกลับ | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|---------|----------------|-------|-------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 5.38% | 0.949 | 1.283 | 4 | 6.86% | 0.916 | 1.011 | 4 |
| Poly-2 | 6.95% | 0.949 | 0.994 | 6 | 7.59% | 0.920 | 0.917 | 5 |
| Poly-3 | 8.76% | 0.949 | 0.787 | 8 | 8.76% | 0.912 | 0.789 | 8 |
| Poly-2 (Non Zero) | 8.08% | 0.949 | 0.854 | 7 | 8.28% | 0.920 | 0.842 | 7 |
| Poly-3 (Non Zero) | 8.81% | 0.947 | 0.782 | 9 | 8.84% | 0.895 | 0.766 | 9 |
| Log | 4.03% | 0.941 | 1.700 | 2 | 5.82% | 0.959 | 1.248 | 3 |
| Exp | 6.16% | 0.948 | 1.120 | 5 | 7.58% | 0.901 | 0.900 | 6 |
| F-Lnr and S-Log | 2.03% | 0.949 | 3.393 | 1 | 4.48% | 0.924 | 1.563 | 2 |
| F-Lnr and S-Exp | 10.66% | 0.949 | 0.647 | 10 | 9.82% | 0.914 | 0.705 | 10 |
| F-Log and S-Exp | 14.84% | 0.947 | 0.464 | 11 | 11.82% | 0.940 | 0.602 | 11 |
| F-Exp and S-Log | 4.29% | 0.947 | 1.605 | 3 | 3.47% | 0.892 | 1.948 | 1 |

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย กรณีการสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่

| Equilibrium | ผลของการสกัด | | | | ผลของการนำกลับ | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|---------|----------------|-------|-------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 10.76% | 0.956 | 0.989 | 6 | 16.52% | 0.823 | 0.709 | 6 |
| Poly-2 | 9.05% | 0.914 | 1.125 | 5 | 1.96% | 0.924 | 6.718 | 1 |
| Poly-3 | 13.60% | 0.960 | 0.785 | 8 | 19.21% | 0.826 | 0.612 | 8 |
| Poly-2 (Non Zero) | 8.20% | 0.917 | 1.245 | 4 | 2.49% | 0.923 | 5.281 | 2 |
| Poly-3 (Non Zero) | 13.74% | 0.961 | 0.778 | 9 | 20.03% | 0.834 | 0.593 | 11 |
| Log | 7.93% | 0.948 | 1.332 | 3 | 12.78% | 0.780 | 0.868 | 4 |
| Exp | 11.50% | 0.954 | 0.923 | 7 | 18.15% | 0.849 | 0.666 | 7 |
| F-Lnr and S-Log | 5.12% | 0.953 | 2.072 | 2 | 13.92% | 0.807 | 0.825 | 5 |
| F-Lnr and S-Exp | 16.85% | 0.959 | 0.633 | 10 | 19.66% | 0.839 | 0.608 | 9 |
| F-Log and S-Exp | 21.88% | 0.959 | 0.488 | 11 | 19.24% | 0.822 | 0.608 | 10 |
| F-Exp and S-Log | 3.80% | 0.952 | 2.790 | 1 | 12.62% | 0.829 | 0.935 | 3 |

ตารางที่ 9 แสดงถึงค่าสุดท้ายของการสกัดและนำกลับจากการทดลอง และผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายโดยการสร้างกราฟที่ใช้สมมูลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง และแบบไม่เชิงเส้น ผลที่ได้ก็เป็นอีกครั้งหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายด้วยรูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นให้ผลทำนายที่แม่นยำกว่าค่าที่ได้จากการทำนายจากการสร้างกราฟด้วยสมมูลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง

ตารางที่ 9 ร้อยละการสกัดและนำกลับที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัด Ce

| Cerium | หอสกัดเดี่ยว | | | หอสกัดคู่ | | |
|-----------------|--------------|--------|------------|-----------|--------|------------|
| | ทดลอง | ทำนาย | | ทดลอง | ทำนาย | |
| | | Linear | Non-linear | | Linear | Non-linear |
| ร้อยละการสกัด | 33.71% | 37.02% | 33.27% | 47.73% | 57.46% | 47.77% |
| ร้อยละการนำกลับ | 29.06% | 33.07% | 26.21% | 31.42% | 67.54% | 33.48% |

เป็นที่สังเกตว่าผลการทำนายที่ได้จากรูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นจะให้ผลที่อยู่ในเกณฑ์ดี แต่รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นนี้มีถึง 10 รูปแบบสำหรับบทวิจัยนี้ และเมื่อพิจารณาแจกแจงถึงแต่ละกรณี จะเห็นได้ว่า กรณีหอสกัดเดี่ยวจะมีสมการสมมูลรูปแบบ F-Lnr and S-Log ให้ผลการสกัดเทียบเคียงกับผลการทดลองดีที่สุด ในขณะที่สมการสมมูลรูปแบบ F-Exp and S-Log ให้ผลการนำกลับเทียบเคียงกับการทดลองดีที่สุด ในขณะที่กรณีหอสกัดคู่จะมีสมการสมมูลรูปแบบ F-Exp and S-Log ให้ผลการสกัดเทียบเคียงกับผลการทดลองดีที่สุด และสมการสมมูลรูปแบบ Poly-2 ให้ผลการนำกลับเทียบเคียงกับผลการทดลองดีที่สุด

ในความเป็นจริง กระบวนการน่าจะมีรูปแบบสมมูลสารละลายที่เป็นตัวแทนซึ่งให้ค่าการทำนายร่วมของทั้งการสกัดและนำกลับอยู่ในระดับที่สมมูล และให้ความแม่นยำในลำดับสูง ต่ำๆ ของรูปแบบสมมูลสารละลายทั้งหมดที่พิจารณา เพื่อหาตัวแทนสมมูลสารละลายที่สามารถให้ผลลัพธ์ของการทำนายร่วมอยู่ในเกณฑ์ดีทั้งการสกัดและการนำกลับ จึงได้มีการพิจารณาใช้ดัชนี PI มาช่วยทำการวัด ซึ่งได้ทำโดยการหาผลรวมของ PI ของแต่ละสมมูลสารละลายที่วิเคราะห์ แล้วใช้ผลรวมที่มีค่ามากที่สุดบ่งชี้ว่าสมมูลสารละลายนี้ให้ค่าการทำนายทั้งการสกัดและการนำกลับแม่นยำในลำดับต้นๆ

ตารางที่ 10 ได้แสดงถึงการค้นหานี้ ผลที่ได้คือ สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น สมการ F-Lnr and S-Log เป็นตัวแทนของกระบวนการสกัด Ce ของระบบหอสกัดเดี่ยว และสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น สมการ Poly-2 เป็นตัวแทนของกระบวนการสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่

ตารางที่ 10 ผลลัพธ์การหาสมมูลสารละลายที่ให้ค่าการทำนายร่วมของการสกัดและนำกลับอยู่ใน
เกณฑ์สูงลำดับต้น กรณีกระบวนการสกัด Ce

| Equilibrium | หอสกัดเดี่ยว | | | หอสกัดคู่ | | |
|-------------------|--------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| | PI สกัด | PI นำกลับ | PI ผลรวม | PI สกัด | PI นำกลับ | PI ผลรวม |
| Lnr | 1.283 | 1.011 | 2.294 | 0.989 | 0.709 | 1.698 |
| Poly-2 | 0.994 | 0.917 | 1.911 | 1.125 | 6.718 | 7.843 |
| Poly-3 | 0.787 | 0.789 | 1.576 | 0.785 | 0.612 | 1.397 |
| Poly-2 (Non Zero) | 0.854 | 0.842 | 1.696 | 1.245 | 5.281 | 6.526 |
| Poly-3 (Non Zero) | 0.782 | 0.766 | 1.548 | 0.778 | 0.593 | 1.371 |
| Log | 1.700 | 1.248 | 2.947 | 1.332 | 0.868 | 2.200 |
| Exp | 1.120 | 0.900 | 2.020 | 0.923 | 0.666 | 1.589 |
| F-Lnr and S-Log | 3.393 | 1.563 | 4.956 | 2.072 | 0.825 | 2.896 |
| F-Lnr and S-Exp | 0.647 | 0.705 | 1.352 | 0.633 | 0.608 | 1.241 |
| F-Log and S-Exp | 0.464 | 0.602 | 1.066 | 0.488 | 0.608 | 1.096 |
| F-Exp and S-Log | 1.605 | 1.948 | 3.553 | 2.790 | 0.935 | 3.726 |

ตารางที่ 11 รูปแบบสมมูลสารละลายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี ในกระบวนการสกัด Ce

| กรณี | สมมูลสารละลายที่แนะนำ | หมายเหตุ |
|--------------|-----------------------|-----------------|
| หอสกัดเดี่ยว | สกัด | F-Lnr and S-Log |
| | นำกลับ | F-Exp and S-Log |
| | ร่วม | F-Lnr and S-Log |
| หอสกัดคู่ | สกัด | F-Exp and S-Log |
| | นำกลับ | Poly-2 |
| | ร่วม | Poly-2 |

ขึ้นต่อมาจะพิจารณาถึงผลของการวิจัยสกัด Ln ที่การทดลองซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 150 ppm ทั้งในสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ การวิจัยได้กระทำในทั้งหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่ และได้ตรวจวัดความเข้มข้นของทั้งสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เปลี่ยนไปทั้ง 16 รอบของการไหลเวียนในหอสกัด การทำนายด้วยวิธีการสร้างกราฟได้กระทำโดยอาศัยรูปแบบสมมูลสารละลายทั้งแบบเชิงเส้นตรงและแบบไม่เชิงเส้น

ผลของการทำนายพฤติกรรมสกัด Ln ได้ถูกนำมาแสดงในภาคผนวก จ สำหรับแต่ละเข้มข้นของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ได้จากแต่ละรอบการไหลเวียน

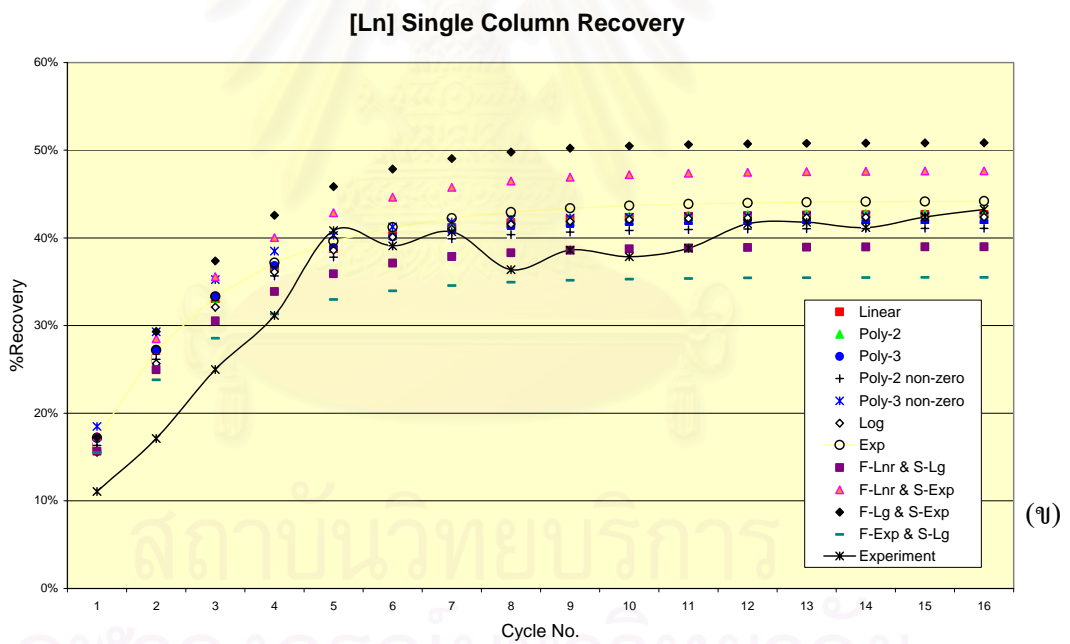
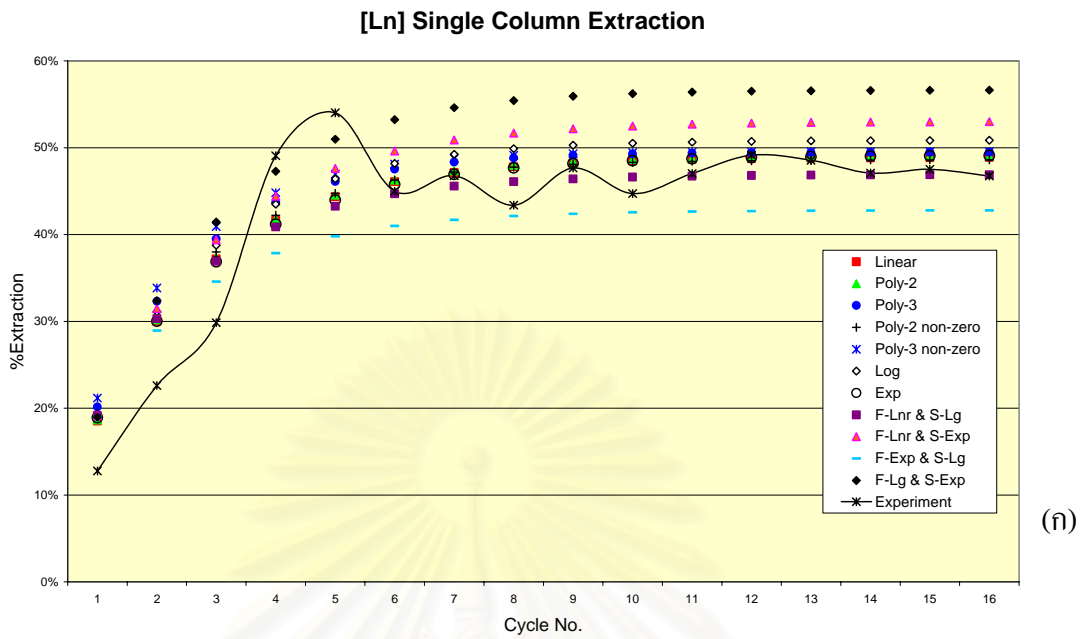
รูปที่ 32 แสดงผลการทำนายการสกัดแยก Ln ในสารละลายป้อนและทำนายการนำกลับ Ln ในสารละลายนำกลับที่เกิดขึ้นผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยว และเช่นเดียวกันในระบบหอสกัดคู่ซึ่งแสดงโดยรูปที่ 33 สำหรับผลทำนายการสกัดและนำกลับที่เกิดขึ้น

จากตารางที่ 12 และ 13 จะเห็นได้ว่า การทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟจากสมมูลสารละลายแบบไม่เชิงเส้นสามารถใช้งานได้อย่างน่าพอใจเช่นกันกับกรณีกระบวนการสกัด Ce และยังให้ผลความแม่นยำในลำดับที่เหนือกว่าผลการทำนายที่ได้จากรูปแบบสมมูลสารละลายแบบเชิงเส้นตรงทั้งในระบบหอสกัดเดี่ยวและระบบหอสกัดคู่

ในการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดียวนั้น เมื่อสิ้นสุดรอบการไหลเวียนสุดท้าย ผลการทดลองจะให้ร้อยละการสกัด 46.75 % และร้อยละการนำกลับ 43.25 % ในขณะที่ผลลัพธ์จากการทำนายที่ให้ผลเทียบเคียงกับการทดลองมากที่สุดจะให้ค่า 46.89% สำหรับร้อยละการสกัดและ 41.10% สำหรับร้อยละการนำกลับ

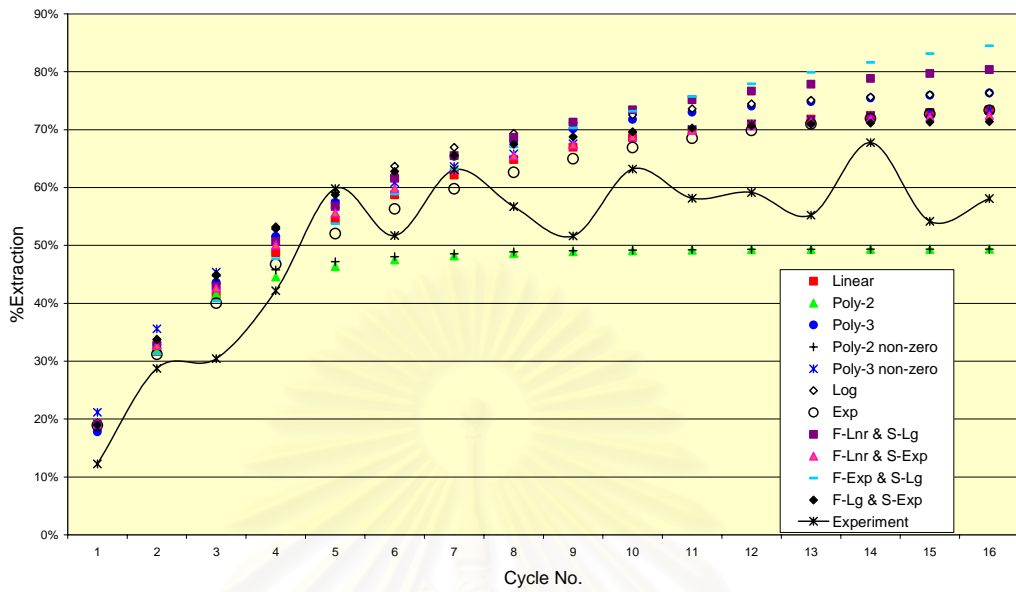
สำหรับการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่ นั้น ร้อยละการสกัดและนำกลับเมื่อสิ้นสุดรอบการไหลเวียนสุดท้ายจะมีค่า 58.09% และ 47.16% ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ร้อยละการสกัดและนำกลับที่ได้จากการทำนายที่ให้ผลเทียบเคียงการทดลองที่สุด คือ 49.37% สำหรับร้อยละการสกัดและ 41.96% สำหรับร้อยละการนำกลับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



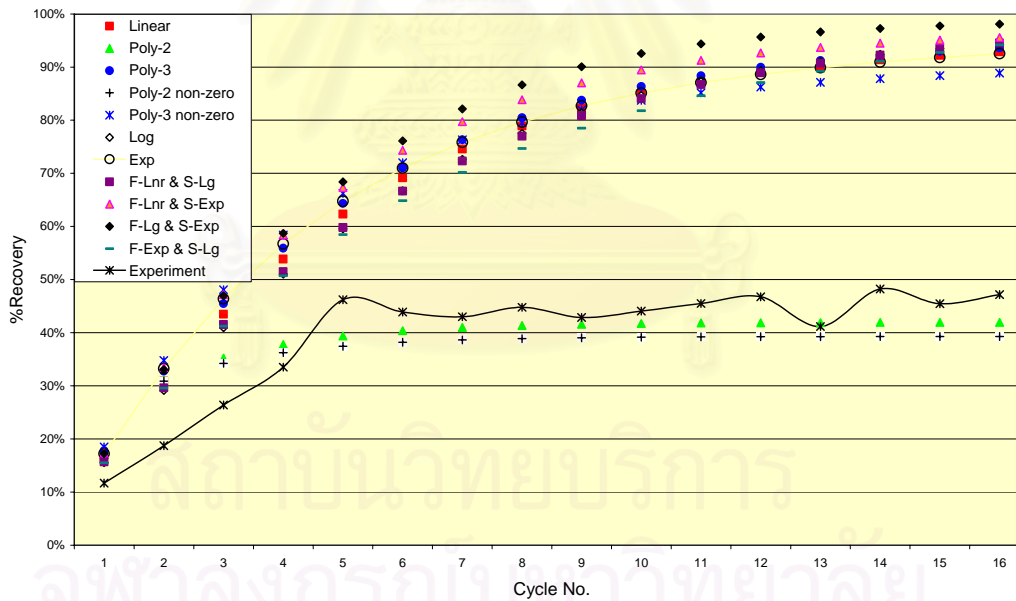
รูปที่ 32 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Ln หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Ln หอสกัดเดี่ยว

[Ln] Double Column Extraction



(ก)

[Ln] Double Column Recovery



(ข)

รูปที่ 33 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Ln หอสกัดคู่ และ (ข) การนำกลับ Ln หอสกัดคู่

ตารางที่ 12 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูล
สารละลาย กรณีการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยว

| Equilibrium | ผลของการสกัด | | | | ผลของการนำกลับ | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|---------|----------------|-------|-------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 5.93% | 0.852 | 1.145 | 3 | 2.51% | 0.930 | 1.249 | 5 |
| Poly-2 | 6.09% | 0.852 | 1.115 | 4 | 2.58% | 0.930 | 1.213 | 6 |
| Poly-3 | 6.94% | 0.862 | 0.990 | 6 | 2.47% | 0.919 | 1.253 | 4 |
| Poly-2 (Non Zero) | 5.90% | 0.857 | 1.159 | 2 | 2.24% | 0.926 | 1.392 | 1 |
| Poly-3 (Non Zero) | 7.26% | 0.865 | 0.950 | 7 | 3.05% | 0.903 | 0.995 | 7 |
| Log | 8.21% | 0.856 | 0.831 | 8 | 2.33% | 0.931 | 1.345 | 3 |
| Exp | 6.05% | 0.842 | 1.108 | 5 | 3.27% | 0.932 | 0.960 | 8 |
| F-Lnr and S-Log | 5.67% | 0.857 | 1.205 | 1 | 2.33% | 0.925 | 1.368 | 2 |
| F-Lnr and S-Exp | 10.55% | 0.848 | 0.640 | 10 | 5.35% | 0.933 | 0.587 | 10 |
| F-Log and S-Exp | 14.73% | 0.853 | 0.461 | 11 | 7.32% | 0.935 | 0.430 | 11 |
| F-Exp and S-Log | 10.31% | 0.857 | 0.662 | 9 | 3.58% | 0.919 | 0.864 | 9 |

ตารางที่ 13 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูล
สารละลาย กรณีการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่

| Equilibrium | ผลของการสกัด | | | | ผลของการนำกลับ | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|---------|----------------|-------|-------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 20.04% | 0.841 | 0.955 | 4 | 22.36% | 0.868 | 0.759 | 5 |
| Poly-2 | 18.27% | 0.825 | 1.026 | 1 | 3.42% | 0.843 | 4.820 | 1 |
| Poly-3 | 24.94% | 0.850 | 0.776 | 8 | 23.41% | 0.875 | 0.731 | 9 |
| Poly-2 (Non Zero) | 20.35% | 0.796 | 0.890 | 7 | 4.52% | 0.802 | 3.475 | 2 |
| Poly-3 (Non Zero) | 21.32% | 0.852 | 0.910 | 6 | 22.63% | 0.907 | 0.784 | 3 |
| Log | 26.31% | 0.862 | 0.745 | 9 | 21.76% | 0.842 | 0.756 | 7 |
| Exp | 18.62% | 0.817 | 0.998 | 2 | 23.02% | 0.884 | 0.751 | 8 |
| F-Lnr and S-Log | 28.40% | 0.821 | 0.658 | 10 | 21.71% | 0.842 | 0.759 | 6 |
| F-Lnr and S-Exp | 19.92% | 0.854 | 0.976 | 3 | 25.08% | 0.888 | 0.692 | 10 |
| F-Log and S-Exp | 21.02% | 0.879 | 0.952 | 5 | 26.40% | 0.884 | 0.655 | 11 |
| F-Exp and S-Log | 29.19% | 0.767 | 0.598 | 11 | 20.79% | 0.833 | 0.783 | 4 |

ตารางที่ 14 แสดงถึงผลสุดท้ายของการสกัดและนำกลับที่ได้ระหว่างผลลัพธ์จาก การทดลองและผลลัพธ์จากการทำนายที่ได้จากทั้งการสร้างกราฟที่ใช้สมมูลสารละลายเชิงเส้นตรง และไม่เชิงเส้น ผลที่แสดงนี้ก็เป็นอีกครั้งหนึ่งที่บ่งชี้ว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายด้วยการสร้าง กราฟที่มีสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นให้ผลทำนายพฤติกรรมของการสกัดที่แม่นยำกว่าผลจากการ ทำนายที่ใช้สมมูลสารละลายเชิงเส้นตรง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า ผลการทำนายกรณีนี้ให้ผลที่ยัง ใช้ได้ แต่ไม่ค่อยน่าพอใจนัก เพราะแนวโน้มการเทียบเคียงกับผลการทดลองแสดงโดย RSQ มีค่า ในระดับแค่ 0.8 และ % Error มีค่าส่วนใหญ่มากกว่า 10%

ตารางที่ 14 ร้อยละการสกัดและนำกลับที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัด Ln

| Lanthanum | หอสกัดเดี่ยว | | | หอสกัดคู่ | | |
|-----------------|--------------|--------|------------|-----------|--------|------------|
| | ทดลอง | ทำนาย | | ทดลอง | ทำนาย | |
| | | Linear | Non-linear | | Linear | Non-linear |
| ร้อยละการสกัด | 46.75% | 48.87% | 46.89% | 58.09% | 73.38% | 49.37% |
| ร้อยละการนำกลับ | 43.25% | 42.67% | 41.10% | 47.16% | 92.88% | 41.96% |

พิจารณาแจกแจงถึงแต่ละกรณี จะเห็นได้ว่า กรณีหอสกัดเดี่ยวสมการสมมูล F-Lnr and S-Log ให้ผลการสกัดสอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด ในขณะที่สมการสมมูล Poly-2 (Non Zero) ให้ผลการนำกลับสอดคล้องกับการทดลองมากที่สุด สำหรับกรณีหอสกัดคู่ สมการสมมูล Poly-2 ให้ผลการสกัดสอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด และสมการสมมูล Poly-2 ให้ผลการนำกลับสอดคล้องกับการทดลองมากที่สุด

เพื่อหาตัวแทนสมมูลสารละลายที่สามารถให้ผลลัพธ์ของการทำนายอยู่ในเกณฑ์ดี ทั้งการสกัดและการนำกลับ รูปแบบการพิจารณาหาโดยใช้ผลรวมของ PI ได้นำมาใช้อีกครั้ง เช่นเดียวกับกระบวนการวิเคราะห์กรณี Ce

ตารางที่ 15 ผลลัพธ์การหาสมมูลสารละลายที่ให้ค่าการทำงานร่วมของการสกัดและนำกลับอยู่ใน
เกณฑ์สูงลำดับต้น กรณีกระบวนการสกัด Ln

| Equilibrium | หอสกัดเดี่ยว | | | หอสกัดคู่ | | |
|-------------------|--------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| | PI สกัด | PI นำกลับ | PI ผลรวม | PI สกัด | PI นำกลับ | PI ผลรวม |
| Lnr | 1.145 | 1.249 | 2.394 | 0.955 | 0.759 | 1.714 |
| Poly-2 | 1.115 | 1.213 | 2.328 | 1.026 | 4.820 | 5.846 |
| Poly-3 | 0.990 | 1.253 | 2.243 | 0.776 | 0.731 | 1.507 |
| Poly-2 (Non Zero) | 1.159 | 1.392 | 2.551 | 0.890 | 3.475 | 4.365 |
| Poly-3 (Non Zero) | 0.950 | 0.995 | 1.945 | 0.910 | 0.784 | 1.694 |
| Log | 0.831 | 1.345 | 2.177 | 0.745 | 0.756 | 1.502 |
| Exp | 1.108 | 0.960 | 2.069 | 0.998 | 0.751 | 1.749 |
| F-Lnr and S-Log | 1.205 | 1.368 | 2.573 | 0.658 | 0.759 | 1.416 |
| F-Lnr and S-Exp | 0.640 | 0.587 | 1.227 | 0.976 | 0.692 | 1.669 |
| F-Log and S-Exp | 0.461 | 0.430 | 0.891 | 0.952 | 0.655 | 1.607 |
| F-Exp and S-Log | 0.662 | 0.864 | 1.526 | 0.598 | 0.783 | 1.381 |

ตารางที่ 16 รูปแบบสมมูลสารละลายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี ในกระบวนการสกัด Ln

| กรณี | สมมูลสารละลายที่แนะนำ | หมายเหตุ |
|--------------|-----------------------|-------------------|
| หอสกัดเดี่ยว | สกัด | F-Lnr and S-Log |
| | นำกลับ | Poly-2 (Non Zero) |
| | รวม | F-Lnr and S-Log |
| หอสกัดคู่ | สกัด | Poly-2 (Non Zero) |
| | นำกลับ | Poly-2 |
| | รวม | Poly-2 |

ลำดับที่ 3 พิจารณาถึงผลของการวิจัยสกัด Nd ที่การทดลองซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 100 ppm ในสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ การวิจัยได้กระทำในทั้งหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่ ความเข้มข้นของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เปลี่ยนไปทั้ง 16 รอบของการไหลเวียนในหอสกัดได้ถูกวัด และเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การทำงานด้วยวิธีการสร้างกราฟโดยอาศัยรูปแบบสมมูลสารละลายทั้งแบบเชิงเส้นตรงและแบบไม่เชิงเส้น

ผลของการทำนายพฤติกรรมการสกัด Nd ได้ถูกนำมาแสดงในภาคผนวก จ สำหรับแต่ละเข้มข้นของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ได้จากแต่ละรอบการไหลเวียน

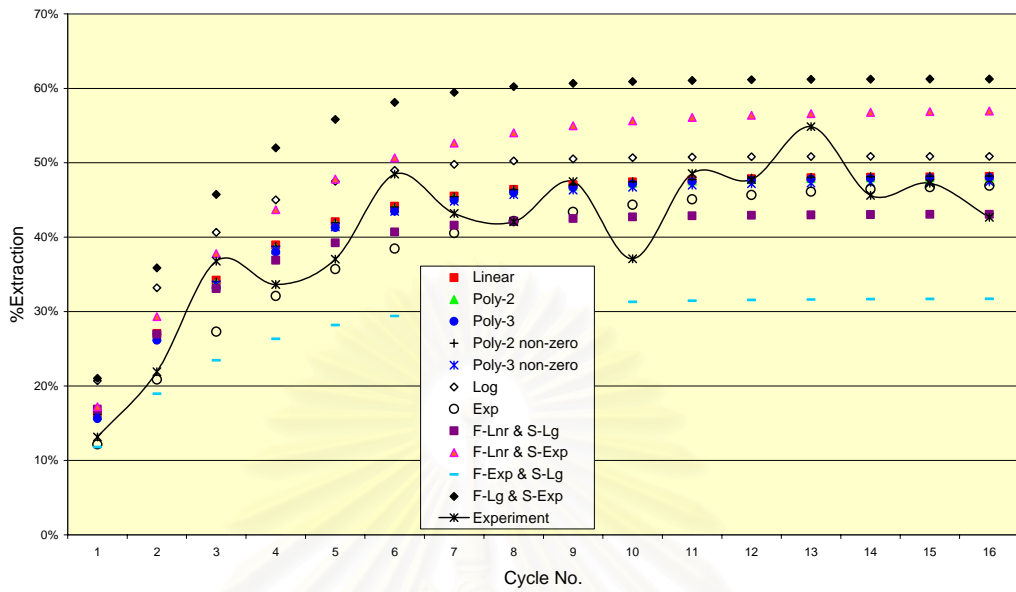
รูปที่ 34 แสดงผลการทำนายการสกัดแยก Nd จากสารละลายป้อนและการนำกลับ Nd ที่เกิดขึ้นในสารละลายนำกลับ และรูปที่ 25 แสดงเช่นเดียวกันสำหรับระบบหอสกัดคู่ ในการจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลของการทดลอง ตารางที่ 17 และ ตารางที่ 18 ได้แสดงผลของการจัดลำดับความแม่นยำในที่นี้สำหรับระบบหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่ตามลำดับ

จากตารางที่ 17 และ 18 จะเห็นได้ว่าการทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟจากรูปแบบความสัมพันธ์ของสมมูลสารละลายแบบไม่เชิงเส้นสามารถใช้งาน และให้ผลเทียบเคียงในลำดับที่เหนือกว่าผลการทำนายที่ได้จากรูปแบบสมมูลของสารละลายแบบเชิงเส้นตรง ซึ่งเป็นจริงทั้งในกรณีของการสกัดและนำกลับ Ln ของระบบหอสกัดเดี่ยวและระบบหอสกัดคู่

นำเสนอเช่นเดียวกันกับกรณีของ Ce และ Ln ตารางที่ 19 แสดงถึงร้อยละสุดท้ายของการสกัดและนำกลับที่ได้ของผลการทดลองและผลลัพธ์จากการทำนายที่ได้จากทั้งรูปแบบความสัมพันธ์สมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงและไม่เชิงเส้น ผลที่แสดงนี้ก็เป็นอย่างอื่นหนึ่งที่บ่งชี้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายด้วยรูปแบบสมการสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นให้ผลทำนายที่แม่นยำกว่าค่าที่ได้จากการทำนายจากรูปแบบสมการสมมูลสารละลายเชิงเส้นตรง

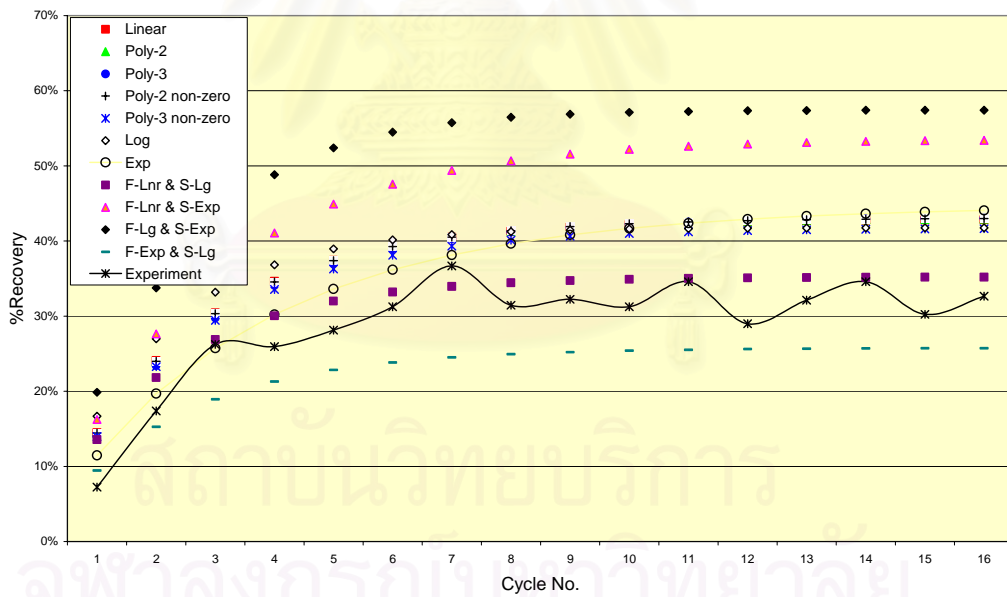
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[Nd] Single Column Extraction



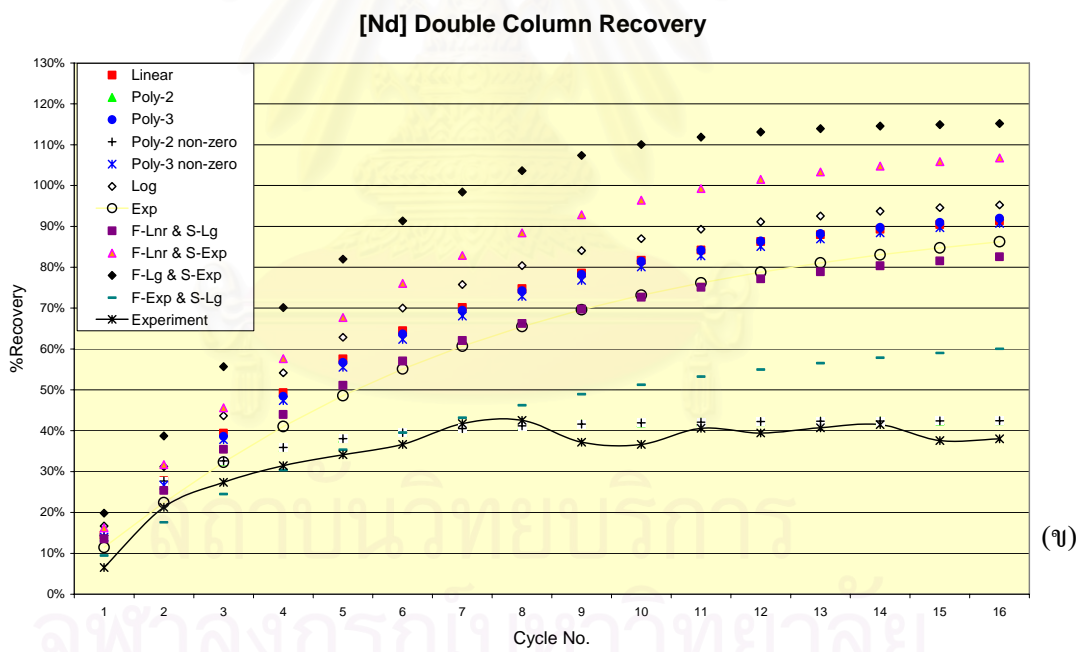
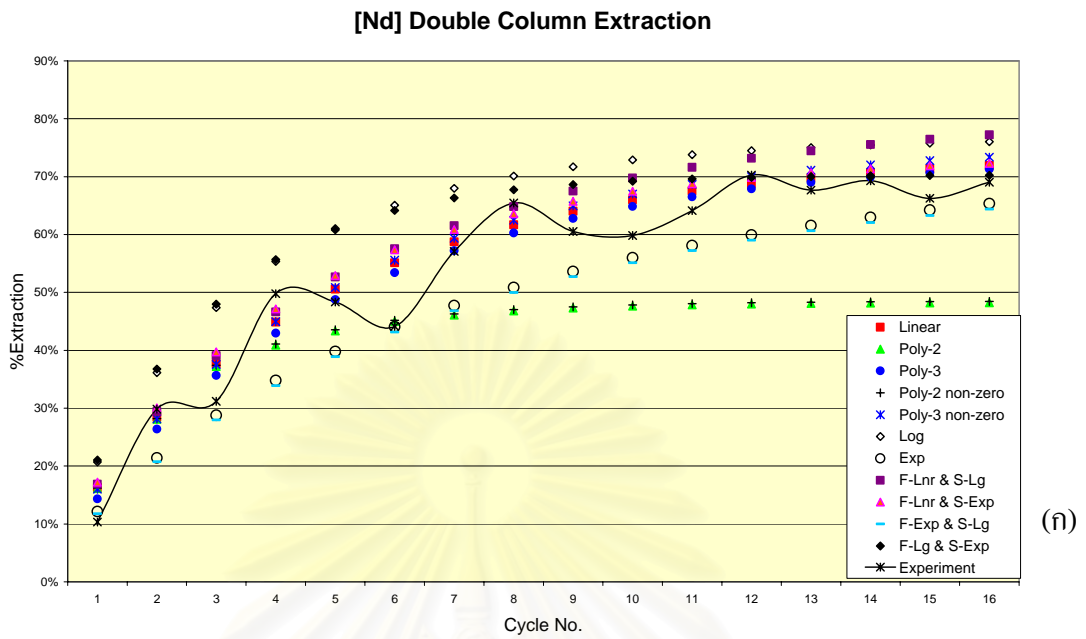
(ก)

[Nd] Single Column Recovery



(ข)

รูปที่ 34 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมการละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Nd หอสกัดเดียว และ (ข) การนำกลับ Nd หอสกัดเดียว



รูปที่ 35 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมการละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Nd หอสกัดคู่ และ (ข) การนำกลับ Nd หอสกัดคู่

ตารางที่ 17 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูล
สารละลาย กรณีการสกัด Nd ระบบหอสกัดเดี่ยว

| Equilibrium | ผลของการสกัด | | | | ผลของการนำกลับ | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|---------|----------------|-------|-------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 6.27% | 0.840 | 1.426 | 5 | 6.86% | 0.899 | 1.003 | 6 |
| Poly-2 | 6.18% | 0.840 | 1.447 | 3 | 6.85% | 0.897 | 1.002 | 7 |
| Poly-3 | 6.06% | 0.840 | 1.474 | 1 | 6.72% | 0.891 | 1.014 | 5 |
| Poly-2 (Non Zero) | 6.26% | 0.840 | 1.428 | 4 | 6.89% | 0.896 | 0.995 | 8 |
| Poly-3 (Non Zero) | 6.08% | 0.840 | 1.471 | 2 | 6.00% | 0.897 | 1.144 | 3 |
| Log | 10.44% | 0.826 | 0.843 | 8 | 7.19% | 0.919 | 0.978 | 9 |
| Exp | 6.59% | 0.820 | 1.325 | 6 | 5.65% | 0.827 | 1.120 | 4 |
| F-Lnr and S-Log | 7.58% | 0.836 | 1.173 | 7 | 2.52% | 0.913 | 2.769 | 1 |
| F-Lnr and S-Exp | 14.50% | 0.838 | 0.615 | 9 | 13.23% | 0.881 | 0.509 | 10 |
| F-Log and S-Exp | 24.51% | 0.835 | 0.362 | 11 | 17.47% | 0.915 | 0.401 | 11 |
| F-Exp and S-Log | 22.58% | 0.840 | 0.396 | 10 | 4.77% | 0.904 | 1.450 | 2 |

ตารางที่ 18 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูล
สารละลาย กรณีการสกัด Nd ระบบหอสกัดคู่

| Equilibrium | ผลของการสกัด | | | | ผลของการนำกลับ | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|---------|----------------|-------|-------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 8.81% | 0.945 | 1.884 | 2 | 24.29% | 0.804 | 0.674 | 7 |
| Poly-2 | 35.04% | 0.870 | 0.436 | 11 | 2.86% | 0.955 | 6.792 | 1 |
| Poly-3 | 7.62% | 0.944 | 2.177 | 1 | 24.12% | 0.792 | 0.669 | 8 |
| Poly-2 (Non Zero) | 34.63% | 0.870 | 0.441 | 10 | 2.87% | 0.954 | 6.784 | 2 |
| Poly-3 (Non Zero) | 10.15% | 0.944 | 1.633 | 4 | 23.23% | 0.788 | 0.691 | 6 |
| Log | 21.99% | 0.935 | 0.746 | 9 | 27.73% | 0.825 | 0.606 | 9 |
| Exp | 16.52% | 0.928 | 0.986 | 7 | 18.86% | 0.751 | 0.811 | 5 |
| F-Lnr and S-Log | 15.09% | 0.943 | 1.098 | 5 | 19.06% | 0.791 | 0.845 | 4 |
| F-Lnr and S-Exp | 10.15% | 0.945 | 1.635 | 3 | 32.90% | 0.810 | 0.502 | 10 |
| F-Log and S-Exp | 14.51% | 0.906 | 1.096 | 6 | 41.34% | 0.867 | 0.427 | 11 |
| F-Exp and S-Log | 18.60% | 0.927 | 0.875 | 8 | 6.82% | 0.763 | 2.278 | 3 |

ตารางที่ 19 ร้อยละการสกัดและนำกลับที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัด Nd

| Neodymium | หอสกัดเดี่ยว | | | หอสกัดคู่ | | |
|-----------------|--------------|--------|------------|-----------|--------|------------|
| | ทดลอง | ทำนาย | | ทดลอง | ทำนาย | |
| | | Linear | Non-linear | | Linear | Non-linear |
| ร้อยละการสกัด | 42.68% | 48.15% | 48.03% | 69.04% | 71.92% | 71.31% |
| ร้อยละการนำกลับ | 32.64% | 42.83% | 35.19% | 38.01% | 91.36% | 42.45% |

เพื่อเพิ่มหาความสัมพันธ์สมมูลที่เหมาะสมของแต่ละกรณีซึ่งให้ค่าทำนายอยู่ในเกณฑ์สูงลำดับต้นของแต่ละกรณี ตารางที่ 20 ได้ทำหน้าที่ ณ.จุดนี้ โดยที่ตารางที่ 21 ได้สรุปถึงรูปแบบสมมูลสารละลายที่ให้ผลการทำนายในเกณฑ์สูงของแต่ละกรณี

ตารางที่ 20 ผลลัพธ์การหาสมมูลสารละลายที่ให้ค่าการทำนายร่วมของการสกัดและนำกลับอยู่ในเกณฑ์สูงลำดับต้น กรณีกระบวนการสกัด Nd

| Equilibrium | หอสกัดเดี่ยว | | | หอสกัดคู่ | | |
|-------------------|--------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| | PI สกัด | PI นำกลับ | PI ผลรวม | PI สกัด | PI นำกลับ | PI ผลรวม |
| Lnr | 1.426 | 1.003 | 2.429 | 1.884 | 0.674 | 2.558 |
| Poly-2 | 1.447 | 1.002 | 2.449 | 0.436 | 6.792 | 7.228 |
| Poly-3 | 1.474 | 1.014 | 2.489 | 2.177 | 0.669 | 2.846 |
| Poly-2 (Non Zero) | 1.428 | 0.995 | 2.424 | 0.441 | 6.784 | 7.225 |
| Poly-3 (Non Zero) | 1.471 | 1.144 | 2.614 | 1.633 | 0.691 | 2.324 |
| Log | 0.843 | 0.978 | 1.820 | 0.746 | 0.606 | 1.352 |
| Exp | 1.325 | 1.120 | 2.445 | 0.986 | 0.811 | 1.797 |
| F-Lnr and S-Log | 1.173 | 2.769 | 3.942 | 1.098 | 0.845 | 1.943 |
| F-Lnr and S-Exp | 0.615 | 0.509 | 1.125 | 1.635 | 0.502 | 2.136 |
| F-Log and S-Exp | 0.362 | 0.401 | 0.763 | 1.096 | 0.427 | 1.523 |
| F-Exp and S-Log | 0.396 | 1.450 | 1.845 | 0.875 | 2.278 | 3.152 |

ตารางที่ 21 รูปแบบสมมูลสารละลายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี ในกระบวนการสกัด Nd

| กรณี | | สมมูลสารละลายที่แนะนำ | หมายเหตุ |
|--------------|--------|-----------------------|--|
| หอสกัดเดี่ยว | สกัด | Poly-3 | ให้ผลทำนายดีที่สุด เมื่อเทียบกับผลการทำนายจากรูปแบบสมมูลอื่น |
| | นำกลับ | F-Lnr and S-Log | ให้ผลทำนายดีที่สุด เมื่อเทียบกับผลการทำนายจากรูปแบบสมมูลอื่น |
| | รวม | F-Lnr and S-Log | ให้ผลทำนายร้อยละการสกัด และ นำกลับ ในเกณฑ์สูงทั้งคู่ |
| หอสกัดคู่ | สกัด | Poly-3 | ให้ผลทำนายดีที่สุด เมื่อเทียบกับผลการทำนายจากรูปแบบสมมูลอื่น |
| | นำกลับ | Poly-2 | ให้ผลทำนายดีที่สุด เมื่อเทียบกับผลการทำนายจากรูปแบบสมมูลอื่น |
| | รวม | Poly-2 | ให้ผลทำนายร้อยละการสกัด และ นำกลับ ในเกณฑ์สูงทั้งคู่ |

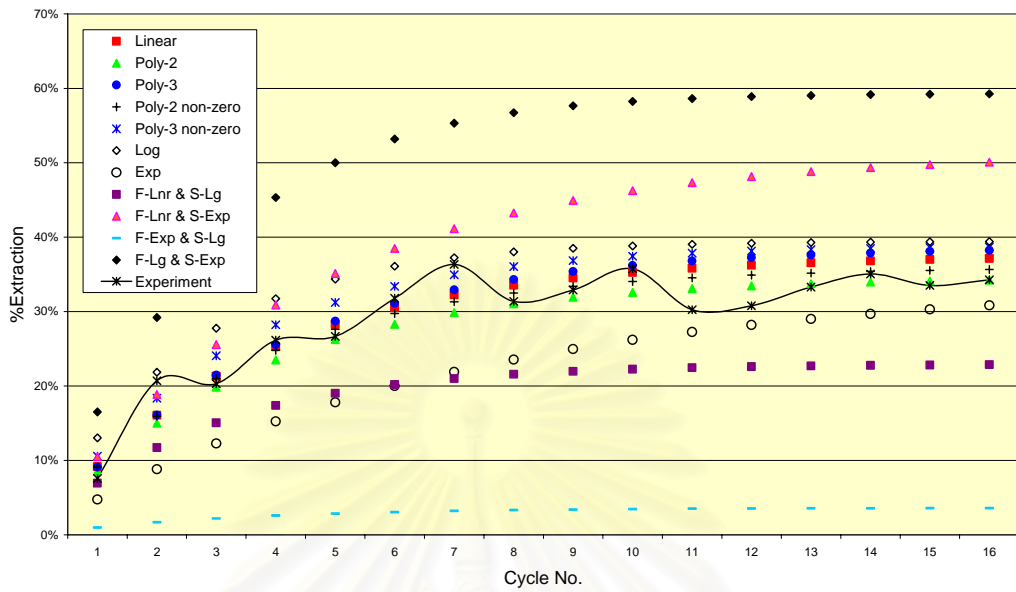
ลำดับสุดท้ายของหัวข้อนี้คือการวิจัยสกัด Pd ซึ่งมีการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 ppm ในสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ การวิจัยได้กระทำในทั้งหอสกัดเดี่ยวและหอสกัดคู่ และได้ตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เปลี่ยนไปทั้ง 16 รอบของการไหลเวียนในหอสกัด

ผลของการทำนายพฤติกรรมการสกัดของไอออนโลหะ Pd ได้ถูกนำมาแสดงในภาคผนวก ช สำหรับแต่ละความเข้มข้นของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ได้จากแต่ละรอบการไหลเวียน รูปที่ 36 และ 37 แสดงถึงผลการทำนายการสกัดแยก Pd ในสารละลายป้อนและนำกลับ Pd ในสารละลายนำกลับสำหรับระบบหอสกัดเดี่ยวและคู่ตามลำดับ

ตารางที่ 22 และ 23 แสดงถึงการผลของการจัดลำดับผลลัพธ์การทำนายที่ได้จากวิธีการสร้างกราฟ ซึ่งอีกเช่นเคย ผลการทำนายที่ได้จากรูปแบบสมมูลของสารละลายแบบไม่เชิงเส้นให้ความแม่นยำในลำดับที่เหนือกว่าผลการทำนายที่ได้จากรูปแบบสมมูลของสารละลายแบบเชิงเส้นตรง

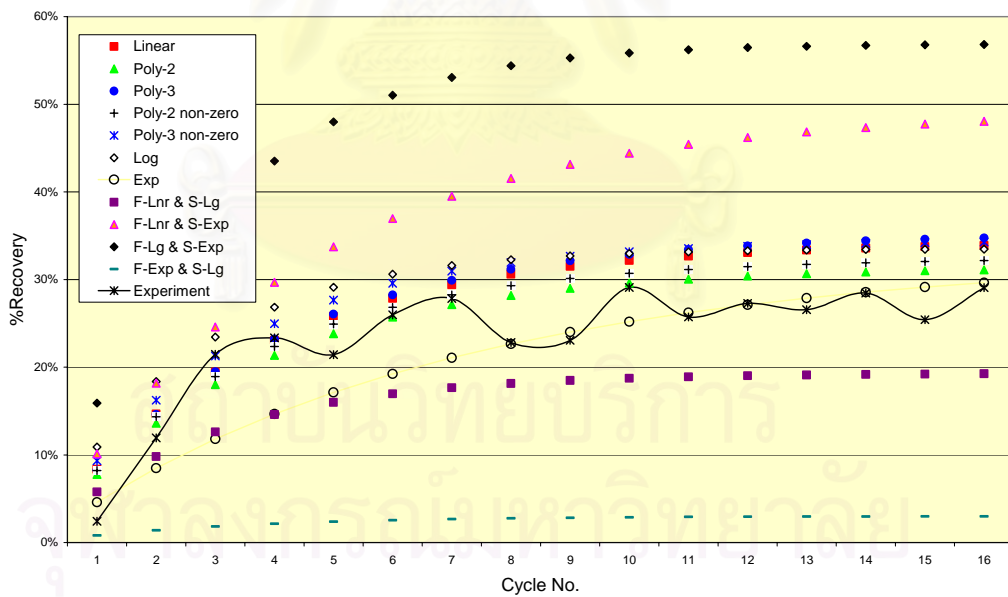
ตารางที่ 24 แสดงถึงร้อยละสุดท้ายของการสกัดและนำกลับที่ได้จากผลการทดลองและจากการทำนาย ในที่นี้จะเห็นได้ว่าปัจจัยจากสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 ที่มีลักษณะใกล้เคียงอย่างมากกับรูปแบบสมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงเพียงแต่มีความเบี่ยงเบนเล็กน้อย (ดังแสดงในรูปที่ 38) ให้ผลการทำนายที่แม่นยำที่สุด ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องจากสาเหตุที่ว่า การทดลองสกัด Pd ได้กระทำที่สารละลายความเข้มข้นเจือจางมาก คือ 50 ppm ซึ่งยังคงอยู่ภายใต้อิทธิพลของกฎเฮนรีที่ว่าด้วยความสัมพันธ์ของสมมูลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง

[Pd] Single Column Extraction



(ก)

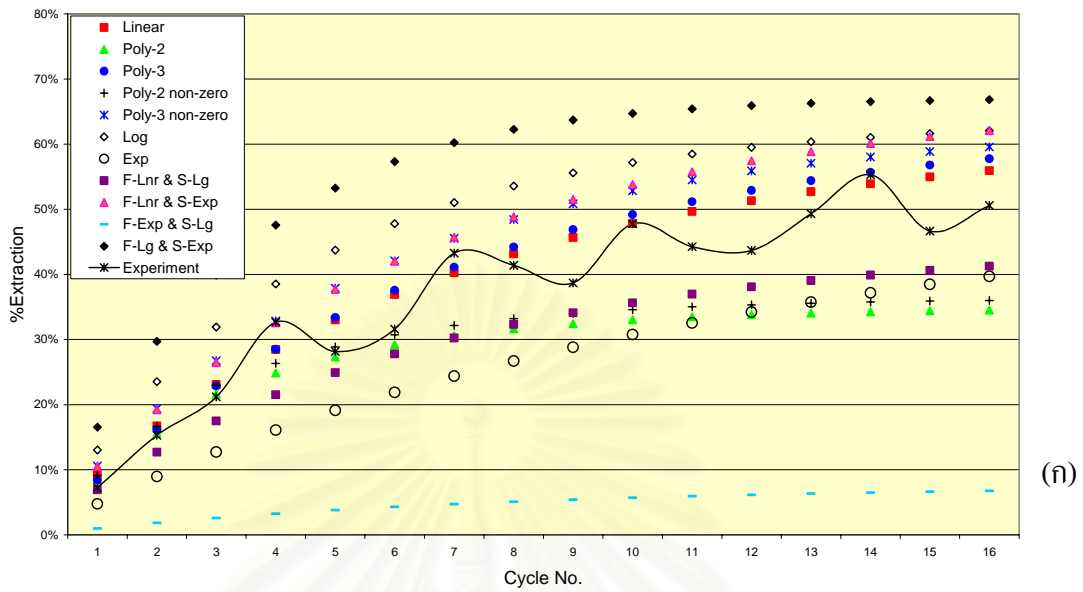
[Pd] Single Column Recovery



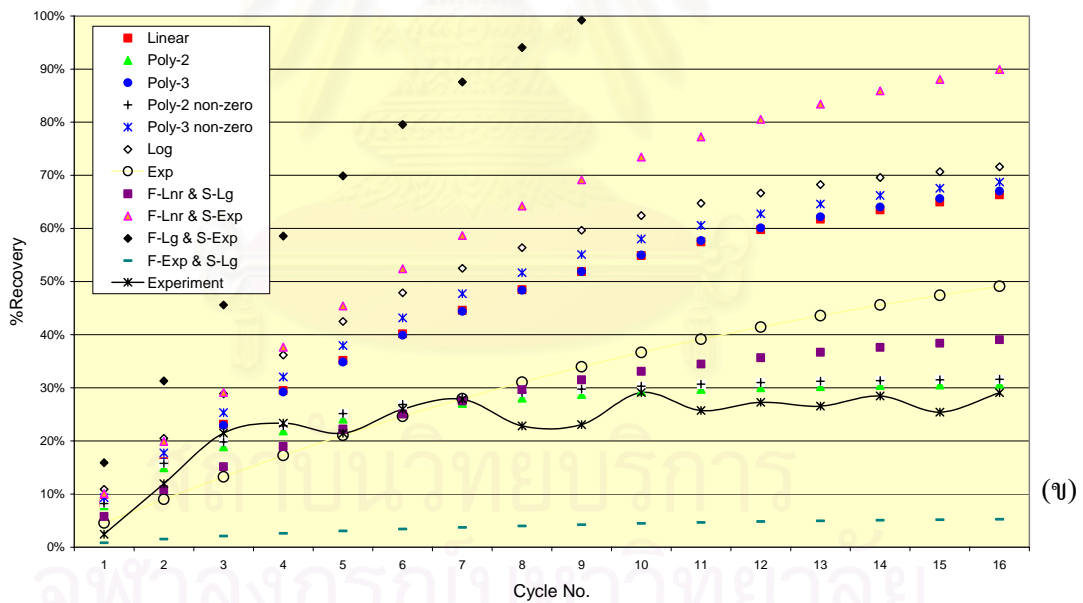
(ข)

รูปที่ 36 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมการละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Pd โดยหอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Pd หอสกัดเดี่ยว

[Pd] Double Column Extraction



[Pd] Double Column Recovery



รูปที่ 37 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Pd หอสกัดคู่ และ (ข) การนำกลับ Pd หอสกัดคู่

ตารางที่ 22 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูล
สารละลาย กรณีการสกัด Pd ระบบหอสกัดเดี่ยว

| Equilibrium | ผลของการสกัด | | | | ผลของการนำกลับ | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|---------|----------------|-------|-------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 3.74% | 0.882 | 2.924 | 3 | 3.87% | 0.838 | 1.587 | 4 |
| Poly-2 | 2.90% | 0.884 | 3.780 | 1 | 2.54% | 0.840 | 2.427 | 1 |
| Poly-3 | 4.37% | 0.878 | 2.489 | 4 | 4.24% | 0.831 | 1.438 | 5 |
| Poly-2 (Non Zero) | 3.01% | 0.887 | 3.657 | 2 | 3.06% | 0.845 | 2.025 | 2 |
| Poly-3 (Non Zero) | 5.53% | 0.899 | 2.016 | 5 | 4.59% | 0.862 | 1.375 | 6 |
| Log | 7.64% | 0.911 | 1.479 | 6 | 4.98% | 0.893 | 1.314 | 7 |
| Exp | 10.37% | 0.779 | 0.932 | 7 | 2.71% | 0.724 | 1.958 | 3 |
| F-Lnr and S-Log | 14.04% | 0.905 | 0.799 | 8 | 5.77% | 0.875 | 1.111 | 8 |
| F-Lnr and S-Exp | 15.14% | 0.854 | 0.700 | 9 | 11.62% | 0.803 | 0.506 | 9 |
| F-Log and S-Exp | 31.55% | 0.908 | 0.357 | 10 | 20.64% | 0.878 | 0.312 | 11 |
| F-Exp and S-Log | 38.13% | 0.894 | 0.291 | 11 | 16.58% | 0.856 | 0.378 | 10 |

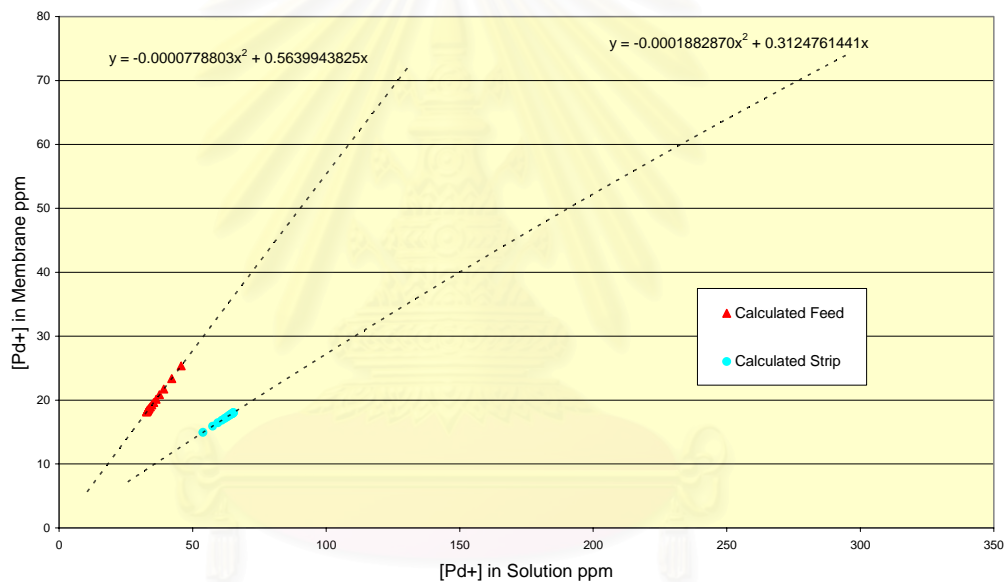
ตารางที่ 23 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูล
สารละลาย กรณีการสกัด Pd ระบบหอสกัดคู่

| Equilibrium | ผลของการสกัด | | | | ผลของการนำกลับ | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|---------|----------------|-------|-------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 6.63% | 0.934 | 2.714 | 1 | 17.63% | 0.694 | 0.678 | 6 |
| Poly-2 | 16.58% | 0.903 | 1.050 | 7 | 2.39% | 0.861 | 6.194 | 1 |
| Poly-3 | 7.77% | 0.934 | 2.316 | 2 | 17.70% | 0.686 | 0.667 | 7 |
| Poly-2 (Non Zero) | 14.75% | 0.897 | 1.173 | 6 | 2.87% | 0.867 | 5.203 | 2 |
| Poly-3 (Non Zero) | 12.05% | 0.937 | 1.499 | 3 | 19.77% | 0.708 | 0.617 | 8 |
| Log | 18.96% | 0.932 | 0.948 | 8 | 22.83% | 0.734 | 0.554 | 9 |
| Exp | 20.11% | 0.909 | 0.871 | 9 | 7.56% | 0.622 | 1.416 | 4 |
| F-Lnr and S-Log | 13.23% | 0.936 | 1.363 | 4 | 4.81% | 0.718 | 2.572 | 3 |
| F-Lnr and S-Exp | 13.64% | 0.936 | 1.322 | 5 | 29.53% | 0.677 | 0.395 | 10 |
| F-Log and S-Exp | 30.67% | 0.901 | 0.566 | 10 | 48.68% | 0.748 | 0.264 | 11 |
| F-Exp and S-Log | 57.61% | 0.931 | 0.311 | 11 | 15.60% | 0.722 | 0.797 | 5 |

ตารางที่ 24 ร้อยละการสกัดและนำกลับที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัด Pd

| Palladium | หอสกัดเดี่ยว | | | หอสกัดคู่ | | |
|-----------------|--------------|--------|------------------------|-----------|--------|------------------------|
| | ทดลอง | ทำนาย | | ทดลอง | ทำนาย | |
| | | Linear | Non-linear (Poly-2) | | Linear | Non-linear (Poly-2) |
| ร้อยละการสกัด | 34.26% | 37.13% | 34.25% | 50.58% | 55.91% | 34.53% |
| ร้อยละการนำกลับ | 29.08% | 33.88% | 31.11% | 29.08% | 66.32% | 30.66% |

[Pd] Graphical Solution by Poly-2



รูปที่ 38 กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 ที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมการสกัดและนำกลับ Pd

เพื่อค้นหาความสัมพันธ์สมมูลสารละลายที่เหมาะสมของแต่ละกรณี ตารางที่ 25 ได้ทำหน้าที่ ณ. จุดนี้ โดยที่ตารางที่ 26 สรุปถึงรูปแบบสมมูลสารละลายที่ให้ผลการทำนายในเกณฑ์สูงของแต่ละกรณี ในที่นี้จะเห็นได้ชัดเจนว่ารูปแบบสมมูลสารละลายแบบ Poly-2 ให้ผลการทำนายอยู่ที่แม่นยำมากที่สุดเกือบทุกกรณี

ตารางที่ 25 ผลลัพธ์การหาสมมูลสารละลายที่ให้ค่าการทำนายร่วมของการสกัดและนำกลับอยู่ใน
เกณฑ์สูงลำดับต้น กรณีกระบวนการสกัด Pd

| Equilibrium | หอสกัดเดี่ยว | | | หอสกัดคู่ | | |
|-------------------|--------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| | PI สกัด | PI นำกลับ | PI ผลรวม | PI สกัด | PI นำกลับ | PI ผลรวม |
| Lnr | 2.924 | 1.587 | 4.512 | 2.714 | 0.678 | 3.391 |
| Poly-2 | 3.780 | 2.427 | 6.207 | 1.050 | 6.194 | 7.244 |
| Poly-3 | 2.489 | 1.438 | 3.927 | 2.316 | 0.667 | 2.982 |
| Poly-2 (Non Zero) | 3.657 | 2.025 | 5.682 | 1.173 | 5.203 | 6.376 |
| Poly-3 (Non Zero) | 2.016 | 1.375 | 3.391 | 1.499 | 0.617 | 2.116 |
| Log | 1.479 | 1.314 | 2.793 | 0.948 | 0.554 | 1.501 |
| Exp | 0.932 | 1.958 | 2.890 | 0.871 | 1.416 | 2.287 |
| F-Lnr and S-Log | 0.799 | 1.111 | 1.911 | 1.363 | 2.572 | 3.935 |
| F-Lnr and S-Exp | 0.700 | 0.506 | 1.206 | 1.322 | 0.395 | 1.717 |
| F-Log and S-Exp | 0.357 | 0.312 | 0.669 | 0.566 | 0.264 | 0.830 |
| F-Exp and S-Log | 0.291 | 0.378 | 0.669 | 0.311 | 0.797 | 1.108 |

ตารางที่ 26 รูปแบบสมมูลสารละลายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี ในกระบวนการสกัด Pd

| กรณี | สมมูลสารละลายที่แนะนำ | หมายเหตุ |
|--------------|-----------------------|----------|
| หอสกัดเดี่ยว | สกัด | Poly-2 |
| | นำกลับ | Poly-2 |
| | ร่วม | Poly-2 |
| หอสกัดคู่ | สกัด | Linear |
| | นำกลับ | Poly-2 |
| | ร่วม | Poly-2 |

ประยุกต์ใช้การทำนายด้วยวิธีสร้างกราฟกับทวิจัยอื่นของการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วย
เส้นใยกลวง

ประยุกต์ใช้การทำนายพฤติกรรมกรรมการสกัดและนำกลับด้วยวิธีการสร้างกราฟกับ
งานวิจัยสกัด โครเมต (Cr, ไพศาล, 2541), ทองแดง (Cu, อิศรา, 2541) และ แพลตินัม (Pt,
ณรรฐพล, 2545) ผลลัพธ์ของการทำนายได้แสดงโดยตารางที่ 27 ถึง 29 และ รูปที่ 39 ถึง 41 ซึ่งจะ

เห็นได้ว่าค่าร้อยละการนำกลับที่พิจารณานั้นมีค่าสูงกว่าระดับล้านเปอร์เซ็นต์ในบางกรณีอันเนื่องมาจากการทดลองสกัดได้ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายที่เข้าใกล้ศูนย์ แต่ทว่าถูกนำมาใช้เพื่อดึงไอออนโลหะออกจากสารละลายป้อนซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่าตัวมันเองหลายเท่า

การวิจัยได้มีการสังเคราะห์เส้นสมมูลของสารละลายเพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมการสกัดโดยการใส่กราฟ เพื่อจุดประสงค์ในการพิจารณาหารูปแบบสมการสมมูลใดๆที่ให้ความแม่นยำในการทำนายมากที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่า การทำนายพฤติกรรมการสกัดและนำกลับจากการสร้างกราฟ ก็ยังให้ผลที่น่าพอใจ โดยที่ผลการทำนายที่ให้ค่าสอดคล้องการทดลองมากที่สุดก็ยังคงมาจากสมมูลสารละลายแบบไม่เชิงเส้น

เป็นที่น่าสนใจอย่างมากในกรณีการสกัด Cu (อิศรา, 2541) ซึ่งมีรูปแบบปฏิบัติการแบบ กิ่งไหลเวียนที่มีรายละเอียดคือ สารละลายป้อนไหลเข้ามาครั้งเดียวแล้วผ่านเข้าไปในถังกักเก็บเลย ไม่มีการนำกลับหมุนเวียนอีก ในขณะที่สารละลายนำกลับถูกใช้และนำกลับหมุนเวียน ซึ่งทำให้ช่วงระยะเวลาของกระบวนการสกัด 50 นาทีนี้ เสมือนหนึ่งทำให้สารละลายป้อนที่ถูกป้อนเข้ามาตลอดเวลาของการทดลองอยู่ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นคือ 97 ppm ในขณะที่สารละลายนำกลับถูกใช้หมุนเวียนจนทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 800 ppm เมื่อสิ้นสุดของการทดลอง (ภาคผนวก ฉ)

พบว่าผลการทำนายการสกัด Cu ที่ได้โดยการสร้างกราฟก็ยังสามารถใช้ได้อยู่ในรูปแบบปฏิบัติการเช่นนี้ เพียงแต่การทำนายที่เกี่ยวข้องกับการสกัดนั้น % Error ยังสูงอยู่ค่อนข้างมากและไม่เป็นที่น่าพอใจ ในขณะที่ผลของ RSQ ก็คงอยู่ในช่วงเกณฑ์พอใช้เท่านั้น คือประมาณ 0.8 ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทำนายที่เกี่ยวข้องกับการนำกลับ เพราะผลที่ได้ค่อนข้างน่าพอใจอย่างมากด้วยผลจากการทำนายอาศัยสมมูลสารละลายสมการ Poly-2 ซึ่งให้ผลการทำนายที่แม่นยำมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูล
สารละลาย กรณีการสกัด Cr ระบบหอสกัดเดี่ยว

| Chromate | Extraction | | | | Recovery | | | |
|-------------------|---|-------|--------|---------|----------|-------|--------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 449.23 | 0.971 | 1.901 | 6 | 36.45 | 0.944 | 3.978 | 2 |
| Poly-2 | ไม่สามารถหาผลการทำนายได้จากรูปแบบสมมูล สมการนี้ | | | | | | | |
| Poly-3 | 61.71 | 1.000 | 14.255 | 1 | 4.85 | 0.989 | 31.302 | 1 |
| Poly-2 (Non Zero) | ไม่สามารถหาผลการทำนายได้จากรูปแบบสมมูล สมการนี้ | | | | | | | |
| Poly-3 (Non Zero) | 5005.33 | 0.038 | 0.007 | 9 | 593.45 | 0.103 | 0.027 | 9 |
| Log | 237.99 | 0.942 | 3.482 | 3 | 89.09 | 0.968 | 1.669 | 4 |
| Exp | 726.01 | 0.982 | 1.190 | 7 | 123.53 | 0.988 | 1.229 | 6 |
| F-Lnr and S-Log | 105.15 | 0.994 | 8.322 | 2 | 180.79 | 0.976 | 0.830 | 7 |
| F-Lnr and S-Exp | 193.62 | 0.996 | 4.526 | 5 | 106.75 | 0.975 | 1.403 | 5 |
| F-Log and S-Exp | 127.43 | 0.918 | 6.336 | 4 | 38.33% | 0.978 | 3.919 | 3 |
| F-Exp and S-Log | 1013.21 | 0.981 | 0.852 | 8 | 209.53 | 0.985 | 0.722 | 8 |

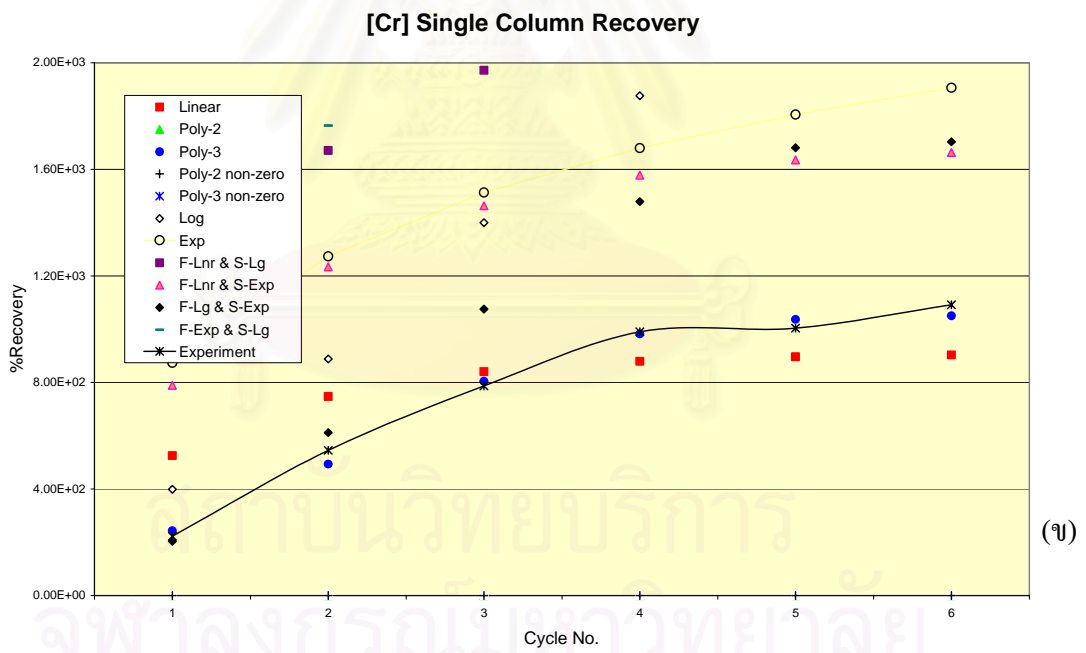
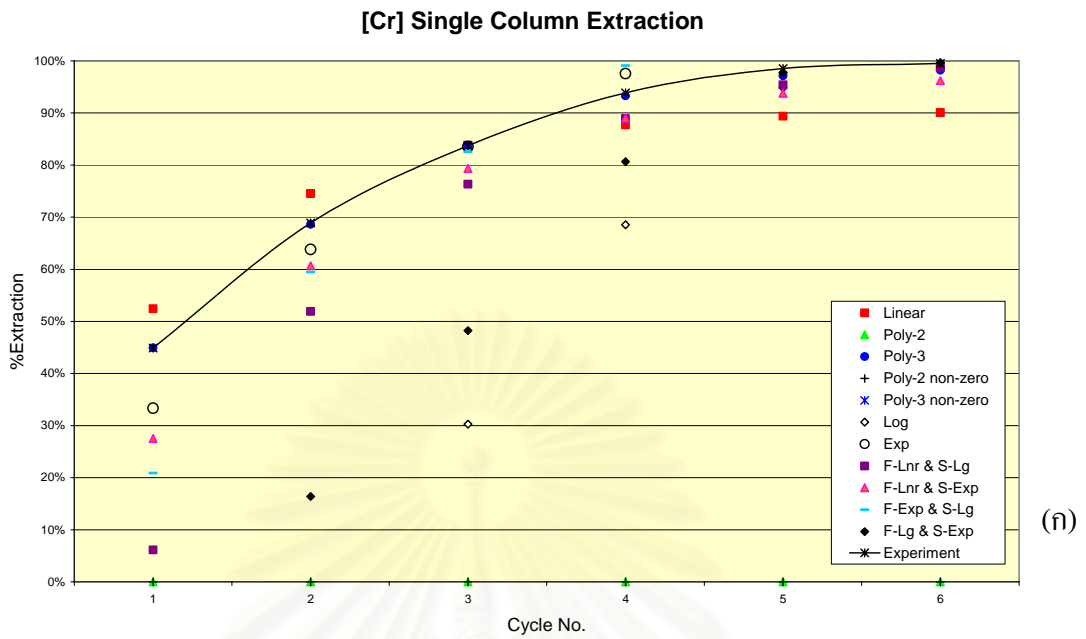
ตารางที่ 28 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูล
สารละลาย กรณีการสกัด Cu ระบบหอสกัดเดี่ยวที่มีปฏิบัติการแบบกึ่งไหลเวียน

| Copper | Extraction | | | | Recovery | | | |
|-------------------|------------|-------|-------|---------|----------|-------|-------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 3092.01 | 0.695 | 1.279 | 4 | 25.80 | 0.998 | 2.400 | 3 |
| Poly-2 | 1498.22 | 0.030 | 0.114 | 11 | 19.01 | 0.985 | 3.213 | 1 |
| Poly-3 | 5889.32 | 0.119 | 0.116 | 10 | 36.55 | 0.982 | 1.666 | 4 |
| Poly-2 (Non Zero) | 25380.09 | 0.782 | 0.175 | 8 | 172.00 | 0.987 | 0.356 | 11 |
| Poly-3 (Non Zero) | 1097.62 | 0.858 | 4.798 | 1 | 38.13 | 0.995 | 1.618 | 5 |
| Log | 412.79 | 0.319 | 4.402 | 2 | 80.34 | 0.995 | 0.768 | 9 |
| Exp | 2166.72 | 0.610 | 1.602 | 3 | 66.55 | 0.899 | 0.838 | 8 |
| F-Lnr and S-Log | 4799.27 | 0.131 | 0.156 | 9 | 45.27 | 0.997 | 1.367 | 6 |
| F-Lnr and S-Exp | 4903.04 | 0.631 | 0.733 | 6 | 23.11 | 0.997 | 2.675 | 2 |
| F-Log and S-Exp | 11662.07 | 0.779 | 0.380 | 7 | 57.66 | 0.977 | 1.051 | 7 |
| F-Exp and S-Log | 1719.01 | 0.234 | 0.776 | 5 | 117.86 | 0.998 | 0.525 | 10 |

ตารางที่ 29 ผลลัพธ์การจัดลำดับความแม่นยำของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูล
สารละลาย กรณีการสกัด Pt ระบบหอสกัดเดี่ยว

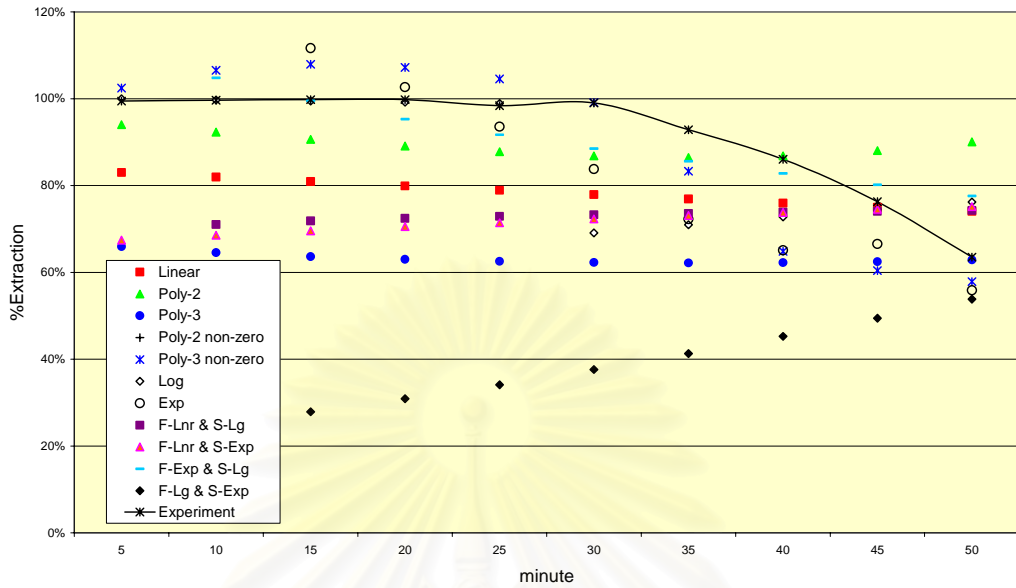
| Platinum | Extraction | | | | Recovery | | | |
|-------------------|------------|-------|-------|---------|----------|-------|--------|---------|
| | % Error | RSQ | PI | Ranking | % Error | RSQ | PI | Ranking |
| Lnr | 5.79 | 0.852 | 3.628 | 2 | 5.63 | 1.000 | 11.043 | 2 |
| Poly-2 | 4.91 | 0.903 | 4.533 | 1 | 4.76 | 0.959 | 12.521 | 1 |
| Poly-3 | 34.41 | 0.634 | 0.455 | 9 | 98.21 | 0.787 | 0.498 | 11 |
| Poly-2 (Non Zero) | 59.11 | 0.689 | 0.287 | 10 | 87.71 | 0.953 | 0.676 | 10 |
| Poly-3 (Non Zero) | 59.11 | 0.689 | 0.287 | 11 | 87.71 | 0.953 | 0.676 | 9 |
| Log | 20.87 | 0.921 | 1.089 | 8 | 64.73 | 0.992 | 0.953 | 5 |
| Exp | 13.50 | 0.921 | 1.683 | 3 | 71.38 | 0.992 | 0.864 | 7 |
| F-Lnr and S-Log | 20.58 | 0.932 | 1.118 | 7 | 65.31 | 0.988 | 0.941 | 6 |
| F-Lnr and S-Exp | 19.32 | 0.932 | 1.190 | 6 | 61.66 | 0.988 | 0.996 | 4 |
| F-Log and S-Exp | 19.51 | 0.920 | 1.164 | 5 | 61.28 | 0.992 | 1.007 | 3 |
| F-Exp and S-Log | 14.26 | 0.921 | 1.593 | 4 | 75.79 | 0.992 | 0.814 | 8 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



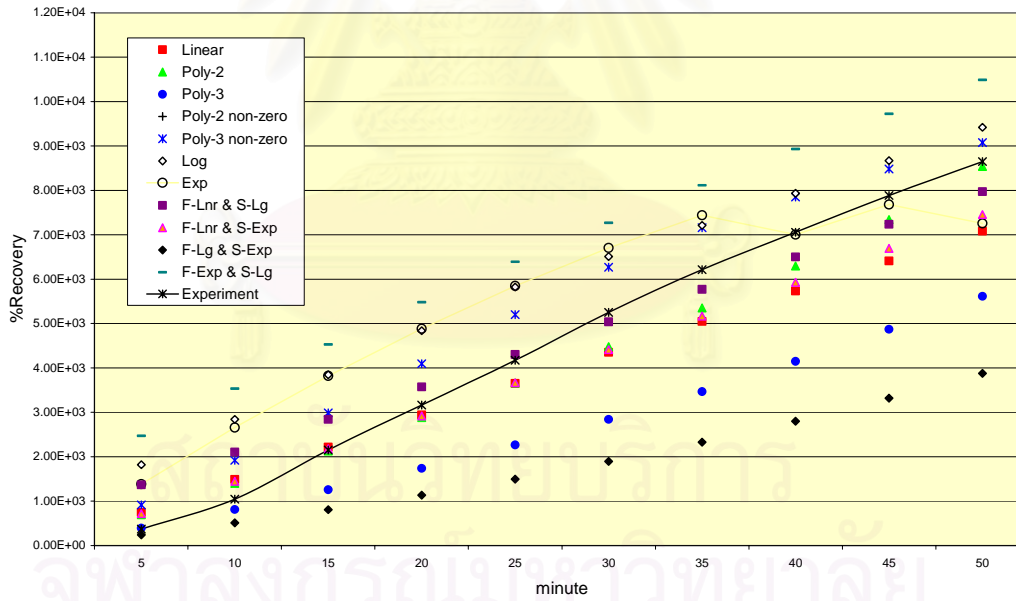
รูปที่ 39 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Cr หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Cr หอสกัดเดี่ยว

[Cu] Single Column Extraction



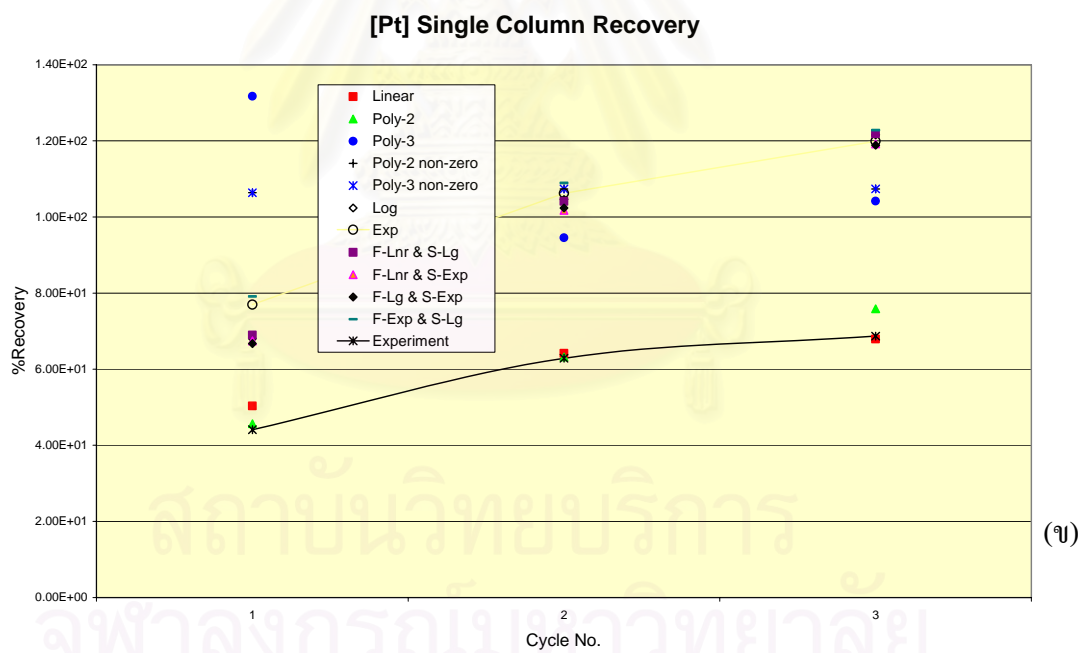
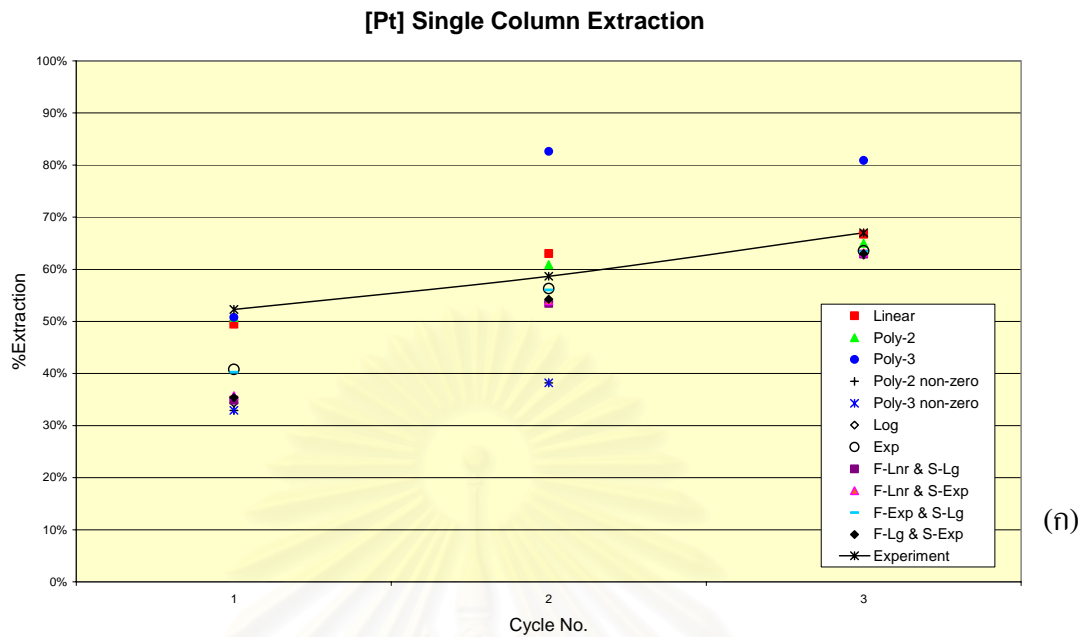
(ก)

[Cu] Single Column Recovery



(ข)

รูปที่ 40 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Cu หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Cu หอสกัดเดี่ยว



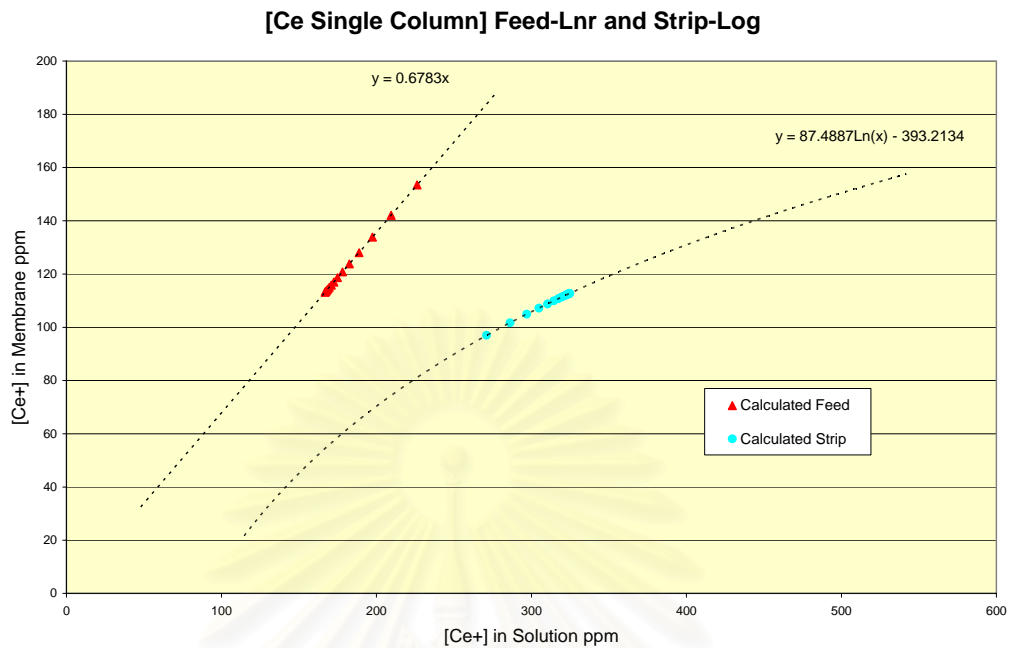
รูปที่ 41 กราฟแสดงผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลายเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี (ก) การสกัด Pt หอสกัดเดี่ยว และ (ข) การนำกลับ Pt หอสกัดเดี่ยว

วิเคราะห์เปรียบเทียบ

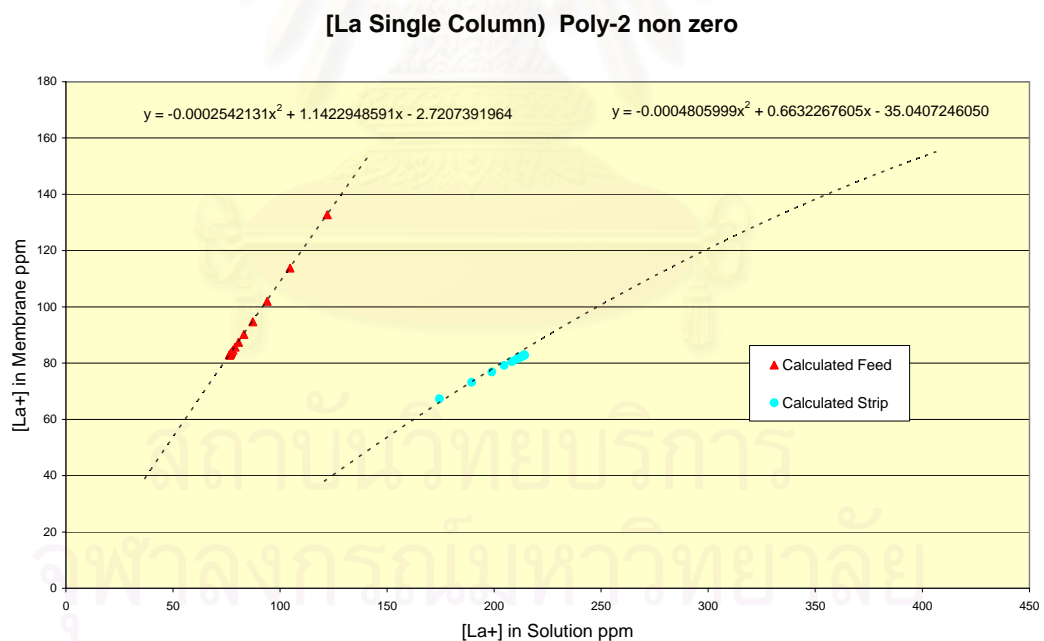
จากผลลัพธ์การทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟของกระบวนการสกัด Ce, Ln และ Nd ระบบหอสกัดเดี่ยว รูปแบบสมดุลสารละลายที่ให้ผลลัพธ์ร่วมของการสกัดและนำกลับ ที่ความเข้มข้นระดับสูงนั้นเป็นลักษณะความสัมพันธ์สมดุลสารละลายไม่เชิงเส้น สมการ F-Lnr and S-Log ทั้งนี้จะเป็นผลสืบเนื่องจาก สารละลายป้อนในการทดลองนั้นจะมีค่าความเข้มข้นของไอออนโลหะลดลงเรื่อยๆตามรอบของการไหลเวียนที่เกิดขึ้น ดังนั้นสมดุลระหว่างสารละลายป้อนและสารละลายสกัดในเยื่อแผ่นเหลวจึงน่าจะยังคงอยู่ภายใต้อิทธิพลของกฎเฮนรีที่ว่าถึงสมดุลสารละลายเชิงเส้นตรงสำหรับสารละลายที่เจือจางมาก ด้วยเหตุนี้สมดุลสารละลายในส่วน ของสารละลายป้อนจึงแสดงออกด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง สำหรับในส่วนของสารละลาย นำกลับนั้น สารละลายนำกลับจะมีความเข้มข้นของไอออนโลหะเพิ่มมากขึ้นตามรอบการไหลเวียน ที่มากขึ้น จึงคาดว่าทำให้เกิดแนวโน้มที่หลุดออกจากระบบสมดุลสารละลายเชิงเส้นตรงเข้าสู่สมดุล ลักษณะไม่เชิงเส้นในรูปแบบของสมการลอการิทึมที่แสดงถึงแนวโน้มการถ่ายเทมวลไอออนโลหะ ระหว่างสารละลายสกัดในเยื่อแผ่นเหลวและสารละลายนำกลับที่ลดลง

รูปที่ 42-44 แสดงถึงรูปแบบสมดุลที่ให้ผลการทำนายร่วมระดับสูงสำหรับ กระบวนการสกัด Ce, Ln และ Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวดังที่กล่าวข้างต้น สำหรับรูปที่ 43 ซึ่งเป็น ของกระบวนการสกัด Ln นั้น แม้ว่ารูปแบบสมดุลที่ให้ผลการทำนายความเข้มข้นระดับสูงจะเป็น Poly-2 Non Zero แต่ทว่าก็คล้ายอย่างมากกับรูปแบบสมดุลของสมการ F-Lnr and S-Log ที่มี สมดุลส่วนสารละลายป้อนแบบเชิงเส้นตรง และสมดุลส่วนสารละลายนำกลับโค้งในลักษณะ เอกซ์โปเนนเชียล

กรณีกระบวนการสกัด Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวซึ่งใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของ สารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเพียงแค่ 50 ppm นั้น พฤติกรรมการสกัดยังคงอยู่ภายใต้ อิทธิพลของกฎเฮนรีชัดเจน ซึ่งสังเกตได้จากผลลัพธ์การทำนายที่ให้ความเข้มข้นสูงสุดนั้นมาจากการสร้างกราฟของสมดุลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง และสมดุลสารละลายแบบไม่เชิงเส้น Poly-2 (แสดงโดยรูปที่ 38) ที่มีลักษณะใกล้เคียงอย่างมากกับสมดุลสารละลายเชิงเส้นตรงเพียงแต่เบี่ยงเบน เล็กน้อยเท่านั้น แสดงลักษณะเดียวกันในกรณีการสกัด Pt ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นของการสกัดอยู่ในระดับ 20 ppm ผลลัพธ์ที่ให้ความเข้มข้นสูงมาจากการทำนายโดยการสร้างกราฟสมดุล สารละลายสมการ Poly-2 ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง

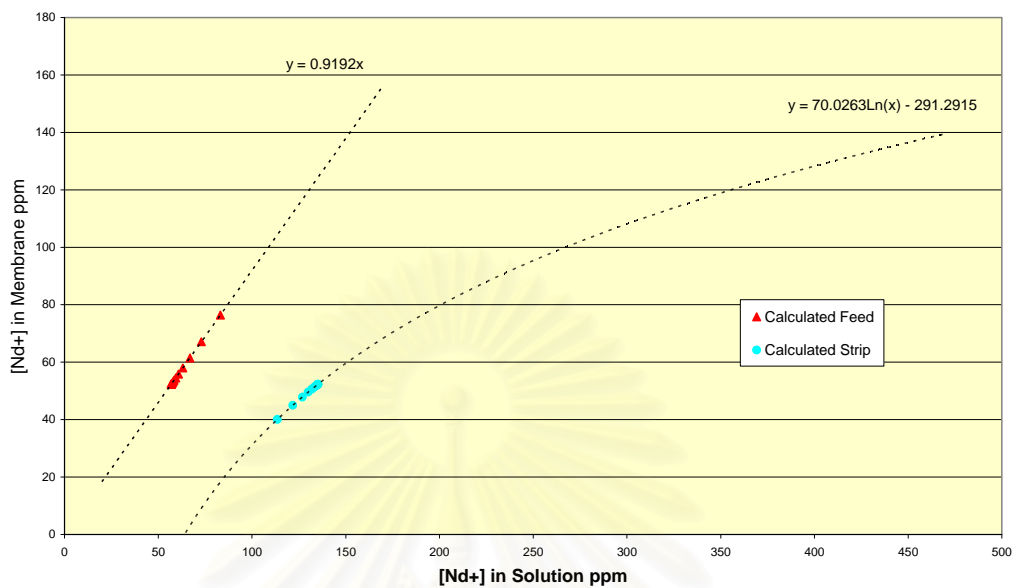


รูปที่ 42 กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย F-Lnr and S-Log และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดียว



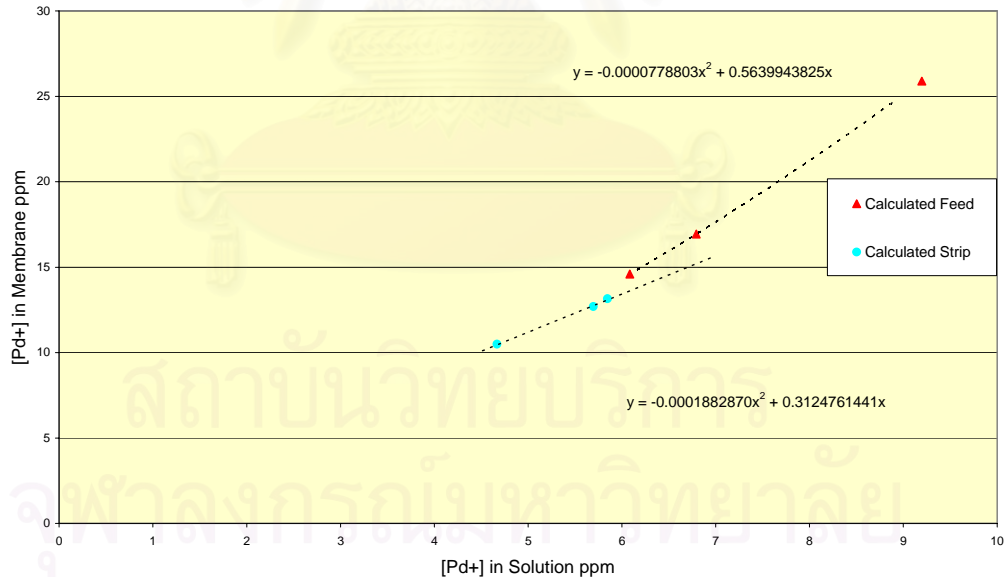
รูปที่ 43 กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 Non Zero และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดียว

[Nd Single Column] Feed-Lnr and Strip-Log



รูปที่ 44 กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย F-Lnr and S-Log และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Nd ระบบหอสกัดเดี่ยว

[Pt Single Column] Poly-2

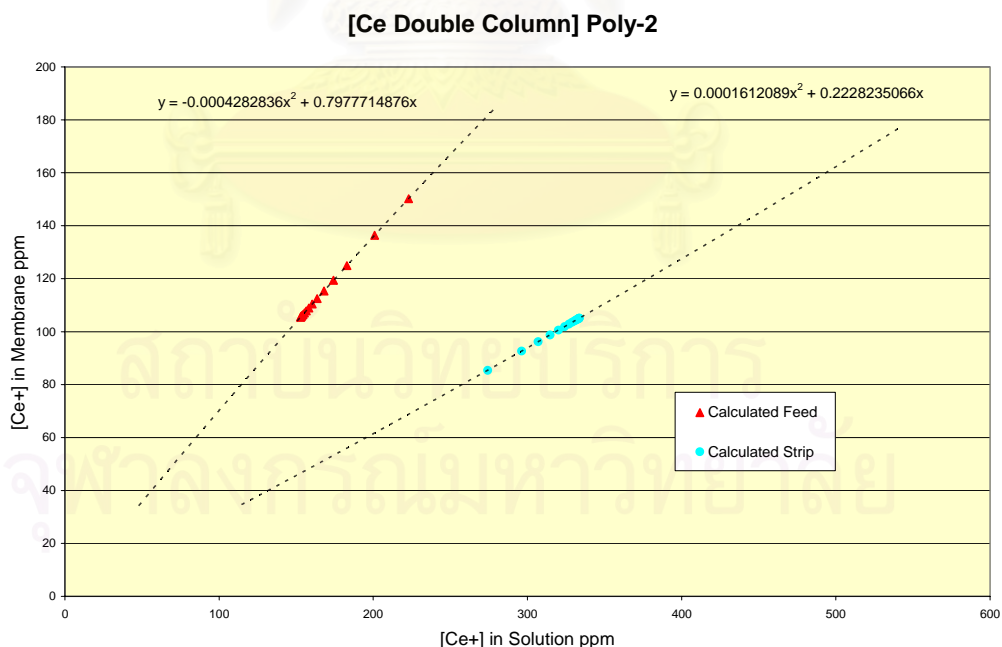


รูปที่ 45 กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Pt ระบบหอสกัดเดี่ยว

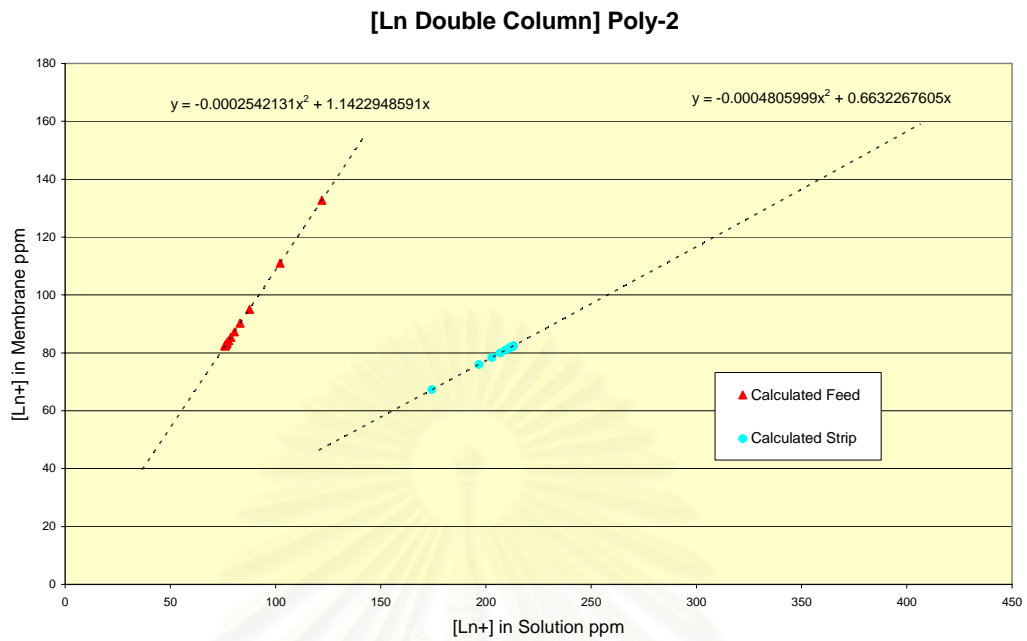
สำหรับสกัดระบบหอสกัดคู่ นั้นจะเห็นว่า ทุกกรณีของการสกัดของไอออนโลหะ Ce, Ln, Nd และ Pd มีสมมูลสารละลายแบบไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 เป็นตัวแทนที่ใช้เพื่อการ

ทำนายแล้วให้ผลการทำนายทั้งของการสกัดและนำกลับอยู่ในเกณฑ์สูงทั้งคู่ หรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่า ระบบหอสกัดคู่สำหรับกระบวนการสกัดไอออนโลหะเหล่านี้สามารถใช้สมมูลสารละลายรูปแบบ Poly-2 เพื่อการทำนายโดยใช้กราฟแล้วให้ความแม่นยำในการทำนายที่สูง

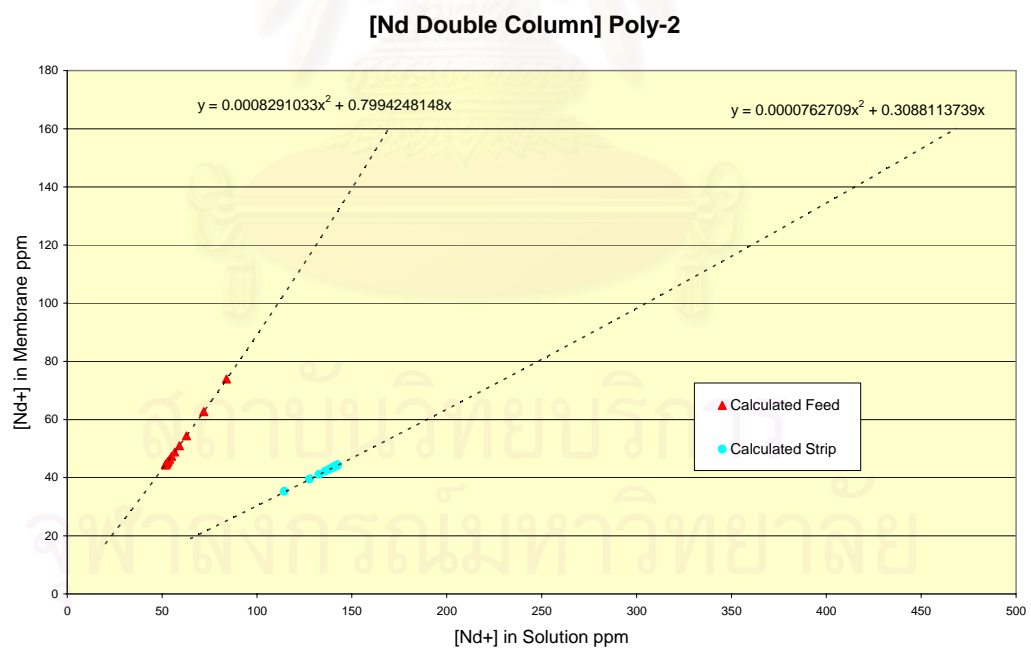
พิจารณารูปที่ 46-49 ซึ่งเป็นกราฟแสดงสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 ซึ่งใช้สำหรับหาผลลัพธ์การทำนายโดยใช้กราฟของกรณีหอสกัดคู่ จะเห็นได้ว่ามีลักษณะที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับรูปแบบสมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงเพียงแต่แฝงความเบี่ยงเบนเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องจากลักษณะระบบการปฏิบัติการหอสกัดคู่ เป็นระบบที่มีการต่ออนุกรมกันของหน่วยหอสกัด 2 หอ จึงทำให้เกิดสภาพเสมือนของหอสกัดเดี่ยวที่มีความจุของการสกัดเพิ่มมากขึ้น เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของไอออนโลหะที่พิจารณาเท่าเดิม ในขณะที่ปริมาณสารละลายสกัดที่อยู่ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวซึ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากหอสกัด 2 หอที่ต่ออนุกรมกันแล้ว จึงทำให้ความเข้มข้นของไอออนโลหะที่พิจารณานั้นเสมือนอยู่ในสภาวะเจือจางและสามารถแสดงอยู่ภายใต้ขอบเขตที่ความสัมพันธ์สมมูลสารละลายมีลักษณะของระบบเชิงเส้นตรงหรือใกล้เคียง ในที่นี้รูปแบบสมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงให้ผลการทำนายที่อยู่ในเกณฑ์ดีแต่ทว่ารูปแบบไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 ซึ่งคล้ายเชิงเส้นตรงแต่แฝงความเบี่ยงเบนเล็กน้อยให้ผลที่ดีกว่า



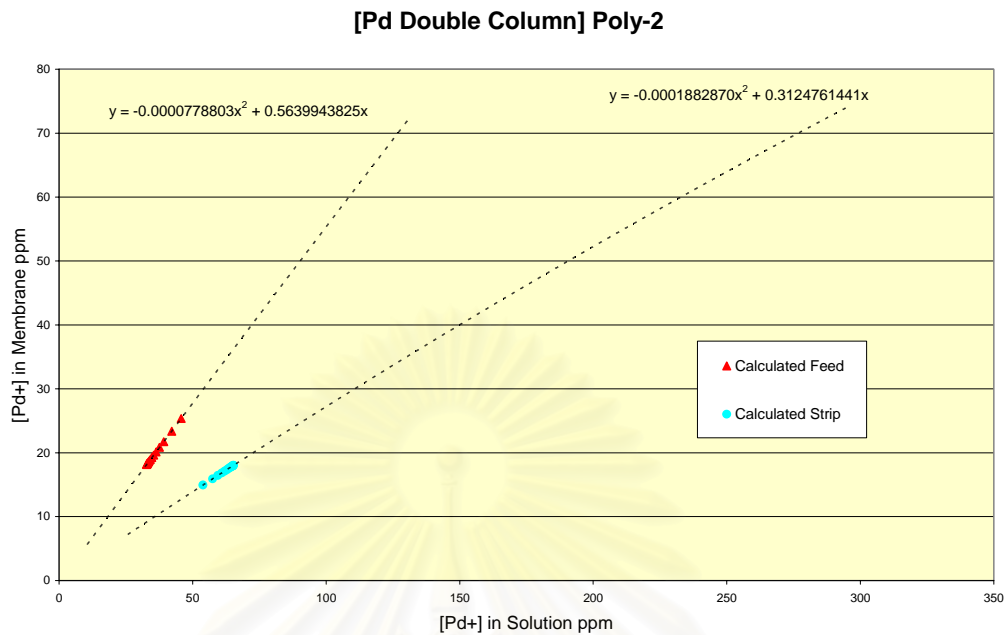
รูปที่ 46 กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่



รูปที่ 47 กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่



รูปที่ 48 กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Nd ระบบหอสกัดคู่



รูปที่ 49 กราฟแสดงถึงรูปแบบสมมูลสารละลาย Poly-2 และพล็อตของผลลัพธ์ที่ได้ในการทำนายของกระบวนการสกัด Pd ระบบหอสกัดคู่

จากที่กล่าวมาข้างต้นโดยอ้างอิงจากข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่า สำหรับกระบวนการหอสกัดเดี่ยวที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะอยู่ระหว่าง 250-50 ppm (Ce, Ln และ Nd) รูปแบบสมมูลสารละลายซึ่งให้ผลการทำนายโดยใช้กราฟที่ให้ความแม่นยำระดับสูงนั้น คือ รูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ F-Lnr and S-Log แต่ถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นน้อยกว่า 50 ppm (Pd และ Pt) จะแสดงด้วยรูปแบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2

สำหรับส่วนของกระบวนการระบบหอสกัดคู่ นั้น รูปแบบสมมูลสมการ Poly-2 จะเป็นตัวแทนที่ให้ผลการทำนายร่วมของสกัดและนำกลับที่ความแม่นยำระดับสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทนี้เป็นบทสรุปของผลการศึกษาวิจัยข้างต้นที่ได้ทำการศึกษาการทำนายพฤติกรรมการสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยใช้วิธีการสร้างกราฟ บทวิจัยได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายเปรียบเทียบกับผลการทดลองว่ามีสอดคล้องและความแม่นยำเพียงใด และเป็นอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟที่สร้างจากความสัมพันธ์สมมูลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง (วีรวัดน์, 2546) เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบนั้น (บทที่ 3) ใช้ความหมายของร้อยละความแตกต่าง (% Error) ระหว่างข้อมูลการทำนายและข้อมูลการทดลอง ควบคู่กับทิศทางการเทียบเคียงระหว่างข้อมูลการทำนายและข้อมูลการทดลองโดยสัมประสิทธิ์อาร์กำลังสอง (RSQ) เพื่อสร้างดัชนีประสิทธิผล (PI) ที่ใช้ในการคัดเลือกลำดับ (Ranking) ความแม่นยำที่สูงที่สุดจนถึงค่าที่สุดของผลการทำนายที่ได้จากแต่ละรูปแบบสมมูลสารละลาย โดยประสิทธิภาพของเกณฑ์เปรียบเทียบที่ใช้ได้นั้นได้ถูกนำมาทดสอบและพบว่า สามารถใช้งานได้ดีอย่างน่าพอใจ (บทที่ 4)

ผลการวิจัยที่ได้ดำเนินมาทั้งหมด ได้นำมาสรุปเป็นหัวข้อหลักดังต่อไปนี้

สรุปผลการวิจัย

1. การทำนายพฤติกรรมการสกัดด้วยวิธีการสร้างกราฟจากเส้นสมมูลสารละลายที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นนั้นสามารถกระทำได้ และผลลัพธ์การทำนายที่ได้สำหรับทุกกรณีการสกัดไอออน โลหะนั้นก็อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับผลลัพธ์การทำนายที่ได้มาจากรูปแบบสมมูลเส้นละลายแบบเชิงเส้นตรง
2. ความแม่นยำของการทำนายโดยวิธีการสร้างกราฟจากเส้นสมมูลสารละลายแบบไม่เชิงเส้นนั้นให้ความแม่นยำที่เหนือกว่าผลลัพธ์การทำนายที่ได้จากสมมูลสารละลายแบบเชิงเส้นตรง และเป็นที่น่าสังเกตในส่วนที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการสกัดว่า ผลลัพธ์ที่มาจากระบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นให้ผลที่เหนือกว่าเล็กน้อย แต่ทว่าถ้าเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการนำกลับนั้น ผลลัพธ์จากระบบสมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น โดยเฉพาะจากรูปแบบสมการ โพลีโนเมียลกำลังสอง (Poly-2) ให้ผลลัพธ์ที่เหนือกว่าผลลัพธ์จากการสร้างที่ใช้สมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงอย่างชัดเจน

3. ตารางที่ 11, 16, 21 และ 26 สรุปถึงรูปแบบสมมูลที่เหมาะสมในการให้ผลทำนายที่แม่นยำสำหรับแต่ละกรณีของการสกัดไอออนโลหะ ซีเรียม, แลนทานัม, นีโอติเมียม และ แพลเลเดียม ตามลำดับ
4. จะเห็นได้ว่า ในกรณีของกระบวนการสกัดไอออนโลหะ ซีเรียม, แลนทานัม และ นีโอติเมียม ระบบหอสกัดเดี่ยวซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นระหว่าง 250-50 ppm นั้น สมดุลสารละลาย ที่ให้ค่าทำนายร่วมของการสกัดและนำกลับที่มีความแม่นยำสูงลำดับต้นๆ ทั้งคู่ เป็นลักษณะ เชิงเส้นตรงระหว่างสมดุลสารละลายป้อนและสารละลายสกัดในเชื้อแผ่นเหลว และ เป็นแบบไม่เชิงเส้นสมการลอการิทึมระหว่างสารละลายนำกลับและสารละลายสกัดในเชื้อแผ่นเหลว ซึ่งทั้งนี้ น่าจะสืบเนื่องจาก สารละลายป้อนในการทดลองนั้นจะมีค่าความเข้มข้นของไอออนโลหะลดลงเรื่อยๆตามรอบของการไหลเวียนที่เกิดขึ้น ดังนั้น สมดุลระหว่างละลายป้อนและสารละลายสกัดในเชื้อแผ่นเหลวจึงน่าจะยังคงอยู่ภายใต้อิทธิพลของกฎเฮนรีที่ว่าถึงสมดุลสารละลายเชิงเส้นตรงสำหรับสารละลายที่เจือจางมาก ด้วยเหตุนี้สมดุลสารละลายในส่วนของสารละลายป้อนจึงแสดงออกด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง สำหรับในส่วนของสารละลายนำกลับนั้น สารละลายนำกลับจะมีความเข้มข้นของไอออนโลหะเพิ่มมากขึ้นตามรอบการไหลเวียนที่มากขึ้น จึงคาดว่าทำให้เกิดแนวโน้มที่หลุดออกจากระบบสมดุลสารละลายเชิงเส้นตรงเข้าสู่สมดุลลักษณะไม่เชิงเส้นในรูปแบบของสมการลอการิทึมที่แสดงถึงแนวโน้มการถ่ายเทมวลไอออนโลหะระหว่างสารละลายสกัดในเชื้อแผ่นเหลวและสารละลายนำกลับที่ลดลง
5. สังเกตว่าในกรณีกระบวนการสกัดไอออนโลหะ แพลเลเดียม และแพลตินัม ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่ำกว่า 50 ppm นั้น พฤติกรรมการสกัดยังคงอยู่ภายใต้อิทธิพลของกฎเฮนรี ซึ่งสังเกตได้จากผลลัพธ์การทำนายที่ให้ความแม่นยำสูงที่สุดมาจากการสร้างกราฟของสมดุลสารละลายแบบเชิงเส้นตรงและสมดุลสารละลายแบบไม่เชิงเส้นสมการโพลีโนเมียลกำลังสองซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงอย่างมากกับสมดุลสารละลายเชิงเส้นตรง เพียงแต่เบี่ยงเบนเล็กน้อย
6. ในกรณีการสกัดระบบหอสกัดคู่ นั้น จะเห็นว่า ทุกกรณีการสกัดไอออนโลหะของ ซีเรียม, แลนทานัม, นีโอติเมียม และ แพลเลเดียม มีสมดุลสารละลายแบบไม่เชิงเส้นสมการโพลีโนเมียลกำลังสองเป็นตัวแทนที่ใช้เพื่อการทำนายแล้วให้ผลการทำนายสกัดและนำกลับ อยู่ในเกณฑ์สูงทั้งคู่ หรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่า สำหรับระบบหอสกัดคู่เพื่อใช้ในกระบวนการสกัดไอออนโลหะเหล่านี้ สามารถเลือกใช้สมดุลสารละลายรูปแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง

เพื่อการทำนายได้ ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องจากลักษณะระบบการปฏิบัติการหอสกัดคู่ เป็นระบบที่มีการต่ออนุกรมกันของหน่วยหอสกัด 2 หอ จึงทำให้เกิดสภาพเสมือนของหอสกัดเดี่ยวที่มีความจุของการสกัดเพิ่มมากขึ้น เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของไอออน โลหะที่พิจารณาเท่าเดิม ในขณะที่ปริมาณสารละลายสกัดที่อยู่ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวซึ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากหอสกัด 2 หอที่ต่ออนุกรมกันแล้ว จึงทำให้ความเข้มข้นของไอออน โลหะที่พิจารณานั้นเสมือนอยู่ในสภาวะเจือจางและสามารถแสดงอยู่ภายใต้ขอบเขตที่ความสัมพันธ์สมมูลสารละลายมีลักษณะของระบบเชิงเส้นตรงหรือใกล้เคียง ในที่นี้รูปแบบสมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงให้ผลการทำนายที่อยู่ในเกณฑ์ดีแต่ทว่ารูปแบบไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 ซึ่งคล้ายเชิงเส้นตรงแต่แฝงความเบี่ยงเบนเล็กน้อยให้ผลที่ดีกว่า

7. ในการประยุกต์ใช้กับบทวิจัยอื่นของการสกัดไอออนโลหะ โครเมต, ทองแดง และแพลตินัมนั้น การทำนายด้วยวิธีการสร้างกราฟก็ยังสามารถให้ผลที่ดี และผลการทำนายโดยใช้สมการสมมูลที่สังเคราะห์ขึ้นพบว่า ผลที่ให้ความแม่นยำมากที่สุดมาจากสมมูลสารละลายแบบไม่เชิงเส้น
8. สำหรับพฤติกรรมการสกัดของทองแดงซึ่งมีลักษณะการปฏิบัติการแบบกึ่งไหลเวียนนั้น การทำนายหาผลลัพท์โดยวิธีการสร้างกราฟยังสามารถใช้ได้อยู่ แม้ว่าผลลัพท์ที่ได้จากการทำนายของพฤติกรรมเกี่ยวเนื่องกับการสกัดนั้น อยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ทว่า ผลลัพท์จากการทำนายของการนำกลับ ให้ผลของความแม่นยำที่ดีมาก

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยควรจะดำเนินต่อเนื่องด้วยการทำนายกระบวนการสกัดจากการสร้างกราฟเปรียบเทียบกับกรทดลองสกัดไอออนโลหะที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมากกว่า 250 ppm หรือ ความเข้มข้นอื่นที่สูงมากพอจนพิจารณาได้ว่าสมมูลของสารละลายหลุดพ้นจากกฎของเฮนรีที่ว่าด้วยความสัมพันธ์สมมูลสารละลายเชิงเส้นตรงสำหรับสารละลายเจือจางมาก

นอกจากนั้น งานวิจัยยังควรที่จะวิเคราะห์การทำนายสำหรับกรณีที่หอสกัดต่อเป็นอนุกรมมากกว่า 2 หน่วยขึ้นไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

นายวีรวัฒน์ ปัตทวิคองคา. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดแยกไอออนซีเรียมจากสารละลายผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุยฎิบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

นิติต สุไลมาน . การสกัดนีโอดีเมียมโดยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ประกร รามกุล . การแยกไอออนผสมของแลนทานัมและนีโอดีเมียมโดยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ไพศาล อภินพพัฒน์ . การสกัดแยกและนำกลับโครเมตด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงในห่อเดี่ยว . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

รัตนา จิระรัตนานนท์ . กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ไทยเส็ง, 2543.

วิทยา นามสว่าง . การสกัดแยกไอออนแลนทานัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

วีรวัฒน์ ปัตทวิคองคา . อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตตต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

อิสรา เกษมเศรษฐ . การสกัดไอออนทองแดงจากสารละลายเจือจางมากด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาษาอังกฤษ

Allison B. Encyclopedia of Science and Technology. McGraw-Hill Inc., 3, pp. 521-526
1997.

Chaudry M. A., Amin S. and Malik M. T. Tri-n-octylamine-Xylene-Based Supported

- Liquid Membranes and Transport of Ce(IV) Ions. *Sep. Sci. & Technol.* 31(9) (1996): 745-789
- Chen H. T., Pancharoen U., Yang W. T., Kerobo C. O. and Parisi R. J., "Separation of Proteins via pH Parametric Pumping" *Sep. Sci. & Technol.*, 15(6), pp. 1377-1391 (1980).
- Chen H. T., Yang W. T., Pancharoen U., and Parisi R. J. Separation of Proteins via Multicolumn pH Parametric Pumping. *AIChE Journal*. 26(5) (1980) : 839-849
- El-Said N., Abdel Rahman N. and Emad H. Borai., "Modification in Purex Process Using Supported Liquid Membrane Separation of Cerium(III) via Oxidation to Cerium(IV) From Fission Products From Nitrate Medium By SLM", *J. of Membr. Sci.*, 198, pp. 2 (2002)
- Huang T. C. and Juang R. S., "Extraction Equilibrium of Zinc from Sulfate media with Bis(2-ethylhexyl) Phosphoric Acid" *Ind. Eng. Chem. Fundm.*, 25, pp. 752-757 (1986).
- Jeong S.K. and Ju C. S., "Extraction of Strontium Ion from Sea Water by Contained Liquid Membrane Permeator", *Korean J. of Chem. Eng.*, 19(1), pp. 93-98 (2002).
- Kiani A., P.R. Bhave, K.K. Sirkar, "Solvent extraction with the immobilized interfaces in a microporous hydrophobic membrane", *J. Membr. Sci.* 20 125-145-1984
- Lange N. A. and Forker G. M., "Handbook of Chemistry", McGraw – Hill, 10th edition (1967).
- Mark C. and Porter, "Handbook of Industrial Membrane Technology", 2nd edition, pp. 547-552 (1990).
- Marr R. and Kopp A., "Liquid Membrane Technology a Survey of Phenomena, Mechanism and Models", *Inter. Chem. Eng.*, 22 (1), pp. 44-59 (1982).
- Namsawang W., "Extraction of Lanthanum Ions Through A Hollow Fiber Supported

Liquid membrane”, *Master thesis*, Dep. of Chem. Eng., Graduate School, Chulalongkorn University, (1999).

Patthaveekongka Weerawat, Ramakul Prakorn, Assabumrungrat Suttichai, and Pancharoen Ura*, “Transport of Cerium, Lanthanum, Neodymium and Palladium via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane Based on Equilibrium Theory”, *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers.*, 37(3), (2006).

Patthaveekongka W., Vijitchalermpong N. and Pancharoen U., “Selective Recovery of Palladium from Used Aqua Regia by Hollow Fiber Supported With Liquid Membrane”, *Korean J. of Chem. Eng.*, 20(6), (2003).

Ramakul P. and Pancharoen U., “Synergistic Extraction and Separation of Mixture of Lanthanum and Neodymium by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane”, *Korean J. of Chem. Eng.*, 20(4), 724-730 (2003).

Ramakul, P., “Separation of Mixture of Neodymium and Neodymium by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane”, *Master Thesis*, Chulalongkorn University at Bangkok Thailand (2002)

Ramakul, P., K. Nakararueng and U. Pancharoen, “One-through Selective Separation of Copper, Chromium and Zinc ions by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane”, *Korean J. Chem. Eng.*, 21(6) (2004) 1212-1217

Schulz, G., “Separation Techniques with Supported Liquid Membrane”, *Desalination*, 68 191 (1988).

Shiau C. Y. and Chen P. Z., “Theoretical Analysis of Copper-Ion Extraction Through Hollow Fiber Supported Liquid membranes” *Sep. Sci. & Technol.*, 28(13&14), pp. 2149-2165 (1993).

Smith J. C., Harriott P., Warren L. and McCabe W. L., “Unit Operations of Chemical Engineering”, McGraw- Hill; 6th edition (2000).

Sulaiman N., "Extraction of Neodymium via A Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", *Master thesis*, Dep. of Chem. Eng., Graduate School, Chulalongkorn University, (2000).

Vijitchalermpong N., "Recovery of palladium from used aqua regia by hollow fiber supported liquid membrane", *Master thesis*, Dep. of Chem. Eng., Graduate School, Chulalongkorn University, (2003).

Yi J., "Effects of The Boundary Layer and Interfacial Reaction on The Time Lag in Supported Liquid Membranes", *Korean J. of Chem. Eng.*, 12(3), pp.391-395 (1995)

Yi M. H., Nam S.J. and Chung S.T., "Separation of L-Valine by Anionic Carrier-Mediated Transport in a Supported Liquid Membrane", *Korean J. of Chem. Eng.*, 14(4), pp.263-269 (1997).



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละความแตกต่าง (% Error)

สมการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\% \text{Error}_i = \left[\frac{\text{ความเข้มข้นที่ทำนายได้ที่รอบการไหลเวียนที่ } i - \text{ความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองที่รอบการไหลเวียนที่ } i}{\text{ความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองที่รอบการไหลเวียนที่ } i} \right] \times 100$$

(จากสมการที่ 3.1)

$$\text{Avg \% Error} = \frac{\text{ผลรวมทั้งหมดของ \% Error}_i}{\text{จำนวนรอบการไหลเวียนทั้งหมด}} \quad (\text{จากสมการที่ 3.2})$$

ตาราง ก-1 แสดงถึงชุดข้อมูลที่จะใช้ในการสาธิตการคำนวณ % Error

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายการสกัดไอออน โลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลว

| รอบการสกัด ไหลเวียน | ความเข้มข้นสารละลายป้อน จากการทำนาย (x) | ความเข้มข้นสารละลายป้อน จากการทดลอง (y) |
|------------------------|--|--|
| 1 | 228.51 | 232.21 |
| 2 | 211.80 | 211.65 |
| 3 | 198.83 | 205.34 |
| 4 | 188.80 | 180.92 |
| 5 | 181.06 | 185.67 |
| 6 | 175.10 | 187.11 |

ที่รอบการไหลเวียนที่ 1

$$\% \text{ Error} = [(228.51 - 232.21) / 232.21] \times 100$$

$$= [-0.0159] \times 100$$

$$= 1.59\%$$

คำนวณในลักษณะเดียวกันของ ชุดข้อมูลที่ี้ได้จากการไหลเวียนรอบที่ 1 ถึง 6 จะได้ค่า % Error ของแต่ละรอบการไหลเวียนเท่ากับ 0.07%, 3.17%, 4.35%, 2.49% และ 6.42% ตามลำดับ

จากผล % Error ที่ได้ทั้งหมดของแต่ละรอบการไหลเวียน นำมาหาค่า Avg % Error ดังนี้

$$\text{Avg \% Error} = (1.59 + 0.07 + 3.17 + 4.35 + 2.49 + 6.42) / 6$$

$$= 3.02\%$$

ดังนั้นชุดของข้อมูลการสัปดาห์ที่นำมาแสดงเป็นตัวอย่างนี้จะมีร้อยละความแตกต่างเท่ากับ 3.02% ของผลที่ได้จากการทำนายเปรียบเทียบกับผลจากการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาสัมประสิทธิ์อาร์กำลังสอง (RSQ)

สมการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\text{ร้อยละการสกัด} = \left(\frac{\text{ความเข้มข้นที่พิจารณา} - \text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}} \right) \times 100 \quad (\text{จากสมการที่ 3.3})$$

$$RSQ = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (\text{จากสมการที่ 3.4})$$

โดยที่ n = จำนวนรอบของการไหลเวียนที่พิจารณาทั้งหมด

x = ร้อยละการสกัดที่ทำนายได้ของสารละลายที่รอบการไหลเวียนที่ i

y = ร้อยละการสกัดที่ทดลองได้จากสารละลายที่รอบการไหลเวียนที่ i

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสาธิตนี้เป็นค่าของความเข้มข้น ไอออน โลหะที่ได้จากการสกัดของแต่ละรอบการไหลเวียนซึ่งมาจากผลการทดลองและผลจากที่ทำนายได้

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลจากการทดลองและการคำนวณ ของการสกัดไอออนโลหะผ่านเยื่อแผ่นเหลว

| รอบการสกัด ไหลเวียน | ความเข้มข้นสารละลายป้อน จากการคำนวณ (x) | ความเข้มข้นสารละลายป้อน จากการทดลอง (y) |
|------------------------|--|--|
| 1 | 228.51 | 232.21 |
| 2 | 211.80 | 211.65 |
| 3 | 198.83 | 205.34 |
| 4 | 188.80 | 180.92 |
| 5 | 181.06 | 185.67 |
| 6 | 175.10 | 187.11 |

ความเข้มข้นเริ่มต้นของการสกัด มีค่าเท่ากับ 250 ppm

ที่รอบการไหลเวียนที่ 1

ผลจากการคำนวณ ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 228.51 ppm

$$\begin{aligned} \% \text{ Extraction (ของผลทำนายน)} &= [(228.51-250)/250] \times 100 \\ &= [-0.0851] \times 100 \\ &= 8.51\% \end{aligned}$$

ผลจากการทดลองได้ความเข้มข้นเท่ากับ 232.21 ppm

$$\begin{aligned} \% \text{ Extraction (ของผลคำนวณ)} &= [(232.21-250)/250] \times 100 \\ &= [-0.0712] \times 100 \\ &= 7.12\% \end{aligned}$$

คำนวณในลักษณะเดียวกันของทุกรอบการไหลเวียนโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 250 ppm จะได้ผลลัพธ์ที่แสดงโดยตาราง ข-2 เมื่อนำผลของ % Extraction ที่คำนวณได้ ของแต่ละกรณีแสดง โดยตาราง ข-2 มาเข้าสู่ตรรกสมการที่ 3.4 จะคำนวณค่า RSQ ได้เท่ากับ 0.904

ตารางที่ ข-2 แสดงผลลัพธ์การคำนวณ % Extraction ของแต่ละกรณีที่พิจารณา

| รอบการสกัด ไหลเวียน | ผลจากการคำนวณ | | ผลจากการทดลอง | |
|------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | ppm | % Extraction | ppm | % Extraction |
| 1 | 228.51 | 8.60% | 232.21 | 7.12% |
| 2 | 211.80 | 15.28% | 211.65 | 15.34% |
| 3 | 198.83 | 20.47% | 205.34 | 17.86% |
| 4 | 188.80 | 24.48% | 180.92 | 27.63% |
| 5 | 181.06 | 27.58% | 185.67 | 25.73% |
| 6 | 175.10 | 29.96% | 187.11 | 25.16% |
| 7 | 170.53 | 31.79% | 179.49 | 28.20% |
| RSQ | | | | 0.904 |

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาดัชนีประสิทธิผล (PI)

สมการที่ใช้พิจารณาคือ

$$PI = \left(\frac{\text{ค่าเฉลี่ยของ Avg \% Error ของชุดข้อมูลทั้งหมด}}{\text{Avg \% Error ของชุดข้อมูลที่พิจารณานั้น}} \right) \times RSQ$$

(จากสมการที่ 3.5)

ชุดข้อมูลที่ใช้สถิติในการคำนวณนี้ แสดงโดยตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 ค่า Avg % Error และ RSQ ที่คำนวณได้ของแต่ละชุดข้อมูลการทำนาย

| เกณฑ์ เปรียบเทียบ | ข้อมูลการทำนาย ที่ 1 | ข้อมูลการทำนาย ที่ 2 | ข้อมูลการทำนาย ที่ 3 | ข้อมูลการทำนาย ที่ 4 |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Avg % Error | 5.38 | 6.95 | 8.76 | 4.03 |
| RSQ | 0.949 | 0.949 | 0.949 | 0.941 |

ในขั้นแรกจะต้องหาค่าเฉลี่ยของ Avg % Error ของชุดข้อมูลการคำนวณทั้งหมดที่พิจารณาเสียก่อน

$$\text{ค่าเฉลี่ยของ Avg \% Error} = (5.38 + 6.95 + 8.76 + 4.03) / 4$$

$$= 6.28\%$$

ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ 6.28% นี้จะใช้ในทุกกรณีของการคำนวณซึ่งจะแสดงดังต่อไปนี้

ข้อมูลการทำนายที่ 1

$$PI (1) = (6.28/5.38) \times 0.949$$

$$= 1.112$$

ข้อมูลการทำนายที่ 2

$$PI (2) = (6.28/6.95) \times 0.949$$

$$= 0.861$$

ข้อมูลการทำนายที่ 3

$$PI (3) = (6.28/8.76) \times 0.949$$

$$= 0.682$$

ข้อมูลการทำนายที่ 4

$$PI (4) = (6.28/4.03) \times 0.941$$

$$= 1.473$$

ผลจากค่า PI ที่คำนวณได้ของแต่ละชุดข้อมูลการทำนายให้ข้อมูลการทำนายที่ 4 มีค่าสูงที่สุด ซึ่งหมายถึงว่า ข้อมูลการทำนายที่ 4 ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุดเมื่อเทียบกับชุดข้อมูลการทำนายอื่นๆที่พิจารณา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ผลคำนวณการสกัดและนำกลับไอออนซีเรียมด้วยวิธีการสร้างกราฟ

ตารางที่ ง-1.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัดน์, 2546)

| Cycle | Ce Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|-------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 232.21 | 0.93 | 0.00% | 7.12% | 223.32 | 0.89 | 3.83% | 10.67% |
| 2 | 211.65 | 0.85 | 0.00% | 15.34% | 204.29 | 0.82 | 3.48% | 18.28% |
| 3 | 205.34 | 0.82 | 0.00% | 17.86% | 190.73 | 0.76 | 7.12% | 23.71% |
| 4 | 180.92 | 0.72 | 0.00% | 27.63% | 181.06 | 0.72 | 0.08% | 27.58% |
| 5 | 185.67 | 0.74 | 0.00% | 25.73% | 174.16 | 0.70 | 6.20% | 30.33% |
| 6 | 187.11 | 0.75 | 0.00% | 25.16% | 169.25 | 0.68 | 9.55% | 32.30% |
| 7 | 179.49 | 0.72 | 0.00% | 28.20% | 165.75 | 0.66 | 7.66% | 33.70% |
| 8 | 168.31 | 0.67 | 0.00% | 32.68% | 163.25 | 0.65 | 3.01% | 34.70% |
| 9 | 165.55 | 0.66 | 0.00% | 33.78% | 161.47 | 0.65 | 2.47% | 35.41% |
| 10 | 170.12 | 0.68 | 0.00% | 31.95% | 160.20 | 0.64 | 5.83% | 35.92% |
| 11 | 168.87 | 0.68 | 0.00% | 32.45% | 159.29 | 0.64 | 5.67% | 36.28% |
| 12 | 169.61 | 0.68 | 0.00% | 32.16% | 158.65 | 0.63 | 6.46% | 36.54% |
| 13 | 172.35 | 0.69 | 0.00% | 31.06% | 158.19 | 0.63 | 8.22% | 36.73% |
| 14 | 166.47 | 0.67 | 0.00% | 33.41% | 157.86 | 0.63 | 5.17% | 36.86% |
| 15 | 168.24 | 0.67 | 0.00% | 32.70% | 157.62 | 0.63 | 6.31% | 36.95% |
| 16 | 165.73 | 0.66 | 0.00% | 33.71% | 157.46 | 0.63 | 4.99% | 37.02% |

ตารางที่ ง-1.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Ce Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 222.87 | 0.89 | 4.02% | 10.85% | 221.81 | 0.89 | 4.48% | 11.28% |
| 2 | 203.27 | 0.81 | 3.96% | 18.69% | 201.20 | 0.80 | 4.94% | 19.52% |
| 3 | 189.16 | 0.76 | 7.88% | 24.34% | 186.34 | 0.75 | 9.25% | 25.46% |
| 4 | 179.02 | 0.72 | 1.05% | 28.39% | 175.73 | 0.70 | 2.87% | 29.71% |
| 5 | 171.74 | 0.69 | 7.50% | 31.30% | 168.20 | 0.67 | 9.41% | 32.72% |
| 6 | 166.53 | 0.67 | 11.00% | 33.39% | 162.87 | 0.65 | 12.95% | 34.85% |
| 7 | 162.80 | 0.65 | 9.30% | 34.88% | 159.11 | 0.64 | 11.35% | 36.35% |
| 8 | 160.13 | 0.64 | 4.86% | 35.95% | 156.46 | 0.63 | 7.04% | 37.41% |
| 9 | 158.22 | 0.63 | 4.43% | 36.71% | 154.60 | 0.62 | 6.61% | 38.16% |
| 10 | 156.85 | 0.63 | 7.80% | 37.26% | 153.29 | 0.61 | 9.89% | 38.68% |
| 11 | 155.88 | 0.62 | 7.70% | 37.65% | 152.37 | 0.61 | 9.77% | 39.05% |
| 12 | 155.18 | 0.62 | 8.51% | 37.93% | 151.72 | 0.61 | 10.55% | 39.31% |
| 13 | 154.68 | 0.62 | 10.25% | 38.13% | 151.27 | 0.61 | 12.23% | 39.49% |
| 14 | 154.32 | 0.62 | 7.30% | 38.27% | 150.95 | 0.60 | 9.32% | 39.62% |
| 15 | 154.07 | 0.62 | 8.42% | 38.37% | 150.72 | 0.60 | 10.41% | 39.71% |
| 16 | 153.89 | 0.62 | 7.15% | 38.45% | 150.57 | 0.60 | 9.15% | 39.77% |

ตารางที่ ง-1.3 ชุดข้อมูลที่ไดจากการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Ce Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 222.49 | 0.89 | 4.19% | 11.00% | 220.52 | 0.88 | 5.03% | 11.79% |
| 2 | 202.43 | 0.81 | 4.36% | 19.03% | 199.33 | 0.80 | 5.82% | 20.27% |
| 3 | 187.89 | 0.75 | 8.50% | 24.85% | 184.45 | 0.74 | 10.17% | 26.22% |
| 4 | 177.40 | 0.71 | 1.94% | 29.04% | 174.13 | 0.70 | 3.75% | 30.35% |
| 5 | 169.87 | 0.68 | 8.51% | 32.05% | 167.01 | 0.67 | 10.05% | 33.19% |
| 6 | 164.47 | 0.66 | 12.10% | 34.21% | 162.12 | 0.65 | 13.36% | 35.15% |
| 7 | 160.61 | 0.64 | 10.52% | 35.76% | 158.76 | 0.64 | 11.55% | 36.49% |
| 8 | 157.85 | 0.63 | 6.21% | 36.86% | 156.46 | 0.63 | 7.04% | 37.42% |
| 9 | 155.88 | 0.62 | 5.84% | 37.65% | 154.88 | 0.62 | 6.44% | 38.05% |
| 10 | 154.48 | 0.62 | 9.19% | 38.21% | 153.80 | 0.62 | 9.59% | 38.48% |
| 11 | 153.48 | 0.61 | 9.12% | 38.61% | 153.06 | 0.61 | 9.36% | 38.78% |
| 12 | 152.76 | 0.61 | 9.93% | 38.89% | 152.55 | 0.61 | 10.06% | 38.98% |
| 13 | 152.25 | 0.61 | 11.66% | 39.10% | 152.20 | 0.61 | 11.69% | 39.12% |
| 14 | 151.89 | 0.61 | 8.76% | 39.24% | 151.96 | 0.61 | 8.72% | 39.22% |
| 15 | 151.63 | 0.61 | 9.87% | 39.35% | 151.80 | 0.61 | 9.77% | 39.28% |
| 16 | 151.45 | 0.61 | 8.62% | 39.42% | 151.69 | 0.61 | 8.47% | 39.33% |

ตารางที่ ง-1.4 ชุดข้อมูลที่ไดจากการสกัด Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น Log และ Exp

| Cycle | Ce Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 228.51 | 0.91 | 1.59% | 8.60% | 220.55 | 0.88 | 5.02% | 11.78% |
| 2 | 211.80 | 0.85 | 0.07% | 15.28% | 200.94 | 0.80 | 5.06% | 19.63% |
| 3 | 198.83 | 0.80 | 3.17% | 20.47% | 187.58 | 0.75 | 8.65% | 24.97% |
| 4 | 188.80 | 0.76 | 4.35% | 24.48% | 178.36 | 0.71 | 1.41% | 28.66% |
| 5 | 181.06 | 0.72 | 2.49% | 27.58% | 171.94 | 0.69 | 7.40% | 31.22% |
| 6 | 175.10 | 0.70 | 6.42% | 29.96% | 167.44 | 0.67 | 10.51% | 33.02% |
| 7 | 170.53 | 0.68 | 4.99% | 31.79% | 164.28 | 0.66 | 8.48% | 34.29% |
| 8 | 167.04 | 0.67 | 0.75% | 33.18% | 162.04 | 0.65 | 3.72% | 35.18% |
| 9 | 164.37 | 0.66 | 0.71% | 34.25% | 160.47 | 0.64 | 3.07% | 35.81% |
| 10 | 162.33 | 0.65 | 4.58% | 35.07% | 159.35 | 0.64 | 6.33% | 36.26% |
| 11 | 160.78 | 0.64 | 4.79% | 35.69% | 158.56 | 0.63 | 6.10% | 36.57% |
| 12 | 159.60 | 0.64 | 5.90% | 36.16% | 158.00 | 0.63 | 6.84% | 36.80% |
| 13 | 158.70 | 0.63 | 7.92% | 36.52% | 157.61 | 0.63 | 8.55% | 36.96% |
| 14 | 158.02 | 0.63 | 5.08% | 36.79% | 157.33 | 0.63 | 5.49% | 37.07% |
| 15 | 157.50 | 0.63 | 6.38% | 37.00% | 157.13 | 0.63 | 6.61% | 37.15% |
| 16 | 157.11 | 0.63 | 5.20% | 37.16% | 156.99 | 0.63 | 5.28% | 37.21% |

ตารางที่ ง-1.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Ce Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 226.26 | 0.91 | 2.56% | 9.50% | 220.68 | 0.88 | 4.97% | 11.73% |
| 2 | 209.43 | 0.84 | 1.05% | 16.23% | 199.38 | 0.80 | 5.80% | 20.25% |
| 3 | 197.41 | 0.79 | 3.86% | 21.04% | 184.03 | 0.74 | 10.38% | 26.39% |
| 4 | 188.78 | 0.76 | 4.34% | 24.49% | 173.02 | 0.69 | 4.36% | 30.79% |
| 5 | 182.56 | 0.73 | 1.67% | 26.97% | 165.17 | 0.66 | 11.04% | 33.93% |
| 6 | 178.08 | 0.71 | 4.83% | 28.77% | 159.59 | 0.64 | 14.71% | 36.16% |
| 7 | 174.84 | 0.70 | 2.59% | 30.06% | 155.63 | 0.62 | 13.30% | 37.75% |
| 8 | 172.50 | 0.69 | 2.49% | 31.00% | 152.82 | 0.61 | 9.20% | 38.87% |
| 9 | 170.81 | 0.68 | 3.17% | 31.68% | 150.83 | 0.60 | 8.89% | 39.67% |
| 10 | 169.58 | 0.68 | 0.32% | 32.17% | 149.43 | 0.60 | 12.16% | 40.23% |
| 11 | 168.69 | 0.67 | 0.11% | 32.52% | 148.44 | 0.59 | 12.10% | 40.63% |
| 12 | 168.04 | 0.67 | 0.92% | 32.78% | 147.73 | 0.59 | 12.90% | 40.91% |
| 13 | 167.58 | 0.67 | 2.77% | 32.97% | 147.24 | 0.59 | 14.57% | 41.10% |
| 14 | 167.24 | 0.67 | 0.46% | 33.10% | 146.89 | 0.59 | 11.76% | 41.24% |
| 15 | 166.99 | 0.67 | 0.74% | 33.20% | 146.64 | 0.59 | 12.84% | 41.34% |
| 16 | 166.81 | 0.67 | 0.65% | 33.27% | 146.47 | 0.59 | 11.62% | 41.41% |

ตารางที่ ง-1.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการไม่
เชิงเส้น F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Ce Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 222.37 | 0.89 | 4.24% | 11.05% | 225.55 | 0.90 | 2.87% | 9.78% |
| 2 | 200.45 | 0.80 | 5.29% | 19.82% | 209.86 | 0.84 | 0.85% | 16.06% |
| 3 | 183.43 | 0.73 | 10.67% | 26.63% | 199.47 | 0.80 | 2.86% | 20.21% |
| 4 | 170.44 | 0.68 | 5.79% | 31.82% | 192.45 | 0.77 | 6.37% | 23.02% |
| 5 | 160.67 | 0.64 | 13.46% | 35.73% | 187.64 | 0.75 | 1.06% | 24.94% |
| 6 | 153.43 | 0.61 | 18.00% | 38.63% | 184.33 | 0.74 | 1.49% | 26.27% |
| 7 | 148.10 | 0.59 | 17.49% | 40.76% | 182.02 | 0.73 | 1.41% | 27.19% |
| 8 | 144.21 | 0.58 | 14.32% | 42.31% | 180.42 | 0.72 | 7.19% | 27.83% |
| 9 | 141.40 | 0.57 | 14.59% | 43.44% | 179.30 | 0.72 | 8.30% | 28.28% |
| 10 | 139.36 | 0.56 | 18.08% | 44.26% | 178.51 | 0.71 | 4.93% | 28.60% |
| 11 | 137.90 | 0.55 | 18.34% | 44.84% | 177.96 | 0.71 | 5.38% | 28.82% |
| 12 | 136.84 | 0.55 | 19.32% | 45.26% | 177.57 | 0.71 | 4.70% | 28.97% |
| 13 | 136.09 | 0.54 | 21.04% | 45.56% | 177.30 | 0.71 | 2.87% | 29.08% |
| 14 | 135.55 | 0.54 | 18.57% | 45.78% | 177.11 | 0.71 | 6.39% | 29.16% |
| 15 | 135.16 | 0.54 | 19.66% | 45.93% | 176.98 | 0.71 | 5.19% | 29.21% |
| 16 | 134.89 | 0.54 | 18.61% | 46.04% | 176.88 | 0.71 | 6.73% | 29.25% |

ตารางที่ ง-2.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Ce Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 253.21 | 1.01 | 0.00% | 1.28% | 273.84 | 1.10 | 8.15% | 9.54% |
| 2 | 265.97 | 1.06 | 0.00% | 6.39% | 290.83 | 1.16 | 9.35% | 16.33% |
| 3 | 269.73 | 1.08 | 0.00% | 7.89% | 302.95 | 1.21 | 12.32% | 21.18% |
| 4 | 279.68 | 1.12 | 0.00% | 11.87% | 311.59 | 1.25 | 11.41% | 24.64% |
| 5 | 288.71 | 1.15 | 0.00% | 15.48% | 317.75 | 1.27 | 10.06% | 27.10% |
| 6 | 295.99 | 1.18 | 0.00% | 18.40% | 322.14 | 1.29 | 8.84% | 28.86% |
| 7 | 298.92 | 1.20 | 0.00% | 19.57% | 325.27 | 1.30 | 8.82% | 30.11% |
| 8 | 312.41 | 1.25 | 0.00% | 24.96% | 327.50 | 1.31 | 4.83% | 31.00% |
| 9 | 315.53 | 1.26 | 0.00% | 26.21% | 329.09 | 1.32 | 4.30% | 31.64% |
| 10 | 309.55 | 1.24 | 0.00% | 23.82% | 330.23 | 1.32 | 6.68% | 32.09% |
| 11 | 313.86 | 1.26 | 0.00% | 25.54% | 331.04 | 1.32 | 5.47% | 32.42% |
| 12 | 316.64 | 1.27 | 0.00% | 26.66% | 331.61 | 1.33 | 4.73% | 32.65% |
| 13 | 319.28 | 1.28 | 0.00% | 27.71% | 332.03 | 1.33 | 3.99% | 32.81% |
| 14 | 318.23 | 1.27 | 0.00% | 27.29% | 332.32 | 1.33 | 4.43% | 32.93% |
| 15 | 321.71 | 1.29 | 0.00% | 28.68% | 332.53 | 1.33 | 3.36% | 33.01% |
| 16 | 322.64 | 1.29 | 0.00% | 29.06% | 332.68 | 1.33 | 3.11% | 33.07% |

ตารางที่ ง-2.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ce ระบบนำกลับเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการไม่เชิงเส้น Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Ce Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 274.19 | 1.10 | 8.28% | 9.67% | 275.38 | 1.10 | 8.75% | 10.15% |
| 2 | 291.64 | 1.17 | 9.65% | 16.66% | 293.91 | 1.18 | 10.51% | 17.57% |
| 3 | 304.21 | 1.22 | 12.78% | 21.68% | 307.25 | 1.23 | 13.91% | 22.90% |
| 4 | 313.24 | 1.25 | 12.00% | 25.29% | 316.77 | 1.27 | 13.26% | 26.71% |
| 5 | 319.71 | 1.28 | 10.74% | 27.88% | 323.52 | 1.29 | 12.06% | 29.41% |
| 6 | 324.35 | 1.30 | 9.58% | 29.74% | 328.30 | 1.31 | 10.91% | 31.32% |
| 7 | 327.67 | 1.31 | 9.62% | 31.07% | 331.66 | 1.33 | 10.95% | 32.66% |
| 8 | 330.04 | 1.32 | 5.64% | 32.02% | 334.03 | 1.34 | 6.92% | 33.61% |
| 9 | 331.74 | 1.33 | 5.14% | 32.70% | 335.70 | 1.34 | 6.39% | 34.28% |
| 10 | 332.95 | 1.33 | 7.56% | 33.18% | 336.87 | 1.35 | 8.83% | 34.75% |
| 11 | 333.82 | 1.34 | 6.36% | 33.53% | 337.70 | 1.35 | 7.59% | 35.08% |
| 12 | 334.44 | 1.34 | 5.62% | 33.78% | 338.28 | 1.35 | 6.83% | 35.31% |
| 13 | 334.89 | 1.34 | 4.89% | 33.95% | 338.68 | 1.35 | 6.08% | 35.47% |
| 14 | 335.20 | 1.34 | 5.33% | 34.08% | 338.97 | 1.36 | 6.52% | 35.59% |
| 15 | 335.43 | 1.34 | 4.26% | 34.17% | 339.17 | 1.36 | 5.43% | 35.67% |
| 16 | 335.59 | 1.34 | 4.01% | 34.24% | 339.31 | 1.36 | 5.17% | 35.72% |

ตารางที่ ง-2.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Ce Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 274.68 | 1.10 | 8.48% | 9.87% | 276.55 | 1.11 | 9.22% | 10.62% |
| 2 | 292.64 | 1.17 | 10.03% | 17.06% | 295.61 | 1.18 | 11.15% | 18.25% |
| 3 | 305.63 | 1.22 | 13.31% | 22.25% | 308.98 | 1.24 | 14.55% | 23.59% |
| 4 | 314.99 | 1.26 | 12.62% | 25.99% | 318.25 | 1.27 | 13.79% | 27.30% |
| 5 | 321.70 | 1.29 | 11.43% | 28.68% | 324.63 | 1.30 | 12.44% | 29.85% |
| 6 | 326.51 | 1.31 | 10.31% | 30.60% | 329.02 | 1.32 | 11.16% | 31.61% |
| 7 | 329.95 | 1.32 | 10.38% | 31.98% | 332.03 | 1.33 | 11.08% | 32.81% |
| 8 | 332.41 | 1.33 | 6.40% | 32.96% | 334.09 | 1.34 | 6.94% | 33.64% |
| 9 | 334.16 | 1.34 | 5.90% | 33.66% | 335.51 | 1.34 | 6.33% | 34.20% |
| 10 | 335.41 | 1.34 | 8.35% | 34.16% | 336.48 | 1.35 | 8.70% | 34.59% |
| 11 | 336.30 | 1.35 | 7.15% | 34.52% | 337.14 | 1.35 | 7.42% | 34.86% |
| 12 | 336.94 | 1.35 | 6.41% | 34.78% | 337.60 | 1.35 | 6.62% | 35.04% |
| 13 | 337.39 | 1.35 | 5.67% | 34.96% | 337.91 | 1.35 | 5.83% | 35.16% |
| 14 | 337.71 | 1.35 | 6.12% | 35.09% | 338.12 | 1.35 | 6.25% | 35.25% |
| 15 | 337.94 | 1.35 | 5.05% | 35.18% | 338.27 | 1.35 | 5.15% | 35.31% |
| 16 | 338.11 | 1.35 | 4.79% | 35.24% | 338.37 | 1.35 | 4.87% | 35.35% |

ตารางที่ ง-2.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น Log และ Exp

| Cycle | Ce Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 269.09 | 1.08 | 6.27% | 7.63% | 276.81 | 1.11 | 9.32% | 10.72% |
| 2 | 284.03 | 1.14 | 6.79% | 13.61% | 294.52 | 1.18 | 10.74% | 17.81% |
| 3 | 295.69 | 1.18 | 9.62% | 18.28% | 306.53 | 1.23 | 13.64% | 22.61% |
| 4 | 304.74 | 1.22 | 8.96% | 21.90% | 314.78 | 1.26 | 12.55% | 25.91% |
| 5 | 311.74 | 1.25 | 7.98% | 24.70% | 320.52 | 1.28 | 11.02% | 28.21% |
| 6 | 317.13 | 1.27 | 7.14% | 26.85% | 324.53 | 1.30 | 9.64% | 29.81% |
| 7 | 321.28 | 1.29 | 7.48% | 28.51% | 327.35 | 1.31 | 9.51% | 30.94% |
| 8 | 324.45 | 1.30 | 3.85% | 29.78% | 329.33 | 1.32 | 5.42% | 31.73% |
| 9 | 326.88 | 1.31 | 3.60% | 30.75% | 330.73 | 1.32 | 4.82% | 32.29% |
| 10 | 328.73 | 1.31 | 6.20% | 31.49% | 331.72 | 1.33 | 7.16% | 32.69% |
| 11 | 330.14 | 1.32 | 5.19% | 32.06% | 332.43 | 1.33 | 5.92% | 32.97% |
| 12 | 331.22 | 1.32 | 4.60% | 32.49% | 332.92 | 1.33 | 5.14% | 33.17% |
| 13 | 332.04 | 1.33 | 4.00% | 32.81% | 333.27 | 1.33 | 4.38% | 33.31% |
| 14 | 332.66 | 1.33 | 4.53% | 33.06% | 333.52 | 1.33 | 4.81% | 33.41% |
| 15 | 333.13 | 1.33 | 3.55% | 33.25% | 333.70 | 1.33 | 3.73% | 33.48% |
| 16 | 333.49 | 1.33 | 3.36% | 33.40% | 333.83 | 1.34 | 3.47% | 33.53% |

ตารางที่ ง-2.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Ce Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 271.09 | 1.08 | 7.06% | 8.44% | 276.69 | 1.11 | 9.27% | 10.68% |
| 2 | 286.16 | 1.14 | 7.59% | 14.46% | 295.93 | 1.18 | 11.26% | 18.37% |
| 3 | 296.97 | 1.19 | 10.10% | 18.79% | 309.71 | 1.24 | 14.82% | 23.89% |
| 4 | 304.76 | 1.22 | 8.97% | 21.90% | 319.55 | 1.28 | 14.26% | 27.82% |
| 5 | 310.37 | 1.24 | 7.50% | 24.15% | 326.55 | 1.31 | 13.11% | 30.62% |
| 6 | 314.43 | 1.26 | 6.23% | 25.77% | 331.51 | 1.33 | 12.00% | 32.61% |
| 7 | 317.37 | 1.27 | 6.17% | 26.95% | 335.03 | 1.34 | 12.08% | 34.01% |
| 8 | 319.49 | 1.28 | 2.27% | 27.80% | 337.52 | 1.35 | 8.04% | 35.01% |
| 9 | 321.03 | 1.28 | 1.74% | 28.41% | 339.28 | 1.36 | 7.53% | 35.71% |
| 10 | 322.14 | 1.29 | 4.07% | 28.86% | 340.52 | 1.36 | 10.01% | 36.21% |
| 11 | 322.95 | 1.29 | 2.90% | 29.18% | 341.40 | 1.37 | 8.78% | 36.56% |
| 12 | 323.54 | 1.29 | 2.18% | 29.42% | 342.02 | 1.37 | 8.02% | 36.81% |
| 13 | 323.96 | 1.30 | 1.47% | 29.58% | 342.46 | 1.37 | 7.26% | 36.98% |
| 14 | 324.27 | 1.30 | 1.90% | 29.71% | 342.77 | 1.37 | 7.71% | 37.11% |
| 15 | 324.49 | 1.30 | 0.87% | 29.80% | 342.99 | 1.37 | 6.61% | 37.19% |
| 16 | 324.65 | 1.30 | 0.62% | 29.86% | 343.14 | 1.37 | 6.35% | 37.26% |

ตารางที่ ง-2.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Ce Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 275.16 | 1.10 | 8.67% | 10.06% | 271.73 | 1.09 | 7.31% | 8.69% |
| 2 | 294.96 | 1.18 | 10.90% | 17.98% | 285.77 | 1.14 | 7.45% | 14.31% |
| 3 | 310.25 | 1.24 | 15.02% | 24.10% | 295.12 | 1.18 | 9.41% | 18.05% |
| 4 | 321.86 | 1.29 | 15.08% | 28.74% | 301.44 | 1.21 | 7.78% | 20.58% |
| 5 | 330.55 | 1.32 | 14.49% | 32.22% | 305.78 | 1.22 | 5.91% | 22.31% |
| 6 | 336.98 | 1.35 | 13.85% | 34.79% | 308.78 | 1.24 | 4.32% | 23.51% |
| 7 | 341.70 | 1.37 | 14.31% | 36.68% | 310.86 | 1.24 | 4.00% | 24.35% |
| 8 | 345.14 | 1.38 | 10.48% | 38.05% | 312.32 | 1.25 | 0.03% | 24.93% |
| 9 | 347.62 | 1.39 | 10.17% | 39.05% | 313.33 | 1.25 | 0.70% | 25.33% |
| 10 | 349.42 | 1.40 | 12.88% | 39.77% | 314.04 | 1.26 | 1.45% | 25.62% |
| 11 | 350.71 | 1.40 | 11.74% | 40.28% | 314.54 | 1.26 | 0.22% | 25.82% |
| 12 | 351.64 | 1.41 | 11.05% | 40.65% | 314.89 | 1.26 | 0.55% | 25.96% |
| 13 | 352.30 | 1.41 | 10.34% | 40.92% | 315.14 | 1.26 | 1.30% | 26.05% |
| 14 | 352.78 | 1.41 | 10.86% | 41.11% | 315.31 | 1.26 | 0.92% | 26.12% |
| 15 | 353.12 | 1.41 | 9.76% | 41.25% | 315.43 | 1.26 | 1.95% | 26.17% |
| 16 | 353.36 | 1.41 | 9.52% | 41.34% | 315.52 | 1.26 | 2.21% | 26.21% |

ตารางที่ ง-3.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่ (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Ce Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 232.29 | 0.93 | 0.00% | 7.08% | 223.32 | 0.89 | 3.86% | 10.67% |
| 2 | 211.63 | 0.85 | 0.00% | 15.35% | 202.02 | 0.81 | 4.54% | 19.19% |
| 3 | 204.37 | 0.82 | 0.00% | 18.25% | 184.76 | 0.74 | 9.59% | 26.10% |
| 4 | 176.91 | 0.71 | 0.00% | 29.24% | 170.61 | 0.68 | 3.56% | 31.76% |
| 5 | 160.67 | 0.64 | 0.00% | 35.73% | 158.89 | 0.64 | 1.11% | 36.45% |
| 6 | 162.11 | 0.65 | 0.00% | 35.16% | 149.12 | 0.60 | 8.01% | 40.35% |
| 7 | 162.49 | 0.65 | 0.00% | 35.00% | 140.94 | 0.56 | 13.26% | 43.62% |
| 8 | 140.31 | 0.56 | 0.00% | 43.88% | 134.07 | 0.54 | 4.45% | 46.37% |
| 9 | 151.55 | 0.61 | 0.00% | 39.38% | 128.27 | 0.51 | 15.36% | 48.69% |
| 10 | 139.12 | 0.56 | 0.00% | 44.35% | 123.38 | 0.49 | 11.31% | 50.65% |
| 11 | 141.87 | 0.57 | 0.00% | 43.25% | 119.25 | 0.48 | 15.95% | 52.30% |
| 12 | 137.61 | 0.55 | 0.00% | 44.96% | 115.75 | 0.46 | 15.89% | 53.70% |
| 13 | 123.35 | 0.49 | 0.00% | 50.66% | 112.79 | 0.45 | 8.56% | 54.89% |
| 14 | 139.71 | 0.56 | 0.00% | 44.12% | 110.28 | 0.44 | 21.07% | 55.89% |
| 15 | 130.34 | 0.52 | 0.00% | 47.86% | 108.15 | 0.43 | 17.02% | 56.74% |
| 16 | 130.67 | 0.52 | 0.00% | 47.73% | 106.35 | 0.43 | 18.61% | 57.46% |

ตารางที่ ง- 3.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายสมการ ไม่เชิงเส้น Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Ce Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 222.87 | 0.89 | 4.05% | 10.85% | 224.16 | 0.90 | 3.50% | 10.34% |
| 2 | 200.89 | 0.80 | 5.07% | 19.64% | 200.82 | 0.80 | 5.11% | 19.67% |
| 3 | 182.90 | 0.73 | 10.51% | 26.84% | 181.95 | 0.73 | 10.97% | 27.22% |
| 4 | 174.24 | 0.70 | 1.51% | 30.30% | 166.65 | 0.67 | 5.80% | 33.34% |
| 5 | 168.04 | 0.67 | 4.59% | 32.78% | 154.18 | 0.62 | 4.04% | 38.33% |
| 6 | 163.59 | 0.65 | 0.92% | 34.56% | 143.97 | 0.58 | 11.19% | 42.41% |
| 7 | 160.41 | 0.64 | 1.28% | 35.83% | 135.57 | 0.54 | 16.57% | 45.77% |
| 8 | 158.14 | 0.63 | 12.71% | 36.74% | 128.63 | 0.51 | 8.33% | 48.55% |
| 9 | 156.51 | 0.63 | 3.27% | 37.40% | 122.87 | 0.49 | 18.92% | 50.85% |
| 10 | 155.35 | 0.62 | 11.67% | 37.86% | 118.08 | 0.47 | 15.12% | 52.77% |
| 11 | 154.52 | 0.62 | 8.92% | 38.19% | 114.09 | 0.46 | 19.58% | 54.36% |
| 12 | 153.92 | 0.62 | 11.86% | 38.43% | 110.77 | 0.44 | 19.50% | 55.69% |
| 13 | 153.50 | 0.61 | 24.44% | 38.60% | 107.99 | 0.43 | 12.45% | 56.80% |
| 14 | 153.20 | 0.61 | 9.65% | 38.72% | 105.68 | 0.42 | 24.36% | 57.73% |
| 15 | 152.98 | 0.61 | 17.37% | 38.81% | 103.74 | 0.41 | 20.40% | 58.50% |
| 16 | 152.82 | 0.61 | 16.95% | 38.87% | 102.13 | 0.41 | 21.84% | 59.15% |

ตารางที่ ง-3.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Ce Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 222.49 | 0.89 | 4.22% | 11.00% | 220.52 | 0.88 | 5.07% | 11.79% |
| 2 | 200.13 | 0.80 | 5.43% | 19.95% | 197.02 | 0.79 | 6.90% | 21.19% |
| 3 | 181.81 | 0.73 | 11.04% | 27.27% | 178.48 | 0.71 | 12.67% | 28.61% |
| 4 | 172.78 | 0.69 | 2.33% | 30.89% | 163.80 | 0.66 | 7.41% | 34.48% |
| 5 | 166.30 | 0.67 | 3.51% | 33.48% | 152.06 | 0.61 | 5.36% | 39.18% |
| 6 | 161.67 | 0.65 | 0.27% | 35.33% | 142.57 | 0.57 | 12.05% | 42.97% |
| 7 | 158.35 | 0.63 | 2.55% | 36.66% | 134.83 | 0.54 | 17.03% | 46.07% |
| 8 | 155.98 | 0.62 | 11.17% | 37.61% | 128.45 | 0.51 | 8.45% | 48.62% |
| 9 | 154.29 | 0.62 | 1.81% | 38.28% | 123.17 | 0.49 | 18.73% | 50.73% |
| 10 | 153.08 | 0.61 | 10.04% | 38.77% | 118.77 | 0.48 | 14.63% | 52.49% |
| 11 | 152.23 | 0.61 | 7.30% | 39.11% | 115.09 | 0.46 | 18.87% | 53.96% |
| 12 | 151.61 | 0.61 | 10.18% | 39.35% | 112.02 | 0.45 | 18.60% | 55.19% |
| 13 | 151.18 | 0.60 | 22.56% | 39.53% | 109.44 | 0.44 | 11.28% | 56.22% |
| 14 | 150.87 | 0.60 | 7.99% | 39.65% | 107.27 | 0.43 | 23.22% | 57.09% |
| 15 | 150.65 | 0.60 | 15.58% | 39.74% | 105.45 | 0.42 | 19.09% | 57.82% |
| 16 | 150.49 | 0.60 | 15.17% | 39.80% | 103.93 | 0.42 | 20.47% | 58.43% |

ตารางที่ ง-3.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ce ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น Log และ Exp

| Cycle | Ce Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 228.51 | 0.91 | 1.63% | 8.60% | 220.55 | 0.88 | 5.05% | 11.78% |
| 2 | 209.71 | 0.84 | 0.91% | 16.12% | 198.96 | 0.80 | 5.99% | 20.42% |
| 3 | 193.38 | 0.77 | 5.38% | 22.65% | 182.20 | 0.73 | 10.85% | 27.12% |
| 4 | 179.28 | 0.72 | 1.34% | 28.29% | 168.70 | 0.67 | 4.64% | 32.52% |
| 5 | 167.16 | 0.67 | 4.04% | 33.14% | 157.56 | 0.63 | 1.94% | 36.98% |
| 6 | 156.79 | 0.63 | 3.28% | 37.28% | 148.23 | 0.59 | 8.56% | 40.71% |
| 7 | 147.94 | 0.59 | 8.96% | 40.83% | 140.34 | 0.56 | 13.63% | 43.87% |
| 8 | 140.38 | 0.56 | 0.05% | 43.85% | 133.62 | 0.53 | 4.77% | 46.55% |
| 9 | 133.95 | 0.54 | 11.61% | 46.42% | 127.88 | 0.51 | 15.62% | 48.85% |
| 10 | 128.46 | 0.51 | 7.66% | 48.61% | 122.96 | 0.49 | 11.61% | 50.82% |
| 11 | 123.78 | 0.50 | 12.75% | 50.49% | 118.73 | 0.47 | 16.31% | 52.51% |
| 12 | 119.78 | 0.48 | 12.96% | 52.09% | 115.10 | 0.46 | 16.36% | 53.96% |
| 13 | 116.35 | 0.47 | 5.68% | 53.46% | 111.96 | 0.45 | 9.23% | 55.21% |
| 14 | 113.41 | 0.45 | 18.83% | 54.64% | 109.26 | 0.44 | 21.80% | 56.30% |
| 15 | 110.87 | 0.44 | 14.93% | 55.65% | 106.93 | 0.43 | 17.96% | 57.23% |
| 16 | 108.69 | 0.43 | 16.82% | 56.52% | 104.91 | 0.42 | 19.71% | 58.04% |

ตารางที่ ง-3.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายสมการไม่เชิงเส้น F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Ce Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 226.26 | 0.91 | 2.59% | 9.50% | 220.68 | 0.88 | 5.00% | 11.73% |
| 2 | 207.32 | 0.83 | 2.04% | 17.07% | 197.28 | 0.79 | 6.78% | 21.09% |
| 3 | 191.95 | 0.77 | 6.08% | 23.22% | 178.34 | 0.71 | 12.74% | 28.66% |
| 4 | 179.32 | 0.72 | 1.36% | 28.27% | 162.86 | 0.65 | 7.94% | 34.86% |
| 5 | 168.81 | 0.68 | 5.07% | 32.48% | 150.12 | 0.60 | 6.57% | 39.95% |
| 6 | 159.99 | 0.64 | 1.31% | 36.00% | 139.59 | 0.56 | 13.89% | 44.16% |
| 7 | 152.53 | 0.61 | 6.13% | 38.99% | 130.86 | 0.52 | 19.46% | 47.66% |
| 8 | 146.17 | 0.58 | 4.18% | 41.53% | 123.62 | 0.49 | 11.89% | 50.55% |
| 9 | 140.74 | 0.56 | 7.13% | 43.70% | 117.61 | 0.47 | 22.39% | 52.96% |
| 10 | 136.07 | 0.54 | 2.19% | 45.57% | 112.63 | 0.45 | 19.04% | 54.95% |
| 11 | 132.05 | 0.53 | 6.92% | 47.18% | 108.49 | 0.43 | 23.53% | 56.60% |
| 12 | 128.58 | 0.51 | 6.57% | 48.57% | 105.07 | 0.42 | 23.65% | 57.97% |
| 13 | 125.57 | 0.50 | 1.80% | 49.77% | 102.23 | 0.41 | 17.12% | 59.11% |
| 14 | 122.96 | 0.49 | 11.99% | 50.81% | 99.89 | 0.40 | 28.50% | 60.05% |
| 15 | 120.70 | 0.48 | 7.39% | 51.72% | 97.95 | 0.39 | 24.85% | 60.82% |
| 16 | 118.74 | 0.47 | 9.13% | 52.50% | 96.35 | 0.39 | 26.27% | 61.46% |

ตารางที่ ง-3.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายสมการไม่เชิงเส้น F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Ce Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 222.37 | 0.89 | 4.27% | 11.05% | 225.55 | 0.90 | 2.90% | 9.78% |
| 2 | 198.31 | 0.79 | 6.29% | 20.68% | 207.86 | 0.83 | 1.78% | 16.86% |
| 3 | 177.59 | 0.71 | 13.10% | 28.96% | 194.27 | 0.78 | 4.94% | 22.29% |
| 4 | 159.94 | 0.64 | 9.59% | 36.02% | 183.39 | 0.73 | 3.66% | 26.65% |
| 5 | 145.08 | 0.58 | 9.71% | 41.97% | 174.43 | 0.70 | 8.56% | 30.23% |
| 6 | 132.70 | 0.53 | 18.14% | 46.92% | 166.91 | 0.67 | 2.96% | 33.24% |
| 7 | 122.52 | 0.49 | 24.60% | 50.99% | 160.52 | 0.64 | 1.21% | 35.79% |
| 8 | 114.22 | 0.46 | 18.59% | 54.31% | 155.05 | 0.62 | 10.50% | 37.98% |
| 9 | 107.52 | 0.43 | 29.06% | 56.99% | 150.32 | 0.60 | 0.81% | 39.87% |
| 10 | 102.14 | 0.41 | 26.58% | 59.14% | 146.23 | 0.58 | 5.11% | 41.51% |
| 11 | 97.85 | 0.39 | 31.03% | 60.86% | 142.67 | 0.57 | 0.56% | 42.93% |
| 12 | 94.45 | 0.38 | 31.37% | 62.22% | 139.57 | 0.56 | 1.42% | 44.17% |
| 13 | 91.75 | 0.37 | 25.62% | 63.30% | 136.85 | 0.55 | 10.95% | 45.26% |
| 14 | 89.62 | 0.36 | 35.85% | 64.15% | 134.48 | 0.54 | 3.74% | 46.21% |
| 15 | 87.94 | 0.35 | 32.53% | 64.83% | 132.40 | 0.53 | 1.58% | 47.04% |
| 16 | 86.61 | 0.35 | 33.72% | 65.36% | 130.57 | 0.52 | 0.08% | 47.77% |

ตารางที่ ง-4.1 .1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดคู่ (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Ce Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 263.21 | 1.05 | 0.00% | 5.28% | 273.84 | 1.10 | 4.04% | 9.54% |
| 2 | 295.97 | 1.18 | 0.00% | 18.39% | 295.65 | 1.18 | 0.11% | 18.26% |
| 3 | 309.73 | 1.24 | 0.00% | 23.89% | 315.10 | 1.26 | 1.73% | 26.04% |
| 4 | 302.68 | 1.21 | 0.00% | 21.07% | 332.17 | 1.33 | 9.74% | 32.87% |
| 5 | 308.71 | 1.23 | 0.00% | 23.48% | 346.99 | 1.39 | 12.40% | 38.80% |
| 6 | 315.99 | 1.26 | 0.00% | 26.40% | 359.76 | 1.44 | 13.85% | 43.91% |
| 7 | 329.92 | 1.32 | 0.00% | 31.97% | 370.72 | 1.48 | 12.37% | 48.29% |
| 8 | 322.41 | 1.29 | 0.00% | 28.96% | 380.09 | 1.52 | 17.89% | 52.03% |
| 9 | 325.53 | 1.30 | 0.00% | 30.21% | 388.07 | 1.55 | 19.21% | 55.23% |
| 10 | 319.55 | 1.28 | 0.00% | 27.82% | 394.87 | 1.58 | 23.57% | 57.95% |
| 11 | 323.86 | 1.30 | 0.00% | 29.54% | 400.66 | 1.60 | 23.71% | 60.26% |
| 12 | 331.64 | 1.33 | 0.00% | 32.66% | 405.57 | 1.62 | 22.29% | 62.23% |
| 13 | 329.28 | 1.32 | 0.00% | 31.71% | 409.74 | 1.64 | 24.44% | 63.90% |
| 14 | 328.23 | 1.31 | 0.00% | 31.29% | 413.29 | 1.65 | 25.91% | 65.31% |
| 15 | 331.71 | 1.33 | 0.00% | 32.68% | 416.29 | 1.67 | 25.50% | 66.52% |
| 16 | 328.54 | 1.31 | 0.00% | 31.42% | 418.84 | 1.68 | 27.49% | 67.54% |

ตารางที่ ง-4.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ce ระบบนำกลับคู่โดยใช้สมมูลสารละลายสมการไม่เชิงเส้น Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Ce Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 274.19 | 1.10 | 4.17% | 9.67% | 275.84 | 1.10 | 4.80% | 10.34% |
| 2 | 296.22 | 1.18 | 0.09% | 18.49% | 299.07 | 1.20 | 1.05% | 19.63% |
| 3 | 306.96 | 1.23 | 0.90% | 22.78% | 319.97 | 1.28 | 3.31% | 27.99% |
| 4 | 314.66 | 1.26 | 3.96% | 25.86% | 338.43 | 1.35 | 11.81% | 35.37% |
| 5 | 320.18 | 1.28 | 3.71% | 28.07% | 354.51 | 1.42 | 14.84% | 41.80% |
| 6 | 324.13 | 1.30 | 2.58% | 29.65% | 368.35 | 1.47 | 16.57% | 47.34% |
| 7 | 326.96 | 1.31 | 0.90% | 30.78% | 380.17 | 1.52 | 15.23% | 52.07% |
| 8 | 328.98 | 1.32 | 2.04% | 31.59% | 390.19 | 1.56 | 21.02% | 56.07% |
| 9 | 330.43 | 1.32 | 1.50% | 32.17% | 398.64 | 1.59 | 22.46% | 59.46% |
| 10 | 331.46 | 1.33 | 3.73% | 32.58% | 405.74 | 1.62 | 26.97% | 62.30% |
| 11 | 332.20 | 1.33 | 2.58% | 32.88% | 411.69 | 1.65 | 27.12% | 64.68% |
| 12 | 332.73 | 1.33 | 0.33% | 33.09% | 416.67 | 1.67 | 25.64% | 66.67% |
| 13 | 333.11 | 1.33 | 1.16% | 33.24% | 420.83 | 1.68 | 27.80% | 68.33% |
| 14 | 333.38 | 1.33 | 1.57% | 33.35% | 424.30 | 1.70 | 29.27% | 69.72% |
| 15 | 333.57 | 1.33 | 0.56% | 33.43% | 427.19 | 1.71 | 28.78% | 70.88% |
| 16 | 333.71 | 1.33 | 1.57% | 33.48% | 429.60 | 1.72 | 30.76% | 71.84% |

ตารางที่ ง-4.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมการละลายสมการ
ไม่เชิงเส้น Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Ce Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 274.68 | 1.10 | 4.36% | 9.87% | 276.55 | 1.11 | 5.07% | 10.62% |
| 2 | 297.23 | 1.19 | 0.42% | 18.89% | 300.92 | 1.20 | 1.67% | 20.37% |
| 3 | 308.43 | 1.23 | 0.42% | 23.37% | 322.71 | 1.29 | 4.19% | 29.08% |
| 4 | 316.49 | 1.27 | 4.56% | 26.60% | 341.79 | 1.37 | 12.92% | 36.72% |
| 5 | 322.27 | 1.29 | 4.39% | 28.91% | 358.22 | 1.43 | 16.04% | 43.29% |
| 6 | 326.40 | 1.31 | 3.30% | 30.56% | 372.18 | 1.49 | 17.78% | 48.87% |
| 7 | 329.36 | 1.32 | 0.17% | 31.74% | 383.92 | 1.54 | 16.37% | 53.57% |
| 8 | 331.47 | 1.33 | 2.81% | 32.59% | 393.74 | 1.57 | 22.13% | 57.50% |
| 9 | 332.97 | 1.33 | 2.29% | 33.19% | 401.92 | 1.61 | 23.47% | 60.77% |
| 10 | 334.04 | 1.34 | 4.54% | 33.62% | 408.70 | 1.63 | 27.90% | 63.48% |
| 11 | 334.81 | 1.34 | 3.38% | 33.92% | 414.32 | 1.66 | 27.93% | 65.73% |
| 12 | 335.35 | 1.34 | 1.12% | 34.14% | 418.98 | 1.68 | 26.34% | 67.59% |
| 13 | 335.74 | 1.34 | 1.96% | 34.30% | 422.84 | 1.69 | 28.41% | 69.14% |
| 14 | 336.02 | 1.34 | 2.37% | 34.41% | 426.04 | 1.70 | 29.80% | 70.42% |
| 15 | 336.21 | 1.34 | 1.36% | 34.49% | 428.70 | 1.71 | 29.24% | 71.48% |
| 16 | 336.36 | 1.35 | 2.38% | 34.54% | 430.90 | 1.72 | 31.16% | 72.36% |

ตารางที่ ง-4.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Log และ Exp

| Cycle | Ce Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 269.09 | 1.08 | 2.23% | 7.63% | 276.81 | 1.11 | 5.17% | 10.72% |
| 2 | 286.42 | 1.15 | 3.23% | 14.57% | 301.67 | 1.21 | 1.93% | 20.67% |
| 3 | 302.19 | 1.21 | 2.43% | 20.88% | 323.22 | 1.29 | 4.35% | 29.29% |
| 4 | 316.53 | 1.27 | 4.58% | 26.61% | 341.32 | 1.37 | 12.76% | 36.53% |
| 5 | 329.55 | 1.32 | 6.75% | 31.82% | 356.30 | 1.43 | 15.42% | 42.52% |
| 6 | 341.35 | 1.37 | 8.02% | 36.54% | 368.64 | 1.47 | 16.66% | 47.46% |
| 7 | 352.00 | 1.41 | 6.69% | 40.80% | 378.79 | 1.52 | 14.81% | 51.51% |
| 8 | 361.61 | 1.45 | 12.16% | 44.64% | 387.15 | 1.55 | 20.08% | 54.86% |
| 9 | 370.24 | 1.48 | 13.73% | 48.09% | 394.06 | 1.58 | 21.05% | 57.63% |
| 10 | 377.97 | 1.51 | 18.28% | 51.19% | 399.80 | 1.60 | 25.11% | 59.92% |
| 11 | 384.88 | 1.54 | 18.84% | 53.95% | 404.59 | 1.62 | 24.93% | 61.84% |
| 12 | 391.04 | 1.56 | 17.91% | 56.42% | 408.60 | 1.63 | 23.21% | 63.44% |
| 13 | 396.53 | 1.59 | 20.42% | 58.61% | 411.97 | 1.65 | 25.11% | 64.79% |
| 14 | 401.39 | 1.61 | 22.29% | 60.56% | 414.82 | 1.66 | 26.38% | 65.93% |
| 15 | 405.71 | 1.62 | 22.31% | 62.28% | 417.23 | 1.67 | 25.78% | 66.89% |
| 16 | 409.53 | 1.64 | 24.65% | 63.81% | 419.28 | 1.68 | 27.62% | 67.71% |

ตารางที่ ง-4.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Ce Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 271.09 | 1.08 | 3.00% | 8.44% | 276.69 | 1.11 | 5.12% | 10.68% |
| 2 | 290.47 | 1.16 | 1.86% | 16.19% | 301.25 | 1.21 | 1.79% | 20.50% |
| 3 | 307.91 | 1.23 | 0.59% | 23.17% | 323.09 | 1.29 | 4.31% | 29.23% |
| 4 | 323.43 | 1.29 | 6.85% | 29.37% | 342.04 | 1.37 | 13.00% | 36.81% |
| 5 | 337.12 | 1.35 | 9.20% | 34.85% | 358.21 | 1.43 | 16.03% | 43.28% |
| 6 | 349.13 | 1.40 | 10.49% | 39.65% | 371.85 | 1.49 | 17.68% | 48.74% |
| 7 | 359.64 | 1.44 | 9.01% | 43.85% | 383.26 | 1.53 | 16.17% | 53.30% |
| 8 | 368.81 | 1.48 | 14.39% | 47.52% | 392.74 | 1.57 | 21.81% | 57.10% |
| 9 | 376.80 | 1.51 | 15.75% | 50.72% | 400.58 | 1.60 | 23.06% | 60.23% |
| 10 | 383.76 | 1.54 | 20.10% | 53.51% | 407.05 | 1.63 | 27.38% | 62.82% |
| 11 | 389.83 | 1.56 | 20.37% | 55.93% | 412.38 | 1.65 | 27.33% | 64.95% |
| 12 | 395.11 | 1.58 | 19.14% | 58.04% | 416.76 | 1.67 | 25.67% | 66.70% |
| 13 | 399.70 | 1.60 | 21.39% | 59.88% | 420.35 | 1.68 | 27.66% | 68.14% |
| 14 | 403.70 | 1.61 | 22.99% | 61.48% | 423.31 | 1.69 | 28.97% | 69.32% |
| 15 | 407.19 | 1.63 | 22.75% | 62.87% | 425.73 | 1.70 | 28.34% | 70.29% |
| 16 | 410.22 | 1.64 | 24.86% | 64.09% | 427.72 | 1.71 | 30.19% | 71.09% |

ตารางที่ ง-4.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ce ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Ce Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 275.16 | 1.10 | 4.54% | 10.06% | 271.73 | 1.09 | 3.24% | 8.69% |
| 2 | 298.15 | 1.19 | 0.74% | 19.26% | 291.91 | 1.17 | 1.37% | 16.77% |
| 3 | 318.89 | 1.28 | 2.96% | 27.56% | 309.61 | 1.24 | 0.04% | 23.84% |
| 4 | 337.36 | 1.35 | 11.46% | 34.94% | 324.77 | 1.30 | 7.30% | 29.91% |
| 5 | 353.61 | 1.41 | 14.54% | 41.44% | 337.64 | 1.35 | 9.37% | 35.06% |
| 6 | 367.76 | 1.47 | 16.38% | 47.10% | 348.56 | 1.39 | 10.31% | 39.42% |
| 7 | 379.95 | 1.52 | 15.16% | 51.98% | 357.83 | 1.43 | 8.46% | 43.13% |
| 8 | 390.34 | 1.56 | 21.07% | 56.14% | 365.72 | 1.46 | 13.43% | 46.29% |
| 9 | 399.13 | 1.60 | 22.61% | 59.65% | 372.46 | 1.49 | 14.42% | 48.99% |
| 10 | 406.51 | 1.63 | 27.21% | 62.60% | 378.25 | 1.51 | 18.37% | 51.30% |
| 11 | 412.64 | 1.65 | 27.41% | 65.06% | 383.23 | 1.53 | 18.33% | 53.29% |
| 12 | 417.71 | 1.67 | 25.95% | 67.09% | 387.53 | 1.55 | 16.85% | 55.01% |
| 13 | 421.88 | 1.69 | 28.12% | 68.75% | 391.25 | 1.57 | 18.82% | 56.50% |
| 14 | 425.29 | 1.70 | 29.57% | 70.12% | 394.48 | 1.58 | 20.18% | 57.79% |
| 15 | 428.07 | 1.71 | 29.05% | 71.23% | 397.29 | 1.59 | 19.77% | 58.92% |
| 16 | 430.32 | 1.72 | 30.98% | 72.13% | 399.75 | 1.60 | 21.67% | 59.90% |

ภาคผนวก จ

ผลคำนวณการสกัดและนำกลับไอออนแลนทานัมด้วยวิธีการสร้างกราฟ

ตารางที่ จ-1.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยว (วิวัฒน์, 2546)

| Cycle | La Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 130.85 | 0.87 | 0.00% | 12.77% | 122.22 | 0.81 | 6.60% | 18.52% |
| 2 | 116.08 | 0.77 | 0.00% | 22.61% | 104.96 | 0.70 | 9.58% | 30.03% |
| 3 | 105.22 | 0.70 | 0.00% | 29.85% | 94.24 | 0.63 | 10.44% | 37.18% |
| 4 | 76.37 | 0.51 | 0.00% | 49.09% | 87.58 | 0.58 | 14.67% | 41.62% |
| 5 | 68.96 | 0.46 | 0.00% | 54.03% | 83.44 | 0.56 | 21.00% | 44.37% |
| 6 | 82.53 | 0.55 | 0.00% | 44.98% | 80.87 | 0.54 | 2.01% | 46.09% |
| 7 | 79.82 | 0.53 | 0.00% | 46.79% | 79.27 | 0.53 | 0.68% | 47.15% |
| 8 | 84.94 | 0.57 | 0.00% | 43.37% | 78.28 | 0.52 | 7.84% | 47.81% |
| 9 | 78.52 | 0.52 | 0.00% | 47.65% | 77.67 | 0.52 | 1.09% | 48.22% |
| 10 | 82.91 | 0.55 | 0.00% | 44.73% | 77.29 | 0.52 | 6.78% | 48.48% |
| 11 | 79.46 | 0.53 | 0.00% | 47.03% | 77.05 | 0.51 | 3.04% | 48.64% |
| 12 | 76.27 | 0.51 | 0.00% | 49.15% | 76.90 | 0.51 | 0.83% | 48.73% |
| 13 | 77.16 | 0.51 | 0.00% | 48.56% | 76.81 | 0.51 | 0.46% | 48.79% |
| 14 | 79.37 | 0.53 | 0.00% | 47.09% | 76.75 | 0.51 | 3.30% | 48.83% |
| 15 | 78.74 | 0.52 | 0.00% | 47.51% | 76.72 | 0.51 | 2.57% | 48.86% |
| 16 | 79.87 | 0.53 | 0.00% | 46.75% | 76.69 | 0.51 | 3.98% | 48.87% |

ตารางที่ จ-1.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยว โดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้น

สมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | La Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 122.04 | 0.81 | 6.73% | 18.64% | 119.77 | 0.80 | 8.47% | 20.15% |
| 2 | 104.71 | 0.70 | 9.80% | 30.19% | 101.52 | 0.68 | 12.54% | 32.32% |
| 3 | 93.96 | 0.63 | 10.70% | 37.36% | 90.77 | 0.61 | 13.74% | 39.49% |
| 4 | 87.30 | 0.58 | 14.31% | 41.80% | 84.48 | 0.56 | 10.62% | 43.68% |
| 5 | 83.17 | 0.55 | 20.61% | 44.55% | 80.82 | 0.54 | 17.20% | 46.12% |
| 6 | 80.61 | 0.54 | 2.33% | 46.26% | 78.70 | 0.52 | 4.65% | 47.54% |
| 7 | 79.02 | 0.53 | 1.00% | 47.32% | 77.46 | 0.52 | 2.96% | 48.36% |
| 8 | 78.03 | 0.52 | 8.13% | 47.98% | 76.74 | 0.51 | 9.65% | 48.84% |
| 9 | 77.42 | 0.52 | 1.40% | 48.39% | 76.32 | 0.51 | 2.80% | 49.12% |
| 10 | 77.04 | 0.51 | 7.08% | 48.64% | 76.08 | 0.51 | 8.24% | 49.28% |
| 11 | 76.81 | 0.51 | 3.34% | 48.80% | 75.94 | 0.51 | 4.43% | 49.37% |
| 12 | 76.66 | 0.51 | 0.51% | 48.89% | 75.86 | 0.51 | 0.54% | 49.43% |
| 13 | 76.57 | 0.51 | 0.76% | 48.95% | 75.81 | 0.51 | 1.75% | 49.46% |
| 14 | 76.51 | 0.51 | 3.60% | 48.99% | 75.78 | 0.51 | 4.52% | 49.48% |
| 15 | 76.48 | 0.51 | 2.87% | 49.01% | 75.76 | 0.51 | 3.78% | 49.49% |
| 16 | 76.46 | 0.51 | 4.27% | 49.03% | 75.75 | 0.51 | 5.15% | 49.50% |

ตารางที่ จ-1.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | La Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 120.89 | 0.81 | 7.61% | 19.41% | 118.26 | 0.79 | 9.63% | 21.16% |
| 2 | 103.46 | 0.69 | 10.87% | 31.02% | 99.23 | 0.66 | 14.52% | 33.85% |
| 3 | 92.99 | 0.62 | 11.62% | 38.00% | 88.61 | 0.59 | 15.78% | 40.92% |
| 4 | 86.69 | 0.58 | 13.51% | 42.21% | 82.78 | 0.55 | 8.39% | 44.81% |
| 5 | 82.88 | 0.55 | 20.19% | 44.75% | 79.58 | 0.53 | 15.40% | 46.95% |
| 6 | 80.58 | 0.54 | 2.36% | 46.28% | 77.82 | 0.52 | 5.71% | 48.12% |
| 7 | 79.19 | 0.53 | 0.78% | 47.20% | 76.85 | 0.51 | 3.72% | 48.77% |
| 8 | 78.36 | 0.52 | 7.75% | 47.76% | 76.31 | 0.51 | 10.15% | 49.12% |
| 9 | 77.85 | 0.52 | 0.85% | 48.10% | 76.02 | 0.51 | 3.18% | 49.32% |
| 10 | 77.54 | 0.52 | 6.47% | 48.31% | 75.86 | 0.51 | 8.51% | 49.43% |
| 11 | 77.36 | 0.52 | 2.65% | 48.43% | 75.77 | 0.51 | 4.65% | 49.49% |
| 12 | 77.24 | 0.51 | 1.28% | 48.50% | 75.72 | 0.50 | 0.72% | 49.52% |
| 13 | 77.18 | 0.51 | 0.02% | 48.55% | 75.69 | 0.50 | 1.91% | 49.54% |
| 14 | 77.14 | 0.51 | 2.81% | 48.58% | 75.67 | 0.50 | 4.66% | 49.55% |
| 15 | 77.11 | 0.51 | 2.07% | 48.59% | 75.67 | 0.50 | 3.90% | 49.56% |
| 16 | 77.10 | 0.51 | 3.47% | 48.60% | 75.66 | 0.50 | 5.27% | 49.56% |

ตารางที่ จ-1.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Log และ Exp

| Cycle | La Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 121.49 | 0.81 | 7.16% | 19.01% | 121.62 | 0.81 | 7.06% | 18.92% |
| 2 | 103.30 | 0.69 | 11.01% | 31.13% | 104.95 | 0.70 | 9.59% | 30.03% |
| 3 | 91.84 | 0.61 | 12.71% | 38.77% | 94.70 | 0.63 | 10.00% | 36.87% |
| 4 | 84.73 | 0.56 | 10.95% | 43.51% | 88.22 | 0.59 | 15.51% | 41.19% |
| 5 | 80.37 | 0.54 | 16.55% | 46.42% | 84.06 | 0.56 | 21.90% | 43.96% |
| 6 | 77.72 | 0.52 | 5.83% | 48.19% | 81.37 | 0.54 | 1.40% | 45.75% |
| 7 | 76.12 | 0.51 | 4.64% | 49.25% | 79.62 | 0.53 | 0.25% | 46.92% |
| 8 | 75.15 | 0.50 | 11.52% | 49.90% | 78.47 | 0.52 | 7.62% | 47.69% |
| 9 | 74.57 | 0.50 | 5.03% | 50.29% | 77.72 | 0.52 | 1.02% | 48.19% |
| 10 | 74.22 | 0.49 | 10.48% | 50.52% | 77.23 | 0.51 | 6.85% | 48.51% |
| 11 | 74.01 | 0.49 | 6.85% | 50.66% | 76.90 | 0.51 | 3.22% | 48.73% |
| 12 | 73.89 | 0.49 | 3.12% | 50.74% | 76.69 | 0.51 | 0.55% | 48.87% |
| 13 | 73.81 | 0.49 | 4.34% | 50.79% | 76.55 | 0.51 | 0.79% | 48.97% |
| 14 | 73.77 | 0.49 | 7.06% | 50.82% | 76.46 | 0.51 | 3.67% | 49.03% |
| 15 | 73.74 | 0.49 | 6.35% | 50.84% | 76.40 | 0.51 | 2.97% | 49.07% |
| 16 | 73.73 | 0.49 | 7.69% | 50.85% | 76.36 | 0.51 | 4.40% | 49.09% |

ตารางที่ จ-1.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | La Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 121.26 | 0.81 | 7.33% | 19.16% | 121.32 | 0.81 | 7.29% | 19.12% |
| 2 | 104.54 | 0.70 | 9.94% | 30.30% | 102.78 | 0.69 | 11.46% | 31.48% |
| 3 | 94.63 | 0.63 | 10.07% | 36.91% | 90.91 | 0.61 | 13.60% | 39.39% |
| 4 | 88.69 | 0.59 | 16.13% | 40.87% | 83.37 | 0.56 | 9.16% | 44.42% |
| 5 | 85.12 | 0.57 | 23.43% | 43.26% | 78.58 | 0.52 | 13.96% | 47.61% |
| 6 | 82.96 | 0.55 | 0.52% | 44.70% | 75.57 | 0.50 | 8.44% | 49.62% |
| 7 | 81.65 | 0.54 | 2.29% | 45.57% | 73.66 | 0.49 | 7.71% | 50.89% |
| 8 | 80.86 | 0.54 | 4.81% | 46.09% | 72.46 | 0.48 | 14.69% | 51.69% |
| 9 | 80.38 | 0.54 | 2.37% | 46.41% | 71.71 | 0.48 | 8.67% | 52.19% |
| 10 | 80.09 | 0.53 | 3.40% | 46.61% | 71.24 | 0.47 | 14.08% | 52.51% |
| 11 | 79.91 | 0.53 | 0.57% | 46.73% | 70.94 | 0.47 | 10.73% | 52.71% |
| 12 | 79.80 | 0.53 | 4.63% | 46.80% | 70.75 | 0.47 | 7.24% | 52.83% |
| 13 | 79.74 | 0.53 | 3.34% | 46.84% | 70.63 | 0.47 | 8.46% | 52.91% |
| 14 | 79.70 | 0.53 | 0.42% | 46.87% | 70.56 | 0.47 | 11.10% | 52.96% |
| 15 | 79.68 | 0.53 | 1.19% | 46.88% | 70.51 | 0.47 | 10.45% | 52.99% |
| 16 | 79.66 | 0.53 | 0.26% | 46.89% | 70.48 | 0.47 | 11.75% | 53.01% |

ตารางที่ จ-1.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | La Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 121.55 | 0.81 | 7.11% | 18.97% | 121.57 | 0.81 | 7.09% | 18.95% |
| 2 | 101.42 | 0.68 | 12.63% | 32.38% | 106.60 | 0.71 | 8.17% | 28.94% |
| 3 | 87.85 | 0.59 | 16.50% | 41.43% | 98.16 | 0.65 | 6.71% | 34.56% |
| 4 | 79.07 | 0.53 | 3.53% | 47.29% | 93.23 | 0.62 | 22.08% | 37.85% |
| 5 | 73.54 | 0.49 | 6.65% | 50.97% | 90.30 | 0.60 | 30.95% | 39.80% |
| 6 | 70.15 | 0.47 | 15.01% | 53.24% | 88.54 | 0.59 | 7.28% | 40.97% |
| 7 | 68.08 | 0.45 | 14.70% | 54.61% | 87.47 | 0.58 | 9.58% | 41.69% |
| 8 | 66.85 | 0.45 | 21.30% | 55.44% | 86.82 | 0.58 | 2.21% | 42.12% |
| 9 | 66.11 | 0.44 | 15.81% | 55.93% | 86.42 | 0.58 | 10.07% | 42.38% |
| 10 | 65.66 | 0.44 | 20.80% | 56.22% | 86.18 | 0.57 | 3.95% | 42.54% |
| 11 | 65.40 | 0.44 | 17.69% | 56.40% | 86.04 | 0.57 | 8.27% | 42.64% |
| 12 | 65.24 | 0.43 | 14.46% | 56.50% | 85.95 | 0.57 | 12.69% | 42.70% |
| 13 | 65.15 | 0.43 | 15.56% | 56.57% | 85.89 | 0.57 | 11.31% | 42.74% |
| 14 | 65.10 | 0.43 | 17.98% | 56.60% | 85.86 | 0.57 | 8.17% | 42.76% |
| 15 | 65.06 | 0.43 | 17.37% | 56.62% | 85.84 | 0.57 | 9.01% | 42.78% |
| 16 | 65.05 | 0.43 | 18.56% | 56.64% | 85.82 | 0.57 | 7.45% | 42.78% |

ตารางที่ จ-2.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | La Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|-------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 166.61 | 1.11 | 0.00% | 11.07% | 174.26 | 1.16 | 4.59% | 16.17% |
| 2 | 175.67 | 1.17 | 0.00% | 17.11% | 189.33 | 1.26 | 7.78% | 26.22% |
| 3 | 187.48 | 1.25 | 0.00% | 24.99% | 198.69 | 1.32 | 5.98% | 32.46% |
| 4 | 196.71 | 1.31 | 0.00% | 31.14% | 204.50 | 1.36 | 3.96% | 36.34% |
| 5 | 211.24 | 1.41 | 0.00% | 40.83% | 208.12 | 1.39 | 1.48% | 38.74% |
| 6 | 208.65 | 1.39 | 0.00% | 39.10% | 210.36 | 1.40 | 0.82% | 40.24% |
| 7 | 211.07 | 1.41 | 0.00% | 40.71% | 211.75 | 1.41 | 0.32% | 41.17% |
| 8 | 204.56 | 1.36 | 0.00% | 36.37% | 212.62 | 1.42 | 3.94% | 41.75% |
| 9 | 207.92 | 1.39 | 0.00% | 38.61% | 213.16 | 1.42 | 2.52% | 42.10% |
| 10 | 206.77 | 1.38 | 0.00% | 37.85% | 213.49 | 1.42 | 3.25% | 42.33% |
| 11 | 208.23 | 1.39 | 0.00% | 38.82% | 213.70 | 1.42 | 2.63% | 42.47% |
| 12 | 212.43 | 1.42 | 0.00% | 41.62% | 213.83 | 1.43 | 0.66% | 42.55% |
| 13 | 212.67 | 1.42 | 0.00% | 41.78% | 213.91 | 1.43 | 0.58% | 42.60% |
| 14 | 211.77 | 1.41 | 0.00% | 41.18% | 213.96 | 1.43 | 1.03% | 42.64% |
| 15 | 213.56 | 1.42 | 0.00% | 42.37% | 213.99 | 1.43 | 0.20% | 42.66% |
| 16 | 214.87 | 1.43 | 0.00% | 43.25% | 214.01 | 1.43 | 0.40% | 42.67% |

ตารางที่ จ-2.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ln ระบบนำกลับเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | La Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|--------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 174.41 | 1.16 | 4.68% | 16.28% | 175.55 | 1.17 | 5.37% | 17.03% |
| 2 | 189.54 | 1.26 | 7.90% | 26.36% | 190.93 | 1.27 | 8.69% | 27.29% |
| 3 | 198.92 | 1.33 | 6.10% | 32.61% | 199.98 | 1.33 | 6.67% | 33.32% |
| 4 | 204.73 | 1.36 | 4.08% | 36.49% | 205.27 | 1.37 | 4.35% | 36.85% |
| 5 | 208.34 | 1.39 | 1.37% | 38.89% | 208.35 | 1.39 | 1.37% | 38.90% |
| 6 | 210.57 | 1.40 | 0.92% | 40.38% | 210.15 | 1.40 | 0.72% | 40.10% |
| 7 | 211.96 | 1.41 | 0.42% | 41.31% | 211.19 | 1.41 | 0.06% | 40.79% |
| 8 | 212.82 | 1.42 | 4.04% | 41.88% | 211.79 | 1.41 | 3.54% | 41.20% |
| 9 | 213.35 | 1.42 | 2.61% | 42.23% | 212.15 | 1.41 | 2.03% | 41.43% |
| 10 | 213.68 | 1.42 | 3.34% | 42.45% | 212.35 | 1.42 | 2.70% | 41.57% |
| 11 | 213.89 | 1.43 | 2.72% | 42.59% | 212.47 | 1.42 | 2.04% | 41.65% |
| 12 | 214.01 | 1.43 | 0.75% | 42.68% | 212.54 | 1.42 | 0.05% | 41.69% |
| 13 | 214.09 | 1.43 | 0.67% | 42.73% | 212.58 | 1.42 | 0.04% | 41.72% |
| 14 | 214.14 | 1.43 | 1.12% | 42.76% | 212.60 | 1.42 | 0.39% | 41.73% |
| 15 | 214.17 | 1.43 | 0.29% | 42.78% | 212.61 | 1.42 | 0.44% | 41.74% |
| 16 | 214.19 | 1.43 | 0.32% | 42.79% | 212.62 | 1.42 | 1.05% | 41.75% |

ตารางที่ จ-2.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | La Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 174.48 | 1.16 | 4.72% | 16.32% | 177.73 | 1.18 | 6.68% | 18.49% |
| 2 | 189.22 | 1.26 | 7.71% | 26.14% | 193.93 | 1.29 | 10.39% | 29.29% |
| 3 | 198.11 | 1.32 | 5.67% | 32.07% | 202.86 | 1.35 | 8.21% | 35.24% |
| 4 | 203.47 | 1.36 | 3.44% | 35.65% | 207.75 | 1.39 | 5.61% | 38.50% |
| 5 | 206.71 | 1.38 | 2.14% | 37.81% | 210.43 | 1.40 | 0.39% | 40.28% |
| 6 | 208.67 | 1.39 | 0.01% | 39.11% | 211.90 | 1.41 | 1.56% | 41.26% |
| 7 | 209.86 | 1.40 | 0.58% | 39.90% | 212.70 | 1.42 | 0.77% | 41.80% |
| 8 | 210.57 | 1.40 | 2.94% | 40.38% | 213.15 | 1.42 | 4.20% | 42.10% |
| 9 | 211.00 | 1.41 | 1.48% | 40.67% | 213.40 | 1.42 | 2.63% | 42.26% |
| 10 | 211.27 | 1.41 | 2.17% | 40.84% | 213.53 | 1.42 | 3.27% | 42.35% |
| 11 | 211.42 | 1.41 | 1.53% | 40.95% | 213.61 | 1.42 | 2.58% | 42.40% |
| 12 | 211.52 | 1.41 | 0.43% | 41.01% | 213.65 | 1.42 | 0.57% | 42.43% |
| 13 | 211.58 | 1.41 | 0.51% | 41.05% | 213.67 | 1.42 | 0.47% | 42.45% |
| 14 | 211.61 | 1.41 | 0.07% | 41.07% | 213.68 | 1.42 | 0.90% | 42.46% |
| 15 | 211.63 | 1.41 | 0.90% | 41.09% | 213.69 | 1.42 | 0.06% | 42.46% |
| 16 | 211.65 | 1.41 | 1.50% | 41.10% | 213.69 | 1.42 | 0.55% | 42.46% |

ตารางที่ จ-2.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | La Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|-------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 173.31 | 1.16 | 4.02% | 15.54% | 175.79 | 1.17 | 5.51% | 17.19% |
| 2 | 188.48 | 1.26 | 7.29% | 25.65% | 190.79 | 1.27 | 8.61% | 27.19% |
| 3 | 198.14 | 1.32 | 5.68% | 32.09% | 199.97 | 1.33 | 6.66% | 33.31% |
| 4 | 204.17 | 1.36 | 3.79% | 36.11% | 205.75 | 1.37 | 4.60% | 37.17% |
| 5 | 207.88 | 1.39 | 1.59% | 38.59% | 209.45 | 1.40 | 0.85% | 39.63% |
| 6 | 210.14 | 1.40 | 0.72% | 40.10% | 211.84 | 1.41 | 1.53% | 41.23% |
| 7 | 211.51 | 1.41 | 0.21% | 41.01% | 213.39 | 1.42 | 1.10% | 42.26% |
| 8 | 212.34 | 1.42 | 3.80% | 41.56% | 214.41 | 1.43 | 4.82% | 42.94% |
| 9 | 212.83 | 1.42 | 2.36% | 41.89% | 215.08 | 1.43 | 3.44% | 43.38% |
| 10 | 213.13 | 1.42 | 3.08% | 42.09% | 215.51 | 1.44 | 4.23% | 43.68% |
| 11 | 213.31 | 1.42 | 2.44% | 42.21% | 215.80 | 1.44 | 3.64% | 43.87% |
| 12 | 213.42 | 1.42 | 0.47% | 42.28% | 215.99 | 1.44 | 1.68% | 43.99% |
| 13 | 213.48 | 1.42 | 0.38% | 42.32% | 216.11 | 1.44 | 1.62% | 44.08% |
| 14 | 213.52 | 1.42 | 0.83% | 42.35% | 216.19 | 1.44 | 2.09% | 44.13% |
| 15 | 213.54 | 1.42 | 0.01% | 42.36% | 216.25 | 1.44 | 1.26% | 44.17% |
| 16 | 213.56 | 1.42 | 0.61% | 42.37% | 216.28 | 1.44 | 0.66% | 44.19% |

ตารางที่ จ-2.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | La Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 173.50 | 1.16 | 4.14% | 15.67% | 176.06 | 1.17 | 5.67% | 17.37% |
| 2 | 187.44 | 1.25 | 6.70% | 24.96% | 192.74 | 1.28 | 9.72% | 28.49% |
| 3 | 195.78 | 1.31 | 4.43% | 30.52% | 203.35 | 1.36 | 8.46% | 35.56% |
| 4 | 200.81 | 1.34 | 2.08% | 33.87% | 210.07 | 1.40 | 6.79% | 40.04% |
| 5 | 203.84 | 1.36 | 3.50% | 35.90% | 214.31 | 1.43 | 1.45% | 42.87% |
| 6 | 205.68 | 1.37 | 1.42% | 37.12% | 216.99 | 1.45 | 4.00% | 44.66% |
| 7 | 206.79 | 1.38 | 2.03% | 37.86% | 218.67 | 1.46 | 3.60% | 45.78% |
| 8 | 207.47 | 1.38 | 1.42% | 38.31% | 219.73 | 1.46 | 7.42% | 46.49% |
| 9 | 207.88 | 1.39 | 0.02% | 38.58% | 220.40 | 1.47 | 6.00% | 46.93% |
| 10 | 208.12 | 1.39 | 0.66% | 38.75% | 220.82 | 1.47 | 6.79% | 47.21% |
| 11 | 208.28 | 1.39 | 0.02% | 38.85% | 221.08 | 1.47 | 6.17% | 47.39% |
| 12 | 208.37 | 1.39 | 1.91% | 38.91% | 221.25 | 1.47 | 4.15% | 47.50% |
| 13 | 208.42 | 1.39 | 2.00% | 38.95% | 221.35 | 1.48 | 4.08% | 47.57% |
| 14 | 208.46 | 1.39 | 1.57% | 38.97% | 221.42 | 1.48 | 4.55% | 47.61% |
| 15 | 208.48 | 1.39 | 2.38% | 38.98% | 221.46 | 1.48 | 3.70% | 47.64% |
| 16 | 208.49 | 1.39 | 2.97% | 38.99% | 221.48 | 1.48 | 3.08% | 47.65% |

ตารางที่ จ-2.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | La Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 175.85 | 1.17 | 5.54% | 17.23% | 173.25 | 1.15 | 3.98% | 15.50% |
| 2 | 193.95 | 1.29 | 10.41% | 29.30% | 185.72 | 1.24 | 5.72% | 23.81% |
| 3 | 206.07 | 1.37 | 9.92% | 37.38% | 192.81 | 1.29 | 2.84% | 28.54% |
| 4 | 213.88 | 1.43 | 8.73% | 42.59% | 196.96 | 1.31 | 0.13% | 31.31% |
| 5 | 218.78 | 1.46 | 3.57% | 45.85% | 199.44 | 1.33 | 5.58% | 32.96% |
| 6 | 221.78 | 1.48 | 6.29% | 47.85% | 200.94 | 1.34 | 3.70% | 33.96% |
| 7 | 223.60 | 1.49 | 5.94% | 49.07% | 201.85 | 1.35 | 4.37% | 34.56% |
| 8 | 224.69 | 1.50 | 9.84% | 49.79% | 202.40 | 1.35 | 1.06% | 34.93% |
| 9 | 225.34 | 1.50 | 8.38% | 50.23% | 202.73 | 1.35 | 2.49% | 35.16% |
| 10 | 225.73 | 1.50 | 9.17% | 50.49% | 202.94 | 1.35 | 1.85% | 35.29% |
| 11 | 225.97 | 1.51 | 8.52% | 50.64% | 203.06 | 1.35 | 2.48% | 35.38% |
| 12 | 226.10 | 1.51 | 6.44% | 50.74% | 203.14 | 1.35 | 4.37% | 35.43% |
| 13 | 226.18 | 1.51 | 6.35% | 50.79% | 203.19 | 1.35 | 4.46% | 35.46% |
| 14 | 226.23 | 1.51 | 6.83% | 50.82% | 203.21 | 1.35 | 4.04% | 35.48% |
| 15 | 226.26 | 1.51 | 5.95% | 50.84% | 203.23 | 1.35 | 4.84% | 35.49% |
| 16 | 226.28 | 1.51 | 5.31% | 50.85% | 203.24 | 1.35 | 5.41% | 35.50% |

ตารางที่ จ-3.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่ (วีรวัดน์, 2546)

| Cycle | La Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 131.65 | 0.88 | 0.00% | 12.23% | 122.22 | 0.81 | 7.17% | 18.52% |
| 2 | 106.89 | 0.71 | 0.00% | 28.74% | 102.45 | 0.68 | 4.15% | 31.70% |
| 3 | 104.32 | 0.70 | 0.00% | 30.45% | 87.89 | 0.59 | 15.75% | 41.41% |
| 4 | 86.71 | 0.58 | 0.00% | 42.19% | 76.90 | 0.51 | 11.32% | 48.74% |
| 5 | 60.26 | 0.40 | 0.00% | 59.83% | 68.45 | 0.46 | 13.60% | 54.36% |
| 6 | 72.45 | 0.48 | 0.00% | 51.70% | 61.90 | 0.41 | 14.56% | 58.73% |
| 7 | 55.38 | 0.37 | 0.00% | 63.08% | 56.77 | 0.38 | 2.51% | 62.15% |
| 8 | 64.94 | 0.43 | 0.00% | 56.71% | 52.74 | 0.35 | 18.78% | 64.84% |
| 9 | 72.52 | 0.48 | 0.00% | 51.65% | 49.57 | 0.33 | 31.64% | 66.95% |
| 10 | 55.23 | 0.37 | 0.00% | 63.18% | 47.07 | 0.31 | 14.78% | 68.62% |
| 11 | 62.79 | 0.42 | 0.00% | 58.14% | 45.09 | 0.30 | 28.19% | 69.94% |
| 12 | 61.27 | 0.41 | 0.00% | 59.15% | 43.53 | 0.29 | 28.96% | 70.98% |
| 13 | 67.16 | 0.45 | 0.00% | 55.23% | 42.29 | 0.28 | 37.03% | 71.81% |
| 14 | 48.37 | 0.32 | 0.00% | 67.75% | 41.31 | 0.28 | 14.59% | 72.46% |
| 15 | 68.74 | 0.46 | 0.00% | 54.17% | 40.54 | 0.27 | 41.03% | 72.98% |
| 16 | 62.87 | 0.42 | 0.00% | 58.09% | 39.92 | 0.27 | 36.50% | 73.38% |

ตารางที่ จ-3.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | La Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 122.04 | 0.81 | 7.30% | 18.64% | 123.33 | 0.82 | 6.32% | 17.78% |
| 2 | 102.19 | 0.68 | 4.40% | 31.87% | 100.74 | 0.67 | 5.76% | 32.84% |
| 3 | 87.58 | 0.58 | 16.04% | 41.61% | 84.56 | 0.56 | 18.95% | 43.63% |
| 4 | 83.17 | 0.55 | 4.08% | 44.55% | 72.71 | 0.48 | 16.15% | 51.53% |
| 5 | 80.44 | 0.54 | 33.48% | 46.38% | 63.85 | 0.43 | 5.95% | 57.44% |
| 6 | 78.74 | 0.52 | 8.68% | 47.51% | 57.11 | 0.38 | 21.17% | 61.92% |
| 7 | 77.69 | 0.52 | 40.28% | 48.21% | 51.94 | 0.35 | 6.21% | 65.37% |
| 8 | 77.04 | 0.51 | 18.63% | 48.64% | 47.93 | 0.32 | 26.20% | 68.05% |
| 9 | 76.63 | 0.51 | 5.67% | 48.91% | 44.80 | 0.30 | 38.22% | 70.13% |
| 10 | 76.38 | 0.51 | 38.29% | 49.08% | 42.36 | 0.28 | 23.31% | 71.76% |
| 11 | 76.22 | 0.51 | 21.40% | 49.18% | 40.44 | 0.27 | 35.60% | 73.04% |
| 12 | 76.13 | 0.51 | 24.25% | 49.25% | 38.93 | 0.26 | 36.46% | 74.05% |
| 13 | 76.07 | 0.51 | 13.26% | 49.29% | 37.74 | 0.25 | 43.80% | 74.84% |
| 14 | 76.03 | 0.51 | 57.19% | 49.31% | 36.81 | 0.25 | 23.91% | 75.46% |
| 15 | 76.01 | 0.51 | 10.57% | 49.33% | 36.07 | 0.24 | 47.53% | 75.95% |
| 16 | 75.99 | 0.51 | 20.87% | 49.34% | 35.49 | 0.24 | 43.55% | 76.34% |

ตารางที่ จ-3.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | La Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 120.89 | 0.81 | 8.18% | 19.41% | 118.26 | 0.79 | 10.17% | 21.16% |
| 2 | 100.17 | 0.67 | 6.29% | 33.22% | 96.58 | 0.64 | 9.64% | 35.61% |
| 3 | 84.87 | 0.57 | 18.64% | 43.42% | 81.93 | 0.55 | 21.46% | 45.38% |
| 4 | 81.33 | 0.54 | 6.20% | 45.78% | 71.69 | 0.48 | 17.33% | 52.21% |
| 5 | 79.19 | 0.53 | 31.42% | 47.20% | 64.26 | 0.43 | 6.65% | 57.16% |
| 6 | 77.90 | 0.52 | 7.53% | 48.06% | 58.74 | 0.39 | 18.92% | 60.84% |
| 7 | 77.12 | 0.51 | 39.26% | 48.58% | 54.54 | 0.36 | 1.52% | 63.64% |
| 8 | 76.65 | 0.51 | 18.04% | 48.90% | 51.27 | 0.34 | 21.04% | 65.82% |
| 9 | 76.37 | 0.51 | 5.31% | 49.09% | 48.70 | 0.32 | 32.85% | 67.53% |
| 10 | 76.20 | 0.51 | 37.97% | 49.20% | 46.64 | 0.31 | 15.56% | 68.91% |
| 11 | 76.09 | 0.51 | 21.19% | 49.27% | 44.95 | 0.30 | 28.40% | 70.03% |
| 12 | 76.03 | 0.51 | 24.09% | 49.31% | 43.57 | 0.29 | 28.89% | 70.96% |
| 13 | 75.99 | 0.51 | 13.15% | 49.34% | 42.41 | 0.28 | 36.85% | 71.73% |
| 14 | 75.97 | 0.51 | 57.06% | 49.35% | 41.43 | 0.28 | 14.35% | 72.38% |
| 15 | 75.96 | 0.51 | 10.50% | 49.36% | 40.60 | 0.27 | 40.94% | 72.94% |
| 16 | 75.95 | 0.51 | 20.80% | 49.37% | 39.88 | 0.27 | 36.57% | 73.41% |

ตารางที่ จ-3.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Log และ Exp

| Cycle | La Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 121.49 | 0.81 | 7.72% | 19.01% | 121.62 | 0.81 | 7.62% | 18.92% |
| 2 | 99.34 | 0.66 | 7.07% | 33.78% | 103.21 | 0.69 | 3.45% | 31.20% |
| 3 | 82.59 | 0.55 | 20.83% | 44.94% | 89.97 | 0.60 | 13.75% | 40.02% |
| 4 | 70.18 | 0.47 | 19.06% | 53.21% | 79.88 | 0.53 | 7.87% | 46.74% |
| 5 | 61.10 | 0.41 | 1.39% | 59.27% | 71.93 | 0.48 | 19.36% | 52.05% |
| 6 | 54.47 | 0.36 | 24.82% | 63.69% | 65.53 | 0.44 | 9.54% | 56.31% |
| 7 | 49.59 | 0.33 | 10.45% | 66.94% | 60.33 | 0.40 | 8.94% | 59.78% |
| 8 | 45.97 | 0.31 | 29.21% | 69.35% | 56.06 | 0.37 | 13.67% | 62.62% |
| 9 | 43.24 | 0.29 | 40.37% | 71.17% | 52.54 | 0.35 | 27.54% | 64.97% |
| 10 | 41.16 | 0.27 | 25.47% | 72.56% | 49.63 | 0.33 | 10.14% | 66.91% |
| 11 | 39.56 | 0.26 | 37.00% | 73.63% | 47.21 | 0.31 | 24.81% | 68.52% |
| 12 | 38.31 | 0.26 | 37.47% | 74.46% | 45.20 | 0.30 | 26.23% | 69.87% |
| 13 | 37.34 | 0.25 | 44.41% | 75.11% | 43.52 | 0.29 | 35.20% | 70.99% |
| 14 | 36.57 | 0.24 | 24.40% | 75.62% | 42.12 | 0.28 | 12.92% | 71.92% |
| 15 | 35.96 | 0.24 | 47.68% | 76.02% | 40.95 | 0.27 | 40.43% | 72.70% |
| 16 | 35.48 | 0.24 | 43.56% | 76.34% | 39.97 | 0.27 | 36.42% | 73.35% |

ตารางที่ จ-3.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | La Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 121.26 | 0.81 | 7.89% | 19.16% | 121.32 | 0.81 | 7.85% | 19.12% |
| 2 | 100.82 | 0.67 | 5.68% | 32.79% | 100.91 | 0.67 | 5.59% | 32.73% |
| 3 | 85.64 | 0.57 | 17.91% | 42.91% | 86.01 | 0.57 | 17.56% | 42.66% |
| 4 | 74.00 | 0.49 | 14.65% | 50.66% | 74.91 | 0.50 | 13.61% | 50.06% |
| 5 | 64.88 | 0.43 | 7.67% | 56.75% | 66.56 | 0.44 | 10.45% | 55.63% |
| 6 | 57.61 | 0.38 | 20.49% | 61.59% | 60.22 | 0.40 | 16.88% | 59.85% |
| 7 | 51.74 | 0.34 | 6.57% | 65.51% | 55.40 | 0.37 | 0.04% | 63.07% |
| 8 | 46.97 | 0.31 | 27.68% | 68.69% | 51.73 | 0.34 | 20.34% | 65.51% |
| 9 | 43.06 | 0.29 | 40.62% | 71.29% | 48.93 | 0.33 | 32.53% | 67.38% |
| 10 | 39.85 | 0.27 | 27.84% | 73.43% | 46.79 | 0.31 | 15.28% | 68.80% |
| 11 | 37.21 | 0.25 | 40.74% | 75.20% | 45.17 | 0.30 | 28.07% | 69.89% |
| 12 | 35.02 | 0.23 | 42.84% | 76.65% | 43.93 | 0.29 | 28.30% | 70.71% |
| 13 | 33.21 | 0.22 | 50.54% | 77.86% | 42.99 | 0.29 | 35.99% | 71.34% |
| 14 | 31.72 | 0.21 | 34.43% | 78.86% | 42.27 | 0.28 | 12.61% | 71.82% |
| 15 | 30.47 | 0.20 | 55.67% | 79.68% | 41.72 | 0.28 | 39.30% | 72.18% |
| 16 | 29.44 | 0.20 | 53.17% | 80.37% | 41.31 | 0.28 | 34.29% | 72.46% |

ตารางที่ จ-3.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | La Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 121.55 | 0.81 | 7.67% | 18.97% | 121.57 | 0.81 | 7.66% | 18.95% |
| 2 | 99.44 | 0.66 | 6.97% | 33.71% | 103.12 | 0.69 | 3.53% | 31.25% |
| 3 | 82.77 | 0.55 | 20.66% | 44.82% | 89.42 | 0.60 | 14.29% | 40.39% |
| 4 | 70.56 | 0.47 | 18.62% | 52.96% | 78.48 | 0.52 | 9.49% | 47.68% |
| 5 | 61.87 | 0.41 | 2.67% | 58.75% | 69.41 | 0.46 | 15.19% | 53.73% |
| 6 | 55.81 | 0.37 | 22.97% | 62.80% | 61.74 | 0.41 | 14.79% | 58.84% |
| 7 | 51.63 | 0.34 | 6.76% | 65.58% | 55.16 | 0.37 | 0.39% | 63.23% |
| 8 | 48.78 | 0.33 | 24.88% | 67.48% | 49.48 | 0.33 | 23.81% | 67.01% |
| 9 | 46.84 | 0.31 | 35.41% | 68.77% | 44.54 | 0.30 | 38.58% | 70.31% |
| 10 | 45.52 | 0.30 | 17.59% | 69.66% | 40.22 | 0.27 | 27.17% | 73.18% |
| 11 | 44.61 | 0.30 | 28.96% | 70.26% | 36.44 | 0.24 | 41.96% | 75.71% |
| 12 | 43.98 | 0.29 | 28.21% | 70.68% | 33.12 | 0.22 | 45.95% | 77.92% |
| 13 | 43.55 | 0.29 | 35.15% | 70.96% | 30.18 | 0.20 | 55.06% | 79.88% |
| 14 | 43.25 | 0.29 | 10.58% | 71.16% | 27.59 | 0.18 | 42.96% | 81.61% |
| 15 | 43.05 | 0.29 | 37.38% | 71.30% | 25.29 | 0.17 | 63.21% | 83.14% |
| 16 | 42.90 | 0.29 | 31.76% | 71.40% | 23.25 | 0.16 | 63.02% | 84.50% |

ตารางที่ จ-4.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดคู่ (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | La Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 167.52 | 1.12 | 0.00% | 11.68% | 174.26 | 1.16 | 4.02% | 16.17% |
| 2 | 178.12 | 1.19 | 0.00% | 18.75% | 196.33 | 1.31 | 10.22% | 30.89% |
| 3 | 189.57 | 1.26 | 0.00% | 26.38% | 215.20 | 1.43 | 13.52% | 43.46% |
| 4 | 200.28 | 1.34 | 0.00% | 33.52% | 230.81 | 1.54 | 15.24% | 53.87% |
| 5 | 219.34 | 1.46 | 0.00% | 46.23% | 243.50 | 1.62 | 11.01% | 62.33% |
| 6 | 215.85 | 1.44 | 0.00% | 43.90% | 253.70 | 1.69 | 17.54% | 69.13% |
| 7 | 214.52 | 1.43 | 0.00% | 43.01% | 261.86 | 1.75 | 22.07% | 74.57% |
| 8 | 217.17 | 1.45 | 0.00% | 44.78% | 268.35 | 1.79 | 23.57% | 78.90% |
| 9 | 214.32 | 1.43 | 0.00% | 42.88% | 273.50 | 1.82 | 27.61% | 82.34% |
| 10 | 216.08 | 1.44 | 0.00% | 44.05% | 277.59 | 1.85 | 28.47% | 85.06% |
| 11 | 218.26 | 1.46 | 0.00% | 45.51% | 280.83 | 1.87 | 28.67% | 87.22% |
| 12 | 220.13 | 1.47 | 0.00% | 46.75% | 283.40 | 1.89 | 28.74% | 88.93% |
| 13 | 211.76 | 1.41 | 0.00% | 41.17% | 285.43 | 1.90 | 34.79% | 90.29% |
| 14 | 222.34 | 1.48 | 0.00% | 48.23% | 287.04 | 1.91 | 29.10% | 91.36% |
| 15 | 218.2 | 1.45 | 0.00% | 45.47% | 288.32 | 1.92 | 32.13% | 92.21% |
| 16 | 220.74 | 1.47 | 0.00% | 47.16% | 289.32 | 1.93 | 31.07% | 92.88% |

ตารางที่ จ-4.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Ln ระบบนำกลับคู่โดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | La Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 174.41 | 1.16 | 4.11% | 16.28% | 176.67 | 1.18 | 5.46% | 17.78% |
| 2 | 196.62 | 1.31 | 10.39% | 31.08% | 199.13 | 1.33 | 11.79% | 32.75% |
| 3 | 202.83 | 1.35 | 6.99% | 35.22% | 218.21 | 1.45 | 15.11% | 45.47% |
| 4 | 206.68 | 1.38 | 3.19% | 37.78% | 233.87 | 1.56 | 16.77% | 55.92% |
| 5 | 209.06 | 1.39 | 4.69% | 39.38% | 246.48 | 1.64 | 12.37% | 64.32% |
| 6 | 210.54 | 1.40 | 2.46% | 40.36% | 256.51 | 1.71 | 18.84% | 71.01% |
| 7 | 211.46 | 1.41 | 1.43% | 40.97% | 264.45 | 1.76 | 23.27% | 76.30% |
| 8 | 212.03 | 1.41 | 2.37% | 41.35% | 270.70 | 1.80 | 24.65% | 80.47% |
| 9 | 212.38 | 1.42 | 0.90% | 41.59% | 275.63 | 1.84 | 28.60% | 83.75% |
| 10 | 212.60 | 1.42 | 1.61% | 41.74% | 279.50 | 1.86 | 29.35% | 86.33% |
| 11 | 212.74 | 1.42 | 2.53% | 41.83% | 282.55 | 1.88 | 29.45% | 88.37% |
| 12 | 212.82 | 1.42 | 3.32% | 41.88% | 284.95 | 1.90 | 29.45% | 89.97% |
| 13 | 212.88 | 1.42 | 0.53% | 41.92% | 286.84 | 1.91 | 35.45% | 91.23% |
| 14 | 212.91 | 1.42 | 4.24% | 41.94% | 288.33 | 1.92 | 29.68% | 92.22% |
| 15 | 212.93 | 1.42 | 2.42% | 41.95% | 289.50 | 1.93 | 32.68% | 93.00% |
| 16 | 212.94 | 1.42 | 3.53% | 41.96% | 290.43 | 1.94 | 31.57% | 93.62% |

ตารางที่ จ-4.3 ชุดข้อมูลที่ได้อาจการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | La Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 174.48 | 1.16 | 4.15% | 16.32% | 177.73 | 1.18 | 6.10% | 18.49% |
| 2 | 196.33 | 1.31 | 10.23% | 30.89% | 202.17 | 1.35 | 13.50% | 34.78% |
| 3 | 201.33 | 1.34 | 6.20% | 34.22% | 222.11 | 1.48 | 17.17% | 48.08% |
| 4 | 204.35 | 1.36 | 2.03% | 36.23% | 237.62 | 1.58 | 18.64% | 58.41% |
| 5 | 206.17 | 1.37 | 6.00% | 37.45% | 249.32 | 1.66 | 13.67% | 66.21% |
| 6 | 207.27 | 1.38 | 3.98% | 38.18% | 258.03 | 1.72 | 19.54% | 72.02% |
| 7 | 207.93 | 1.39 | 3.07% | 38.62% | 264.49 | 1.76 | 23.29% | 76.33% |
| 8 | 208.33 | 1.39 | 4.07% | 38.89% | 269.29 | 1.80 | 24.00% | 79.53% |
| 9 | 208.58 | 1.39 | 2.68% | 39.05% | 272.90 | 1.82 | 27.33% | 81.93% |
| 10 | 208.72 | 1.39 | 3.41% | 39.15% | 275.63 | 1.84 | 27.56% | 83.75% |
| 11 | 208.81 | 1.39 | 4.33% | 39.21% | 277.74 | 1.85 | 27.25% | 85.16% |
| 12 | 208.86 | 1.39 | 5.12% | 39.24% | 279.38 | 1.86 | 26.92% | 86.25% |
| 13 | 208.90 | 1.39 | 1.35% | 39.26% | 280.69 | 1.87 | 32.55% | 87.13% |
| 14 | 208.92 | 1.39 | 6.04% | 39.28% | 281.74 | 1.88 | 26.72% | 87.83% |
| 15 | 208.93 | 1.39 | 4.25% | 39.29% | 282.60 | 1.88 | 29.52% | 88.40% |
| 16 | 208.93 | 1.39 | 5.35% | 39.29% | 283.32 | 1.89 | 28.35% | 88.88% |

ตารางที่ จ-4.4 ชุดข้อมูลที่ได้อาจการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Log และ Exp

| Cycle | La Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 173.31 | 1.16 | 3.46% | 15.54% | 175.79 | 1.17 | 4.93% | 17.19% |
| 2 | 193.69 | 1.29 | 8.74% | 29.12% | 199.84 | 1.33 | 12.19% | 33.23% |
| 3 | 211.36 | 1.41 | 11.49% | 40.91% | 219.56 | 1.46 | 15.82% | 46.38% |
| 4 | 226.51 | 1.51 | 13.10% | 51.01% | 235.07 | 1.57 | 17.37% | 56.71% |
| 5 | 239.35 | 1.60 | 9.12% | 59.56% | 247.11 | 1.65 | 12.66% | 64.74% |
| 6 | 250.08 | 1.67 | 15.86% | 66.72% | 256.46 | 1.71 | 18.81% | 70.97% |
| 7 | 258.97 | 1.73 | 20.72% | 72.64% | 263.75 | 1.76 | 22.95% | 75.84% |
| 8 | 266.26 | 1.78 | 22.60% | 77.50% | 269.49 | 1.80 | 24.09% | 79.66% |
| 9 | 272.20 | 1.81 | 27.01% | 81.47% | 274.03 | 1.83 | 27.86% | 82.68% |
| 10 | 277.02 | 1.85 | 28.20% | 84.68% | 277.65 | 1.85 | 28.50% | 85.10% |
| 11 | 280.91 | 1.87 | 28.70% | 87.27% | 280.57 | 1.87 | 28.55% | 87.05% |
| 12 | 284.04 | 1.89 | 29.03% | 89.36% | 282.94 | 1.89 | 28.53% | 88.62% |
| 13 | 286.57 | 1.91 | 35.33% | 91.04% | 284.86 | 1.90 | 34.52% | 89.91% |
| 14 | 288.59 | 1.92 | 29.80% | 92.39% | 286.44 | 1.91 | 28.83% | 90.96% |
| 15 | 290.22 | 1.93 | 33.01% | 93.48% | 287.74 | 1.92 | 31.87% | 91.83% |
| 16 | 291.52 | 1.94 | 32.07% | 94.35% | 288.81 | 1.93 | 30.84% | 92.54% |

ตารางที่ จ-4.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | La Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 173.50 | 1.16 | 3.57% | 15.67% | 176.06 | 1.17 | 5.10% | 17.37% |
| 2 | 194.41 | 1.30 | 9.15% | 29.61% | 200.14 | 1.33 | 12.36% | 33.43% |
| 3 | 212.29 | 1.42 | 11.98% | 41.52% | 220.74 | 1.47 | 16.44% | 47.16% |
| 4 | 227.26 | 1.52 | 13.47% | 51.51% | 237.59 | 1.58 | 18.63% | 58.39% |
| 5 | 239.70 | 1.60 | 9.28% | 59.80% | 251.00 | 1.67 | 14.43% | 67.33% |
| 6 | 249.99 | 1.67 | 15.82% | 66.66% | 261.49 | 1.74 | 21.14% | 74.32% |
| 7 | 258.49 | 1.72 | 20.50% | 72.32% | 269.59 | 1.80 | 25.67% | 79.73% |
| 8 | 265.50 | 1.77 | 22.26% | 77.00% | 275.80 | 1.84 | 27.00% | 83.87% |
| 9 | 271.30 | 1.81 | 26.59% | 80.87% | 280.55 | 1.87 | 30.90% | 87.03% |
| 10 | 276.10 | 1.84 | 27.78% | 84.07% | 284.16 | 1.89 | 31.51% | 89.44% |
| 11 | 280.07 | 1.87 | 28.32% | 86.71% | 286.90 | 1.91 | 31.45% | 91.27% |
| 12 | 283.36 | 1.89 | 28.72% | 88.91% | 288.98 | 1.93 | 31.28% | 92.65% |
| 13 | 286.09 | 1.91 | 35.10% | 90.73% | 290.55 | 1.94 | 37.21% | 93.70% |
| 14 | 288.35 | 1.92 | 29.69% | 92.24% | 291.75 | 1.94 | 31.22% | 94.50% |
| 15 | 290.24 | 1.93 | 33.01% | 93.49% | 292.65 | 1.95 | 34.12% | 95.10% |
| 16 | 291.80 | 1.95 | 32.19% | 94.53% | 293.34 | 1.96 | 32.89% | 95.56% |

ตารางที่ จ-4.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Ln ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | La Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 175.85 | 1.17 | 4.97% | 17.23% | 173.25 | 1.15 | 3.42% | 15.50% |
| 2 | 199.55 | 1.33 | 12.03% | 33.03% | 194.34 | 1.30 | 9.11% | 29.56% |
| 3 | 220.39 | 1.47 | 16.26% | 46.93% | 211.82 | 1.41 | 11.74% | 41.22% |
| 4 | 238.07 | 1.59 | 18.87% | 58.71% | 226.05 | 1.51 | 12.87% | 50.70% |
| 5 | 252.59 | 1.68 | 15.16% | 68.39% | 237.68 | 1.58 | 8.36% | 58.45% |
| 6 | 264.17 | 1.76 | 22.38% | 76.11% | 247.27 | 1.65 | 14.56% | 64.85% |
| 7 | 273.16 | 1.82 | 27.34% | 82.11% | 255.27 | 1.70 | 19.00% | 70.18% |
| 8 | 280.00 | 1.87 | 28.93% | 86.67% | 262.02 | 1.75 | 20.65% | 74.68% |
| 9 | 285.10 | 1.90 | 33.02% | 90.06% | 267.76 | 1.79 | 24.93% | 78.50% |
| 10 | 288.84 | 1.93 | 33.67% | 92.56% | 272.68 | 1.82 | 26.19% | 81.78% |
| 11 | 291.56 | 1.94 | 33.58% | 94.37% | 276.92 | 1.85 | 26.88% | 84.61% |
| 12 | 293.52 | 1.96 | 33.34% | 95.68% | 280.61 | 1.87 | 27.47% | 87.07% |
| 13 | 294.92 | 1.97 | 39.27% | 96.61% | 283.82 | 1.89 | 34.03% | 89.21% |
| 14 | 295.91 | 1.97 | 33.09% | 97.27% | 286.63 | 1.91 | 28.92% | 91.09% |
| 15 | 296.62 | 1.98 | 35.94% | 97.74% | 289.11 | 1.93 | 32.50% | 92.74% |
| 16 | 297.11 | 1.98 | 34.60% | 98.08% | 291.29 | 1.94 | 31.96% | 94.19% |

ภาคผนวก ฉ

ผลคำนวณการสกัดและนำกลับไอออนนีโอดีเมียมด้วยวิธีการสร้างกราฟ

ตารางที่ ฉ-1.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Nd ระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัดน์, 2546)

| Cycle | Nd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 86.85 | 0.87 | 0.00% | 13.15% | 83.72 | 0.84 | 3.61% | 16.28% |
| 2 | 78.08 | 0.78 | 0.00% | 21.92% | 72.93 | 0.73 | 6.59% | 27.07% |
| 3 | 63.22 | 0.63 | 0.00% | 36.78% | 65.79 | 0.66 | 4.07% | 34.21% |
| 4 | 66.37 | 0.66 | 0.00% | 33.63% | 61.06 | 0.61 | 8.00% | 38.94% |
| 5 | 62.96 | 0.63 | 0.00% | 37.04% | 57.93 | 0.58 | 7.99% | 42.07% |
| 6 | 51.53 | 0.52 | 0.00% | 48.47% | 55.85 | 0.56 | 8.39% | 44.15% |
| 7 | 56.82 | 0.57 | 0.00% | 43.18% | 54.48 | 0.54 | 4.12% | 45.52% |
| 8 | 57.94 | 0.58 | 0.00% | 42.06% | 53.57 | 0.54 | 7.54% | 46.43% |
| 9 | 52.52 | 0.53 | 0.00% | 47.48% | 52.97 | 0.53 | 0.85% | 47.03% |
| 10 | 62.91 | 0.63 | 0.00% | 37.09% | 52.57 | 0.53 | 16.44% | 47.43% |
| 11 | 51.46 | 0.51 | 0.00% | 48.54% | 52.30 | 0.52 | 1.64% | 47.70% |
| 12 | 52.27 | 0.52 | 0.00% | 47.73% | 52.13 | 0.52 | 0.27% | 47.87% |
| 13 | 45.16 | 0.45 | 0.00% | 54.84% | 52.01 | 0.52 | 15.17% | 47.99% |
| 14 | 54.37 | 0.54 | 0.00% | 45.63% | 51.94 | 0.52 | 4.48% | 48.06% |
| 15 | 52.74 | 0.53 | 0.00% | 47.26% | 51.89 | 0.52 | 1.62% | 48.11% |
| 16 | 57.32 | 0.57 | 0.00% | 42.68% | 51.85 | 0.52 | 9.54% | 48.15% |

ตารางที่ ฉ-1.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Nd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 83.88 | 0.84 | 3.42% | 16.12% | 84.39 | 0.84 | 2.84% | 15.61% |
| 2 | 73.20 | 0.73 | 6.26% | 26.80% | 73.88 | 0.74 | 5.39% | 26.12% |
| 3 | 66.10 | 0.66 | 4.55% | 33.90% | 66.77 | 0.67 | 5.62% | 33.23% |
| 4 | 61.37 | 0.61 | 7.54% | 38.63% | 61.97 | 0.62 | 6.63% | 38.03% |
| 5 | 58.22 | 0.58 | 7.53% | 41.78% | 58.72 | 0.59 | 6.74% | 41.28% |
| 6 | 56.11 | 0.56 | 8.89% | 43.89% | 56.51 | 0.57 | 9.67% | 43.49% |
| 7 | 54.71 | 0.55 | 3.72% | 45.29% | 55.02 | 0.55 | 3.17% | 44.98% |
| 8 | 53.77 | 0.54 | 7.20% | 46.23% | 54.01 | 0.54 | 6.79% | 45.99% |
| 9 | 53.14 | 0.53 | 1.19% | 46.86% | 53.32 | 0.53 | 1.52% | 46.68% |
| 10 | 52.73 | 0.53 | 16.19% | 47.27% | 52.86 | 0.53 | 15.98% | 47.14% |
| 11 | 52.45 | 0.52 | 1.92% | 47.55% | 52.54 | 0.53 | 2.10% | 47.46% |
| 12 | 52.26 | 0.52 | 0.02% | 47.74% | 52.33 | 0.52 | 0.11% | 47.67% |
| 13 | 52.13 | 0.52 | 15.44% | 47.87% | 52.18 | 0.52 | 15.55% | 47.82% |
| 14 | 52.05 | 0.52 | 4.27% | 47.95% | 52.08 | 0.52 | 4.20% | 47.92% |
| 15 | 51.99 | 0.52 | 1.41% | 48.01% | 52.02 | 0.52 | 1.37% | 47.98% |
| 16 | 51.96 | 0.52 | 9.36% | 48.04% | 51.97 | 0.52 | 9.33% | 48.03% |

ตารางที่ ฉ-1.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Nd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 83.81 | 0.84 | 3.50% | 16.19% | 83.99 | 0.84 | 3.30% | 16.01% |
| 2 | 73.10 | 0.73 | 6.38% | 26.90% | 73.40 | 0.73 | 5.99% | 26.60% |
| 3 | 65.98 | 0.66 | 4.36% | 34.02% | 66.38 | 0.66 | 4.99% | 33.62% |
| 4 | 61.23 | 0.61 | 7.74% | 38.77% | 61.71 | 0.62 | 7.02% | 38.29% |
| 5 | 58.07 | 0.58 | 7.77% | 41.93% | 58.61 | 0.59 | 6.91% | 41.39% |
| 6 | 55.96 | 0.56 | 8.59% | 44.04% | 56.55 | 0.57 | 9.75% | 43.45% |
| 7 | 54.54 | 0.55 | 4.01% | 45.46% | 55.18 | 0.55 | 2.88% | 44.82% |
| 8 | 53.60 | 0.54 | 7.49% | 46.40% | 54.28 | 0.54 | 6.32% | 45.72% |
| 9 | 52.97 | 0.53 | 0.86% | 47.03% | 53.67 | 0.54 | 2.20% | 46.33% |
| 10 | 52.55 | 0.53 | 16.47% | 47.45% | 53.27 | 0.53 | 15.32% | 46.73% |
| 11 | 52.26 | 0.52 | 1.56% | 47.74% | 53.01 | 0.53 | 3.01% | 46.99% |
| 12 | 52.08 | 0.52 | 0.37% | 47.92% | 52.83 | 0.53 | 1.08% | 47.17% |
| 13 | 51.95 | 0.52 | 15.03% | 48.05% | 52.72 | 0.53 | 16.73% | 47.28% |
| 14 | 51.86 | 0.52 | 4.61% | 48.14% | 52.64 | 0.53 | 3.18% | 47.36% |
| 15 | 51.81 | 0.52 | 1.77% | 48.19% | 52.59 | 0.53 | 0.29% | 47.41% |
| 16 | 51.77 | 0.52 | 9.68% | 48.23% | 52.55 | 0.53 | 8.31% | 47.45% |

ตารางที่ ฉ-1.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | Nd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 79.31 | 0.79 | 8.68% | 20.69% | 87.86 | 0.88 | 1.16% | 12.14% |
| 2 | 66.79 | 0.67 | 14.45% | 33.21% | 79.12 | 0.79 | 1.33% | 20.88% |
| 3 | 59.35 | 0.59 | 6.12% | 40.65% | 72.69 | 0.73 | 14.99% | 27.31% |
| 4 | 54.99 | 0.55 | 17.14% | 45.01% | 67.90 | 0.68 | 2.31% | 32.10% |
| 5 | 52.47 | 0.52 | 16.65% | 47.53% | 64.29 | 0.64 | 2.11% | 35.71% |
| 6 | 51.03 | 0.51 | 0.97% | 48.97% | 61.54 | 0.62 | 19.43% | 38.46% |
| 7 | 50.21 | 0.50 | 11.64% | 49.79% | 59.44 | 0.59 | 4.62% | 40.56% |
| 8 | 49.74 | 0.50 | 14.15% | 50.26% | 57.84 | 0.58 | 0.18% | 42.16% |
| 9 | 49.48 | 0.49 | 5.80% | 50.52% | 56.60 | 0.57 | 7.77% | 43.40% |
| 10 | 49.33 | 0.49 | 21.59% | 50.67% | 55.64 | 0.56 | 11.55% | 44.36% |
| 11 | 49.24 | 0.49 | 4.31% | 50.76% | 54.91 | 0.55 | 6.70% | 45.09% |
| 12 | 49.19 | 0.49 | 5.89% | 50.81% | 54.34 | 0.54 | 3.96% | 45.66% |
| 13 | 49.17 | 0.49 | 8.87% | 50.83% | 53.90 | 0.54 | 19.35% | 46.10% |
| 14 | 49.15 | 0.49 | 9.60% | 50.85% | 53.56 | 0.54 | 1.50% | 46.44% |
| 15 | 49.14 | 0.49 | 6.82% | 50.86% | 53.29 | 0.53 | 1.04% | 46.71% |
| 16 | 49.14 | 0.49 | 14.28% | 50.86% | 53.08 | 0.53 | 7.39% | 46.92% |

ตารางที่ ฉ-1.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Nd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 83.13 | 0.83 | 4.29% | 16.87% | 82.77 | 0.83 | 4.69% | 17.23% |
| 2 | 73.04 | 0.73 | 6.46% | 26.96% | 70.67 | 0.71 | 9.49% | 29.33% |
| 3 | 66.89 | 0.67 | 5.80% | 33.11% | 62.21 | 0.62 | 1.60% | 37.79% |
| 4 | 63.11 | 0.63 | 4.92% | 36.89% | 56.30 | 0.56 | 15.17% | 43.70% |
| 5 | 60.76 | 0.61 | 3.49% | 39.24% | 52.20 | 0.52 | 17.10% | 47.80% |
| 6 | 59.31 | 0.59 | 15.10% | 40.69% | 49.34 | 0.49 | 4.25% | 50.66% |
| 7 | 58.41 | 0.58 | 2.79% | 41.59% | 47.36 | 0.47 | 16.65% | 52.64% |
| 8 | 57.84 | 0.58 | 0.16% | 42.16% | 45.99 | 0.46 | 20.63% | 54.01% |
| 9 | 57.49 | 0.57 | 9.47% | 42.51% | 45.04 | 0.45 | 14.25% | 54.96% |
| 10 | 57.27 | 0.57 | 8.96% | 42.73% | 44.38 | 0.44 | 29.46% | 55.62% |
| 11 | 57.14 | 0.57 | 11.03% | 42.86% | 43.92 | 0.44 | 14.65% | 56.08% |
| 12 | 57.05 | 0.57 | 9.15% | 42.95% | 43.60 | 0.44 | 16.58% | 56.40% |
| 13 | 57.00 | 0.57 | 26.22% | 43.00% | 43.38 | 0.43 | 3.93% | 56.62% |
| 14 | 56.97 | 0.57 | 4.78% | 43.03% | 43.23 | 0.43 | 20.48% | 56.77% |
| 15 | 56.95 | 0.57 | 7.98% | 43.05% | 43.13 | 0.43 | 18.23% | 56.87% |
| 16 | 56.93 | 0.57 | 0.67% | 43.07% | 43.05 | 0.43 | 24.89% | 56.95% |

ตารางที่ ฉ-1.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Nd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 78.95 | 0.79 | 9.10% | 21.05% | 88.21 | 0.88 | 1.57% | 11.79% |
| 2 | 64.12 | 0.64 | 17.88% | 35.88% | 81.05 | 0.81 | 3.80% | 18.95% |
| 3 | 54.25 | 0.54 | 14.19% | 45.75% | 76.55 | 0.77 | 21.09% | 23.45% |
| 4 | 47.99 | 0.48 | 27.69% | 52.01% | 73.68 | 0.74 | 11.01% | 26.32% |
| 5 | 44.17 | 0.44 | 29.85% | 55.83% | 71.81 | 0.72 | 14.06% | 28.19% |
| 6 | 41.89 | 0.42 | 18.71% | 58.11% | 70.59 | 0.71 | 37.00% | 29.41% |
| 7 | 40.55 | 0.41 | 28.63% | 59.45% | 69.80 | 0.70 | 22.84% | 30.20% |
| 8 | 39.78 | 0.40 | 31.35% | 60.22% | 69.27 | 0.69 | 19.56% | 30.73% |
| 9 | 39.33 | 0.39 | 25.11% | 60.67% | 68.92 | 0.69 | 31.24% | 31.08% |
| 10 | 39.07 | 0.39 | 37.89% | 60.93% | 68.70 | 0.69 | 9.20% | 31.30% |
| 11 | 38.93 | 0.39 | 24.35% | 61.07% | 68.55 | 0.69 | 33.20% | 31.45% |
| 12 | 38.84 | 0.39 | 25.69% | 61.16% | 68.45 | 0.68 | 30.95% | 31.55% |
| 13 | 38.79 | 0.39 | 14.10% | 61.21% | 68.38 | 0.68 | 51.42% | 31.62% |
| 14 | 38.77 | 0.39 | 28.70% | 61.23% | 68.34 | 0.68 | 25.69% | 31.66% |
| 15 | 38.75 | 0.39 | 26.52% | 61.25% | 68.31 | 0.68 | 29.52% | 31.69% |
| 16 | 38.74 | 0.39 | 32.41% | 61.26% | 68.29 | 0.68 | 19.13% | 31.71% |

ตารางที่ ฉ-2.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Nd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 107.23 | 1.07 | 0.00% | 7.23% | 114.48 | 1.14 | 6.76% | 14.48% |
| 2 | 117.37 | 1.17 | 0.00% | 17.37% | 124.07 | 1.24 | 5.71% | 24.07% |
| 3 | 126.23 | 1.26 | 0.00% | 26.23% | 130.43 | 1.30 | 3.32% | 30.43% |
| 4 | 125.94 | 1.26 | 0.00% | 25.94% | 134.63 | 1.35 | 6.90% | 34.63% |
| 5 | 128.13 | 1.28 | 0.00% | 28.13% | 137.42 | 1.37 | 7.25% | 37.42% |
| 6 | 131.25 | 1.31 | 0.00% | 31.25% | 139.27 | 1.39 | 6.11% | 39.27% |
| 7 | 136.67 | 1.37 | 0.00% | 36.67% | 140.49 | 1.40 | 2.79% | 40.49% |
| 8 | 131.43 | 1.31 | 0.00% | 31.43% | 141.30 | 1.41 | 7.51% | 41.30% |
| 9 | 132.24 | 1.32 | 0.00% | 32.24% | 141.83 | 1.42 | 7.25% | 41.83% |
| 10 | 131.24 | 1.31 | 0.00% | 31.24% | 142.19 | 1.42 | 8.34% | 42.19% |
| 11 | 134.58 | 1.35 | 0.00% | 34.58% | 142.42 | 1.42 | 5.83% | 42.42% |
| 12 | 128.97 | 1.29 | 0.00% | 28.97% | 142.58 | 1.43 | 10.55% | 42.58% |
| 13 | 132.12 | 1.32 | 0.00% | 32.12% | 142.68 | 1.43 | 7.99% | 42.68% |
| 14 | 134.58 | 1.35 | 0.00% | 34.58% | 142.75 | 1.43 | 6.07% | 42.75% |
| 15 | 130.23 | 1.30 | 0.00% | 30.23% | 142.80 | 1.43 | 9.65% | 42.80% |
| 16 | 132.64 | 1.33 | 0.00% | 32.64% | 142.83 | 1.43 | 7.68% | 42.83% |

ตารางที่ ฉ-2.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Nd ระบบนำกลับเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Nd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 114.41 | 1.14 | 6.70% | 14.41% | 113.98 | 1.14 | 6.30% | 13.98% |
| 2 | 123.95 | 1.24 | 5.61% | 23.95% | 123.40 | 1.23 | 5.13% | 23.40% |
| 3 | 130.29 | 1.30 | 3.22% | 30.29% | 129.76 | 1.30 | 2.79% | 29.76% |
| 4 | 134.51 | 1.35 | 6.81% | 34.51% | 134.06 | 1.34 | 6.45% | 34.06% |
| 5 | 137.32 | 1.37 | 7.18% | 37.32% | 136.97 | 1.37 | 6.90% | 36.97% |
| 6 | 139.20 | 1.39 | 6.06% | 39.20% | 138.95 | 1.39 | 5.87% | 38.95% |
| 7 | 140.45 | 1.40 | 2.77% | 40.45% | 140.29 | 1.40 | 2.65% | 40.29% |
| 8 | 141.29 | 1.41 | 7.50% | 41.29% | 141.19 | 1.41 | 7.43% | 41.19% |
| 9 | 141.85 | 1.42 | 7.27% | 41.85% | 141.81 | 1.42 | 7.24% | 41.81% |
| 10 | 142.22 | 1.42 | 8.37% | 42.22% | 142.22 | 1.42 | 8.37% | 42.22% |
| 11 | 142.47 | 1.42 | 5.86% | 42.47% | 142.51 | 1.43 | 5.89% | 42.51% |
| 12 | 142.64 | 1.43 | 10.60% | 42.64% | 142.70 | 1.43 | 10.64% | 42.70% |
| 13 | 142.75 | 1.43 | 8.05% | 42.75% | 142.83 | 1.43 | 8.10% | 42.83% |
| 14 | 142.82 | 1.43 | 6.13% | 42.82% | 142.92 | 1.43 | 6.19% | 42.92% |
| 15 | 142.87 | 1.43 | 9.71% | 42.87% | 142.98 | 1.43 | 9.79% | 42.98% |
| 16 | 142.91 | 1.43 | 7.74% | 42.91% | 143.02 | 1.43 | 7.82% | 43.02% |

ตารางที่ ฉ-2.3 ชุดข้อมูลที่ไดจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Nd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 114.43 | 1.14 | 6.72% | 14.43% | 113.97 | 1.14 | 6.29% | 13.97% |
| 2 | 123.99 | 1.24 | 5.64% | 23.99% | 123.25 | 1.23 | 5.01% | 23.25% |
| 3 | 130.33 | 1.30 | 3.25% | 30.33% | 129.43 | 1.29 | 2.53% | 29.43% |
| 4 | 134.56 | 1.35 | 6.84% | 34.56% | 133.54 | 1.34 | 6.03% | 33.54% |
| 5 | 137.37 | 1.37 | 7.21% | 37.37% | 136.28 | 1.36 | 6.36% | 36.28% |
| 6 | 139.25 | 1.39 | 6.10% | 39.25% | 138.09 | 1.38 | 5.21% | 38.09% |
| 7 | 140.51 | 1.41 | 2.81% | 40.51% | 139.30 | 1.39 | 1.93% | 39.30% |
| 8 | 141.35 | 1.41 | 7.55% | 41.35% | 140.10 | 1.40 | 6.60% | 40.10% |
| 9 | 141.91 | 1.42 | 7.31% | 41.91% | 140.64 | 1.41 | 6.35% | 40.64% |
| 10 | 142.29 | 1.42 | 8.42% | 42.29% | 140.99 | 1.41 | 7.43% | 40.99% |
| 11 | 142.54 | 1.43 | 5.91% | 42.54% | 141.22 | 1.41 | 4.94% | 41.22% |
| 12 | 142.71 | 1.43 | 10.65% | 42.71% | 141.38 | 1.41 | 9.62% | 41.38% |
| 13 | 142.82 | 1.43 | 8.10% | 42.82% | 141.48 | 1.41 | 7.09% | 41.48% |
| 14 | 142.90 | 1.43 | 6.18% | 42.90% | 141.55 | 1.42 | 5.18% | 41.55% |
| 15 | 142.95 | 1.43 | 9.76% | 42.95% | 141.60 | 1.42 | 8.73% | 41.60% |
| 16 | 142.98 | 1.43 | 7.80% | 42.98% | 141.63 | 1.42 | 6.78% | 41.63% |

ตารางที่ ฉ-2.4 ชุดข้อมูลที่ไดจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | Nd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 116.66 | 1.17 | 8.80% | 16.66% | 111.47 | 1.11 | 3.95% | 11.47% |
| 2 | 126.97 | 1.27 | 8.18% | 26.97% | 119.69 | 1.20 | 1.98% | 19.69% |
| 3 | 133.17 | 1.33 | 5.50% | 33.17% | 125.72 | 1.26 | 0.40% | 25.72% |
| 4 | 136.82 | 1.37 | 8.64% | 36.82% | 130.22 | 1.30 | 3.40% | 30.22% |
| 5 | 138.93 | 1.39 | 8.43% | 38.93% | 133.60 | 1.34 | 4.27% | 33.60% |
| 6 | 140.15 | 1.40 | 6.78% | 40.15% | 136.17 | 1.36 | 3.75% | 36.17% |
| 7 | 140.84 | 1.41 | 3.05% | 40.84% | 138.13 | 1.38 | 1.07% | 38.13% |
| 8 | 141.24 | 1.41 | 7.46% | 41.24% | 139.64 | 1.40 | 6.24% | 39.64% |
| 9 | 141.46 | 1.41 | 6.97% | 41.46% | 140.79 | 1.41 | 6.47% | 40.79% |
| 10 | 141.59 | 1.42 | 7.88% | 41.59% | 141.68 | 1.42 | 7.96% | 41.68% |
| 11 | 141.66 | 1.42 | 5.26% | 41.66% | 142.37 | 1.42 | 5.79% | 42.37% |
| 12 | 141.70 | 1.42 | 9.87% | 41.70% | 142.90 | 1.43 | 10.80% | 42.90% |
| 13 | 141.72 | 1.42 | 7.27% | 41.72% | 143.31 | 1.43 | 8.47% | 43.31% |
| 14 | 141.74 | 1.42 | 5.32% | 41.74% | 143.63 | 1.44 | 6.73% | 43.63% |
| 15 | 141.74 | 1.42 | 8.84% | 41.74% | 143.88 | 1.44 | 10.48% | 43.88% |
| 16 | 141.75 | 1.42 | 6.87% | 41.75% | 144.07 | 1.44 | 8.62% | 44.07% |

ตารางที่ ฉ-2.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Nd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 113.55 | 1.14 | 5.90% | 13.55% | 116.25 | 1.16 | 8.41% | 16.25% |
| 2 | 121.81 | 1.22 | 3.78% | 21.81% | 127.62 | 1.28 | 8.73% | 27.62% |
| 3 | 126.89 | 1.27 | 0.52% | 26.89% | 135.55 | 1.36 | 7.38% | 35.55% |
| 4 | 130.03 | 1.30 | 3.25% | 30.03% | 141.07 | 1.41 | 12.01% | 41.07% |
| 5 | 131.98 | 1.32 | 3.01% | 31.98% | 144.90 | 1.45 | 13.09% | 44.90% |
| 6 | 133.20 | 1.33 | 1.48% | 33.20% | 147.56 | 1.48 | 12.43% | 47.56% |
| 7 | 133.95 | 1.34 | 1.99% | 33.95% | 149.40 | 1.49 | 9.32% | 49.40% |
| 8 | 134.43 | 1.34 | 2.28% | 34.43% | 150.68 | 1.51 | 14.65% | 50.68% |
| 9 | 134.72 | 1.35 | 1.87% | 34.72% | 151.57 | 1.52 | 14.62% | 51.57% |
| 10 | 134.90 | 1.35 | 2.79% | 34.90% | 152.18 | 1.52 | 15.96% | 52.18% |
| 11 | 135.02 | 1.35 | 0.32% | 35.02% | 152.61 | 1.53 | 13.39% | 52.61% |
| 12 | 135.09 | 1.35 | 4.74% | 35.09% | 152.90 | 1.53 | 18.55% | 52.90% |
| 13 | 135.13 | 1.35 | 2.28% | 35.13% | 153.10 | 1.53 | 15.88% | 53.10% |
| 14 | 135.16 | 1.35 | 0.43% | 35.16% | 153.24 | 1.53 | 13.87% | 53.24% |
| 15 | 135.18 | 1.35 | 3.80% | 35.18% | 153.34 | 1.53 | 17.75% | 53.34% |
| 16 | 135.19 | 1.35 | 1.92% | 35.19% | 153.41 | 1.53 | 15.66% | 53.41% |

ตารางที่ ฉ-2.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Nd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 119.85 | 1.20 | 11.77% | 19.85% | 109.43 | 1.09 | 2.06% | 9.43% |
| 2 | 133.76 | 1.34 | 13.96% | 33.76% | 115.24 | 1.15 | 1.81% | 15.24% |
| 3 | 142.98 | 1.43 | 13.27% | 42.98% | 118.92 | 1.19 | 5.79% | 18.92% |
| 4 | 148.82 | 1.49 | 18.16% | 48.82% | 121.28 | 1.21 | 3.70% | 21.28% |
| 5 | 152.38 | 1.52 | 18.92% | 52.38% | 122.82 | 1.23 | 4.15% | 22.82% |
| 6 | 154.50 | 1.54 | 17.71% | 54.50% | 123.82 | 1.24 | 5.66% | 23.82% |
| 7 | 155.74 | 1.56 | 13.95% | 55.74% | 124.48 | 1.24 | 8.92% | 24.48% |
| 8 | 156.46 | 1.56 | 19.04% | 56.46% | 124.92 | 1.25 | 4.96% | 24.92% |
| 9 | 156.87 | 1.57 | 18.63% | 56.87% | 125.20 | 1.25 | 5.32% | 25.20% |
| 10 | 157.11 | 1.57 | 19.71% | 57.11% | 125.39 | 1.25 | 4.46% | 25.39% |
| 11 | 157.24 | 1.57 | 16.84% | 57.24% | 125.52 | 1.26 | 6.74% | 25.52% |
| 12 | 157.32 | 1.57 | 21.98% | 57.32% | 125.60 | 1.26 | 2.61% | 25.60% |
| 13 | 157.37 | 1.57 | 19.11% | 57.37% | 125.65 | 1.26 | 4.90% | 25.65% |
| 14 | 157.39 | 1.57 | 16.95% | 57.39% | 125.69 | 1.26 | 6.61% | 25.69% |
| 15 | 157.41 | 1.57 | 20.87% | 57.41% | 125.71 | 1.26 | 3.47% | 25.71% |
| 16 | 157.42 | 1.57 | 18.68% | 57.42% | 125.73 | 1.26 | 5.21% | 25.73% |

ตารางที่ ฉ-3.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Nd ระบบหอสกัดคู่ (วีรวัดน์, 2546)

| Cycle | Nd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 89.68 | 0.90 | 0.00% | 10.32% | 83.72 | 0.84 | 6.65% | 16.28% |
| 2 | 70.16 | 0.70 | 0.00% | 29.84% | 71.59 | 0.72 | 2.04% | 28.41% |
| 3 | 68.82 | 0.69 | 0.00% | 31.18% | 62.33 | 0.62 | 9.43% | 37.67% |
| 4 | 50.21 | 0.50 | 0.00% | 49.79% | 55.12 | 0.55 | 9.79% | 44.88% |
| 5 | 51.64 | 0.52 | 0.00% | 48.36% | 49.43 | 0.49 | 4.27% | 50.57% |
| 6 | 55.87 | 0.56 | 0.00% | 44.13% | 44.90 | 0.45 | 19.64% | 55.10% |
| 7 | 42.91 | 0.43 | 0.00% | 57.09% | 41.26 | 0.41 | 3.85% | 58.74% |
| 8 | 34.54 | 0.35 | 0.00% | 65.46% | 38.32 | 0.38 | 10.95% | 61.68% |
| 9 | 39.47 | 0.39 | 0.00% | 60.53% | 35.95 | 0.36 | 8.93% | 64.05% |
| 10 | 40.16 | 0.40 | 0.00% | 59.84% | 34.02 | 0.34 | 15.28% | 65.98% |
| 11 | 35.88 | 0.36 | 0.00% | 64.12% | 32.46 | 0.32 | 9.53% | 67.54% |
| 12 | 29.73 | 0.30 | 0.00% | 70.27% | 31.19 | 0.31 | 4.92% | 68.81% |
| 13 | 32.33 | 0.32 | 0.00% | 67.67% | 30.16 | 0.30 | 6.71% | 69.84% |
| 14 | 30.71 | 0.31 | 0.00% | 69.29% | 29.32 | 0.29 | 4.52% | 70.68% |
| 15 | 33.74 | 0.34 | 0.00% | 66.26% | 28.64 | 0.29 | 15.12% | 71.36% |
| 16 | 30.96 | 0.31 | 0.00% | 69.04% | 28.08 | 0.28 | 9.29% | 71.92% |

ตารางที่ ฉ-3.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Nd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Nd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 83.88 | 0.84 | 6.47% | 16.12% | 85.64 | 0.86 | 4.50% | 14.36% |
| 2 | 71.92 | 0.72 | 2.52% | 28.08% | 73.59 | 0.74 | 4.89% | 26.41% |
| 3 | 62.79 | 0.63 | 8.76% | 37.21% | 64.32 | 0.64 | 6.54% | 35.68% |
| 4 | 59.11 | 0.59 | 17.73% | 40.89% | 57.03 | 0.57 | 13.59% | 42.97% |
| 5 | 56.65 | 0.57 | 9.71% | 43.35% | 51.23 | 0.51 | 0.79% | 48.77% |
| 6 | 55.01 | 0.55 | 1.53% | 44.99% | 46.57 | 0.47 | 16.65% | 53.43% |
| 7 | 53.92 | 0.54 | 25.65% | 46.08% | 42.79 | 0.43 | 0.28% | 57.21% |
| 8 | 53.19 | 0.53 | 53.98% | 46.81% | 39.72 | 0.40 | 14.99% | 60.28% |
| 9 | 52.70 | 0.53 | 33.51% | 47.30% | 37.21 | 0.37 | 5.73% | 62.79% |
| 10 | 52.37 | 0.52 | 30.40% | 47.63% | 35.16 | 0.35 | 12.45% | 64.84% |
| 11 | 52.15 | 0.52 | 45.35% | 47.85% | 33.48 | 0.33 | 6.68% | 66.52% |
| 12 | 52.00 | 0.52 | 74.92% | 48.00% | 32.11 | 0.32 | 8.01% | 67.89% |
| 13 | 51.91 | 0.52 | 60.55% | 48.09% | 30.99 | 0.31 | 4.16% | 69.01% |
| 14 | 51.84 | 0.52 | 68.81% | 48.16% | 30.06 | 0.30 | 2.11% | 69.94% |
| 15 | 51.80 | 0.52 | 53.52% | 48.20% | 29.31 | 0.29 | 13.14% | 70.69% |
| 16 | 51.77 | 0.52 | 67.21% | 48.23% | 28.69 | 0.29 | 7.35% | 71.31% |

ตารางที่ จ-3.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Nd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Nd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 83.81 | 0.84 | 6.54% | 16.19% | 83.99 | 0.84 | 6.35% | 16.01% |
| 2 | 71.79 | 0.72 | 2.33% | 28.21% | 71.85 | 0.72 | 2.41% | 28.15% |
| 3 | 62.59 | 0.63 | 9.05% | 37.41% | 62.45 | 0.62 | 9.26% | 37.55% |
| 4 | 58.91 | 0.59 | 17.32% | 41.09% | 55.04 | 0.55 | 9.62% | 44.96% |
| 5 | 56.45 | 0.56 | 9.31% | 43.55% | 49.15 | 0.49 | 4.82% | 50.85% |
| 6 | 54.81 | 0.55 | 1.90% | 45.19% | 44.43 | 0.44 | 20.48% | 55.57% |
| 7 | 53.71 | 0.54 | 25.17% | 46.29% | 40.62 | 0.41 | 5.34% | 59.38% |
| 8 | 52.98 | 0.53 | 53.37% | 47.02% | 37.54 | 0.38 | 8.68% | 62.46% |
| 9 | 52.48 | 0.52 | 32.97% | 47.52% | 35.04 | 0.35 | 11.23% | 64.96% |
| 10 | 52.16 | 0.52 | 29.87% | 47.84% | 33.00 | 0.33 | 17.83% | 67.00% |
| 11 | 51.94 | 0.52 | 44.75% | 48.06% | 31.34 | 0.31 | 12.65% | 68.66% |
| 12 | 51.79 | 0.52 | 74.20% | 48.21% | 29.99 | 0.30 | 0.86% | 70.01% |
| 13 | 51.69 | 0.52 | 59.88% | 48.31% | 28.88 | 0.29 | 10.68% | 71.12% |
| 14 | 51.62 | 0.52 | 68.10% | 48.38% | 27.97 | 0.28 | 8.92% | 72.03% |
| 15 | 51.58 | 0.52 | 52.87% | 48.42% | 27.23 | 0.27 | 19.30% | 72.77% |
| 16 | 51.55 | 0.52 | 66.51% | 48.45% | 26.62 | 0.27 | 14.02% | 73.38% |

ตารางที่ จ-3.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Nd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Log และ Exp

| Cycle | Nd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 79.31 | 0.79 | 11.57% | 20.69% | 87.86 | 0.88 | 2.03% | 12.14% |
| 2 | 63.86 | 0.64 | 8.99% | 36.14% | 78.59 | 0.79 | 12.02% | 21.41% |
| 3 | 52.63 | 0.53 | 23.53% | 47.37% | 71.24 | 0.71 | 3.51% | 28.76% |
| 4 | 44.62 | 0.45 | 11.12% | 55.38% | 65.22 | 0.65 | 29.89% | 34.78% |
| 5 | 38.95 | 0.39 | 24.56% | 61.05% | 60.20 | 0.60 | 16.57% | 39.80% |
| 6 | 34.92 | 0.35 | 37.50% | 65.08% | 55.94 | 0.56 | 0.12% | 44.06% |
| 7 | 32.01 | 0.32 | 25.40% | 67.99% | 52.29 | 0.52 | 21.86% | 47.71% |
| 8 | 29.88 | 0.30 | 13.48% | 70.12% | 49.14 | 0.49 | 42.26% | 50.86% |
| 9 | 28.30 | 0.28 | 28.30% | 71.70% | 46.40 | 0.46 | 17.55% | 53.60% |
| 10 | 27.11 | 0.27 | 32.51% | 72.89% | 44.00 | 0.44 | 9.57% | 56.00% |
| 11 | 26.20 | 0.26 | 26.99% | 73.80% | 41.91 | 0.42 | 16.80% | 58.09% |
| 12 | 25.50 | 0.25 | 14.23% | 74.50% | 40.07 | 0.40 | 34.78% | 59.93% |
| 13 | 24.96 | 0.25 | 22.79% | 75.04% | 38.45 | 0.38 | 18.92% | 61.55% |
| 14 | 24.55 | 0.25 | 20.07% | 75.45% | 37.02 | 0.37 | 20.54% | 62.98% |
| 15 | 24.22 | 0.24 | 28.21% | 75.78% | 35.76 | 0.36 | 5.98% | 64.24% |
| 16 | 23.97 | 0.24 | 22.58% | 76.03% | 34.64 | 0.35 | 11.89% | 65.36% |

ตารางที่ ฉ-3.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Nd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 83.13 | 0.83 | 7.31% | 16.87% | 82.77 | 0.83 | 7.70% | 17.23% |
| 2 | 70.56 | 0.71 | 0.58% | 29.44% | 69.95 | 0.70 | 0.30% | 30.05% |
| 3 | 60.92 | 0.61 | 11.47% | 39.08% | 60.25 | 0.60 | 12.45% | 39.75% |
| 4 | 53.36 | 0.53 | 6.27% | 46.64% | 52.83 | 0.53 | 5.21% | 47.17% |
| 5 | 47.32 | 0.47 | 8.37% | 52.68% | 47.09 | 0.47 | 8.82% | 52.91% |
| 6 | 42.44 | 0.42 | 24.04% | 57.56% | 42.62 | 0.43 | 23.71% | 57.38% |
| 7 | 38.46 | 0.38 | 10.38% | 61.54% | 39.13 | 0.39 | 8.81% | 60.87% |
| 8 | 35.18 | 0.35 | 1.86% | 64.82% | 36.39 | 0.36 | 5.35% | 63.61% |
| 9 | 32.48 | 0.32 | 17.70% | 67.52% | 34.23 | 0.34 | 13.28% | 65.77% |
| 10 | 30.24 | 0.30 | 24.70% | 69.76% | 32.53 | 0.33 | 19.00% | 67.47% |
| 11 | 28.38 | 0.28 | 20.90% | 71.62% | 31.19 | 0.31 | 13.08% | 68.81% |
| 12 | 26.83 | 0.27 | 9.76% | 73.17% | 30.13 | 0.30 | 1.34% | 69.87% |
| 13 | 25.53 | 0.26 | 21.02% | 74.47% | 29.29 | 0.29 | 9.40% | 70.71% |
| 14 | 24.45 | 0.24 | 20.39% | 75.55% | 28.63 | 0.29 | 6.77% | 71.37% |
| 15 | 23.54 | 0.24 | 30.22% | 76.46% | 28.11 | 0.28 | 16.69% | 71.89% |
| 16 | 22.78 | 0.23 | 26.41% | 77.22% | 27.70 | 0.28 | 10.54% | 72.30% |

ตารางที่ ฉ-3.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Nd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 78.95 | 0.79 | 11.97% | 21.05% | 88.21 | 0.88 | 1.64% | 11.79% |
| 2 | 63.25 | 0.63 | 9.85% | 36.75% | 79.23 | 0.79 | 12.93% | 20.77% |
| 3 | 52.03 | 0.52 | 24.39% | 47.97% | 72.05 | 0.72 | 4.69% | 27.95% |
| 4 | 44.32 | 0.44 | 11.72% | 55.68% | 66.11 | 0.66 | 31.67% | 33.89% |
| 5 | 39.19 | 0.39 | 24.11% | 60.81% | 61.11 | 0.61 | 18.35% | 38.89% |
| 6 | 35.84 | 0.36 | 35.85% | 64.16% | 56.85 | 0.57 | 1.76% | 43.15% |
| 7 | 33.67 | 0.34 | 21.52% | 66.33% | 53.19 | 0.53 | 23.97% | 46.81% |
| 8 | 32.28 | 0.32 | 6.55% | 67.72% | 50.03 | 0.50 | 44.84% | 49.97% |
| 9 | 31.37 | 0.31 | 20.52% | 68.63% | 47.28 | 0.47 | 19.79% | 52.72% |
| 10 | 30.78 | 0.31 | 23.35% | 69.22% | 44.89 | 0.45 | 11.77% | 55.11% |
| 11 | 30.40 | 0.30 | 15.27% | 69.60% | 42.80 | 0.43 | 19.27% | 57.20% |
| 12 | 30.15 | 0.30 | 1.40% | 69.85% | 40.96 | 0.41 | 37.79% | 59.04% |
| 13 | 29.98 | 0.30 | 7.27% | 70.02% | 39.36 | 0.39 | 21.73% | 60.64% |
| 14 | 29.87 | 0.30 | 2.74% | 70.13% | 37.94 | 0.38 | 23.56% | 62.06% |
| 15 | 29.80 | 0.30 | 11.69% | 70.20% | 36.70 | 0.37 | 8.78% | 63.30% |
| 16 | 29.75 | 0.30 | 3.92% | 70.25% | 35.61 | 0.36 | 15.01% | 64.39% |

ตารางที่ ฉ-4.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดคู่ (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Nd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 106.54 | 1.07 | 0.00% | 6.54% | 114.48 | 1.14 | 7.46% | 14.48% |
| 2 | 121.25 | 1.21 | 0.00% | 21.25% | 127.77 | 1.28 | 5.38% | 27.77% |
| 3 | 127.37 | 1.27 | 0.00% | 27.37% | 139.40 | 1.39 | 9.44% | 39.40% |
| 4 | 131.46 | 1.31 | 0.00% | 31.46% | 149.30 | 1.49 | 13.57% | 49.30% |
| 5 | 134.12 | 1.34 | 0.00% | 34.12% | 157.59 | 1.58 | 17.50% | 57.59% |
| 6 | 136.65 | 1.37 | 0.00% | 36.65% | 164.47 | 1.64 | 20.36% | 64.47% |
| 7 | 141.73 | 1.42 | 0.00% | 41.73% | 170.13 | 1.70 | 20.04% | 70.13% |
| 8 | 142.56 | 1.43 | 0.00% | 42.56% | 174.78 | 1.75 | 22.60% | 74.78% |
| 9 | 137.19 | 1.37 | 0.00% | 37.19% | 178.58 | 1.79 | 30.17% | 78.58% |
| 10 | 136.63 | 1.37 | 0.00% | 36.63% | 181.69 | 1.82 | 32.98% | 81.69% |
| 11 | 140.58 | 1.41 | 0.00% | 40.58% | 184.22 | 1.84 | 31.04% | 84.22% |
| 12 | 139.43 | 1.39 | 0.00% | 39.43% | 186.28 | 1.86 | 33.60% | 86.28% |
| 13 | 140.75 | 1.41 | 0.00% | 40.75% | 187.96 | 1.88 | 33.54% | 87.96% |
| 14 | 141.47 | 1.41 | 0.00% | 41.47% | 189.33 | 1.89 | 33.83% | 89.33% |
| 15 | 137.56 | 1.38 | 0.00% | 37.56% | 190.45 | 1.90 | 38.45% | 90.45% |
| 16 | 138.01 | 1.38 | 0.00% | 38.01% | 191.36 | 1.91 | 38.65% | 91.36% |

ตารางที่ ฉ-4.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Nd ระบบนำกลับคู่โดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Nd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 114.41 | 1.14 | 7.39% | 14.41% | 114.36 | 1.14 | 7.34% | 14.36% |
| 2 | 127.68 | 1.28 | 5.30% | 27.68% | 127.22 | 1.27 | 4.92% | 27.22% |
| 3 | 132.61 | 1.33 | 4.12% | 32.61% | 138.61 | 1.39 | 8.82% | 38.61% |
| 4 | 135.90 | 1.36 | 3.38% | 35.90% | 148.42 | 1.48 | 12.90% | 48.42% |
| 5 | 138.09 | 1.38 | 2.96% | 38.09% | 156.72 | 1.57 | 16.85% | 56.72% |
| 6 | 139.56 | 1.40 | 2.13% | 39.56% | 163.69 | 1.64 | 19.78% | 63.69% |
| 7 | 140.53 | 1.41 | 0.84% | 40.53% | 169.48 | 1.69 | 19.58% | 69.48% |
| 8 | 141.19 | 1.41 | 0.96% | 41.19% | 174.28 | 1.74 | 22.25% | 74.28% |
| 9 | 141.62 | 1.42 | 3.23% | 41.62% | 178.25 | 1.78 | 29.93% | 78.25% |
| 10 | 141.91 | 1.42 | 3.87% | 41.91% | 181.53 | 1.82 | 32.86% | 81.53% |
| 11 | 142.11 | 1.42 | 1.09% | 42.11% | 184.22 | 1.84 | 31.04% | 84.22% |
| 12 | 142.24 | 1.42 | 2.02% | 42.24% | 186.44 | 1.86 | 33.72% | 86.44% |
| 13 | 142.33 | 1.42 | 1.12% | 42.33% | 188.26 | 1.88 | 33.76% | 88.26% |
| 14 | 142.38 | 1.42 | 0.65% | 42.38% | 189.76 | 1.90 | 34.14% | 89.76% |
| 15 | 142.42 | 1.42 | 3.54% | 42.42% | 190.99 | 1.91 | 38.84% | 90.99% |
| 16 | 142.45 | 1.42 | 3.22% | 42.45% | 192.00 | 1.92 | 39.12% | 92.00% |

ตารางที่ จ-4.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Nd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 114.43 | 1.14 | 7.41% | 14.43% | 113.97 | 1.14 | 6.97% | 13.97% |
| 2 | 127.70 | 1.28 | 5.32% | 27.70% | 126.66 | 1.27 | 4.46% | 26.66% |
| 3 | 132.62 | 1.33 | 4.12% | 32.62% | 137.80 | 1.38 | 8.19% | 37.80% |
| 4 | 135.90 | 1.36 | 3.38% | 35.90% | 147.37 | 1.47 | 12.10% | 47.37% |
| 5 | 138.09 | 1.38 | 2.96% | 38.09% | 155.49 | 1.55 | 15.94% | 55.49% |
| 6 | 139.55 | 1.40 | 2.12% | 39.55% | 162.34 | 1.62 | 18.80% | 62.34% |
| 7 | 140.53 | 1.41 | 0.85% | 40.53% | 168.06 | 1.68 | 18.58% | 68.06% |
| 8 | 141.18 | 1.41 | 0.97% | 41.18% | 172.83 | 1.73 | 21.23% | 72.83% |
| 9 | 141.62 | 1.42 | 3.23% | 41.62% | 176.80 | 1.77 | 28.87% | 76.80% |
| 10 | 141.91 | 1.42 | 3.87% | 41.91% | 180.08 | 1.80 | 31.80% | 80.08% |
| 11 | 142.11 | 1.42 | 1.09% | 42.11% | 182.80 | 1.83 | 30.03% | 82.80% |
| 12 | 142.24 | 1.42 | 2.02% | 42.24% | 185.04 | 1.85 | 32.72% | 85.04% |
| 13 | 142.33 | 1.42 | 1.12% | 42.33% | 186.90 | 1.87 | 32.79% | 86.90% |
| 14 | 142.39 | 1.42 | 0.65% | 42.39% | 188.42 | 1.88 | 33.19% | 88.42% |
| 15 | 142.43 | 1.42 | 3.54% | 42.43% | 189.68 | 1.90 | 37.89% | 89.68% |
| 16 | 142.45 | 1.42 | 3.22% | 42.45% | 190.72 | 1.91 | 38.19% | 90.72% |

ตารางที่ จ-4.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | Nd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 116.66 | 1.17 | 9.50% | 16.66% | 111.47 | 1.11 | 4.62% | 11.47% |
| 2 | 131.19 | 1.31 | 8.20% | 31.19% | 122.41 | 1.22 | 0.96% | 22.41% |
| 3 | 143.65 | 1.44 | 12.78% | 43.65% | 132.32 | 1.32 | 3.89% | 32.32% |
| 4 | 154.17 | 1.54 | 17.27% | 54.17% | 141.03 | 1.41 | 7.28% | 41.03% |
| 5 | 162.89 | 1.63 | 21.45% | 62.89% | 148.60 | 1.49 | 10.79% | 48.60% |
| 6 | 170.02 | 1.70 | 24.42% | 70.02% | 155.11 | 1.55 | 13.51% | 55.11% |
| 7 | 175.79 | 1.76 | 24.03% | 75.79% | 160.70 | 1.61 | 13.38% | 60.70% |
| 8 | 180.41 | 1.80 | 26.55% | 80.41% | 165.49 | 1.65 | 16.09% | 65.49% |
| 9 | 184.09 | 1.84 | 34.18% | 84.09% | 169.61 | 1.70 | 23.63% | 69.61% |
| 10 | 187.00 | 1.87 | 36.87% | 87.00% | 173.14 | 1.73 | 26.72% | 73.14% |
| 11 | 189.31 | 1.89 | 34.66% | 89.31% | 176.19 | 1.76 | 25.33% | 76.19% |
| 12 | 191.13 | 1.91 | 37.08% | 91.13% | 178.81 | 1.79 | 28.24% | 78.81% |
| 13 | 192.57 | 1.93 | 36.81% | 92.57% | 181.08 | 1.81 | 28.65% | 81.08% |
| 14 | 193.69 | 1.94 | 36.92% | 93.69% | 183.05 | 1.83 | 29.39% | 83.05% |
| 15 | 194.58 | 1.95 | 41.45% | 94.58% | 184.76 | 1.85 | 34.31% | 84.76% |
| 16 | 195.28 | 1.95 | 41.50% | 95.28% | 186.24 | 1.86 | 34.95% | 86.24% |

ตารางที่ ฉ-4.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Nd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|---------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 113.55 | 1.14 | 6.58% | 13.55% | 116.25 | 1.16 | 9.11% | 16.25% |
| 2 | 125.37 | 1.25 | 3.39% | 25.37% | 131.74 | 1.32 | 8.65% | 31.74% |
| 3 | 135.45 | 1.35 | 6.34% | 35.45% | 145.63 | 1.46 | 14.34% | 45.63% |
| 4 | 143.96 | 1.44 | 9.51% | 43.96% | 157.62 | 1.58 | 19.90% | 57.62% |
| 5 | 151.10 | 1.51 | 12.66% | 51.10% | 167.71 | 1.68 | 25.04% | 67.71% |
| 6 | 157.08 | 1.57 | 14.95% | 57.08% | 176.06 | 1.76 | 28.84% | 76.06% |
| 7 | 162.08 | 1.62 | 14.36% | 62.08% | 182.89 | 1.83 | 29.04% | 82.89% |
| 8 | 166.26 | 1.66 | 16.62% | 66.26% | 188.41 | 1.88 | 32.17% | 88.41% |
| 9 | 169.75 | 1.70 | 23.73% | 69.75% | 192.86 | 1.93 | 40.58% | 92.86% |
| 10 | 172.68 | 1.73 | 26.38% | 72.68% | 196.43 | 1.96 | 43.76% | 96.43% |
| 11 | 175.12 | 1.75 | 24.57% | 75.12% | 199.27 | 1.99 | 41.75% | 99.27% |
| 12 | 177.18 | 1.77 | 27.07% | 77.18% | 201.53 | 2.02 | 44.54% | 101.53% |
| 13 | 178.89 | 1.79 | 27.10% | 78.89% | 203.32 | 2.03 | 44.46% | 103.32% |
| 14 | 180.34 | 1.80 | 27.47% | 80.34% | 204.75 | 2.05 | 44.73% | 104.75% |
| 15 | 181.55 | 1.82 | 31.98% | 81.55% | 205.88 | 2.06 | 49.66% | 105.88% |
| 16 | 182.56 | 1.83 | 32.28% | 82.56% | 206.77 | 2.07 | 49.82% | 106.77% |

ตารางที่ ฉ-4.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Nd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Nd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|---------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 119.85 | 1.20 | 12.50% | 19.85% | 109.43 | 1.09 | 2.72% | 9.43% |
| 2 | 138.72 | 1.39 | 14.41% | 38.72% | 117.59 | 1.18 | 3.02% | 17.59% |
| 3 | 155.66 | 1.56 | 22.21% | 55.66% | 124.51 | 1.25 | 2.25% | 24.51% |
| 4 | 170.15 | 1.70 | 29.43% | 70.15% | 130.37 | 1.30 | 0.83% | 30.37% |
| 5 | 182.01 | 1.82 | 35.71% | 82.01% | 135.33 | 1.35 | 0.90% | 35.33% |
| 6 | 191.34 | 1.91 | 40.02% | 91.34% | 139.55 | 1.40 | 2.12% | 39.55% |
| 7 | 198.42 | 1.98 | 40.00% | 98.42% | 143.16 | 1.43 | 1.01% | 43.16% |
| 8 | 203.64 | 2.04 | 42.84% | 103.64% | 146.25 | 1.46 | 2.59% | 46.25% |
| 9 | 207.38 | 2.07 | 51.16% | 107.38% | 148.92 | 1.49 | 8.55% | 48.92% |
| 10 | 210.02 | 2.10 | 53.71% | 110.02% | 151.23 | 1.51 | 10.69% | 51.23% |
| 11 | 211.85 | 2.12 | 50.69% | 111.85% | 153.23 | 1.53 | 9.00% | 53.23% |
| 12 | 213.10 | 2.13 | 52.84% | 113.10% | 154.98 | 1.55 | 11.15% | 54.98% |
| 13 | 213.96 | 2.14 | 52.01% | 113.96% | 156.51 | 1.57 | 11.19% | 56.51% |
| 14 | 214.54 | 2.15 | 51.65% | 114.54% | 157.84 | 1.58 | 11.57% | 57.84% |
| 15 | 214.93 | 2.15 | 56.25% | 114.93% | 159.01 | 1.59 | 15.59% | 59.01% |
| 16 | 215.19 | 2.15 | 55.93% | 115.19% | 160.04 | 1.60 | 15.96% | 60.04% |

ภาคผนวก ข

ผลคำนวณการสกัดและนำกลับไอออนแพลเลเดียมด้วยวิธีการสร้างกราฟ

ตารางที่ ข-1.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Pd ระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Pd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|-------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 46.21 | 0.92 | 0.00% | 7.58% | 45.43 | 0.91 | 1.70% | 9.15% |
| 2 | 39.65 | 0.79 | 0.00% | 20.70% | 41.97 | 0.84 | 5.84% | 16.07% |
| 3 | 39.84 | 0.80 | 0.00% | 20.32% | 39.35 | 0.79 | 1.23% | 21.30% |
| 4 | 36.92 | 0.74 | 0.00% | 26.16% | 37.37 | 0.75 | 1.22% | 25.26% |
| 5 | 36.67 | 0.73 | 0.00% | 26.66% | 35.87 | 0.72 | 2.18% | 28.26% |
| 6 | 34.11 | 0.68 | 0.00% | 31.78% | 34.74 | 0.69 | 1.84% | 30.52% |
| 7 | 31.83 | 0.64 | 0.00% | 36.34% | 33.88 | 0.68 | 6.44% | 32.24% |
| 8 | 34.31 | 0.69 | 0.00% | 31.38% | 33.23 | 0.66 | 3.14% | 33.53% |
| 9 | 33.55 | 0.67 | 0.00% | 32.90% | 32.74 | 0.65 | 2.41% | 34.52% |
| 10 | 32.12 | 0.64 | 0.00% | 35.76% | 32.37 | 0.65 | 0.78% | 35.26% |
| 11 | 34.87 | 0.70 | 0.00% | 30.26% | 32.09 | 0.64 | 7.97% | 35.82% |
| 12 | 34.61 | 0.69 | 0.00% | 30.78% | 31.88 | 0.64 | 7.89% | 36.24% |
| 13 | 33.35 | 0.67 | 0.00% | 33.30% | 31.72 | 0.63 | 4.90% | 36.57% |
| 14 | 32.47 | 0.65 | 0.00% | 35.06% | 31.60 | 0.63 | 2.69% | 36.81% |
| 15 | 33.24 | 0.66 | 0.00% | 33.52% | 31.50 | 0.63 | 5.22% | 36.99% |
| 16 | 32.87 | 0.66 | 0.00% | 34.26% | 31.43 | 0.63 | 4.37% | 37.13% |

ตารางที่ ข-1.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Pd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 45.72 | 0.91 | 1.06% | 8.56% | 45.45 | 0.91 | 1.64% | 9.10% |
| 2 | 42.50 | 0.85 | 7.19% | 15.00% | 41.95 | 0.84 | 5.81% | 16.09% |
| 3 | 40.08 | 0.80 | 0.60% | 19.84% | 39.27 | 0.79 | 1.43% | 21.46% |
| 4 | 38.25 | 0.77 | 3.61% | 23.49% | 37.22 | 0.74 | 0.80% | 25.57% |
| 5 | 36.88 | 0.74 | 0.57% | 26.24% | 35.65 | 0.71 | 2.79% | 28.71% |
| 6 | 35.84 | 0.72 | 5.08% | 28.31% | 34.45 | 0.69 | 0.99% | 31.10% |
| 7 | 35.07 | 0.70 | 10.16% | 29.87% | 33.54 | 0.67 | 5.36% | 32.93% |
| 8 | 34.48 | 0.69 | 0.49% | 31.04% | 32.84 | 0.66 | 4.28% | 34.32% |
| 9 | 34.04 | 0.68 | 1.45% | 31.93% | 32.31 | 0.65 | 3.69% | 35.38% |
| 10 | 33.70 | 0.67 | 4.93% | 32.59% | 31.91 | 0.64 | 0.66% | 36.18% |
| 11 | 33.45 | 0.67 | 4.06% | 33.09% | 31.60 | 0.63 | 9.37% | 36.80% |
| 12 | 33.26 | 0.67 | 3.89% | 33.47% | 31.37 | 0.63 | 9.36% | 37.26% |
| 13 | 33.12 | 0.66 | 0.68% | 33.76% | 31.19 | 0.62 | 6.47% | 37.62% |
| 14 | 33.01 | 0.66 | 1.68% | 33.97% | 31.06 | 0.62 | 4.35% | 37.88% |
| 15 | 32.93 | 0.66 | 0.92% | 34.13% | 30.96 | 0.62 | 6.87% | 38.09% |
| 16 | 32.87 | 0.66 | 0.01% | 34.25% | 30.88 | 0.62 | 6.06% | 38.24% |

ตารางที่ ข-1.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Pd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 45.44 | 0.91 | 1.66% | 9.12% | 44.71 | 0.89 | 3.24% | 10.57% |
| 2 | 42.04 | 0.84 | 6.03% | 15.92% | 40.81 | 0.82 | 2.94% | 18.37% |
| 3 | 39.50 | 0.79 | 0.85% | 21.00% | 37.96 | 0.76 | 4.71% | 24.07% |
| 4 | 37.61 | 0.75 | 1.86% | 24.79% | 35.89 | 0.72 | 2.79% | 28.22% |
| 5 | 36.19 | 0.72 | 1.31% | 27.62% | 34.39 | 0.69 | 6.22% | 31.22% |
| 6 | 35.13 | 0.70 | 2.99% | 29.74% | 33.31 | 0.67 | 2.35% | 33.39% |
| 7 | 34.34 | 0.69 | 7.89% | 31.32% | 32.53 | 0.65 | 2.20% | 34.94% |
| 8 | 33.75 | 0.68 | 1.63% | 32.50% | 31.97 | 0.64 | 6.82% | 36.06% |
| 9 | 33.31 | 0.67 | 0.72% | 33.38% | 31.57 | 0.63 | 5.90% | 36.86% |
| 10 | 32.98 | 0.66 | 2.68% | 34.04% | 31.28 | 0.63 | 2.60% | 37.43% |
| 11 | 32.73 | 0.65 | 6.13% | 34.53% | 31.08 | 0.62 | 10.87% | 37.84% |
| 12 | 32.55 | 0.65 | 5.95% | 34.90% | 30.93 | 0.62 | 10.62% | 38.13% |
| 13 | 32.41 | 0.65 | 2.81% | 35.18% | 30.83 | 0.62 | 7.56% | 38.34% |
| 14 | 32.31 | 0.65 | 0.49% | 35.38% | 30.75 | 0.62 | 5.28% | 38.49% |
| 15 | 32.23 | 0.64 | 3.03% | 35.53% | 30.70 | 0.61 | 7.64% | 38.60% |
| 16 | 32.18 | 0.64 | 2.11% | 35.65% | 30.66 | 0.61 | 6.71% | 38.67% |

ตารางที่ ข-1.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | Pd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 43.49 | 0.87 | 5.89% | 13.03% | 47.62 | 0.95 | 3.05% | 4.76% |
| 2 | 39.08 | 0.78 | 1.43% | 21.84% | 45.60 | 0.91 | 15.00% | 8.81% |
| 3 | 36.12 | 0.72 | 9.34% | 27.76% | 43.86 | 0.88 | 10.10% | 12.27% |
| 4 | 34.14 | 0.68 | 7.54% | 31.73% | 42.38 | 0.85 | 14.78% | 15.24% |
| 5 | 32.82 | 0.66 | 10.50% | 34.36% | 41.10 | 0.82 | 12.08% | 17.80% |
| 6 | 31.95 | 0.64 | 6.34% | 36.10% | 40.00 | 0.80 | 17.27% | 20.00% |
| 7 | 31.37 | 0.63 | 1.43% | 37.25% | 39.05 | 0.78 | 22.68% | 21.90% |
| 8 | 31.00 | 0.62 | 9.66% | 38.01% | 38.23 | 0.76 | 11.42% | 23.54% |
| 9 | 30.75 | 0.61 | 8.36% | 38.51% | 37.52 | 0.75 | 11.83% | 24.96% |
| 10 | 30.58 | 0.61 | 4.78% | 38.83% | 36.90 | 0.74 | 14.89% | 26.20% |
| 11 | 30.48 | 0.61 | 12.60% | 39.05% | 36.37 | 0.73 | 4.29% | 27.27% |
| 12 | 30.41 | 0.61 | 12.15% | 39.19% | 35.90 | 0.72 | 3.74% | 28.19% |
| 13 | 30.36 | 0.61 | 8.96% | 39.28% | 35.50 | 0.71 | 6.45% | 29.00% |
| 14 | 30.33 | 0.61 | 6.59% | 39.34% | 35.15 | 0.70 | 8.25% | 29.70% |
| 15 | 30.31 | 0.61 | 8.81% | 39.38% | 34.85 | 0.70 | 4.83% | 30.31% |
| 16 | 30.30 | 0.61 | 7.83% | 39.41% | 34.58 | 0.69 | 5.20% | 30.84% |

ตารางที่ ข-1.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Pd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 46.53 | 0.93 | 0.70% | 6.93% | 44.75 | 0.89 | 3.16% | 10.50% |
| 2 | 44.14 | 0.88 | 11.32% | 11.72% | 40.56 | 0.81 | 2.29% | 18.88% |
| 3 | 42.47 | 0.85 | 6.60% | 15.06% | 37.22 | 0.74 | 6.58% | 25.57% |
| 4 | 41.30 | 0.83 | 11.87% | 17.40% | 34.56 | 0.69 | 6.40% | 30.88% |
| 5 | 40.48 | 0.81 | 10.40% | 19.03% | 32.44 | 0.65 | 11.53% | 35.11% |
| 6 | 39.91 | 0.80 | 16.99% | 20.19% | 30.76 | 0.62 | 9.81% | 38.47% |
| 7 | 39.50 | 0.79 | 24.10% | 21.00% | 29.43 | 0.59 | 7.54% | 41.14% |
| 8 | 39.21 | 0.78 | 14.29% | 21.57% | 28.37 | 0.57 | 17.31% | 43.25% |
| 9 | 39.01 | 0.78 | 16.28% | 21.98% | 27.53 | 0.55 | 17.93% | 44.93% |
| 10 | 38.87 | 0.78 | 21.01% | 22.26% | 26.87 | 0.54 | 16.35% | 46.26% |
| 11 | 38.77 | 0.78 | 11.17% | 22.47% | 26.34 | 0.53 | 24.46% | 47.32% |
| 12 | 38.70 | 0.77 | 11.80% | 22.61% | 25.92 | 0.52 | 25.10% | 48.15% |
| 13 | 38.64 | 0.77 | 15.88% | 22.71% | 25.59 | 0.51 | 23.26% | 48.81% |
| 14 | 38.61 | 0.77 | 18.91% | 22.78% | 25.33 | 0.51 | 21.99% | 49.34% |
| 15 | 38.58 | 0.77 | 16.08% | 22.83% | 25.12 | 0.50 | 24.42% | 49.75% |
| 16 | 38.57 | 0.77 | 17.33% | 22.87% | 24.96 | 0.50 | 24.07% | 50.08% |

ตารางที่ ข-1.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Pd Feed [Single Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|-------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 41.74 | 0.83 | 9.68% | 16.53% | 49.51 | 0.99 | 7.15% | 0.97% |
| 2 | 35.40 | 0.71 | 10.73% | 29.21% | 49.16 | 0.98 | 23.98% | 1.68% |
| 3 | 30.70 | 0.61 | 22.94% | 38.60% | 48.90 | 0.98 | 22.74% | 2.20% |
| 4 | 27.34 | 0.55 | 25.95% | 45.32% | 48.71 | 0.97 | 31.94% | 2.58% |
| 5 | 25.00 | 0.50 | 31.83% | 50.00% | 48.57 | 0.97 | 32.46% | 2.85% |
| 6 | 23.41 | 0.47 | 31.38% | 53.19% | 48.47 | 0.97 | 42.11% | 3.06% |
| 7 | 22.34 | 0.45 | 29.81% | 55.32% | 48.40 | 0.97 | 52.05% | 3.20% |
| 8 | 21.64 | 0.43 | 36.93% | 56.72% | 48.34 | 0.97 | 40.90% | 3.31% |
| 9 | 21.18 | 0.42 | 36.88% | 57.64% | 48.30 | 0.97 | 43.97% | 3.39% |
| 10 | 20.88 | 0.42 | 35.00% | 58.24% | 48.27 | 0.97 | 50.29% | 3.45% |
| 11 | 20.68 | 0.41 | 40.68% | 58.63% | 48.25 | 0.97 | 38.38% | 3.50% |
| 12 | 20.56 | 0.41 | 40.60% | 58.88% | 48.24 | 0.96 | 39.37% | 3.53% |
| 13 | 20.48 | 0.41 | 38.60% | 59.04% | 48.22 | 0.96 | 44.60% | 3.55% |
| 14 | 20.43 | 0.41 | 37.10% | 59.15% | 48.22 | 0.96 | 48.49% | 3.57% |
| 15 | 20.39 | 0.41 | 38.65% | 59.22% | 48.21 | 0.96 | 45.04% | 3.58% |
| 16 | 20.37 | 0.41 | 38.03% | 59.26% | 48.21 | 0.96 | 46.65% | 3.59% |

ตารางที่ ข-2.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Pd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|-------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 51.21 | 1.02 | 0.00% | 2.42% | 54.17 | 1.08 | 5.79% | 8.35% |
| 2 | 55.97 | 1.12 | 0.00% | 11.94% | 57.33 | 1.15 | 2.43% | 14.66% |
| 3 | 60.73 | 1.21 | 0.00% | 21.46% | 59.72 | 1.19 | 1.67% | 19.44% |
| 4 | 61.68 | 1.23 | 0.00% | 23.36% | 61.53 | 1.23 | 0.25% | 23.05% |
| 5 | 60.71 | 1.21 | 0.00% | 21.42% | 62.89 | 1.26 | 3.59% | 25.78% |
| 6 | 62.99 | 1.26 | 0.00% | 25.98% | 63.93 | 1.28 | 1.49% | 27.85% |
| 7 | 63.92 | 1.28 | 0.00% | 27.84% | 64.71 | 1.29 | 1.23% | 29.42% |
| 8 | 61.41 | 1.23 | 0.00% | 22.82% | 65.30 | 1.31 | 6.33% | 30.60% |
| 9 | 61.53 | 1.23 | 0.00% | 23.06% | 65.75 | 1.31 | 6.85% | 31.50% |
| 10 | 64.55 | 1.29 | 0.00% | 29.10% | 66.09 | 1.32 | 2.38% | 32.17% |
| 11 | 62.86 | 1.26 | 0.00% | 25.72% | 66.34 | 1.33 | 5.54% | 32.69% |
| 12 | 63.64 | 1.27 | 0.00% | 27.28% | 66.54 | 1.33 | 4.55% | 33.07% |
| 13 | 63.28 | 1.27 | 0.00% | 26.56% | 66.68 | 1.33 | 5.38% | 33.37% |
| 14 | 64.23 | 1.28 | 0.00% | 28.46% | 66.79 | 1.34 | 3.99% | 33.59% |
| 15 | 62.71 | 1.25 | 0.00% | 25.42% | 66.88 | 1.34 | 6.65% | 33.76% |
| 16 | 64.54 | 1.29 | 0.00% | 29.08% | 66.94 | 1.34 | 3.72% | 33.88% |

ตารางที่ ข-2.2 ชุดข้อมูลที่ไดจากการนำกลับ Pd ระบบนำกลับเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Pd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|--------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 53.88 | 1.08 | 5.22% | 7.77% | 54.13 | 1.08 | 5.70% | 8.26% |
| 2 | 56.81 | 1.14 | 1.50% | 13.62% | 57.30 | 1.15 | 2.39% | 14.61% |
| 3 | 59.01 | 1.18 | 2.83% | 18.02% | 59.74 | 1.19 | 1.63% | 19.48% |
| 4 | 60.67 | 1.21 | 1.64% | 21.34% | 61.61 | 1.23 | 0.12% | 23.22% |
| 5 | 61.92 | 1.24 | 1.99% | 23.83% | 63.03 | 1.26 | 3.83% | 26.07% |
| 6 | 62.86 | 1.26 | 0.21% | 25.71% | 64.12 | 1.28 | 1.80% | 28.25% |
| 7 | 63.56 | 1.27 | 0.56% | 27.13% | 64.95 | 1.30 | 1.62% | 29.91% |
| 8 | 64.10 | 1.28 | 4.38% | 28.20% | 65.59 | 1.31 | 6.80% | 31.17% |
| 9 | 64.50 | 1.29 | 4.83% | 29.00% | 66.07 | 1.32 | 7.37% | 32.13% |
| 10 | 64.80 | 1.30 | 0.39% | 29.60% | 66.43 | 1.33 | 2.92% | 32.86% |
| 11 | 65.03 | 1.30 | 3.45% | 30.06% | 66.71 | 1.33 | 6.13% | 33.42% |
| 12 | 65.20 | 1.30 | 2.45% | 30.40% | 66.92 | 1.34 | 5.16% | 33.84% |
| 13 | 65.33 | 1.31 | 3.24% | 30.66% | 67.08 | 1.34 | 6.01% | 34.17% |
| 14 | 65.43 | 1.31 | 1.87% | 30.86% | 67.21 | 1.34 | 4.63% | 34.41% |
| 15 | 65.50 | 1.31 | 4.45% | 31.00% | 67.30 | 1.35 | 7.32% | 34.60% |
| 16 | 65.56 | 1.31 | 1.58% | 31.11% | 67.37 | 1.35 | 4.38% | 34.74% |

ตารางที่ ข-2.3 ชุดข้อมูลที่ไดจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Pd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|-------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 54.11 | 1.08 | 5.66% | 8.22% | 54.66 | 1.09 | 6.75% | 9.33% |
| 2 | 57.18 | 1.14 | 2.16% | 14.35% | 58.11 | 1.16 | 3.83% | 16.23% |
| 3 | 59.47 | 1.19 | 2.08% | 18.93% | 60.64 | 1.21 | 0.14% | 21.29% |
| 4 | 61.18 | 1.22 | 0.81% | 22.36% | 62.49 | 1.25 | 1.31% | 24.97% |
| 5 | 62.46 | 1.25 | 2.88% | 24.91% | 63.82 | 1.28 | 5.13% | 27.64% |
| 6 | 63.41 | 1.27 | 0.67% | 26.82% | 64.78 | 1.30 | 2.85% | 29.57% |
| 7 | 64.13 | 1.28 | 0.32% | 28.25% | 65.48 | 1.31 | 2.44% | 30.96% |
| 8 | 64.66 | 1.29 | 5.29% | 29.32% | 65.98 | 1.32 | 7.43% | 31.95% |
| 9 | 65.06 | 1.30 | 5.73% | 30.11% | 66.33 | 1.33 | 7.80% | 32.66% |
| 10 | 65.35 | 1.31 | 1.25% | 30.71% | 66.59 | 1.33 | 3.16% | 33.17% |
| 11 | 65.58 | 1.31 | 4.32% | 31.15% | 66.77 | 1.34 | 6.22% | 33.54% |
| 12 | 65.74 | 1.31 | 3.30% | 31.49% | 66.90 | 1.34 | 5.12% | 33.80% |
| 13 | 65.87 | 1.32 | 4.09% | 31.73% | 66.99 | 1.34 | 5.87% | 33.99% |
| 14 | 65.96 | 1.32 | 2.69% | 31.92% | 67.06 | 1.34 | 4.40% | 34.12% |
| 15 | 66.03 | 1.32 | 5.29% | 32.06% | 67.11 | 1.34 | 7.01% | 34.21% |
| 16 | 66.08 | 1.32 | 2.39% | 32.16% | 67.14 | 1.34 | 4.03% | 34.28% |

ตารางที่ ข-2.4 ชุดข้อมูลที่ไดจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิง
เส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | Pd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|-------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 55.45 | 1.11 | 8.28% | 10.90% | 52.29 | 1.05 | 2.11% | 4.58% |
| 2 | 59.19 | 1.18 | 5.75% | 18.37% | 54.24 | 1.08 | 3.09% | 8.48% |
| 3 | 61.72 | 1.23 | 1.63% | 23.44% | 55.91 | 1.12 | 7.94% | 11.82% |
| 4 | 63.42 | 1.27 | 2.82% | 26.84% | 57.34 | 1.15 | 7.04% | 14.67% |
| 5 | 64.56 | 1.29 | 6.33% | 29.11% | 58.56 | 1.17 | 3.53% | 17.13% |
| 6 | 65.31 | 1.31 | 3.68% | 30.62% | 59.62 | 1.19 | 5.35% | 19.24% |
| 7 | 65.80 | 1.32 | 2.95% | 31.61% | 60.53 | 1.21 | 5.30% | 21.07% |
| 8 | 66.13 | 1.32 | 7.69% | 32.26% | 61.32 | 1.23 | 0.14% | 22.65% |
| 9 | 66.35 | 1.33 | 7.83% | 32.69% | 62.01 | 1.24 | 0.77% | 24.01% |
| 10 | 66.49 | 1.33 | 3.00% | 32.97% | 62.60 | 1.25 | 3.03% | 25.19% |
| 11 | 66.58 | 1.33 | 5.92% | 33.16% | 63.11 | 1.26 | 0.40% | 26.22% |
| 12 | 66.64 | 1.33 | 4.72% | 33.28% | 63.55 | 1.27 | 0.13% | 27.11% |
| 13 | 66.68 | 1.33 | 5.37% | 33.36% | 63.94 | 1.28 | 1.04% | 27.88% |
| 14 | 66.71 | 1.33 | 3.86% | 33.41% | 64.28 | 1.29 | 0.07% | 28.55% |
| 15 | 66.72 | 1.33 | 6.40% | 33.45% | 64.57 | 1.29 | 2.96% | 29.14% |
| 16 | 66.73 | 1.33 | 3.40% | 33.47% | 64.82 | 1.30 | 0.44% | 29.65% |

ตารางที่ ข-2.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Pd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 52.89 | 1.06 | 3.28% | 5.78% | 55.06 | 1.10 | 7.51% | 10.11% |
| 2 | 54.90 | 1.10 | 1.91% | 9.80% | 59.09 | 1.18 | 5.57% | 18.17% |
| 3 | 56.31 | 1.13 | 7.28% | 12.62% | 62.29 | 1.25 | 2.57% | 24.59% |
| 4 | 57.30 | 1.15 | 7.10% | 14.60% | 64.84 | 1.30 | 5.13% | 29.69% |
| 5 | 57.99 | 1.16 | 4.47% | 15.99% | 66.87 | 1.34 | 10.15% | 33.74% |
| 6 | 58.48 | 1.17 | 7.15% | 16.97% | 68.48 | 1.37 | 8.71% | 36.96% |
| 7 | 58.83 | 1.18 | 7.96% | 17.66% | 69.75 | 1.40 | 9.13% | 39.51% |
| 8 | 59.07 | 1.18 | 3.80% | 18.15% | 70.77 | 1.42 | 15.24% | 41.53% |
| 9 | 59.25 | 1.18 | 3.71% | 18.49% | 71.57 | 1.43 | 16.31% | 43.14% |
| 10 | 59.37 | 1.19 | 8.03% | 18.74% | 72.20 | 1.44 | 11.86% | 44.41% |
| 11 | 59.45 | 1.19 | 5.42% | 18.91% | 72.71 | 1.45 | 15.67% | 45.42% |
| 12 | 59.51 | 1.19 | 6.48% | 19.03% | 73.11 | 1.46 | 14.88% | 46.21% |
| 13 | 59.56 | 1.19 | 5.88% | 19.12% | 73.42 | 1.47 | 16.03% | 46.85% |
| 14 | 59.59 | 1.19 | 7.23% | 19.18% | 73.67 | 1.47 | 14.70% | 47.35% |
| 15 | 59.61 | 1.19 | 4.94% | 19.22% | 73.87 | 1.48 | 17.80% | 47.74% |
| 16 | 59.62 | 1.19 | 7.62% | 19.25% | 74.03 | 1.48 | 14.70% | 48.06% |

ตารางที่ ข-2.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Pd Strip [Single Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|-------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 57.95 | 1.16 | 13.17% | 15.91% | 50.40 | 1.01 | 1.58% | 0.81% |
| 2 | 64.04 | 1.28 | 14.42% | 28.08% | 50.70 | 1.01 | 9.42% | 1.40% |
| 3 | 68.54 | 1.37 | 12.86% | 37.07% | 50.91 | 1.02 | 16.17% | 1.83% |
| 4 | 71.75 | 1.44 | 16.33% | 43.51% | 51.07 | 1.02 | 17.20% | 2.14% |
| 5 | 73.99 | 1.48 | 21.88% | 47.98% | 51.19 | 1.02 | 15.69% | 2.37% |
| 6 | 75.51 | 1.51 | 19.88% | 51.02% | 51.27 | 1.03 | 18.61% | 2.54% |
| 7 | 76.53 | 1.53 | 19.72% | 53.06% | 51.33 | 1.03 | 19.69% | 2.66% |
| 8 | 77.20 | 1.54 | 25.71% | 54.40% | 51.38 | 1.03 | 16.34% | 2.75% |
| 9 | 77.64 | 1.55 | 26.18% | 55.27% | 51.41 | 1.03 | 16.45% | 2.82% |
| 10 | 77.92 | 1.56 | 20.72% | 55.85% | 51.43 | 1.03 | 20.32% | 2.87% |
| 11 | 78.11 | 1.56 | 24.26% | 56.22% | 51.45 | 1.03 | 18.15% | 2.91% |
| 12 | 78.23 | 1.56 | 22.92% | 56.46% | 51.47 | 1.03 | 19.13% | 2.93% |
| 13 | 78.31 | 1.57 | 23.74% | 56.61% | 51.48 | 1.03 | 18.65% | 2.95% |
| 14 | 78.35 | 1.57 | 21.99% | 56.71% | 51.48 | 1.03 | 19.85% | 2.97% |
| 15 | 78.39 | 1.57 | 25.00% | 56.77% | 51.49 | 1.03 | 17.89% | 2.98% |
| 16 | 78.41 | 1.57 | 21.49% | 56.82% | 51.49 | 1.03 | 20.22% | 2.98% |

ตารางที่ ข-3.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Pd ระบบหอสกัดคู่ (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Pd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 46.38 | 0.93 | 0.00% | 7.24% | 45.43 | 0.91 | 2.06% | 9.15% |
| 2 | 42.36 | 0.85 | 0.00% | 15.28% | 41.64 | 0.83 | 1.71% | 16.73% |
| 3 | 39.41 | 0.79 | 0.00% | 21.18% | 38.46 | 0.77 | 2.41% | 23.08% |
| 4 | 33.67 | 0.67 | 0.00% | 32.66% | 35.78 | 0.72 | 6.26% | 28.45% |
| 5 | 35.92 | 0.72 | 0.00% | 28.16% | 33.49 | 0.67 | 6.75% | 33.01% |
| 6 | 34.21 | 0.68 | 0.00% | 31.58% | 31.54 | 0.63 | 7.79% | 36.91% |
| 7 | 28.37 | 0.57 | 0.00% | 43.26% | 29.87 | 0.60 | 5.28% | 40.26% |
| 8 | 29.31 | 0.59 | 0.00% | 41.38% | 28.42 | 0.57 | 3.02% | 43.15% |
| 9 | 30.66 | 0.61 | 0.00% | 38.68% | 27.18 | 0.54 | 11.35% | 45.64% |
| 10 | 26.12 | 0.52 | 0.00% | 47.76% | 26.10 | 0.52 | 0.08% | 47.80% |
| 11 | 27.87 | 0.56 | 0.00% | 44.26% | 25.17 | 0.50 | 9.70% | 49.67% |
| 12 | 28.16 | 0.56 | 0.00% | 43.68% | 24.35 | 0.49 | 13.51% | 51.29% |
| 13 | 25.35 | 0.51 | 0.00% | 49.30% | 23.65 | 0.47 | 6.70% | 52.70% |
| 14 | 22.34 | 0.45 | 0.00% | 55.32% | 23.04 | 0.46 | 3.13% | 53.92% |
| 15 | 26.67 | 0.53 | 0.00% | 46.66% | 22.51 | 0.45 | 15.61% | 54.99% |
| 16 | 24.71 | 0.49 | 0.00% | 50.58% | 22.04 | 0.44 | 10.79% | 55.91% |

ตารางที่ ข-3.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Pd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 45.72 | 0.91 | 1.42% | 8.56% | 45.81 | 0.92 | 1.22% | 8.38% |
| 2 | 42.18 | 0.84 | 0.44% | 15.65% | 41.90 | 0.84 | 1.08% | 16.19% |
| 3 | 39.21 | 0.78 | 0.52% | 21.59% | 38.58 | 0.77 | 2.11% | 22.84% |
| 4 | 37.57 | 0.75 | 11.57% | 24.87% | 35.74 | 0.71 | 6.16% | 28.51% |
| 5 | 36.33 | 0.73 | 1.15% | 27.33% | 33.32 | 0.67 | 7.25% | 33.37% |
| 6 | 35.40 | 0.71 | 3.49% | 29.19% | 31.23 | 0.62 | 8.71% | 37.54% |
| 7 | 34.70 | 0.69 | 22.33% | 30.59% | 29.44 | 0.59 | 3.77% | 41.12% |
| 8 | 34.18 | 0.68 | 16.60% | 31.65% | 27.89 | 0.56 | 4.83% | 44.21% |
| 9 | 33.78 | 0.68 | 10.18% | 32.44% | 26.56 | 0.53 | 13.37% | 46.88% |
| 10 | 33.48 | 0.67 | 28.18% | 33.04% | 25.41 | 0.51 | 2.72% | 49.18% |
| 11 | 33.26 | 0.67 | 19.32% | 33.49% | 24.41 | 0.49 | 12.40% | 51.17% |
| 12 | 33.09 | 0.66 | 17.49% | 33.83% | 23.55 | 0.47 | 16.36% | 52.89% |
| 13 | 32.96 | 0.66 | 30.01% | 34.08% | 22.81 | 0.46 | 10.03% | 54.38% |
| 14 | 32.86 | 0.66 | 47.10% | 34.28% | 22.16 | 0.44 | 0.80% | 55.68% |
| 15 | 32.79 | 0.66 | 22.95% | 34.42% | 21.60 | 0.43 | 19.00% | 56.80% |
| 16 | 32.74 | 0.65 | 32.48% | 34.53% | 21.12 | 0.42 | 14.54% | 57.77% |

ตารางที่ ข-3.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Pd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 45.44 | 0.91 | 2.02% | 9.12% | 44.71 | 0.89 | 3.59% | 10.57% |
| 2 | 41.67 | 0.83 | 1.63% | 16.66% | 40.30 | 0.81 | 4.87% | 19.40% |
| 3 | 38.51 | 0.77 | 2.28% | 22.98% | 36.63 | 0.73 | 7.06% | 26.75% |
| 4 | 36.83 | 0.74 | 9.38% | 26.35% | 33.58 | 0.67 | 0.27% | 32.84% |
| 5 | 35.57 | 0.71 | 0.98% | 28.86% | 31.05 | 0.62 | 13.55% | 37.89% |
| 6 | 34.63 | 0.69 | 1.22% | 30.74% | 28.96 | 0.58 | 15.34% | 42.08% |
| 7 | 33.93 | 0.68 | 19.58% | 32.15% | 27.23 | 0.54 | 4.03% | 45.55% |
| 8 | 33.40 | 0.67 | 13.96% | 33.20% | 25.79 | 0.52 | 12.02% | 48.43% |
| 9 | 33.01 | 0.66 | 7.66% | 33.98% | 24.59 | 0.49 | 19.81% | 50.83% |
| 10 | 32.72 | 0.65 | 25.26% | 34.57% | 23.59 | 0.47 | 9.69% | 52.82% |
| 11 | 32.50 | 0.65 | 16.61% | 35.00% | 22.75 | 0.46 | 18.36% | 54.49% |
| 12 | 32.33 | 0.65 | 14.82% | 35.33% | 22.06 | 0.44 | 21.68% | 55.89% |
| 13 | 32.21 | 0.64 | 27.07% | 35.58% | 21.47 | 0.43 | 15.31% | 57.06% |
| 14 | 32.12 | 0.64 | 43.78% | 35.76% | 20.98 | 0.42 | 6.10% | 58.05% |
| 15 | 32.05 | 0.64 | 20.18% | 35.89% | 20.56 | 0.41 | 22.90% | 58.87% |
| 16 | 32.00 | 0.64 | 29.51% | 36.00% | 20.21 | 0.40 | 18.19% | 59.57% |

ตารางที่ ข-3.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Log และ Exp

| Cycle | Pd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 45.81 | 0.92 | 1.22% | 8.38% | 43.49 | 0.87 | 6.24% | 13.03% |
| 2 | 41.90 | 0.84 | 1.08% | 16.19% | 38.23 | 0.76 | 9.74% | 23.53% |
| 3 | 38.58 | 0.77 | 2.11% | 22.84% | 34.05 | 0.68 | 13.61% | 31.90% |
| 4 | 35.74 | 0.71 | 6.16% | 28.51% | 30.74 | 0.61 | 8.70% | 38.52% |
| 5 | 33.32 | 0.67 | 7.25% | 33.37% | 28.14 | 0.56 | 21.66% | 43.72% |
| 6 | 31.23 | 0.62 | 8.71% | 37.54% | 26.10 | 0.52 | 23.71% | 47.80% |
| 7 | 29.44 | 0.59 | 3.77% | 41.12% | 24.49 | 0.49 | 13.67% | 51.02% |
| 8 | 27.89 | 0.56 | 4.83% | 44.21% | 23.22 | 0.46 | 20.77% | 53.56% |
| 9 | 26.56 | 0.53 | 13.37% | 46.88% | 22.21 | 0.44 | 27.55% | 55.57% |
| 10 | 25.41 | 0.51 | 2.72% | 49.18% | 21.41 | 0.43 | 18.04% | 57.19% |
| 11 | 24.41 | 0.49 | 12.40% | 51.17% | 20.76 | 0.42 | 25.51% | 58.48% |
| 12 | 23.55 | 0.47 | 16.36% | 52.89% | 20.24 | 0.40 | 28.13% | 59.52% |
| 13 | 22.81 | 0.46 | 10.03% | 54.38% | 19.82 | 0.40 | 21.83% | 60.37% |
| 14 | 22.16 | 0.44 | 0.80% | 55.68% | 19.47 | 0.39 | 12.84% | 61.06% |
| 15 | 21.60 | 0.43 | 19.00% | 56.80% | 19.19 | 0.38 | 28.05% | 61.62% |
| 16 | 21.12 | 0.42 | 14.54% | 57.77% | 18.96 | 0.38 | 23.27% | 62.08% |

ตารางที่ ข-3.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Pd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 46.53 | 0.93 | 0.33% | 6.93% | 44.75 | 0.89 | 3.52% | 10.50% |
| 2 | 43.66 | 0.87 | 3.07% | 12.68% | 40.40 | 0.81 | 4.63% | 19.21% |
| 3 | 41.26 | 0.83 | 4.69% | 17.48% | 36.77 | 0.74 | 6.71% | 26.47% |
| 4 | 39.25 | 0.78 | 16.56% | 21.51% | 33.72 | 0.67 | 0.15% | 32.56% |
| 5 | 37.55 | 0.75 | 4.53% | 24.91% | 31.16 | 0.62 | 13.26% | 37.69% |
| 6 | 36.11 | 0.72 | 5.54% | 27.79% | 28.99 | 0.58 | 15.27% | 42.03% |
| 7 | 34.88 | 0.70 | 22.95% | 30.24% | 27.14 | 0.54 | 4.32% | 45.71% |
| 8 | 33.84 | 0.68 | 15.45% | 32.33% | 25.58 | 0.51 | 12.74% | 48.85% |
| 9 | 32.94 | 0.66 | 7.45% | 34.11% | 24.24 | 0.48 | 20.94% | 51.52% |
| 10 | 32.18 | 0.64 | 23.19% | 35.64% | 23.10 | 0.46 | 11.58% | 53.81% |
| 11 | 31.52 | 0.63 | 13.10% | 36.96% | 22.12 | 0.44 | 20.64% | 55.76% |
| 12 | 30.96 | 0.62 | 9.93% | 38.09% | 21.28 | 0.43 | 24.43% | 57.44% |
| 13 | 30.47 | 0.61 | 20.19% | 39.06% | 20.56 | 0.41 | 18.89% | 58.88% |
| 14 | 30.05 | 0.60 | 34.51% | 39.90% | 19.94 | 0.40 | 10.73% | 60.11% |
| 15 | 29.69 | 0.59 | 11.31% | 40.62% | 19.41 | 0.39 | 27.21% | 61.17% |
| 16 | 29.38 | 0.59 | 18.88% | 41.25% | 18.96 | 0.38 | 23.28% | 62.08% |

ตารางที่ ข-3.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Pd Feed [Double Column] | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|---------|-------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 41.74 | 0.83 | 10.01% | 16.53% | 49.51 | 0.99 | 6.76% | 0.97% |
| 2 | 35.15 | 0.70 | 17.01% | 29.69% | 49.09 | 0.98 | 15.88% | 1.83% |
| 3 | 30.05 | 0.60 | 23.74% | 39.89% | 48.71 | 0.97 | 23.61% | 2.57% |
| 4 | 26.21 | 0.52 | 22.16% | 47.58% | 48.39 | 0.97 | 43.72% | 3.22% |
| 5 | 23.38 | 0.47 | 34.91% | 53.24% | 48.11 | 0.96 | 33.93% | 3.79% |
| 6 | 21.34 | 0.43 | 37.62% | 57.32% | 47.86 | 0.96 | 39.90% | 4.28% |
| 7 | 19.89 | 0.40 | 29.90% | 60.23% | 47.65 | 0.95 | 67.94% | 4.71% |
| 8 | 18.86 | 0.38 | 35.64% | 62.27% | 47.46 | 0.95 | 61.92% | 5.08% |
| 9 | 18.15 | 0.36 | 40.82% | 63.71% | 47.30 | 0.95 | 54.27% | 5.40% |
| 10 | 17.64 | 0.35 | 32.46% | 64.72% | 47.16 | 0.94 | 80.55% | 5.68% |
| 11 | 17.29 | 0.35 | 37.97% | 65.43% | 47.04 | 0.94 | 68.77% | 5.93% |
| 12 | 17.04 | 0.34 | 39.50% | 65.92% | 46.93 | 0.94 | 66.66% | 6.14% |
| 13 | 16.86 | 0.34 | 33.49% | 66.28% | 46.84 | 0.94 | 84.77% | 6.32% |
| 14 | 16.74 | 0.33 | 25.09% | 66.53% | 46.76 | 0.94 | 109.31% | 6.48% |
| 15 | 16.65 | 0.33 | 37.58% | 66.71% | 46.69 | 0.93 | 75.07% | 6.62% |
| 16 | 16.58 | 0.33 | 32.89% | 66.83% | 46.63 | 0.93 | 88.71% | 6.74% |

ตารางที่ ข-4.6 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดคู่ (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Pd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 51.21 | 1.02 | 0.00% | 2.42% | 54.17 | 1.08 | 5.79% | 8.35% |
| 2 | 55.97 | 1.12 | 0.00% | 11.94% | 58.04 | 1.16 | 3.71% | 16.09% |
| 3 | 60.73 | 1.21 | 0.00% | 21.46% | 61.57 | 1.23 | 1.38% | 23.14% |
| 4 | 61.68 | 1.23 | 0.00% | 23.36% | 64.74 | 1.29 | 4.96% | 29.48% |
| 5 | 60.71 | 1.21 | 0.00% | 21.42% | 67.57 | 1.35 | 11.30% | 35.14% |
| 6 | 62.99 | 1.26 | 0.00% | 25.98% | 70.08 | 1.40 | 11.25% | 40.16% |
| 7 | 63.92 | 1.28 | 0.00% | 27.84% | 72.29 | 1.45 | 13.09% | 44.58% |
| 8 | 61.41 | 1.23 | 0.00% | 22.82% | 74.23 | 1.48 | 20.88% | 48.47% |
| 9 | 61.53 | 1.23 | 0.00% | 23.06% | 75.94 | 1.52 | 23.42% | 51.88% |
| 10 | 64.55 | 1.29 | 0.00% | 29.10% | 77.43 | 1.55 | 19.96% | 54.87% |
| 11 | 62.86 | 1.26 | 0.00% | 25.72% | 78.74 | 1.57 | 25.26% | 57.48% |
| 12 | 63.64 | 1.27 | 0.00% | 27.28% | 79.88 | 1.60 | 25.52% | 59.76% |
| 13 | 63.28 | 1.27 | 0.00% | 26.56% | 80.88 | 1.62 | 27.81% | 61.75% |
| 14 | 64.23 | 1.28 | 0.00% | 28.46% | 81.74 | 1.63 | 27.27% | 63.49% |
| 15 | 62.71 | 1.25 | 0.00% | 25.42% | 82.50 | 1.65 | 31.56% | 65.00% |
| 16 | 64.54 | 1.29 | 0.00% | 29.08% | 83.16 | 1.66 | 28.85% | 66.32% |

ตารางที่ ข-4.2 ชุดข้อมูลที่ไดจากการนำกลับ Pd ระบบนำกลับคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Pd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 53.88 | 1.08 | 5.22% | 7.77% | 54.19 | 1.08 | 5.81% | 8.38% |
| 2 | 57.47 | 1.15 | 2.69% | 14.95% | 57.99 | 1.16 | 3.61% | 15.98% |
| 3 | 59.45 | 1.19 | 2.11% | 18.90% | 61.46 | 1.23 | 1.21% | 22.93% |
| 4 | 60.94 | 1.22 | 1.20% | 21.88% | 64.61 | 1.29 | 4.74% | 29.21% |
| 5 | 62.06 | 1.24 | 2.22% | 24.12% | 67.43 | 1.35 | 11.07% | 34.86% |
| 6 | 62.90 | 1.26 | 0.14% | 25.81% | 69.95 | 1.40 | 11.05% | 39.90% |
| 7 | 63.54 | 1.27 | 0.59% | 27.08% | 72.20 | 1.44 | 12.95% | 44.39% |
| 8 | 64.02 | 1.28 | 4.25% | 28.04% | 74.18 | 1.48 | 20.80% | 48.37% |
| 9 | 64.38 | 1.29 | 4.63% | 28.76% | 75.94 | 1.52 | 23.42% | 51.88% |
| 10 | 64.65 | 1.29 | 0.16% | 29.30% | 77.49 | 1.55 | 20.04% | 54.98% |
| 11 | 64.86 | 1.30 | 3.18% | 29.71% | 78.85 | 1.58 | 25.44% | 57.70% |
| 12 | 65.01 | 1.30 | 2.15% | 30.02% | 80.05 | 1.60 | 25.78% | 60.09% |
| 13 | 65.13 | 1.30 | 2.92% | 30.25% | 81.10 | 1.62 | 28.15% | 62.19% |
| 14 | 65.21 | 1.30 | 1.53% | 30.43% | 82.01 | 1.64 | 27.69% | 64.03% |
| 15 | 65.28 | 1.31 | 4.10% | 30.56% | 82.82 | 1.66 | 32.06% | 65.63% |
| 16 | 65.33 | 1.31 | 1.22% | 30.66% | 83.52 | 1.67 | 29.41% | 67.04% |

ตารางที่ ข-4.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดด้วยใช้สมดุลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Pd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 54.11 | 1.08 | 5.66% | 8.22% | 54.66 | 1.09 | 6.75% | 9.33% |
| 2 | 57.88 | 1.16 | 3.42% | 15.77% | 58.88 | 1.18 | 5.20% | 17.76% |
| 3 | 59.92 | 1.20 | 1.33% | 19.84% | 62.66 | 1.25 | 3.18% | 25.32% |
| 4 | 61.44 | 1.23 | 0.39% | 22.88% | 66.02 | 1.32 | 7.03% | 32.04% |
| 5 | 62.58 | 1.25 | 3.08% | 25.15% | 68.98 | 1.38 | 13.63% | 37.97% |
| 6 | 63.43 | 1.27 | 0.69% | 26.85% | 71.59 | 1.43 | 13.65% | 43.17% |
| 7 | 64.06 | 1.28 | 0.22% | 28.12% | 73.86 | 1.48 | 15.55% | 47.72% |
| 8 | 64.53 | 1.29 | 5.09% | 29.07% | 75.83 | 1.52 | 23.49% | 51.67% |
| 9 | 64.89 | 1.30 | 5.46% | 29.77% | 77.54 | 1.55 | 26.02% | 55.09% |
| 10 | 65.15 | 1.30 | 0.93% | 30.30% | 79.02 | 1.58 | 22.41% | 58.04% |
| 11 | 65.35 | 1.31 | 3.96% | 30.70% | 80.29 | 1.61 | 27.72% | 60.57% |
| 12 | 65.50 | 1.31 | 2.92% | 30.99% | 81.37 | 1.63 | 27.87% | 62.75% |
| 13 | 65.61 | 1.31 | 3.68% | 31.21% | 82.31 | 1.65 | 30.07% | 64.61% |
| 14 | 65.69 | 1.31 | 2.27% | 31.38% | 83.10 | 1.66 | 29.39% | 66.21% |
| 15 | 65.75 | 1.32 | 4.85% | 31.50% | 83.78 | 1.68 | 33.61% | 67.57% |
| 16 | 65.80 | 1.32 | 1.95% | 31.59% | 84.37 | 1.69 | 30.72% | 68.73% |

ตารางที่ ข-4.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดด้วยใช้สมดุลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Log และ Exp

| Cycle | Pd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 55.45 | 1.11 | 8.28% | 10.90% | 52.29 | 1.05 | 2.11% | 4.58% |
| 2 | 60.24 | 1.20 | 7.63% | 20.48% | 54.51 | 1.09 | 2.61% | 9.02% |
| 3 | 64.44 | 1.29 | 6.11% | 28.88% | 56.63 | 1.13 | 6.76% | 13.25% |
| 4 | 68.09 | 1.36 | 10.39% | 36.18% | 58.64 | 1.17 | 4.93% | 17.28% |
| 5 | 71.24 | 1.42 | 17.34% | 42.48% | 60.53 | 1.21 | 0.29% | 21.07% |
| 6 | 73.94 | 1.48 | 17.39% | 47.88% | 62.31 | 1.25 | 1.07% | 24.63% |
| 7 | 76.24 | 1.52 | 19.28% | 52.49% | 63.98 | 1.28 | 0.09% | 27.96% |
| 8 | 78.19 | 1.56 | 27.33% | 56.38% | 65.53 | 1.31 | 6.71% | 31.06% |
| 9 | 79.83 | 1.60 | 29.75% | 59.67% | 66.98 | 1.34 | 8.85% | 33.95% |
| 10 | 81.21 | 1.62 | 25.81% | 62.43% | 68.32 | 1.37 | 5.84% | 36.64% |
| 11 | 82.37 | 1.65 | 31.03% | 64.73% | 69.57 | 1.39 | 10.67% | 39.14% |
| 12 | 83.33 | 1.67 | 30.94% | 66.66% | 70.72 | 1.41 | 11.13% | 41.45% |
| 13 | 84.13 | 1.68 | 32.95% | 68.26% | 71.80 | 1.44 | 13.46% | 43.59% |
| 14 | 84.79 | 1.70 | 32.02% | 69.59% | 72.79 | 1.46 | 13.33% | 45.58% |
| 15 | 85.35 | 1.71 | 36.10% | 70.69% | 73.71 | 1.47 | 17.54% | 47.42% |
| 16 | 85.81 | 1.72 | 32.95% | 71.61% | 74.56 | 1.49 | 15.53% | 49.13% |

ตารางที่ ข-4.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Pd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 52.89 | 1.06 | 3.28% | 5.78% | 55.06 | 1.10 | 7.51% | 10.11% |
| 2 | 55.40 | 1.11 | 1.02% | 10.80% | 59.95 | 1.20 | 7.11% | 19.90% |
| 3 | 57.58 | 1.15 | 5.18% | 15.16% | 64.56 | 1.29 | 6.30% | 29.12% |
| 4 | 59.47 | 1.19 | 3.58% | 18.94% | 68.82 | 1.38 | 11.58% | 37.64% |
| 5 | 61.11 | 1.22 | 0.66% | 22.22% | 72.71 | 1.45 | 19.76% | 45.41% |
| 6 | 62.53 | 1.25 | 0.73% | 25.06% | 76.21 | 1.52 | 20.99% | 52.42% |
| 7 | 63.76 | 1.28 | 0.25% | 27.52% | 79.34 | 1.59 | 24.12% | 58.68% |
| 8 | 64.83 | 1.30 | 5.56% | 29.65% | 82.12 | 1.64 | 33.72% | 64.24% |
| 9 | 65.75 | 1.31 | 6.85% | 31.49% | 84.57 | 1.69 | 37.45% | 69.15% |
| 10 | 66.54 | 1.33 | 3.09% | 33.09% | 86.73 | 1.73 | 34.36% | 73.46% |
| 11 | 67.24 | 1.34 | 6.96% | 34.47% | 88.62 | 1.77 | 40.98% | 77.24% |
| 12 | 67.83 | 1.36 | 6.59% | 35.67% | 90.27 | 1.81 | 41.84% | 80.54% |
| 13 | 68.35 | 1.37 | 8.02% | 36.71% | 91.71 | 1.83 | 44.92% | 83.41% |
| 14 | 68.80 | 1.38 | 7.12% | 37.60% | 92.95 | 1.86 | 44.72% | 85.91% |
| 15 | 69.19 | 1.38 | 10.33% | 38.38% | 94.04 | 1.88 | 49.95% | 88.07% |
| 16 | 69.53 | 1.39 | 7.73% | 39.05% | 94.97 | 1.90 | 47.15% | 89.95% |

ตารางที่ ข-4.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pd ระบบหอสกัดคู่โดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Pd Strip [Double Column] | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|---------|-----------------------|------------------|--------|-------|
| | Cal (F-Log and S-Exp) | | | | Cal (F-Exp and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 57.95 | 1.16 | 13.17% | 15.91% | 50.40 | 1.01 | 1.58% | 0.81% |
| 2 | 65.64 | 1.31 | 17.28% | 31.28% | 50.75 | 1.01 | 9.33% | 1.49% |
| 3 | 72.81 | 1.46 | 19.89% | 45.61% | 51.04 | 1.02 | 15.95% | 2.08% |
| 4 | 79.28 | 1.59 | 28.53% | 58.55% | 51.29 | 1.03 | 16.84% | 2.59% |
| 5 | 84.94 | 1.70 | 39.92% | 69.89% | 51.51 | 1.03 | 15.15% | 3.02% |
| 6 | 89.78 | 1.80 | 42.53% | 79.55% | 51.70 | 1.03 | 17.92% | 3.40% |
| 7 | 93.79 | 1.88 | 46.73% | 87.58% | 51.86 | 1.04 | 18.87% | 3.72% |
| 8 | 97.04 | 1.94 | 58.02% | 94.08% | 52.00 | 1.04 | 15.32% | 4.00% |
| 9 | 99.61 | 1.99 | 61.90% | 99.23% | 52.12 | 1.04 | 15.29% | 4.25% |
| 10 | 101.62 | 2.03 | 57.42% | 103.23% | 52.23 | 1.04 | 19.09% | 4.46% |
| 11 | 103.15 | 2.06 | 64.09% | 106.30% | 52.32 | 1.05 | 16.77% | 4.64% |
| 12 | 104.30 | 2.09 | 63.90% | 108.61% | 52.40 | 1.05 | 17.66% | 4.80% |
| 13 | 105.17 | 2.10 | 66.19% | 110.33% | 52.47 | 1.05 | 17.08% | 4.94% |
| 14 | 105.80 | 2.12 | 64.73% | 111.61% | 52.53 | 1.05 | 18.22% | 5.06% |
| 15 | 106.27 | 2.13 | 69.47% | 112.55% | 52.58 | 1.05 | 16.15% | 5.16% |
| 16 | 106.62 | 2.13 | 65.20% | 113.24% | 52.63 | 1.05 | 18.46% | 5.25% |

ภาคผนวก ข

ผลคำนวณการสกัดและนำกลับโครเมตด้วยวิธีการสร้างกราฟ

ตารางที่ ข-1.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Cr ระบบหอสกัดเดี่ยว (ไพศาล, 2541)

| Cycle | Cr Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|----------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 62.38 | 0.55 | 0.00% | 44.89% | 53.84 | 0.48 | 13.69% | 52.44% |
| 2 | 35.21 | 0.31 | 0.00% | 68.90% | 28.85 | 0.25 | 18.07% | 74.52% |
| 3 | 18.42 | 0.16 | 0.00% | 83.73% | 18.32 | 0.16 | 0.54% | 83.82% |
| 4 | 6.93 | 0.06 | 0.00% | 93.88% | 13.89 | 0.12 | 100.41% | 87.73% |
| 5 | 1.67 | 0.01 | 0.00% | 98.52% | 12.02 | 0.11 | 619.85% | 89.38% |
| 6 | 0.55 | 0.00 | 0.00% | 99.51% | 11.24 | 0.10 | 1942.81% | 90.07% |

ตารางที่ ข-1.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Cr ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Cr Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|------|------|--------------|------------------|---------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | | | | | 62.33 | 0.55 | 0.08% | 44.94% |
| 2 | | | | | 35.52 | 0.31 | 0.87% | 68.63% |
| 3 | | | | | 18.33 | 0.16 | 0.47% | 83.80% |
| 4 | | | | | 7.61 | 0.07 | 9.86% | 93.27% |
| 5 | | | | | 3.22 | 0.03 | 92.78% | 97.16% |
| 6 | | | | | 2.01 | 0.02 | 266.20% | 98.22% |

ตารางที่ ข-1.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Cr ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Cr Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|------|------|-----------------------|------------------|-----------|----------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | | | | | 245.18 | 2.17 | 293.04% | -116.59% |
| 2 | | | | | -42.85 | -0.38 | 221.70% | 137.85% |
| 3 | | | | | 313.19 | 2.77 | 1600.26% | -176.67% |
| 4 | | | | | -46.13 | -0.41 | 765.72% | 140.75% |
| 5 | | | | | 313.33 | 2.77 | 18662.12% | -176.79% |
| 6 | | | | | -46.14 | -0.41 | 8489.17% | 140.76% |

ตารางที่ ข-1.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Cr ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Log และ Exp

| Cycle | Cr Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|---------|---------|-----------|------------------|----------|---------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 160.75 | 1.42 | 157.70% | -42.01% | 75.45 | 0.67 | 20.95% | 33.35% |
| 2 | 123.47 | 1.09 | 250.67% | -9.07% | 40.96 | 0.36 | 16.33% | 63.82% |
| 3 | 78.93 | 0.70 | 328.49% | 30.28% | 18.64 | 0.16 | 1.22% | 83.53% |
| 4 | 35.59 | 0.31 | 413.53% | 68.56% | 2.75 | 0.02 | 60.36% | 97.57% |
| 5 | 5.81 | 0.05 | 247.97% | 94.87% | -9.42 | -0.08 | 664.26% | 108.32% |
| 6 | 0.39 | 0.00 | 29.60% | 99.66% | -19.21 | -0.17 | 3592.92% | 116.97% |

ตารางที่ ข-1.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Cr ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Cr Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|---------|--------|-----------------------|------------------|---------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 106.27 | 0.94 | 70.36% | 6.12% | 82.04 | 0.72 | 31.52% | 27.53% |
| 2 | 54.42 | 0.48 | 54.56% | 51.93% | 44.51 | 0.39 | 26.41% | 60.68% |
| 3 | 26.80 | 0.24 | 45.50% | 76.32% | 23.35 | 0.21 | 26.78% | 79.37% |
| 4 | 12.52 | 0.11 | 80.64% | 88.94% | 12.46 | 0.11 | 79.87% | 88.99% |
| 5 | 5.20 | 0.05 | 211.66% | 95.40% | 7.00 | 0.06 | 319.08% | 93.82% |
| 6 | 1.48 | 0.01 | 168.19% | 98.70% | 4.28 | 0.04 | 678.06% | 96.22% |

ตารางที่ ข-1.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Cr ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Cr Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|---------|--------|-----------------------|------------------|----------|---------|
| | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 113.26 | 1.00 | 81.56% | -0.05% | 89.55 | 0.79 | 43.56% | 20.89% |
| 2 | 94.66 | 0.84 | 168.84% | 16.38% | 45.90 | 0.41 | 30.37% | 59.45% |
| 3 | 58.59 | 0.52 | 218.08% | 48.24% | 19.79 | 0.17 | 7.44% | 82.52% |
| 4 | 21.90 | 0.19 | 215.99% | 80.66% | 1.01 | 0.01 | 85.46% | 99.11% |
| 5 | 2.59 | 0.02 | 55.19% | 97.71% | -14.00 | -0.12 | 938.13% | 112.36% |
| 6 | 0.41 | 0.00 | 24.93% | 99.64% | -26.81 | -0.24 | 4974.33% | 123.68% |

ตารางที่ ข-2.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Cr ระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวรรณ, 2546)

| Cycle | Cr Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|---------|-----------|------------------|---------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 22.33 | 223.30 | 0.00% | 22230% | 52.66 | 526.58 | 135.82% | 52558% |
| 2 | 54.6 | 546.00 | 0.00% | 54500% | 74.79 | 747.91 | 36.98% | 74691% |
| 3 | 78.76 | 787.60 | 0.00% | 78660% | 84.11 | 841.11 | 6.79% | 84011% |
| 4 | 99.09 | 990.90 | 0.00% | 98990% | 88.04 | 880.36 | 11.16% | 87936% |
| 5 | 100.45 | 1004.50 | 0.00% | 100350% | 89.69 | 896.89 | 10.71% | 89589% |
| 6 | 109.24 | 1092.40 | 0.00% | 109140% | 90.38 | 903.85 | 17.26% | 90285% |

ตารางที่ ข-2.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Cr ระบบนำกลับเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Cr Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|------|------|--------------|------------------|-------|---------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | | | | | 24.46 | 244.60 | 9.54% | 24360% |
| 2 | | | | | 49.44 | 494.45 | 9.44% | 49345% |
| 3 | | | | | 80.56 | 805.59 | 2.28% | 80459% |
| 4 | | | | | 98.31 | 983.06 | 0.79% | 98206% |
| 5 | | | | | 103.76 | 1037.61 | 3.30% | 103661% |
| 6 | | | | | 105.12 | 1051.18 | 3.77% | 105018% |

ตารางที่ ข-2.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Cr ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Cr Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|------|------|-----------------------|------------------|----------|----------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | | | | | 334.83 | 3348.25 | 1399.44% | 334725% |
| 2 | | | | | -333.59 | -3335.88 | 710.97% | -333688% |
| 3 | | | | | 355.91 | 3559.10 | 351.89% | 355810% |
| 4 | | | | | -334.64 | -3346.39 | 437.71% | -334739% |
| 5 | | | | | 355.95 | 3559.50 | 254.36% | 355850% |
| 6 | | | | | -334.64 | -3346.41 | 406.34% | -334741% |

ตารางที่ ข-2.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Cr ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | Cr Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|---------|---------|-----------|------------------|---------|---------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 39.98 | 399.77 | 79.03% | 39877% | 87.46 | 874.62 | 291.68% | 87362% |
| 2 | 88.93 | 889.26 | 62.87% | 88826% | 127.41 | 1274.09 | 133.35% | 127309% |
| 3 | 140.10 | 1401.05 | 77.89% | 140005% | 151.38 | 1513.85 | 92.21% | 151285% |
| 4 | 187.71 | 1877.14 | 89.44% | 187614% | 168.03 | 1680.34 | 69.58% | 167934% |
| 5 | 219.79 | 2197.93 | 118.81% | 219693% | 180.62 | 1806.23 | 79.81% | 180523% |
| 6 | 225.60 | 2255.97 | 106.52% | 225497% | 190.68 | 1906.75 | 74.55% | 190575% |

ตารางที่ ข-2.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Cr ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Cr Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|---------|---------|-----------------------|------------------|---------|---------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 109.12 | 1091.17 | 388.66% | 109017% | 79.01 | 790.14 | 253.85% | 78914% |
| 2 | 167.19 | 1671.91 | 206.21% | 167091% | 123.50 | 1235.02 | 126.19% | 123402% |
| 3 | 197.22 | 1972.22 | 150.41% | 197122% | 146.40 | 1463.95 | 85.88% | 146295% |
| 4 | 212.60 | 2126.00 | 114.55% | 212500% | 157.89 | 1578.89 | 59.34% | 157789% |
| 5 | 220.44 | 2204.42 | 119.45% | 220342% | 163.61 | 1636.06 | 62.87% | 163506% |
| 6 | 224.43 | 2244.34 | 105.45% | 224334% | 166.44 | 1664.40 | 52.36% | 166340% |

ตารางที่ ข-2.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Cr ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Cr Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|---------|-----------------------|------------------|---------|---------|
| | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 20.47 | 204.66 | 8.35% | 20366% | 128.18 | 1281.84 | 474.05% | 128084% |
| 2 | 61.26 | 612.55 | 12.19% | 61155% | 176.50 | 1764.99 | 223.26% | 176399% |
| 3 | 107.63 | 1076.33 | 36.66% | 107533% | 204.78 | 2047.82 | 160.01% | 204682% |
| 4 | 147.94 | 1479.40 | 49.30% | 147840% | 224.93 | 2249.34 | 127.00% | 224834% |
| 5 | 168.19 | 1681.95 | 67.44% | 168095% | 240.94 | 2409.42 | 139.86% | 240842% |
| 6 | 170.46 | 1704.57 | 56.04% | 170357% | 254.56 | 2545.57 | 133.03% | 254457% |

ภาคผนวก ฉ

ผลคำนวณการสกัดและนำกลับทองแดงด้วยวิธีการสร้างกราฟ

ตารางที่ ฉ-1.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Cu ระบบหอสกัดเดี่ยว (อิศรา, 2541)

| Cycle | Cu Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|------|--------|-----------|------------------|-------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 0.53 | 0.01 | 0% | 99.46% | 16.56 | 0.17 | 3025% | 83.00% |
| 2 | 0.33 | 0.00 | 0% | 99.66% | 17.58 | 0.18 | 5227% | 81.96% |
| 3 | 0.19 | 0.00 | 0% | 99.81% | 18.59 | 0.19 | 9682% | 80.93% |
| 4 | 0.21 | 0.00 | 0% | 99.78% | 19.58 | 0.20 | 9223% | 79.91% |
| 5 | 1.53 | 0.02 | 0% | 98.43% | 20.56 | 0.21 | 1244% | 78.90% |
| 6 | 0.94 | 0.01 | 0% | 99.04% | 21.53 | 0.22 | 2190% | 77.91% |
| 7 | 6.96 | 0.07 | 0% | 92.86% | 22.48 | 0.23 | 223% | 76.93% |
| 8 | 13.59 | 0.14 | 0% | 86.05% | 23.43 | 0.24 | 72% | 75.96% |
| 9 | 23.11 | 0.24 | 0% | 76.28% | 24.36 | 0.25 | 5% | 75.00% |
| 10 | 35.56 | 0.36 | 0% | 63.51% | 25.28 | 0.26 | 29% | 74.06% |

ตารางที่ ฉ-1.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Cu ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Cu Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 5.82 | 0.06 | 998% | 94.03% | 33.18 | 0.34 | 6161% | 65.94% |
| 2 | 7.50 | 0.08 | 2174% | 92.30% | 34.53 | 0.35 | 10363% | 64.57% |
| 3 | 9.12 | 0.09 | 4699% | 90.64% | 35.42 | 0.36 | 18544% | 63.65% |
| 4 | 10.61 | 0.11 | 4953% | 89.11% | 36.06 | 0.37 | 17070% | 63.00% |
| 5 | 11.89 | 0.12 | 677% | 87.79% | 36.49 | 0.37 | 2285% | 62.55% |
| 6 | 12.82 | 0.13 | 1263% | 86.85% | 36.75 | 0.38 | 3810% | 62.28% |
| 7 | 13.18 | 0.14 | 89% | 86.47% | 36.85 | 0.38 | 429% | 62.18% |
| 8 | 12.81 | 0.13 | 6% | 86.86% | 36.79 | 0.38 | 171% | 62.25% |
| 9 | 11.63 | 0.12 | 50% | 88.07% | 36.56 | 0.38 | 58% | 62.48% |
| 10 | 9.68 | 0.10 | 73% | 90.07% | 36.19 | 0.37 | 2% | 62.86% |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฅ-1.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Cu ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Cu Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|---------|-----------------------|------------------|-------|---------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 156.81 | 1.61 | 29486% | -60.93% | -2.42 | -0.02 | 556% | 102.48% |
| 2 | 154.53 | 1.59 | 46727% | -58.59% | -6.39 | -0.07 | 2036% | 106.56% |
| 3 | 151.60 | 1.56 | 79691% | -55.59% | -7.72 | -0.08 | 4161% | 107.92% |
| 4 | 148.11 | 1.52 | 70427% | -52.00% | -7.05 | -0.07 | 3459% | 107.24% |
| 5 | 144.13 | 1.48 | 9320% | -47.91% | -4.42 | -0.05 | 389% | 104.54% |
| 6 | 139.75 | 1.43 | 14768% | -43.43% | 0.87 | 0.01 | 7% | 99.10% |
| 7 | 135.10 | 1.39 | 1841% | -38.65% | 16.28 | 0.17 | 134% | 83.29% |
| 8 | 130.29 | 1.34 | 859% | -33.71% | 34.25 | 0.35 | 152% | 64.85% |
| 9 | 125.44 | 1.29 | 443% | -28.74% | 38.58 | 0.40 | 67% | 60.41% |
| 10 | 120.69 | 1.24 | 239% | -23.86% | 41.06 | 0.42 | 15% | 57.86% |

ตารางที่ ฅ-1.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Cu ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | Cu Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|---------|-----------|------------------|-------|---------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 100% | 100.00% | -29.37 | -0.30 | 5642% | 130.14% |
| 2 | 0.30 | 0.00 | 10% | 99.70% | -20.19 | -0.21 | 6219% | 120.72% |
| 3 | 0.52 | 0.01 | 174% | 99.47% | -11.35 | -0.12 | 6072% | 111.64% |
| 4 | 0.77 | 0.01 | 267% | 99.21% | -2.61 | -0.03 | 1344% | 102.68% |
| 5 | 1.05 | 0.01 | 31% | 98.92% | 6.28 | 0.06 | 310% | 93.56% |
| 6 | 30.10 | 0.31 | 3102% | 69.11% | 15.79 | 0.16 | 1579% | 83.80% |
| 7 | 28.26 | 0.29 | 306% | 71.00% | 27.02 | 0.28 | 288% | 72.27% |
| 8 | 26.51 | 0.27 | 95% | 72.79% | 34.00 | 0.35 | 150% | 65.11% |
| 9 | 24.83 | 0.25 | 7% | 74.52% | 32.58 | 0.33 | 41% | 66.56% |
| 10 | 23.20 | 0.24 | 35% | 76.19% | 43.00 | 0.44 | 21% | 55.87% |

ตารางที่ ฅ-1.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Cu ระบบหอสกัดเดียวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Cu Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 42.06 | 0.43 | 7836% | 56.83% | 31.73 | 0.33 | 5886% | 67.44% |
| 2 | 28.24 | 0.29 | 8457% | 71.02% | 30.65 | 0.31 | 9188% | 68.55% |
| 3 | 27.41 | 0.28 | 14327% | 71.87% | 29.64 | 0.30 | 15500% | 69.58% |
| 4 | 26.84 | 0.28 | 12680% | 72.46% | 28.69 | 0.29 | 13564% | 70.55% |
| 5 | 26.40 | 0.27 | 1626% | 72.91% | 27.81 | 0.29 | 1718% | 71.46% |
| 6 | 26.04 | 0.27 | 2671% | 73.27% | 26.99 | 0.28 | 2771% | 72.30% |
| 7 | 25.74 | 0.26 | 270% | 73.58% | 26.22 | 0.27 | 277% | 73.09% |
| 8 | 25.48 | 0.26 | 88% | 73.85% | 25.50 | 0.26 | 88% | 73.83% |
| 9 | 25.25 | 0.26 | 9% | 74.08% | 24.83 | 0.25 | 7% | 74.51% |
| 10 | 25.05 | 0.26 | 30% | 74.29% | 24.21 | 0.25 | 32% | 75.15% |

ตารางที่ ฅ-1.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Cu ระบบหอสกัดเดียวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Cu Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|---------|
| | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 75.46 | 0.77 | 14138% | 22.56% | -61.56 | -0.63 | 11716% | 163.18% |
| 2 | 72.97 | 0.75 | 22014% | 25.11% | -4.69 | -0.05 | 1522% | 104.82% |
| 3 | 70.27 | 0.72 | 36884% | 27.88% | 0.51 | 0.01 | 166% | 99.48% |
| 4 | 67.34 | 0.69 | 31967% | 30.89% | 4.59 | 0.05 | 2088% | 95.28% |
| 5 | 64.19 | 0.66 | 4095% | 34.13% | 8.08 | 0.08 | 428% | 91.71% |
| 6 | 60.80 | 0.62 | 6368% | 37.60% | 11.19 | 0.11 | 1090% | 88.52% |
| 7 | 57.19 | 0.59 | 722% | 41.31% | 14.05 | 0.14 | 102% | 85.58% |
| 8 | 53.35 | 0.55 | 293% | 45.25% | 16.74 | 0.17 | 23% | 82.82% |
| 9 | 49.29 | 0.51 | 113% | 49.42% | 19.33 | 0.20 | 16% | 80.16% |
| 10 | 45.00 | 0.46 | 27% | 53.82% | 21.85 | 0.22 | 39% | 77.57% |

ตารางที่ ๓-2.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Cu ระบบหอสกัดเดี่ยว (วีรวัฒน์, 2546)

| Cycle | Cu Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|---------|-----------|------------------|---------|---------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 37.17 | 371.70 | 0.00% | 37070% | 74.99 | 749.86 | 101.74% | 74886% |
| 2 | 104.8 | 1048.00 | 0.00% | 104700% | 148.93 | 1489.29 | 42.11% | 148829% |
| 3 | 215.3 | 2153.00 | 0.00% | 215200% | 221.94 | 2219.40 | 3.08% | 221840% |
| 4 | 316.5 | 3165.00 | 0.00% | 316400% | 294.03 | 2940.32 | 7.10% | 293932% |
| 5 | 417.3 | 4173.00 | 0.00% | 417200% | 365.22 | 3652.17 | 12.48% | 365117% |
| 6 | 525.3 | 5253.00 | 0.00% | 525200% | 435.50 | 4355.05 | 17.09% | 435405% |
| 7 | 621.4 | 6214.00 | 0.00% | 621300% | 504.91 | 5049.07 | 18.75% | 504807% |
| 8 | 705.7 | 7057.00 | 0.00% | 705600% | 573.44 | 5734.36 | 18.74% | 573336% |
| 9 | 788.6 | 7886.00 | 0.00% | 788500% | 641.10 | 6411.02 | 18.70% | 641002% |
| 10 | 865 | 8650.00 | 0.00% | 864900% | 707.92 | 7079.16 | 18.16% | 707816% |

ตารางที่ ๓-2.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Cu ระบบนำกลับเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Cu Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|---------|--------------|------------------|--------|---------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 69.33 | 693.28 | 86.52% | 69228% | 39.47 | 394.71 | 6.19% | 39371% |
| 2 | 140.20 | 1402.05 | 33.78% | 140105% | 81.18 | 811.81 | 22.54% | 81081% |
| 3 | 213.02 | 2130.18 | 1.06% | 212918% | 125.87 | 1258.68 | 41.54% | 125768% |
| 4 | 288.17 | 2881.68 | 8.95% | 288068% | 174.16 | 1741.60 | 44.97% | 174060% |
| 5 | 366.24 | 3662.37 | 12.24% | 366137% | 226.71 | 2267.09 | 45.67% | 226609% |
| 6 | 448.12 | 4481.16 | 14.69% | 448016% | 284.14 | 2841.40 | 45.91% | 284040% |
| 7 | 535.18 | 5351.81 | 13.87% | 535081% | 346.89 | 3468.92 | 44.18% | 346792% |
| 8 | 629.51 | 6295.13 | 10.80% | 629413% | 414.89 | 4148.90 | 41.21% | 414790% |
| 9 | 734.20 | 7341.97 | 6.90% | 734097% | 487.13 | 4871.29 | 38.23% | 487029% |
| 10 | 854.04 | 8540.40 | 1.27% | 853940% | 561.46 | 5614.55 | 35.09% | 561355% |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฅ-2.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Cu ระบบหอสกัดเดียวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Cu Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|---------|----------|-----------------------|------------------|---------|---------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | -57.33 | -573.34 | 254.25% | -57434% | 91.72 | 917.21 | 146.76% | 91621% |
| 2 | -112.02 | -1120.18 | 206.89% | -112118% | 192.20 | 1922.01 | 83.40% | 192101% |
| 3 | -163.42 | -1634.21 | 175.90% | -163521% | 299.07 | 2990.69 | 38.91% | 298969% |
| 4 | -211.09 | -2110.94 | 166.70% | -211194% | 409.60 | 4096.02 | 29.42% | 409502% |
| 5 | -254.68 | -2546.76 | 161.03% | -254776% | 520.34 | 5203.42 | 24.69% | 520242% |
| 6 | -293.90 | -2939.01 | 155.95% | -294001% | 626.67 | 6266.67 | 19.30% | 626567% |
| 7 | -328.59 | -3285.95 | 152.88% | -328695% | 715.93 | 7159.33 | 15.21% | 715833% |
| 8 | -358.69 | -3586.90 | 150.83% | -358790% | 784.78 | 7847.80 | 11.21% | 784680% |
| 9 | -384.22 | -3842.22 | 148.72% | -384322% | 848.03 | 8480.33 | 7.54% | 847933% |
| 10 | -405.34 | -4053.43 | 146.86% | -405443% | 907.57 | 9075.71 | 4.92% | 907471% |

ตารางที่ ฅ-2.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Cu ระบบหอสกัดเดียวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | Cu Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|---------|---------|-----------|------------------|---------|---------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 182.10 | 1820.99 | 389.91% | 181999% | 138.70 | 1387.01 | 273.15% | 138601% |
| 2 | 284.26 | 2842.60 | 171.24% | 284160% | 265.77 | 2657.69 | 153.60% | 265669% |
| 3 | 384.58 | 3845.85 | 78.63% | 384485% | 382.19 | 3821.86 | 77.51% | 382086% |
| 4 | 483.84 | 4838.39 | 52.87% | 483739% | 488.46 | 4884.55 | 54.33% | 488355% |
| 5 | 582.32 | 5823.16 | 39.54% | 582216% | 584.69 | 5846.91 | 40.11% | 584591% |
| 6 | 650.91 | 6509.13 | 23.91% | 650813% | 670.47 | 6704.66 | 27.63% | 670366% |
| 7 | 721.25 | 7212.51 | 16.07% | 721151% | 744.15 | 7441.52 | 19.75% | 744052% |
| 8 | 793.25 | 7932.53 | 12.41% | 793153% | 700.54 | 7005.39 | 0.73% | 700439% |
| 9 | 866.86 | 8668.62 | 9.92% | 866762% | 768.31 | 7683.13 | 2.57% | 768213% |
| 10 | 942.04 | 9420.38 | 8.91% | 941938% | 725.81 | 7258.12 | 16.09% | 725712% |

ตารางที่ ฅ-2.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Cu ระบบหอสกัดเดียวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Cu Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|---------|---------|-----------------------|------------------|--------|---------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 136.82 | 1368.17 | 268.08% | 136717% | 72.15 | 721.51 | 94.11% | 72051% |
| 2 | 210.89 | 2108.92 | 101.23% | 210792% | 144.88 | 1448.81 | 38.25% | 144781% |
| 3 | 284.29 | 2842.86 | 32.04% | 284186% | 218.24 | 2182.42 | 1.37% | 218142% |
| 4 | 357.47 | 3574.67 | 12.94% | 357367% | 292.19 | 2921.85 | 7.68% | 292085% |
| 5 | 430.60 | 4306.03 | 3.19% | 430503% | 366.67 | 3666.67 | 12.13% | 366567% |
| 6 | 503.77 | 5037.67 | 4.10% | 503667% | 441.65 | 4416.47 | 15.92% | 441547% |
| 7 | 576.99 | 5769.92 | 7.15% | 576892% | 517.09 | 5170.88 | 16.79% | 516988% |
| 8 | 650.30 | 6502.95 | 7.85% | 650195% | 592.95 | 5929.53 | 15.98% | 592853% |
| 9 | 723.69 | 7236.85 | 8.23% | 723585% | 669.21 | 6692.10 | 15.14% | 669110% |
| 10 | 797.16 | 7971.64 | 7.84% | 797064% | 745.83 | 7458.30 | 13.78% | 745730% |

ตารางที่ ฅ-2.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Cu ระบบหอสกัดเดียวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Cu Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|---------|-----------------------|------------------|---------|----------|
| | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 24.25 | 242.54 | 34.75% | 24154% | 247.10 | 2471.01 | 564.78% | 247001% |
| 2 | 51.07 | 510.74 | 51.27% | 50974% | 353.26 | 3532.60 | 237.08% | 353160% |
| 3 | 80.78 | 807.77 | 62.48% | 80677% | 453.00 | 4529.95 | 110.40% | 452895% |
| 4 | 113.59 | 1135.86 | 64.11% | 113486% | 547.98 | 5479.84 | 73.14% | 547884% |
| 5 | 149.72 | 1497.23 | 64.12% | 149623% | 639.08 | 6390.78 | 53.15% | 638978% |
| 6 | 189.41 | 1894.06 | 63.94% | 189306% | 726.78 | 7267.79 | 38.35% | 726679% |
| 7 | 232.85 | 2328.52 | 62.53% | 232752% | 811.41 | 8114.11 | 30.58% | 811311% |
| 8 | 280.27 | 2802.72 | 60.28% | 280172% | 893.19 | 8931.91 | 26.57% | 893091% |
| 9 | 331.87 | 3318.70 | 57.92% | 331770% | 972.26 | 9722.58 | 23.29% | 972158% |
| 10 | 387.85 | 3878.48 | 55.16% | 387748% | 1048.70 | 10486.98 | 21.24% | 1048598% |

ภาคผนวก ญ

ผลคำนวณการสกัดและนำกลับแพลตินัมด้วยวิธีการสร้างกราฟ

ตารางที่ ญ-1.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสกัด Pt ระบบหอสกัดเดี่ยว (ณรรฐพล, 2545)

| Cycle | Pt Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 8.91 | 0.48 | 0.00% | 52.30% | 9.44 | 0.51 | 5.99% | 49.44% |
| 2 | 7.72 | 0.41 | 0.00% | 58.67% | 6.91 | 0.37 | 10.49% | 63.01% |
| 3 | 6.16 | 0.33 | 0.00% | 67.02% | 6.21 | 0.33 | 0.89% | 66.73% |

ตารางที่ ญ-1.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pt ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Pt Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|-------|--------|--------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 9.20 | 0.49 | 3.23% | 50.76% | 9.20 | 0.49 | 3.23% | 50.76% |
| 2 | 7.31 | 0.39 | 5.36% | 60.89% | 3.25 | 0.17 | 57.95% | 82.62% |
| 3 | 6.54 | 0.35 | 6.16% | 64.99% | 3.57 | 0.19 | 42.05% | 80.89% |

ตารางที่ ญ-1.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pt ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Pt Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 12.53 | 0.67 | 40.61% | 32.93% | 12.53 | 0.67 | 40.61% | 32.93% |
| 2 | 11.54 | 0.62 | 49.51% | 38.21% | 11.54 | 0.62 | 49.51% | 38.21% |
| 3 | 11.53 | 0.62 | 87.21% | 38.27% | 11.53 | 0.62 | 87.21% | 38.27% |

ตารางที่ ๑๖-1.4 ชุดข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pt ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ Log และ Exp

| Cycle | Pt Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 12.26 | 0.66 | 37.64% | 34.35% | 11.06 | 0.59 | 24.13% | 40.79% |
| 2 | 8.64 | 0.46 | 11.98% | 53.72% | 8.16 | 0.44 | 5.75% | 56.29% |
| 3 | 6.96 | 0.37 | 13.00% | 62.74% | 6.81 | 0.36 | 10.61% | 63.52% |

ตารางที่ ๑๖-1.5 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pt ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Pt Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 12.17 | 0.65 | 36.58% | 34.86% | 12.00 | 0.64 | 34.72% | 35.74% |
| 2 | 8.70 | 0.47 | 12.65% | 53.44% | 8.61 | 0.46 | 11.51% | 53.91% |
| 3 | 6.93 | 0.37 | 12.51% | 62.90% | 6.88 | 0.37 | 11.73% | 63.15% |

ตารางที่ ๑๖-1.6 ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pt ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมมูลสารละลายไม่เชิงเส้น
สมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Pt Feed (Single Column) | | | | | | | |
|-------|-------------------------|------------------|--------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|
| | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 12.08 | 0.65 | 35.53% | 35.36% | 11.17 | 0.60 | 25.32% | 40.22% |
| 2 | 8.55 | 0.46 | 10.73% | 54.24% | 8.21 | 0.44 | 6.39% | 56.03% |
| 3 | 6.92 | 0.37 | 12.27% | 62.98% | 6.84 | 0.37 | 11.06% | 63.38% |

ตารางที่ ๓-2.1 ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยการนำกลับ Pt ระบบหอสกัดเดี่ยว (วิวัฒน์, 2546)

| Cycle | Pt Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|-------|----------|-----------|------------------|--------|----------|
| | Experiment | | | | Cal (Lnr) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 4.51 | 45.10 | 0.00% | 4410.00% | 5.13 | 51.34 | 13.84% | 5034.22% |
| 2 | 6.39 | 63.90 | 0.00% | 6290.00% | 6.52 | 65.15 | 1.96% | 6415.27% |
| 3 | 6.97 | 69.70 | 0.00% | 6870.00% | 6.89 | 68.94 | 1.09% | 6794.13% |

ตารางที่ ๓-2.2 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Pt ระบบนำกลับเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 และสมการ Poly-3

| Cycle | Pt Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|----------|--------------|------------------|---------|-----------|
| | Cal (Poly-2) | | | | Cal (Poly-3) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 4.67 | 46.68 | 3.50% | 4567.73% | 13.27 | 132.69 | 194.22% | 13169.28% |
| 2 | 6.42 | 64.19 | 0.45% | 6318.96% | 9.55 | 95.54 | 49.51% | 9453.86% |
| 3 | 7.69 | 76.90 | 10.34% | 7590.44% | 10.52 | 105.17 | 50.88% | 10416.62% |

ตารางที่ ๓-2.3 ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Pt ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Poly-2 Non Zero และ Poly-3 Non Zero

| Cycle | Pt Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|---------|-----------|-----------------------|------------------|---------|-----------|
| | Cal (Poly-2 non-zero) | | | | Cal (Poly-3 non-zero) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 10.73 | 107.35 | 138.02% | 10634.74% | 10.73 | 107.35 | 138.02% | 10634.78% |
| 2 | 10.84 | 108.38 | 69.61% | 10737.94% | 10.84 | 108.38 | 69.61% | 10737.98% |
| 3 | 10.84 | 108.39 | 55.51% | 10739.03% | 10.84 | 108.39 | 55.51% | 10739.08% |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓-๒.๔ ชุดข้อมูลที่ได้จากการนำกลับ Pt ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ Log และ Exp

| Cycle | Pt Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|-----------|-----------|------------------|--------|-----------|
| | Cal (Log) | | | | Cal (Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 6.90 | 69.03 | 53.05% | 6802.60% | 7.80 | 77.98 | 72.91% | 7698.12% |
| 2 | 10.56 | 105.60 | 65.26% | 10460.25% | 10.72 | 107.23 | 67.81% | 10623.38% |
| 3 | 12.26 | 122.58 | 75.87% | 12158.36% | 12.09 | 120.88 | 73.43% | 11987.83% |

ตารางที่ ๓-๒.๕ ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pt ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ F-Lnr and S-Log และ F-Lnr and S-Exp

| Cycle | Pt Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|-----------|-----------------------|------------------|--------|-----------|
| | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 7.00 | 69.98 | 55.18% | 6898.45% | 6.85 | 68.45 | 51.77% | 6745.01% |
| 2 | 10.51 | 105.08 | 64.44% | 10407.85% | 10.27 | 102.74 | 60.79% | 10174.38% |
| 3 | 12.29 | 122.88 | 76.31% | 12188.49% | 12.02 | 120.18 | 72.42% | 11917.88% |

ตารางที่ ๓-๒.๖ ชุดข้อมูลจากการนำกลับ Pt ระบบหอสกัดเดี่ยวโดยใช้สมการละลายไม่เชิงเส้นสมการ F-Log and S-Exp และ F-Exp and S-Log

| Cycle | Pt Strip (Single Column) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|------------------|--------|-----------|-----------------------|------------------|--------|-----------|
| | Cal (F-Lnr and S-Exp) | | | | Cal (F-Lnr and S-Log) | | | |
| | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext | ppm | c/c ₀ | %Err | %Ext |
| 1 | 6.77 | 67.72 | 50.16% | 6672.22% | 8.01 | 80.14 | 77.68% | 7913.54% |
| 2 | 10.33 | 103.35 | 61.74% | 10235.00% | 11.00 | 109.95 | 72.07% | 10895.50% |
| 3 | 11.98 | 119.84 | 71.94% | 11884.31% | 12.38 | 123.79 | 77.60% | 12278.58% |

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเศรษฐา จตุระบุล เกิดวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2518 กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมที่โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย ปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปีพุทธศักราช 2541 หลังจบการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต ได้เข้าทำงานในบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) และบริษัท เพร็ลล์ออย (ไทยแลนด์) ในระหว่างนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย