

ผลของการป้อนสารเวียนรอบต่อการสกัดแยกธาตุ  
กลุ่มแร่เอิร์ทโดยอุปกรณ์พัลส์คอัลมันน์



นายจิรวังนั อีชอ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974 - 391 - 835 - 6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF REFLUX ON SEPARATION OF RARE EARTH  
IN PULSED PERFORATED - PLATES COLUMN**



**MR. JEELAWAT ESOR**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering**

**Department of Chemical Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

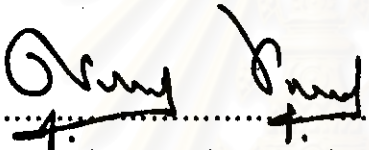
**Academic Year 1998**

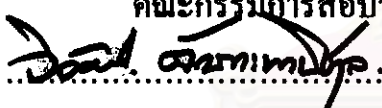
**ISBN 974 - 331 - 835 - 6**

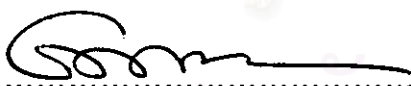
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการป้อนสารเว็ยนรอบต่อการสกัด แยกชาคอกกลุ่มเร่ร์เอิร์ท โดย  
อุปกรณ์พัลส์คอถัมน์

โดย นายจิรวังน์ อีชอ  
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ  
ที่ปรึกษา นายอิสสุติ สนิหวิ

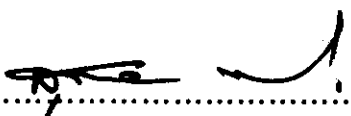
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัฒชะพานิชกุล)

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

  
..... ที่ปรึกษาร่วม  
(นายอิสสุติ สนิหวิ)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. สุพจน์ พัฒนศรี)

จิรวังนั อีซอ : ผลของการป้อนสารเวียนรอบต่อการสกัดแยกธาตุกลุ่มแรร์เอิร์ทโดยอุปกรณ์  
พัลส์คอลลัมน์ ( EFFECTS OF REFLUX ON SEPARATION OF RARE EARTH  
IN PULSED PERFORATED - PLATES COLUMN ) อ.ที่ปรึกษา : ร.ศ. ดร. อุรา  
ปานเจริญ , ที่ปรึกษาร่วม : นาย อิศสุติ สนิหวิ , 162 หน้า. ISBN 974-331-835-6

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการสกัดแยกธาตุกลุ่มแรร์เอิร์ทออกเป็นกลุ่ม คือ ธาตุแรร์เอิร์ท  
กลุ่มเบาที่ประกอบด้วย แกลทานัม และ พร่าซีโอคิเมียม อีกกลุ่มคือธาตุแรร์เอิร์ทกลุ่มหนักที่ประกอบด้วย  
นีโอคิเมียม อิตเทรียม ซาแมเรียม เป็นหลัก ด้วยเทคนิคการสกัดของเหลวด้วยของเหลวโดยอุปกรณ์พัลส์  
คอลลัมน์ที่มีการป้อนสารเวียนรอบ โดยจะศึกษาผลการสกัดแยกธาตุกลุ่มแรร์เอิร์ท เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของ  
สารป้อนเวียนรอบ และ เมื่อเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารป้อนเวียนรอบ

ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของสารป้อนเวียนรอบ พบว่าที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคอลลัมน์  
( ตำแหน่ง F3 จากการทดลอง ) จะให้ผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ทออกเป็นกลุ่มได้ดีที่สุด สำหรับค่าความเข้ม  
ชั้นของสารป้อนเวียนรอบที่ทำให้การสกัดแยกแรร์เอิร์ทเป็นกลุ่มให้ผลดีที่สุดคือที่ความเข้มข้น 370 gm. / Lt.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา .....วิศวกรรมเคมี.....  
สาขาวิชา .....วิศวกรรมเคมี.....  
ปีการศึกษา ..... 2541.....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C817474 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING  
KEY WORD: EXTRACTION / PULSED COLUMN / RARE EARTH

JEELAWAT ESOR : EFFECTS OF REFLUX ON SEPARATION OF RARE  
EARTH IN PULSED PERFORATED - PLATES COLUMN. THESIS ADVISOR :  
PROFESSOR. URA PANCHAROEN , D.Eng.Sc. , NJIT. THESIS COADVISO  
: ESUDEE SANIVEE , B Eng. 162 pp. ISBN 974 - 331 - 835 - 6

The reseach is studing the result of rare separation to  
be Light - rare - earth which combine Lanthanum , Praseodymium and  
Heavy - rare - earth combine Neodymium , Yttrium , Samarium mainly.  
Separation method is liquid - liquid extraction by used reflux in  
pulsed column ; studing result of rare earth separation when change  
position of reflux and cocentrate of reflux.

The result of experiment after change position of reflux  
is center of column ( F3 in column ) was the best position of  
separation rare earth. And for the best concentrate of reflux for  
separation rare earth is 370 gm./Lt.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำทางการวิจัย และข้อคิดในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ตลอดจนช่วยแก้ไข และเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศ.ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ประธานกรรมการ อาจารย์ ดร. สุพจน์ พัฒนศรี กรรมการ ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณอิสสุติ สนิหวิ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านความรู้และความเข้าใจในอุปกรณ์และประสบการณ์ต่างๆ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนส่งเสริมและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณ อาจารย์, เพื่อน, พี่และน้องๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามในครั้งนี้ ที่ได้มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ

### บทที่

1. บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	3
2. หลักการพื้นฐาน.....	4
2.1 ธาตุหายาก คือ Rare earth คือ .....	4
2.2 กระบวนการแยกสาร โดยวิธีสกัดของเหลวด้วยของเหลว.....	6
2.3 เครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลวในอุตสาหกรรม .....	10
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัด .....	10
2.5 การแบ่งประเภทของเครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลว.....	10
2.6 เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเลอร์ .....	15
2.7 เครื่องสกัดแบบพัลส์คอลลัมน์ .....	15
2.8 เครื่องสกัดแบบเซนติฟิวซ์ .....	17
2.9 เครื่องสกัดโดยใช้หลักไฟฟ้าสถิตย์ .....	17
2.10 การเลือกเครื่องมือในการสกัด .....	20
2.11 Pulsed extractor .....	23

## สารบัญ ( ต่อ )

บทที่	หน้า
2.11.1 ประวัติความเป็นมาของ Pulsed extractor .....	23
2.11.2 การทำงานโดยระบบพัลส์.....	23
2.11.3 การจัดความถี่และแอมป์ริจูด.....	26
2.11.4 ตัวอย่าง Pulsed Column ที่ใช้ในอุตสาหกรรม .....	27
2.11.5 ภาวะการท่วมใน Pulsed Perforated – Pate Column .....	33
2.11.6 ลักษณะที่เห็นในคอลัมน์สกัดในการที่จะเกิดภาวะท่วม.....	35
2.12 การเปียกตัว.....	38
2.13 การเลือกตัวทำละลาย .....	41
2.14 ทฤษฎีการแยกสาร .....	43
3. อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง .....	47
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	47
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	54
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเรอ์เอิร์ท ในเครดเพื่อใช้ในการสกัด.....	54
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวสกัด.....	56
3.2.3 ขั้นตอนในการเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์การสกัด.....	57
3.2.4 ขั้นตอนการศึกษาผลการสกัดแยกเรอ์เอิร์ท.....	57
3.2.4.1 กรณีที่ไม่มีสารปนสารเวียนรอบ.....	57
3.2.4.2 กรณีที่มีการปนสารเวียนรอบโดยเปลี่ยนความเข้มข้นค่าต่างๆ.....	58
3.2.4.3 กรณีที่มีการปนสารเวียนรอบโดยเปลี่ยนตำแหน่งปนสารเวียนรอบ.....	58
3.2.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์เรอ์เอิร์ทด้วยเครื่อง I C P .....	59
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	60
4.1 ผลการสกัดแยกเรอ์เอิร์ทโดยที่ไม่มีสารปนสารเวียนรอบ.....	60



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเว็ชรอบ โดยเปลี่ยนค่า ความเข้มข้นต่างๆ.....	66
4.3 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเว็ชรอบ โดยเปลี่ยน ตำแหน่งป้อนสารเว็ชรอบ .....	83
5. สรุปและข้อเสนอแนะ.....	100
5.1 สรุป.....	100
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	101
รายการอ้างอิง .....	102
ภาคผนวก	
ก. ตารางผลการทดลอง.....	104
ข. กระบวนการผลิต.....	139
ค. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	145
ง. งานควบคุมคุณภาพของสิ่งแวดล้อม.....	146
จ. การวางแผนระบบความปลอดภัย .....	152
ช. ชื่อและที่มาของธาตุ.....	155
ประวัติผู้วิจัย .....	162

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงประเภทของเครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลวที่เป็นคอลัมน์ตามแนวตั้ง .....	12
2.2 แสดงลักษณะเด่นและลักษณะด้วยของ Contractor และ Column.....	13
2.3 แสดง Performance Characteristic ของเครื่องมือสกัดในเชิงพาณิชย์ .....	21
ก.1 องค์ประกอบของแร่โมนาไซด์ .....	104
ก.2 องค์ประกอบของสารป้อน .....	105
ก.3 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทโดยไม่มีการป้อนสารเวียนรอบ .....	106
แสดงในรูปองค์ประกอบ	
ก.4 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทโดยไม่มีการป้อนสารเวียนรอบ .....	107
แสดงในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K)	
ก.5 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทโดยไม่มีการป้อนสารเวียนรอบ .....	108
แสดงในรูปค่าแสดงการสกัดแยกสาร (Separation factor)	
ก.6 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_1$ ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ	109
ก.7 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_2$ ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ	110
ก.8 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_3$ ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ	111
ก.9 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_4$ ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ	112
ก.10 ผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_5$ ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ	113
ก.11 แสดงผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K).....	114
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_1$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ	
ก.12 แสดงผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) .....	115
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_2$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
ก.13 แสดงผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) .....	116
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_3$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
ก.14 แสดงผลการสกัดแยกแร่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K).....	117
เมื่อมีการป้อนสารตำแหน่ง $F_4$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	

## สารบัญตาราง ( ต่อ )

ตารางที่	หน้า
ก.15 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพกระจายตัว (K) ..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_3$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	118
ก.16 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพสกัดแยกระหว่างสาร..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_1$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	119
ก.17 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพสกัดแยกระหว่างสาร ..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_2$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	120
ก.18 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพสกัดแยกระหว่างสาร ..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_3$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	121
ก.19 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพสกัดแยกระหว่างสาร ..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_4$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	122
ก.20 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพสกัดแยกระหว่างสาร ..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_5$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	123
4.21 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ ..... ความเข้มข้น 320 gm/lit.ที่ตำแหน่งต่างๆ	124
ก.22 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ ..... ความเข้มข้น 345 gm/lit.ที่ตำแหน่งต่างๆ	125
ก.23 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ ..... ความเข้มข้น 370 gm/lit.ที่ตำแหน่งต่างๆ	126
ก.24 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่..... ความเข้มข้น 395 gm/lit.ที่ตำแหน่งต่างๆ	127
ก.25 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ ..... ความเข้มข้น 420 gm/lit.ที่ตำแหน่งต่างๆ	128
ก.26 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพกระจายตัว (K)..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 320 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	129
ก.27 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพกระจายตัว (K) ..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 345 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	130

## สารบัญตาราง ( ต่อ )

ตารางที่	หน้า
ก.28 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพการกระจายตัว (K) ..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 370 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	131
ก.29 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพการกระจายตัว (K) ..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 390 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	132
ก.30 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพการกระจายตัว (K) ..... เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 420 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	133
ก.31 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพการสกัดแยกระหว่างสาร ..... (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 320 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	134
ก.32 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพการสกัดแยกระหว่างสาร..... (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 345 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	135
ก.33 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพการสกัดแยกระหว่างสาร ..... (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 370 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	136
ก.34 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพการสกัดแยกระหว่างสาร ..... (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 395 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	137
ก.35 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปแบบประสิทธิภาพการสกัดแยกระหว่างสาร ..... (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 420 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	138

## ตารางภาพ

	หน้า
1. รูปที่ 2.1 ตารางธาตุสำหรับหมู่ Lanthanide Series .....	2
2. รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการสกัดของเหลวด้วยของเหลว .....	6
3. รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการสกัดแบบไหลสวนทาง .....	8
4. รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องสกัดแบบ mixer settler.....	16
5. รูปที่ 2.5 แสดงเครื่องสกัดแบบ Pulsed Column.....	16
6. รูปที่ 2.6 แสดงเครื่องสกัดแบบ Centrifugal Device.....	18
7. รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องสกัดโดยใช้หลักไฟฟ้าสถิตย์ .....	19
8. รูปที่ 2.8 แสดงหลักการในการเลือกเครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลว .....	22
9. รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการสกัดต่างๆ .....	26
10. รูปที่ 2.10 แสดง pulsed spray column .....	28
11. รูปที่ 2.11 แสดง pulsed packed column.....	29
12. รูปที่ 2.12 แสดง pulsed perforated-plate column .....	30
13. รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบการกระจายตัว (เฟสเบาเป็นเฟสกระจาย) .....	31
14. รูปที่ 2.14 แสดง Reciprocating Sieve - plate Column .....	32
15. รูปที่ 2.15 แสดง droplet pattern ของการทำงานในภาวะต่าง ๆ .....	34
16. รูปที่ 2.16 แสดงการเปียกตัวของน้ำบนเพทเทฟลอน .....	38
17. รูปที่ 2.17 แสดงการเปียกตัวของน้ำมันบนเพทเทฟลอน .....	39
18. รูปที่ 2.18 แสดงการเปียกของน้ำบนเพทเทเหล็กไร้สนิมเบอร์ 304.....	39
19. รูปที่ 2.19 แสดงการเปียกของน้ำมันบนเพทเทเหล็กไร้สนิมเบอร์ 304.....	40
20. รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องสกัดแยกแบบพัลส์ คอลัมน์ .....	45
21. รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องควบคุมความถี่ (Electronic timer) .....	46
22. รูปที่ 3.3 แสดง metering pump .....	47
23. รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องระเหยที่ความดันต่ำ .....	48
24. รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องกรองแบบถัง ( filter tank) .....	49
25. รูปที่ 3.6 แสดง Inductive coupled plasma .....	50
26. รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างที่ยังไม่ทำการสกัดยูเรเนียม , ทอเรียมและซีเรียม.....	54

## ตารางภาพ (ต่อ )

	หน้า
27. รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างแร้วเอิร์ทที่ใช้ feed .....	55
28. รูปที่ 3.9 แสดงเครื่องระเหยขณะทำการระเหยแร้วเอิร์ทในเดรท .....	56
29. กราฟ 4.1 องค์ประกอบของแร้วโมนาไซด์ .....	61
30. กราฟ 4.2 องค์ประกอบของสารป้อน .....	62
31. กราฟ 4.3 ผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทโดยไม่มีการป้อนสารเวียนรอบ .....	63
แสดงในรูปองค์ประกอบ	
32. กราฟ 4.4 ผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทโดยไม่มีการป้อนสารเวียนรอบ .....	64
แสดงในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K)	
33. กราฟ 4.5 ผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทโดยไม่มีการป้อนสารเวียนรอบ .....	65
แสดงในรูปค่าแสดงการสกัดแยกสาร (Separation factor)	
34. กราฟ 4.6 ผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_1$ .....	68
ที่ความเข้มข้นค่าต่าง ๆ	
35. กราฟ 4.7 ผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_2$ .....	69
ที่ความเข้มข้นค่าต่าง ๆ	
36. กราฟ 4.8 ผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_3$ .....	70
ที่ความเข้มข้นค่าต่าง ๆ	
37. กราฟ 4.9 ผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_4$ .....	71
ที่ความเข้มข้นค่าต่าง ๆ	
38. กราฟ 4.10 ผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทเมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_5$ .....	72
ที่ความเข้มข้นค่าต่าง ๆ	
39. กราฟ 4.11 แสดงผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) .....	73
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_1$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
40. กราฟ 4.12 แสดงผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) .....	74
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_2$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
41. กราฟ 4.13 แสดงผลการสกัดแยกแร้วเอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) .....	75
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_3$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	

## ตารางภาพ ( ต่อ )

	หน้า
42. กราฟ 4.14 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K).....	76
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_4$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
43. กราฟ 4.15 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K).....	77
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_3$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
44. กราฟ 4.16 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร.....	78
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_1$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
45. กราฟ 4.17 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร .....	79
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_2$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
46. กราฟ 4.18 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร .....	80
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_3$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
47. กราฟ 4.19 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร .....	81
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_4$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
48. กราฟ 4.20 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร .....	82
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ตำแหน่ง $F_3$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	
49. กราฟ 4.21 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น .....	85
320 gm/lt. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	
50. กราฟ 4.22 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น .....	86
345 gm/lt. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	
51. กราฟ 4.23 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น .....	87
370 gm/lt. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	
52. กราฟ 4.24 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น .....	88
395 gm/lt. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	
53. กราฟ 4.25 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ท เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น.....	89
420 gm/lt. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	
54. กราฟ 4.26 แสดงผลการสกัดแยกแรร์เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) .....	90
เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 320 gm/lt. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	

### ตารางภาพ ( ต่อ )

หน้า

55. กราฟ 4.27 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) .....91  
 เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 345 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

56. กราฟ 4.28 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) ..... 92  
 เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 370 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

57. กราฟ 4.29 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) ..... 93  
 เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 395 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

58. กราฟ 4.30 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K) ..... 94  
 เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น 420 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

59. กราฟ 4.31 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร.....95  
 (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น  
 320 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

61. กราฟ 4.32 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร..... 96  
 (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น  
 345 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

62. กราฟ 4.33 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร ..... 97  
 (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น  
 370 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

63. กราฟ 4.34 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร ..... 98  
 (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น  
 395 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

64. กราฟ 4.35 แสดงผลการสกัดแยกแรรี่เอิร์ทในรูปสัมประสิทธิ์การสกัดแยกระหว่างสาร ..... 99  
 (Separation factor) เมื่อมีการป้อนสารเวียนรอบที่ความเข้มข้น  
 420 gm/lit. ที่ตำแหน่งต่าง ๆ