

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเกี่ยวกับการสกัดธาตุหายากจากแร่โมนาไซต์โดยวิธีการสกัด
ของเหลวด้วยของเหลว



นางสาวกาญจนา กิตติชนะเจริญ
นายมานะ วงศ์เกษม
นางสาวศิริพันธ์ ลิ้มพงษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 36743
วัน, เดือน, ปี..... 28 ส.ค. 2543

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเกี่ยวกับการสกัดแร่ธาตุหายากจากแร่โมนาไซต์โดยวิธีการสกัด
ของเหลวด้วยของเหลว

โดย นางสาวกาญจนา กิตติชนะเจริญ
นายมานะ วงศ์เกษม
นางสาวศิริพันธ์ ลิ้มพงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สันติ วัฒนานุสรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข¹

¹ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(อาจารย์สันติ วัฒนานุสรณ์)


กรรมการ
(อาจารย์สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข)


กรรมการ
(ศศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)


กรรมการ
(อาจารย์นภกร ชัมพิพิธ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเกี่ยวกับการสกัดแร่ธาตุหายากจากแร่โมนาไซต์โดยวิธีการสกัด
ของเหลวด้วยของเหลว

โดย นางสาวกาญจนา กิตติชนะเจริญ
นายมานะ วงศ์เกษม
นางสาวศิริพันธ์ ลิ้มพงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สันติ วัฒนานุสรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข¹

¹ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแเรเอิร์ทไนเตรตต่อประสิทธิภาพการสกัดสำหรับการสกัดธาตุหายากจากแร่โมนาไซต์ด้วยวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว สารป้อนถูกเตรียมขึ้นในรูปของสารละลายแเรเอิร์ทไนเตรตและตัวทำละลายที่ใช้ ได้แก่ 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าดที่อิ่มตัวด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ จากผลการทดลองพบว่า ควรใช้สารละลายแเรเอิร์ทไนเตรตที่มีกรดไนตริกในช่วงความเข้มข้นต่ำ (ประมาณ 0.3-1.0 โมลาร์) เนื่องจากสภาวะนี้ให้การสกัดแยกของธาตุหายากได้ดี และยังให้ข้อมูล ณ สมดุลของระบบดังกล่าวใช้ได้แม้ความเข้มข้นของกรดไนตริกเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย ข้อมูล ณ สภาวะสมดุลนี้ ยังนำมาใช้ในการศึกษาสภาวะการสกัดในคอลัมน์แบบพัลส์เฟอร์พอร์เทด-เพลท ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.7 เซนติเมตรและมีความสูงคอลัมน์ 343 เซนติเมตร โดยใช้สารละลายแเรเอิร์ทไนเตรตซึ่งเป็นเฟสน้ำ เป็นเฟสต่อเนื่อง และใช้สารละลายของ 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าดที่อิ่มตัวด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ ซึ่งเป็นเฟสน้ำมัน เป็นเฟสกระจาย จากการทดลองสำหรับอัตราส่วนการไหลที่เท่ากันของเฟสน้ำมันและเฟสน้ำพบว่า การสกัดที่มีอัตราการไหลรวมของเฟสน้ำและเฟสน้ำมันสูง ให้อัตราการถ่ายโอนมวลของแเรเอิร์ทสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title **A STUDY ON THE RARE-EARTHS FROM MONAZITE
BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION**

By Miss Kanjana Kittichanacharoen

Mr. Mana Wongkasem

Miss Siripan Limpong

Advisor Mr. Santi Wattananuson

Co-Advisor Mr. Surasak Pongpansook¹

¹Office of Atomic Energy for Peace

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project studied the effects of nitric acid concentration in rare earth nitrate solution on extractive efficiency for the extraction of rare earths in the form of $RE(NO_3)_3$ from monazite by liquid-liquid extraction method. The feed was prepared in the form of rare earth nitrate solution and the solvent used was 50% tributyl phosphate in kerosene saturated with 5 M HNO_3 . It has been suggested from the experimental results that rare earth nitrate with low nitric acid concentration (approximately 0.3–1.0 molar) be used since this condition provided a good selective extraction of rare earths. It also allowed the equilibrium data of the aforementioned system still viable even if the nitric concentration was slightly changed. This at equilibrium state data was then used to study the extraction condition in a Pulsed Perforated-plate Column with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 cm in diameter and 343 cm height using rare earth nitrate solution-an aqueous phase-as the continuous phase and 50% tributyl phosphate in kerosene saturated with 5 M HNO_3 -an organic phase-as the dispersion phase. It is found from the experiment for equal flow rate ratio of organic phase to aqueous phase that extraction with high total flow rate of aqueous and organic phase provided high mass-transfer rate of rare earths.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง การศึกษาเกี่ยวกับการสกัดแร่ธาตุหายากจากแร่โมนาไซต์โดยวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลวโดยใช้หอสกัดแบบพัลส์เพอร์ฟอเรท-เพลท เพื่อเสนอ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี การจัดทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความอนุเคราะห์จากผู้ทรงคุณวุฒิหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอถือโอกาสราบขอบพระคุณทุก ๆ ท่าน ดังนี้

อาจารย์สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ

คุณอารีรักษ์ กำน้อย

คุณสุภชัย แซ่เตีย

และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีทุกท่านที่มีได้เอื้อนาม

อาจารย์สันติ วัฒนานุสรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สัญลักษณ์.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วัตถุประสงค์.....	4
3. ทฤษฎีการสกัด.....	12
4. เครื่องสกัดของเหลวด้วยของเหลว.....	20
5. ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัด.....	45
6. ขั้นตอนการเตรียมสารละลายเรเออร์ทผสม.....	51
7. การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายเรเออร์ทไนเตรด ต่อการสกัดเรเออร์ทผสม.....	56
8. การศึกษาสถานะสมดุลของระบบสารละลายเรเออร์ทไนเตรดกับสารละลาย 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าดที่อิ่มตัวด้วยสารละลายกรดไนตริก เข้มข้น 5 โมลาร์.....	66
9. ผลของการสกัดเรเออร์ทผสม ณ สถานะการสกัดต่าง ๆ.....	82
10. การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของการสกัดเรเออร์ทผสม.....	88
11. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก	
ก ตารางธาตุ.....	99
ข ไตรบิวทิลฟอสเฟต (Tri-n-butyl phosphate หรือ TBP).....	100
ค ข้อมูลสถานะสำหรับหอสกัดที่ใช้.....	103
ง แบบจำลองการสกัดภายในหอสกัด.....	105
จ วิธีการคำนวณค่า H_R , N_R และ $K_x a$	107
ฉ การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดโดยใช้วิธี McCABE-THIELE....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ธาตุหายาก.....	5
ตารางที่ 4.1 การจำแนกประเภทเครื่องสกัดและการใช้งาน.....	24
ตารางที่ 6.1 สรุปข้อมูลเกี่ยวกับการเตรียมสารละลายแเรเอิร์ทไนเตรด.....	54
ตารางที่ 7.1 แรเอิร์ทออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้.....	59
ตารางที่ 7.2 ความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแเรเอิร์ทไนเตรดที่เติม 68% HNO ₃ ก่อนและหลังการสกัดด้วย 50% TBP ในน้ำมันก๊าดที่อิมัลชันด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์.....	60
ตารางที่ 7.3 ปริมาณแเรเอิร์ทออกไซด์ที่เหลืออยู่ในสารตัวอย่าง (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร).....	61
ตารางที่ 7.4 ปริมาณแเรเอิร์ทออกไซด์ที่ถูกสกัดเข้าไปใน TBP (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร).....	61
ตารางที่ 7.5 สัมประสิทธิ์การกระจาย (<i>k</i>) ณ ความเข้มข้นกรดไนตริกต่าง ๆ.....	62
ตารางที่ 7.6 ค่าการเลือก (α) ณ ความเข้มข้นกรดไนตริกต่าง ๆ.....	62
ตารางที่ 8.1 ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทออกไซด์ในส่วนสกัด (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร).....	71
ตารางที่ 8.2 ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทในส่วนสกัด (โมลาร์).....	72
ตารางที่ 8.3 ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทออกไซด์ในส่วนคงเหลือ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร).....	73
ตารางที่ 8.4 ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทในส่วนคงเหลือ (โมลาร์).....	74
ตารางที่ 9.1 ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัดสำหรับการสกัดครั้งที่ 1.....	83
ตารางที่ 9.2 ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัดสำหรับการสกัดครั้งที่ 2.....	84
ตารางที่ 9.3 ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัดสำหรับการสกัดครั้งที่ 3.....	85
ตารางที่ 9.4 ปริมาณแเรเอิร์ทใด ๆ ที่ได้จากการสกัด.....	86
ตารางที่ 10.1 ค่า H_R , N_R และ K_{α} ของธาตุ Sm, Gd และ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3.....	89
ตารางที่ 10.2 จำนวนชั้นทางทฤษฎีของธาตุ Sm, Gd และ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3.....	90
ตารางที่ ค-1 ข้อมูลสถานะสำหรับการสกัดครั้งที่ 1, 2 และ 3.....	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ จ-1 ความเข้มข้นของเรเอิร์ทที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัด สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 ณ เวลา 150 นาที.....	107
ตารางที่ จ-2 ความเข้มข้นของเรเอิร์ทที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัด สำหรับการสกัดครั้งที่ 3 ณ เวลา 150 นาที.....	108
ตารางที่ จ-3 ความเข้มข้นของเรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัด สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 ณ เวลา 150 นาที.....	109
ตารางที่ จ-4 ความเข้มข้นของเรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัด สำหรับการสกัดครั้งที่ 3 ณ เวลา 150 นาที.....	109
ตารางที่ จ-5 ความเข้มข้นของเรเอิร์ทในเฟสน้ำที่สมดุลกับความเข้มข้นของเรเอิร์ทใน เฟสน้ำมัน สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 ณ เวลา 150 นาที.....	111
ตารางที่ จ-6 ความเข้มข้นของเรเอิร์ทในเฟสน้ำที่สมดุลกับความเข้มข้นของเรเอิร์ทใน เฟสน้ำมัน สำหรับการสกัดครั้งที่ 3 ณ เวลา 150 นาที.....	111
ตารางที่ จ-7 ข้อมูลสำหรับการคำนวณจำนวนหารถ่ายโอนเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (N_R) ของซาแมเรียม (Sm) สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 ณ เวลา 150 นาที.....	112
ตารางที่ จ-8 ข้อมูลสำหรับการคำนวณจำนวนหารถ่ายโอนเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (N_R) ของแกโดลิเนียม (Gd) สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 ณ เวลา 150 นาที.....	113
ตารางที่ จ-9 ข้อมูลสำหรับการคำนวณจำนวนหารถ่ายโอนเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (N_R) ของอิตเทรียม (Y) สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 ณ เวลา 150 นาที.....	113

สารบัญญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1	การสกัดของเหลวด้วยของเหลวหรือการสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	13
รูปที่ 4.1	หลักการในการเลือกเครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลว.....	22
รูปที่ 4.2	เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซทเทลอร์	34
รูปที่ 4.3	เครื่องสกัดแบบแรงหนีศูนย์กลาง.....	35
รูปที่ 4.4	เครื่องสกัดโดยใช้ไฟฟ้าสถิตย์.....	36
รูปที่ 4.5	คอลัมน์แบบแพค	37
รูปที่ 4.6	คอลัมน์แบบแกนกลางหมุน	38
รูปที่ 4.7	คอลัมน์แบบพัลส์เพอร์ฟอเรต – เพลด.....	39
รูปที่ 4.8	droplet pattern ของการทำงานในภาวะต่าง ๆ	42
รูปที่ 5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดไนตริกในเฟสน้ำกับเฟสน้ำมัน.....	48
รูปที่ 6.1	ขั้นตอนการเตรียมสารป้อน.....	53
รูปที่ 7.1	ขั้นตอนการศึกษามวลของความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลาย แรเออร์ที่ไนเตรตต่อการสกัดแรเออร์ผสม.....	58
รูปที่ 7.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายกับความเข้มข้นของกรดไนตริก ณ ช่วงความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ.....	63
รูปที่ 7.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายกับความเข้มข้นของกรดไนตริก ณ ช่วงความเข้มข้นของกรดไนตริกสูง.....	63
รูปที่ 7.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเลือกกับความเข้มข้นของกรดไนตริก ณ ช่วงความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ.....	64
รูปที่ 7.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเลือกกับความเข้มข้นของกรดไนตริก ณ ช่วงความเข้มข้นของกรดไนตริกสูง.....	64
รูปที่ 8.1	รูปแบบของการสกัดแบบไหลสวนทางกัน.....	66
รูปที่ 8.2	แบบจำลองการสกัดแบบสวนทาง.....	68
รูปที่ 8.3	ปริมาณของสารที่ใช้ในการทดลอง.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{La} กับ x_{La} ณ สภาวะสมดุล..... 75

รูปที่ 8.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Ce} กับ x_{Ce} ณ สภาวะสมดุล..... 75

รูปที่ 8.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Pr} กับ x_{Pr} ณ สภาวะสมดุล..... 76

รูปที่ 8.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Nd} กับ x_{Nd} ณ สภาวะสมดุล..... 76

รูปที่ 8.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Sm} กับ x_{Sm} ณ สภาวะสมดุล..... 77

รูปที่ 8.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Eu} กับ x_{Eu} ณ สภาวะสมดุล..... 77

รูปที่ 8.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Gd} กับ x_{Gd} ณ สภาวะสมดุล..... 78

รูปที่ 8.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Dy} กับ x_{Dy} ณ สภาวะสมดุล..... 78

รูปที่ 8.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Yb} กับ x_{Yb} ณ สภาวะสมดุล..... 79

รูปที่ 8.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_Y กับ x_Y ณ สภาวะสมดุล..... 79

รูปที่ 8.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_i กับ x_i ณ สภาวะสมดุล..... 80

รูปที่ ก-1 ตารางธาตุ..... 99

รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับ %TBP ในน้ำมันก๊าด..... 102

รูปที่ ค-1 ข้อมูลจำเพาะของหอที่ใช้ในการสกัด..... 104

รูปที่ ง-1 แบบจำลองการสกัดภายในหอสกัด..... 105

รูปที่ จ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\left(\frac{1}{x-x^*}\right)$ กับ x ของ Sm สำหรับการสกัดครั้งที่ 2..... 115

รูปที่ จ-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\left(\frac{1}{x-x^*}\right)$ กับ x ของ Sm สำหรับการสกัดครั้งที่ 3..... 115

รูปที่ จ-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\left(\frac{1}{x-x^*}\right)$ กับ x ของ Gd สำหรับการสกัดครั้งที่ 2..... 116

รูปที่ จ-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\left(\frac{1}{x-x^*}\right)$ กับ x ของ Gd สำหรับการสกัดครั้งที่ 3..... 116

รูปที่ จ-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\left(\frac{1}{x-x^*}\right)$ กับ x ของ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 2..... 117

รูปที่ จ-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\left(\frac{1}{x-x^*}\right)$ กับ x ของ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 3..... 117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ฉ-1 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดโดยวิธี McCABE-THIELE ของธาตุ Sm สำหรับการสกัดครั้งที่ 2.....	119
รูปที่ ฉ-2 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดโดยวิธี McCABE-THIELE ของธาตุ Sm สำหรับการสกัดครั้งที่ 3.....	120
รูปที่ ฉ-3 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดโดยวิธี McCABE-THIELE ของธาตุ Gd สำหรับการสกัดครั้งที่ 2.....	121
รูปที่ ฉ-4 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดโดยวิธี McCABE-THIELE ของธาตุ Gd สำหรับการสกัดครั้งที่ 3.....	122
รูปที่ ฉ-5 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดโดยวิธี McCABE-THIELE ของธาตุ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 2.....	123
รูปที่ ฉ-6 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดโดยวิธี McCABE-THIELE ของธาตุ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 3.....	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

a	พื้นที่ผิวเชิงประสิทธิผลต่อหน่วยปริมาตร (ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร)
a_m	แอมพลิจูด
E	อัตราการไหลของสารละลายชั้นน้ำมัน (ลิตร/ชั่วโมง) หรือ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
E_n	ส่วนสกัด ณ ตำแหน่งที่ n
f	ความถี่ของการพัลส์
F	สารป้อน (Feed)
H_E	ความสูงต่อหน่วยการถ่ายโอน (Height of a Transfer Unit) เมื่อเทียบกับเฟสน้ำมัน
H_R	ความสูงต่อหน่วยการถ่ายโอน (Height of a Transfer Unit) เมื่อเทียบกับเฟสน้ำ
i	องค์ประกอบของเรอ์ทใด ๆ
k	สัมประสิทธิ์การกระจาย
K_x	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (เมตร/ลิตร)
K_y	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับเฟสน้ำมัน (เมตร/ลิตร)
$K_{x,a}$	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (วินาที ⁻¹)
$K_{y,a}$	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับเฟสน้ำมัน (วินาที ⁻¹)
N_E	จำนวนต่อหน่วยการถ่ายโอน (Number of Transfer Units) เมื่อเทียบกับเฟสน้ำมัน
N_R	จำนวนต่อหน่วยการถ่ายโอน (Number of Transfer Units) เมื่อเทียบกับเฟสน้ำ
R	อัตราการไหลของสารละลายชั้นน้ำ (ลิตร/ชั่วโมง) หรือ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
R_n	ส่วนคงเหลือ ณ ตำแหน่งที่ n
s	พื้นที่หน้าตัดของหอสกัด (ตารางเมตร)
S	ตัวทำละลาย (Solvent)
V_c	อัตราการไหลของเฟสต่อเนื่อง
V_d	อัตราการไหลของเฟสกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

- x ความเข้มข้นของแรเอิร์ทในสารละลายชั้นน้ำหรือส่วนคงเหลือ
- x^* ความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำ ที่สมดุลกับความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน (โมลาร์)
- y ความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน (โมลาร์)
- y^* ความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน ที่สมดุลกับความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำ (โมลาร์)
- Z ความสูงหอสกัด (เมตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การแยกสารในทางอุตสาหกรรม กระทำเพื่อสกัดแยกสารที่ต้องการออกจากแหล่งหรือต้นกำเนิดโดยใช้กระบวนการทางเคมี เช่น การสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืช การกลั่นลำดับส่วนแยกน้ำมันชนิดต่าง ๆ จากน้ำมันดิบ การแยกธาตุออกจากสินแร่ หรือเพื่อแยกผลิตภัณฑ์ในกระบวนการอุตสาหกรรมที่มีการสังเคราะห์สาร ซึ่งใช้สารตั้งต้นและสารช่วยในปฏิกิริยาอื่น ๆ ทั้งนี้ภายหลังจากกระบวนการจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการปะปนมากับผลิตภัณฑ์ข้างเคียงและสารตั้งต้นที่ไม่เกิดปฏิกิริยา การที่จะนำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการซึ่งปะปนมากับผลิตภัณฑ์ข้างเคียงมาใช้ประโยชน์จริง ๆ จึงต้องมีการใช้กระบวนการแยกสารเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง

เครื่องมือแยกสารในอุตสาหกรรมมีหลายประเภท การจะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต่างกันของสารที่ต้องการจะแยก เช่น การแยกโดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด จะใช้การกลั่น การแยกโดยอาศัยความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน จะใช้การสกัดของเหลวด้วยของเหลว

ในการสกัดธาตุหายากซึ่งเป็นธาตุที่มีมูลค่าสูงและมีคุณค่ามาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ในการสกัดธาตุเหล่านี้ ซึ่งอยู่รวมกันในสินแร่ต่าง ๆ โดยสินแร่ที่พบธาตุหายากในปริมาณมาก ได้แก่ แร่โมนาไซต์ (Monazite) แร่บาสเนไซต์ (Bastnesite) และแร่ซีโนไทม์ (Xenotime) เนื่องจากธาตุหายากมีถึง 15 ธาตุ จึงจำเป็นต้องทำการสกัดแยกธาตุหายากออกจากกันและวิธีที่นิยม คือ การสกัดด้วยของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกระบวนการสกัดด้วยของเหลว เป็นกระบวนการแยกสารซึ่งอยู่ในรูปสารละลาย โดยอาศัยหลักการที่ว่า ความสามารถในการละลายที่ไม่เท่ากันของตัวถูกละลายในตัวทำละลายสองชนิด ในกระบวนการจะมีสารที่ต้องการแยกอยู่ในตัวทำละลายชนิดหนึ่งเป็นสารตั้งต้น (Feed) และใช้ตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่งเป็นตัวสกัด (Extractant) โดยที่ตัวทำละลายสองชนิดจะไม่ละลายซึ่งกันและกันหรือละลายได้น้อยมาก ทำให้ภายหลังการสกัดเกิดการแยกชั้นของเหลวออกเป็นสองเฟส และตัวถูกละลายส่วนใหญ่จะเกิดการถ่ายโอนมวลข้ามเฟสไปยังตัวสกัด

โครงการนี้เป็นการศึกษาขั้นตอนของการสกัดธาตุหายากออกจากแร่โมโนไซต์โดยใช้วิธีการสกัดด้วยของเหลว และใช้หอสกัดแบบพัลส์เพอร์ฟอร์เมต-เพลท สำหรับธาตุหายากที่นำมาสกัดนั้น เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม IIB ของตารางธาตุ โดยทั่วไป ธาตุหายากจึงมีเวเลนซ์เท่ากับ 3 โดยธาตุซีเรียม (มีเวเลนซ์เท่ากับ 3 หรือ 4) สามารถสกัดออกก่อนได้ โดยวิธีการตกตะกอนที่ pH ที่เหมาะสม

1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษากระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวโดยใช้หอสกัดแบบพัลส์เพอร์ฟอร์เมต-เพลท
2. ศึกษาสภาวะเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของหอสกัดแบบพัลส์เพอร์ฟอร์เมต-เพลท
3. ศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกต่อประสิทธิภาพการสกัดธาตุหายาก โดยใช้สารละลายของ 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าดที่อิ่มตัวด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นตัวทำละลาย
4. ปรับปรุงขั้นตอนการเตรียมสารป้อนหรือสารละลายแรเอิร์ทไนเตรตผสมให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ศึกษาข้อมูลสมมูลของระบบสารละลายแเรเออร์ทไนเทรตและสารละลายของ 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าด

6. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองมาใช้อธิบายและปรับปรุงกระบวนการสกัดให้เหมาะสม

1.2 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

1. เตรียมสารละลายแเรเออร์ทไนเทรตหรือสารป้อน และทดลองสกัดธาตุหายาก
2. ศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกที่มีอยู่ในสารละลายแเรเออร์ทไนเทรต และในสารละลายของ 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าดต่อประสิทธิภาพการสกัด
3. ศึกษาหาเส้นสมมูลสำหรับระบบการสกัดธาตุหายาก
4. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดธาตุหายากด้วยหอสกัดแบบพลัสเปอร์ฟอเรท-เพลาท

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลอง ไปพัฒนางานสกัดธาตุหายากต่อไป
2. นำข้อมูลที่ได้ไปใช้คำนวณเกี่ยวกับการสกัดในระบบสารละลายแเรเออร์ทไนเทรต และ สารละลายของ 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าด ที่มีในระดับโรงงานอุตสาหกรรมหรือ ระดับงานวิจัยต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ธาตุหายาก

2.1 นิยามของธาตุหายาก [1]

ธาตุหายาก หรือ Rare Earth Elements หรือ Rare Earths โดยทั่วไปหมายถึงธาตุในอนุกรม Lanthanides ในบางครั้งจึงเรียกธาตุหายากว่า Lanthanides, Lanthanons หรือ Lanthanoids ชื่อของอนุกรมธาตุนี้มาจากชื่อของธาตุแรก ๆ ของอนุกรม คือ ธาตุแลนทานัม ซึ่งอนุกรมธาตุนี้ประกอบด้วยธาตุ 15 ธาตุ เรียงลำดับกันตามเลขอะตอมตั้งแต่ 57 ถึง 71 โดยทั่วไป มักแบ่งธาตุหายากออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ ธาตุหายากกลุ่มเบา (Light Rare Earths) หรือกลุ่มซีเรียม หมายถึง ธาตุหายากที่มีเลขอะตอม 57 ถึง 63 (รวมทอเรียมที่มีเลขอะตอม 90) และธาตุหายากกลุ่มหนัก (Heavy Rare Earths) หรือกลุ่มอิตเทรียม หมายถึง ธาตุหายากที่มีเลขอะตอม 64 ถึง 71 (รวมทั้งสแกนเดียมและอิตเทรียมที่มีเลขอะตอม 21 และ 39 ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับธาตุหายากมาก จึงนับรวมไว้ในกลุ่มธาตุหายากด้วย) ดังตารางที่ 2.1

ในปัจจุบันพบว่า ธาตุหายากเป็นธาตุที่มีได้หายาก แต่พบมากในธรรมชาติ เช่น ซีเรียม ซึ่งเป็นธาตุหายากที่มีมากที่สุดที่พบในธรรมชาติเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุหายากอื่น ๆ ธาตุหายากทุกชนิดมีสมบัติเป็นโลหะ ปกติมีเวเลนซ์ เท่ากับสาม แต่บางธาตุได้แก่ ซีเรียม สามารถมีเวเลนซ์เท่ากับสี่ได้เมื่อถูกออกซิไดซ์ และบางธาตุสามารถมีเวเลนซ์เท่ากับสองได้เมื่อถูกรีดิวซ์ ได้แก่ ยูโรเพียม อิตเทอร์เบียม และซาแมเรียม

ปัจจุบันมีการพัฒนากระบวนการแยกธาตุหายากต่าง ๆ ที่สำคัญที่มีการนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ ได้แก่กระบวนการการใช้ Ion Exchange Chromatography และ Liquid-Liquid Extraction

2.2 แหล่งที่พบ [1]

ธาตุหายากมักเกิดกระจุกกระจายอยู่ทั่วไปมากกว่าจะเกิดรวมกันเป็นหัวแร่ (Concentrates) มีธาตุอยู่ 3 ชนิดที่มีปริมาณธาตุหายากมาก ซึ่งประมาณร้อยละ 95 ของธาตุหายากทั้งโลกที่มีอยู่ในแร่เหล่านี้ คือ แร่บาสเนไซต์ แร่โมนาไซต์ และแร่ซีโนไทม์

ในประเทศไทย ธาตุหายากจะพบในแร่โมนาไซต์และแร่ซีโนไทม์

ตารางที่ 2.1 ธาตุหายากและคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ

ธาตุ	สัญลักษณ์	Atomic number	Atomic mass	
แลนทานัม	La	57	138.9	Light Rare Earths
ซีเรียม	Ce	58	140.1	
เพรซีโอดีเมียม	Pr	59	140.9	
นีโอดีเมียม	Nd	60	144.2	
โพรมิเทียม	Pm	61	147.0	
ซาแมเรียม	Sm	62	150.4	
ยูโรเพียม	Eu	63	152.0	Heavy Rare Earths
แกโดลิเนียม	Gd	64	157.3	
เทอร์เบียม	Tb	65	158.9	
ดิสโพรเซียม	Dy	66	162.5	
โฮลเมียม	Ho	67	164.9	
เออร์เบียม	Er	68	167.3	
ทูเลียม	Tm	69	168.9	
อิตเทอร์เบียม	Yb	70	173.0	
ลูทีเชียม	Lu	71	175.0	
(อิตเทรียม)	Y	39	88.9)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดที่นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แร่โมนาไซต์ในประเทศไทย [1],[2],[3],[4]

แร่โมนาไซต์ เป็นแร่กัมมันตรังสี (Radioactive Mineral) ชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มแร่หายาก (Rare Earths) โดยมีทอเรียมและยูเรเนียมเป็นองค์ประกอบ

2.3.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์

เกิดอยู่ในระบบผลึก Monoclinic โดยผลึกที่พบมักมีขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ไม่แสดงรูปผลึกหรือแสดงรูปผลึกไม่ชัดเจน มีสีเหลือง น้ำตาลเหลือง น้ำตาลแดง ส่วนใหญ่มักอมเขียวหรือบางครั้งเกือบขาว ความวาวของผิวแร่คล้ายขี้ผึ้งจนถึงคล้ายแก้ว โปร่งแสง ความถ่วงจำเพาะ 4.6-5.4 โดยเพิ่มขึ้นตามปริมาณธาตุทอเรียม ความแข็ง 5-5.5 ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้นจะให้สีเขียว สามารถตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีได้ด้วยเครื่อง Geiger Counter หรือเครื่อง Survey Meter มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กอย่างอ่อนและไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า

2.3.2 คุณสมบัติทางเคมี

แร่โมนาไซต์ คือ สารประกอบฟอสเฟตของธาตุในกลุ่มธาตุหายากที่สำคัญ ได้แก่ ซีเรียม แลนทานัม นอกจากนี้ ยังมีธาตุทอเรียมและยูเรเนียมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ตามสูตร $(Ce La Y Th)PO_4$ ธาตุ Th ที่อยู่ในแร่โมนาไซต์จะอยู่ในรูป ThO_2 ตั้งแต่ 2-20% อัตราส่วนของ Ce:La ประมาณ 1:1 Th มักแทนที่ Ce และ La ได้เล็กน้อยไปจนถึง 10-20% ของธาตุ ThO_2 ส่วนธาตุ Y แทนที่ Ce และ La ได้เล็กน้อย ซิลิกา (SiO_2) มักปนอยู่ด้วยในรูป Thorite ($ThSiUO_4$) หั่วแร่โมนาไซต์สะอาดจะมีผลวิเคราะห์ของ Rare-Earth Oxides + Thoria (REO + Thoria) ตั้งแต่ 55% ขึ้นไป

แร่โมนาไซต์โดยทั่วไปเกิดเป็นแร่ประกอบหินในหินอัคนีชนิดหินแกรนิตและในหินแปรชนิดหินไนส์ บางครั้งพบแหล่งของแร่โมนาไซต์ ในบริเวณที่มีหินดังกล่าวเป็นหินแม่ ซึ่งอาจมีมากพอจนกลายเป็นแหล่งแร่ที่สำคัญ โดยมีแร่อื่น ๆ ที่เกิดร่วมด้วย เช่น แร่ซีโนไทม์ แร่เซอร์คอน แร่โอลิเมไนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศไทยพบแร่โมนาไซต์อยู่ในแหล่งแร่ดีบุกเกือบทุกแห่ง ทั้งแร่บนบก ในทะเล และบนภูเขา โดยแหล่งแร่เหล่านี้มักพบปริมาณของแร่โมนาไซต์ค่อนข้างสูง แต่ความสมบูรณ์ของแร่โมนาไซต์จะต่ำกว่าแร่ดีบุกมาก ในปริมาณที่ต่ำกว่า 0.001% ขณะที่แร่ดีบุกมีความสมบูรณ์พอที่จะทำเหมืองได้ตั้งแต่ 0.012% ขึ้นไป

หัวแร่ดีบุกปฐมภูมิ (Primary Concentrate) ที่ได้จากเหมืองจะพบแร่โมนาไซต์ในปริมาณที่สูงขึ้นพอสมควร ปกติหัวแร่ดีบุกขั้นต้นจะมีแร่ดีบุกอยู่ตั้งแต่ 10% ขึ้นไปจนถึง 70-80% และจะมีแร่โมนาไซต์ตั้งแต่ 0.01% จนถึงสูงกว่า 1% อย่างไรก็ตามในกระบวนการแต่งแร่จะมีการสูญเสียแร่โมนาไซต์พร้อมแร่อื่น ๆ ไปกับหางแร่หรือขี้แร่ (Tailing) หลังจากแต่งแร่ดีบุกสะอาดออกไปแล้วจะเหลือมูลแร่นักหรือแร่คละ (Amang) ซึ่งจะประกอบด้วยแร่พลอยได้จากแร่ดีบุก ประกอบด้วยแร่ซีโนไทม์ แร่โมนาไซต์ แร่เซอร์คอน แร่รูไทล์ แร่โคลัมไบต์ เป็นต้น

ผลผลิตแร่โมนาไซต์ที่สำคัญได้จากการนำมูลแร่หรือแร่คละดังกล่าวมาผ่านกระบวนการแต่งแร่อีกครั้ง ซึ่งโรงงานที่ผลิตแร่โมนาไซต์หรือโรงแต่งแร่ต่าง ๆ ในท้องที่จังหวัดภูเก็ต พังงา และระนอง แหล่งแร่โมนาไซต์ที่สำคัญอีกแหล่งคือ แหล่งแร่ชายหาด (Beach Sand Deposit) ที่จังหวัดชุมพร ซึ่งมีการแต่งแร่เซอร์คอนและแร่โมนาไซต์เป็นแร่สำคัญ โดยแร่ดีบุกมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้นำแร่โมนาไซต์มาแปรสภาพโดยการบดให้ละเอียด และการย่อยแร่ จากนั้นจะมีการแยกธาตุวิสกุนิวเคลียร์ ได้แก่ ยูเรเนียมและทอเรียมออก ที่เหลือจะเป็นกลุ่มธาตุหายากที่ยังคงเหลืออยู่ ซึ่งจะถูกนำไปแยกเป็นธาตุหายากเฉพาะกลุ่มหรือธาตุหายากเฉพาะตัวต่อไป

2.4 การใช้ประโยชน์จากธาตุหายาก [1]

ธาตุหายากมีจำนวนมากถึงเกือบ 1 ใน 6 ของธาตุทั้งหมดที่ปรากฏอยู่บนตารางธาตุ การใช้ประโยชน์จึงกว้างขวางมาก อาทิเช่น

2.4.1 อุตสาหกรรมโลหะ

- ใช้มิชเมทัล (Misch Metal) ได้จากการนำแร่ที่เป็นต้นกำเนิดธาตุหายากมา แปรรูปให้เป็นสารประกอบคลอไรด์ แล้วนำมาแยกสลายด้วยไฟฟ้าได้เป็นโลหะของธาตุหายากรวมกันเป็นกลุ่ม ๆ ผสมกับเหล็กกล้าเพื่อผลิตเหล็กกล้าที่มีอัลลอยต่ำความแข็งแรงสูง (High-Strength Low Alloy Steel)
- ใช้มิชเมทัลเติมลงในโลหะผสมอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม เพื่อเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลที่อุณหภูมิสูงสำหรับผลิตเครื่องยนต์ของเครื่องบิน

2.4.2 อุตสาหกรรมเคมี-ตัวเร่งปฏิกิริยา

- ใช้ซีเรียมเป็นส่วนผสมของตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการสังเคราะห์แอมโมเนียเพื่อลดอุณหภูมิของปฏิกิริยาจาก 450-550 องศาเซลเซียส เป็น 400-470 องศาเซลเซียส
- ใช้อิทเทรียมหรือซีเรียมเป็นส่วนผสมของตัวเร่งปฏิกิริยาตัวขับของเสียจากการเผาไหม้ของน้ำมันเครื่องยนต์ (Catalytic Converter) ซึ่งตามปกติจะต้องใช้สารถึง 3 ชนิด คือ แพลททินัม โรเดียม และแพลเลเดียม ผสมกันและมีราคาแพง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แพลททินัม การใช้ธาตุหายากมาผสมช่วยให้สามารถใช้แพลเลเดียมเพียงธาตุเดียวได้ ซึ่งมีราคาถูกกว่า เป็นผลให้ค่าใช้จ่ายลดลงร้อยละ 30-50
- ใช้ซีเรียมเป็นสารกันน้ำออกแทนตะกั่วได้ดีและช่วยลดมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 อุตสาหกรรมแก้วและเซรามิก

- ใช้ซีเรียมออกไซด์และยูโรเพียมออกไซด์ผสมในเลนส์ที่ให้สีเข้มเมื่อถูกแสงแดด และใสเมื่ออยู่ในร่ม (Phototropic Lens)
- ใช้ซีเรียมออกไซด์และนีโอติเมียมออกไซด์ผสมในแก้วที่ดูดแสงในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต เพื่อทำภาชนะบรรจุเบียร์ อาหาร และยาที่ไวต่อแสงในช่วงคลื่นนี้
- ใช้ซีเรียมออกไซด์ผสมในแก้วสำหรับผลิตจอโทรทัศน์สี เพื่อป้องกันมิให้จอเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากถูกอิเล็กตรอน
- ใช้สำหรับทำให้แก้วมีสีตามต้องการ เช่น นีโอติเมียมทำให้แก้วมีสีม่วงหรือแดง เออร์เบียมทำให้แก้วมีสีชมพู เป็นต้น
- ผงซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) ใช้สำหรับขัดเลนส์โดยไม่ทำให้เกิดรอยขีดข่วน เพรซีโอติเมียมหรือนีโอติเมียมใช้ร่วมกับธาตุอื่น ๆ เช่น โทเทเนียม แมงกานีส สำหรับเคลือบเลนส์ทำให้ดัชนีหักเห (Refractive Index) ของเลนส์สูงขึ้น ช่วยลดการสะท้อนแสงของเลนส์ได้เกือบทั้งหมด

2.4.4 อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และฟอสฟอรั

- ผล็ก Gallium-Gadolinium-Garnet ใช้ทำ Bubble Memory Film ใช้ในระบบโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์ ฟิล์มชนิดนี้สามารถเก็บข้อมูลด้วยความเร็วสูงกว่าแถบแม่เหล็ก และจานแม่เหล็กประมาณ 10 เท่าตัว แต่ใช้พลังงานน้อยกว่า นอกจากนี้ข้อมูลที่เก็บไว้จะไม่ถูกลบออกเมื่อเกิดกระแสไฟดับ
- ใช้เลนทานัมออกไซด์มากถึงร้อยละ 20 ผสมในใยแก้วนำแสง (Optic Fiber) ซึ่งต้องเป็นแก้วที่มีค่าดัชนีหักเห (Refractive Index) สูง ๆ

- การใช้ธาตุหายากผลิตไส้หลอดไฟเรืองแสง มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ประหยัดพลังงานต่ำกว่าแบบเก่า เนื่องจากตัดพลังงานบางส่วนที่ไม่จำเป็นต่อสายตาในสเปกตรัมของแสงสีขาวออกไป เช่น ยูโรเพียมใน Strontium Chlor Apatite ให้แสงในช่วงน้ำเงิน-ม่วง ยูโรเพียมในอิตเทรียมออกไซด์ให้แสงในช่วงส้ม-แดง และซิงค์ซัลไฟด์ให้แสงในช่วงสีเขียว

- นิโอติเนียมใช้เป็นต้นกำเนิดแสงเลเซอร์

2.4.5 อุตสาหกรรมนาฬิกา

เดมเรเดียมซึ่งแผ่รังสีแกมมาในการทำปรายน้ำสำหรับดูเวลาในที่มืด ปัจจุบันใช้โพรมีเทียมซึ่งแผ่รังสีบีตาแทน

2.4.6 ด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์

ธาตุหายากบางธาตุจัดได้ว่า เป็นธาตุที่มีค่าพื้นที่หน้าตัดสูง สามารถดูดซับนิวตรอนได้มาก แกโดลิเนียมในปริมาณน้อย จึงถูกใช้ผสมในเชื้อเพลิงนิวเคลียร์สำหรับเป็น Burnable Poison หรือยูโรเพียมใช้สำหรับระบบความปลอดภัยของการควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์ ซึ่งปกติมี Control Rod เป็นตัวควบคุม

2.4.7 ด้านอุตสาหกรรมสี

ผลิตภัณฑ์เซรามิก สีทาอาคาร และสีเคลือบ ที่มีสีแดงซึ่งผลิตจากซีเรียม (Cerium Sulfide, Ce_2S_3) สำหรับทดแทนแม่สีสีแดงที่ใช้ในปัจจุบันมากกว่าปีละ 2 พันตัน ซึ่งผลิตจากโลหะหนัก 2 ชนิดคือ แคดเมียม (Cadmium Sulfoselenide) และตะกั่ว (Lead Molybdate)

2.4.8 การผลิตพลังงานสำหรับอนาคต

ไฮโดรเจนนับเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูง เพราะมีอยู่ทั่วไปและเมื่อเผาไหม้ก็ไม่เกิดมลพิษ แต่อุปสรรคสำคัญอยู่ที่การเก็บกักไฮโดรเจน ซึ่งมีปัญหาทั้งอันตรายจากความดันสูงและการติดไฟได้ง่ายจนอาจเกิดการระเบิด แต่จากการพัฒนาโลหะผสมแลนทานัม-นิกเกิลอัลลอย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(LaNi₅) ขึ้นมา พบว่าสามารถดูดซับและคายไฮโดรเจนเป็นปริมาณมาก ๆ ได้ในอุณหภูมิและความดันที่ไม่สูงมากนัก และยังดูดซับและคายซับไฮโดรเจนด้วยอัตราที่สูงมาก นับเป็นความหวังทางด้านพลังงานบริสุทธิ์อีกทางหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

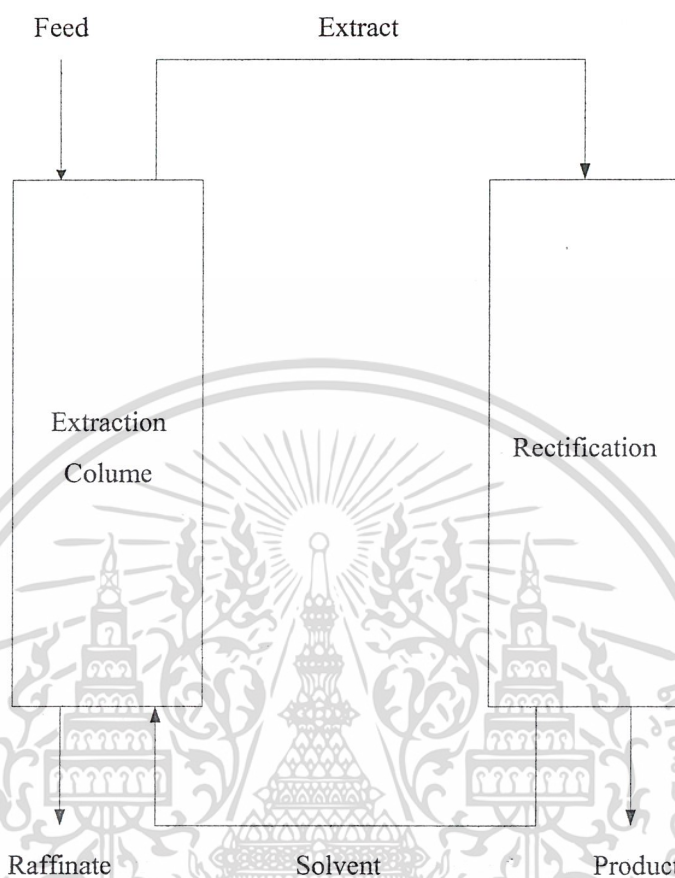
ทฤษฎีการสกัด

3.1 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว [5],[6]

การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction) หรือการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกสารที่ต้องการ จากของเหลวผสมโดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลว ซึ่งสารที่ต้องการสกัด (Solute) ควรจะละลายในตัวทำละลายได้ดีกว่าสารอื่นที่ไม่ต้องการสกัดที่อยู่ในของเหลวผสม โดยในการสกัดนั้นจะถือว่าของเหลวผสม หรือสารป้อน (Feed) และตัวทำละลายจะไม่ละลายเข้าด้วยกัน หรือจะละลายเข้าด้วยกันบางส่วนเท่านั้น

สำหรับกระบวนการสกัดมีขั้นตอนดังนี้

1. นำของเหลวผสมที่เป็นสารป้อนและตัวทำละลาย มาสัมผัสกันเพื่อให้เกิดการถ่ายโอนมวลของสารที่ต้องการสกัดจากเฟสของสารป้อนมายังเฟสของตัวทำละลาย
2. ภายหลังจากสัมผัสกันเป็นเวลานานพอสมควร เฟสทั้งสองจะแยกออกจากกัน
3. แยกตัวทำละลายที่มีอยู่ในแต่ละเฟส เพื่อกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 3.1 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว หรือการสกัดด้วยตัวทำละลาย

จากรูปที่ 3.1 ชนิดของหอสกัด (Extraction column) ที่ใช้ควรเลือกตามความเหมาะสม โดยในโครงการนี้ ชนิดของหอสกัดที่ใช้เป็นแบบพัลส์เพอร์ฟอเรทด์-เพลท ซึ่งเป็นเครื่องสกัดแบบต่อเนื่อง โดยสารป้อนและตัวทำละลายจะไหลสวนทางกัน (Countercurrent Flow) ภายในหอสกัด และจะแยกออกจากกันได้โดยความแตกต่างของความหนาแน่นของเฟสทั้งสอง ภายหลังจากสกัดแล้ว สารที่ต้องการสกัดจะอยู่ในส่วนสกัด (Extract Phase) และส่วนคงเหลือ (Raffinate Phase) ซึ่งเป็นสารป้อนที่เหลือ จะมีสารถูกสกัดอยู่เพียงเล็กน้อย

สำหรับการไหลสวนทางกันของสารป้อนกับตัวทำละลาย หรือส่วนสกัดกับส่วนคงเหลือ ภายใต้ออกลิมน์นั้น จะมีเฟสหนึ่งอยู่ในรูปหยด (Dispersed Phase) หรือเรียกว่า เฟสกระจาย และอีกเฟสหนึ่งจะเป็นเฟสต่อเนื่อง (Continuous Phase) ซึ่งของเหลวที่หนักกว่าจะเข้าสู่คอกลิมน์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนบนและไหลลงมาส่วนล่างของคอลัมน์ ขณะที่ของเหลวที่เบากว่าเข้าที่ส่วนล่างและไหลขึ้นสวนทางกันสู่ส่วนบนของคอลัมน์ ในหอสกัดแบบพัลส์เพอร์ฟอร์เทด-เพลท จะติดตั้งหน่วยเขย่า (Pulsing Unit) เพื่อช่วยเพิ่มการผสมระหว่างเฟสและลดขนาดของหยด ซึ่งเป็นการเพิ่มเนื้อที่ในการถ่ายโอนมวลของตัวถูกละลาย ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสกัดดีขึ้น

การสกัดของเหลวด้วยของเหลวมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากใช้พลังงานน้อยเมื่อเทียบกับกระบวนการกลั่น โดยสารที่มักใช้วิธีสกัดของเหลวด้วยของเหลว ยกตัวอย่างเช่น

- สารผสมที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน (Azeotrope)
- สารประกอบที่จะแยก เกิดปฏิกิริยาเมื่อมีอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (By Product) ที่ไม่ต้องการ
- สารป้อนที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งแยกด้วยการกลั่นจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่า

3.2 การเลือกตัวทำละลาย [5],[7]

การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุด เป็นปัญหาที่ยากอย่างหนึ่งของการสกัดและจะมีอิทธิพลทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการมาเกี่ยวข้องด้วย

ตัวทำละลายจะต้องมีคุณสมบัติพื้นฐาน คือ ต้องมีความสามารถที่จะละลายตัวถูกละลายได้ดีกว่าที่ละลายได้ในสารละลาย การเลือกตัวทำละลายขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้

3.2.1 ค่าการเลือก

ค่าการเลือก (Selectivity, α_{ab}) คือ อัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายขององค์ประกอบ a เมื่อเทียบกับตัวทำละลายและสารที่ป้อนเข้า ต่อสัมประสิทธิ์การกระจายขององค์ประกอบ b เมื่อเทียบกับตัวทำละลายและสารที่ป้อนเข้า

โดยในกระบวนการสกัดนั้น ค่า $\alpha_{ab} > 1$ เมื่อ

a คือ ตัวถูกละลายที่จะถูกแยกออกจากสารป้อนเข้า

b คือ สารที่เหลือในส่วนคงเหลือนั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะแสดงว่าตัวทำละลายมีประสิทธิภาพ จะต้องละลายตัวถูกละลายในเฟสของสารละลายได้มากขึ้น โดยค่าการเลือกนั้นจะมีค่าสูงมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการสกัดมากขึ้น โดยต้องเลือกตัวทำละลายที่สัมประสิทธิ์การกระจายของสารที่ต้องการสกัดมีค่าสูง ขณะที่สัมประสิทธิ์การกระจายของสารที่ไม่ต้องการสกัดมีค่าต่ำ ซึ่งการที่ตัวทำละลายมีค่าในลักษณะนี้คือ จะมีค่าการเลือกสูง เช่น ในการสกัดกรดอะซิติกจากน้ำ ซึ่งตัวทำละลายจะต้องสกัดกรดได้มาก แต่สกัดน้ำได้เล็กน้อย

3.2.2 สัมประสิทธิ์การกระจาย

สัมประสิทธิ์การกระจาย คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในส่วนสกัด กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายในส่วนคงเหลือ โดยสัมประสิทธิ์การกระจายจะมีค่าน้อยกว่า 1

- Capacity คือ สัมประสิทธิ์การกระจายของตัวถูกละลายระหว่างเฟสของตัวทำละลายและเฟสของสารละลาย และสามารถหาปริมาณตัวทำละลายที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ เมื่อทำการทดสอบการสกัดของตัวทำละลายต่าง ๆ จะพบว่าสารละลายที่มีค่าการเลือกสูงกว่า จะมีค่า Capacity ต่ำกว่า และถ้าในกระบวนการมี Throughput สูง ค่า Capacity ของตัวทำละลายก็ยิ่งมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมทางด้านค่าทางเศรษฐกิจ (ต้นทุน)

3.2.3 จุดเดือดของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ใช้ ควรมีจุดเดือดที่เหมาะสม และจะต้องมีจุดเดือดที่แตกต่างกับจุดเดือดของตัวถูกละลายพอสมควร เพราะเมื่อแยกส่วนสกัดออกมาแล้วจะต้องนำส่วนสกัดมาแยกเอาตัวทำละลายออกเพื่อนำตัวทำละลายกลับไปใช้ใหม่ ซึ่งวิธีการแยกตัวทำละลายและตัวถูกละลายในอุตสาหกรรมนั้น จะทำโดยการกลั่น

3.2.4 ความง่ายต่อการนำกลับไปใช้ใหม่

สิ่งนี้มีความสำคัญเท่า ๆ กับค่าการเลือก เพราะว่าในทุกระบบการสกัดจะต้องนำตัวทำละลายมาแยกออกจากตัวถูกละลาย แล้วนำตัวทำละลายกลับไปใช้ใหม่เพื่อประหยัด

3.2.5 ความสามารถในการผสมกันได้ดีกับสารละลายที่ป้อนเข้า

เมื่อต้องการค่าการเลือกสูง เพื่อที่จะให้สารที่ไม่ต้องการในสารป้อนมีการผสมเข้าไปในตัวทำละลายน้อยที่สุด ดังนั้นต้องทำการหาตัวทำละลายที่มีการผสมเข้ากับสารป้อนต่ำ เพื่อลดปริมาณของตัวทำละลายที่จะออกกับส่วนคงเหลือให้น้อยที่สุด และตัวทำละลายจะนำกลับไปใช้ใหม่เพื่อประหยัดทางเศรษฐกิจ

3.2.6 ความหนาแน่นที่ต่างกันพอสมควรกับสารป้อนที่เข้า

ในการสกัดของเหลวจะผสมของเหลว 2 เฟสเข้าด้วยกัน โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของแต่ละเฟส เป็นแรงทำให้เกิดการผสมระหว่างเฟสทั้งสอง

3.2.7 แรงตึงระหว่างผิวหน้า (Interfacial Tension)

แรงตึงระหว่างผิวหน้ามีค่าต่ำ เพื่อต้องการพลังงานน้อยในการแยกสารให้กระจายออกไป อย่างไรก็ตาม ค่าที่ต่ำจะมีค่าน้อยกว่า 1 dyne/cm ในทางกลับกันค่าแรงตึงระหว่างผิวหน้ามีค่าสูง จะมีค่าประมาณ 50 dyne/cm

3.2.8 ความหนืดต่ำ

โดยทั่วไปส่วนใหญ่ค่าความหนืดที่ใช้ในระบบการสกัดจะมีค่าน้อยกว่า 10 เซนติพอยท์ ในการเลือกตัวทำละลายที่มีความหนืดต่ำ ๆ เท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้ง่ายต่อการถ่ายโอนมวลและแยกเฟส แต่ค่าความหนืดดังกล่าวมีอิทธิพลน้อยมาก

3.2.9 การกั้ดกร่อนต่ำ

การกั้ดกร่อนของสารป้อนจะถูกกำหนดโดยกระบวนการ ถึงแม้ว่าอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าไป เนื่องจากการปรับสภาวะการทำงานทั้งอุณหภูมิและค่า pH สิ่งที่พึงกระทำคือ ต้องเลือกตัวทำละลายที่กั้ดกร่อนน้อยกว่าสารป้อน

3.2.10 การติดไฟต่ำและมีความเป็นพิษน้อย

ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงตัวทำละลายที่มีการติดไฟได้ การเลือกเครื่องมือและสภาวะการทำงานควรพิจารณาอย่างรอบคอบเพื่อลดปริมาณตัวทำละลาย และถ้าตัวทำละลายมีความเป็นพิษมาก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงการแยกออกหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ

3.2.11 ราคาถูกและหาได้ง่าย

ในทางอุตสาหกรรมตัวทำละลายต้องมีราคาต่ำและหาได้ง่ายจึงจะเหมาะสมกับการผลิต

3.2.12 ความเสถียรต่อความร้อน

ความเสถียรความร้อนของตัวทำละลายมีความสำคัญมากจะต้องมีค่าสูง จึงต้องพิจารณาค่าความเสถียรต่อความร้อนของตัวทำละลายเป็นพิเศษ

3.3 ประโยชน์ของกระบวนการสกัด [7]

กระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวถูกนำไปใช้ในกรณีที่มีการแยกสารโดยตรง เช่น ในกรณีที่การกลั่นและการตกผลึกไม่สามารถนำมาใช้ได้หรือมีราคาสูง การประยุกต์ใช้กระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลว ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้แก่

1. การแยกของระบบที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกัน เช่น การแยกอะโรมาติกจากสารละลายไฮโดรคาร์บอน

2. การแยกสารที่มีจุดเดือดสูงออกจากสารละลาย เช่น ฟีนอล

3. การแยกสารประกอบที่ไวต่ออุณหภูมิ เช่น อะครีเลต

4. การแยกสารผสมโดยใช้จุดเดือดสูง เช่น วิตามิน

5. การแยกของสารผสม Azeotropic เช่น การสกัดกรดอะซีติก หรือฟอร์มิก ออกจากตัวกลางที่เป็นของเหลว

6. กระบวนการสกัดสารประกอบอินทรีย์จากสารละลาย เช่น คาโปรแลกตัม

7. การสกัดเกลือออกจากสารละลายโพลีเมอร์ เช่น Ketone Resin Polyols

8. การสกัดพวกเกลือโลหะออกจากราน้ำเสีย เช่น ทองแดง

9. การสกัดเกลือโลหะออกจากราน้ำเสีย

10. การวิจัยเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

3.4 สัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient) และค่าการเลือก (Selectivity)[5]

เนื่องจากการสกัดของเหลวด้วยของเหลวเป็นการถ่ายโอนมวล ดังนั้นสมดุลเคมีจึงมีผลต่อการสกัด พารามิเตอร์สมดุล คือ สัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient หรือ Partition Coefficient)

$$k = \frac{y_a}{x_a}$$

ในกรณีการพิจารณาการใช้ตัวทำละลายเฉพาะในการแยกสารประกอบ 2 ชนิด สำหรับในสารละลายผสมที่มีตัวถูกละลายมากกว่า 2 ชนิด การใช้การสกัดของเหลวด้วยของเหลว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงด้วย คือ ค่าการเลือก (α_{ab})

$$\alpha_{ab} = \frac{k_a}{k_b}$$

สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลาย ค่าการเลือกต้องมากกว่า 1 เพราะเมื่อมีค่าการเลือกสูงจะทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพการสกัดดีขึ้นด้วย

3.5 การออกแบบ [7]

ในการออกแบบกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวจำเป็นจะต้องศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ เพื่อให้เกิดการตัดสินใจในการเลือกชนิดของตัวทำละลาย อัตราการไหลของตัวทำละลาย และสภาวะการเดินเครื่องที่เหมาะสม รวมถึงเครื่องที่สกัดที่ใช้ หากเป็นแบบคอลัมน์ จำเป็นต้องทราบเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของคอลัมน์ พร้อมทั้งข้อจำกัดในการเดินเครื่อง

ในการกำหนดค่าอัตราไหลของสารป้อนและตัวทำละลายนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ความสามารถในการสกัดตัวถูกละลาย หากอัตราการไหลสูงขึ้น ตัวถูกละลายจะถูกสกัดออกจากสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แต่ผลที่ไม่ต้องการจะตามมา คือ ประการแรก จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บตัวทำละลาย และประการที่สอง จะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นในการล้างตัวทำละลาย เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการอีกครั้งหนึ่ง

นอกจากนี้อัตราการไหลของสารทั้งสองยังมีผลต่อสภาวะการท่วม (Flooding) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป (ในหน้าที่ 43)

บทที่ 4

เครื่องสกดของเหลวด้วยของเหลว

4.1 การเลือกเครื่องมือในการสกด [5]

ในการออกแบบและเลือกใช้เครื่องสกดในอุตสาหกรรม ควรคำนึงถึงความต้องการพื้นฐาน ดังนี้

1. ประสิทธิภาพในการสกด
2. ปริมาตรของเครื่องสกดต่ำและใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย
3. ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการและการบำรุงรักษาต่ำ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกด

1. องค์ประกอบในเฟส
2. อัตราส่วนของเฟส
3. คุณสมบัติของเฟส
4. อุณหภูมิ
5. พลังงานที่ป้อนเข้า
6. การสกดย้อนกลับ

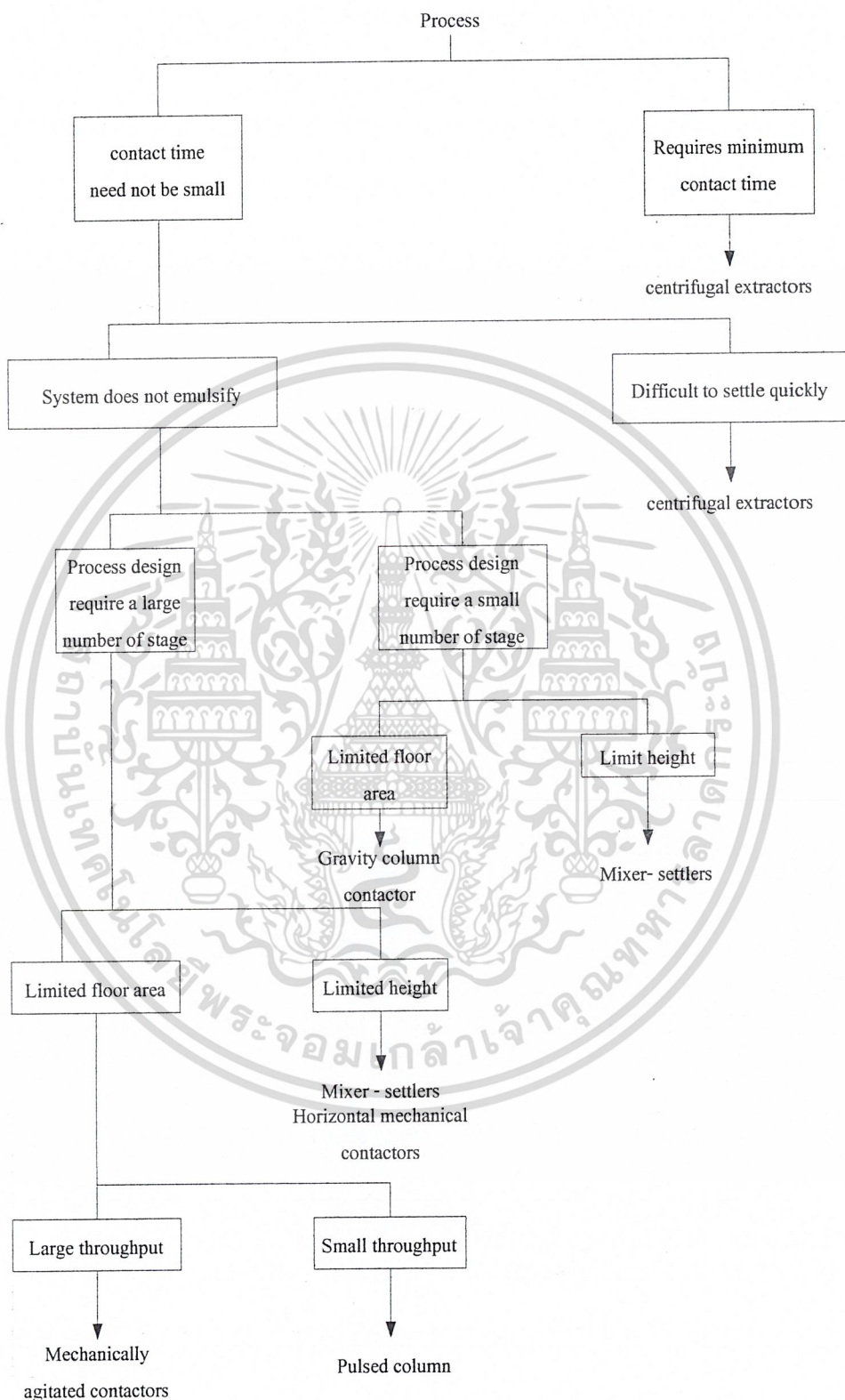
การเลือกเครื่องมือในการสกดโดยทั่วไป มักพิจารณาจากประสบการณ์และหลักทาง เศรษฐศาสตร์ โดยต้องพิจารณาตัวถูกละลายถึงคุณสมบัติทางด้านอัตราการไหล รวมถึงคุณสมบัติ ทางด้านฟิสิกส์และเคมีของระบบที่จะสกด บางครั้งอาจเกิดความยุ่งยากขึ้นคือ สารอาจเป็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งอิมัลชัน (Emulsion) หรือวัสดุที่ย่อยสลายง่าย ซึ่งต้องนำมาพิจารณา รวมทั้งพิจารณาพื้นที่ที่จะวางเครื่องมือในการสกัดด้วย สุดท้ายคือ ราคาค่าติดตั้ง ค่าบำรุงรักษาและการเดินเครื่อง โดยประมาณจากเครื่องมือในการสกัดซึ่งต้องมีการพิจารณาทั้งหมด ส่วนคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องนั้นเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเลือกเครื่องมือการสกัด

แฮนสัน (Hanson, 1968) เสนอเครื่องมือในการสกัดโดยใช้แผนภาพ นับเป็นวิธีการเลือกที่รวดเร็ว อีกทั้งยังรวมปัจจัยที่ช่วยในการเลือกเครื่องมือในการสกัดอีกด้วยดังรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 หลักการในการเลือกเครื่องมือสกัดของเหลวด้วยของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ประเภทของเครื่องสกัด [5]

เครื่องสกัดสามารถแบ่งได้หลายประเภท ในที่นี้จะกล่าวถึงการแบ่งประเภทเครื่องมือลักษณะใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

4.2.1 แบ่งตามลักษณะการดำเนินการ

4.2.1.1 แบบสเตจไวส์ (Stagewise) เครื่องสกัดจะแบ่งแยกจำนวนขั้นตอนสมดุลให้เห็นอย่างชัดเจน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสมดุลนั้นจะมีประสิทธิภาพในการสกัดแยกสูง ซึ่งในแต่ละสเตจ เฟสทั้งสองจะถูกนำเข้าสู่สมดุลจากนั้นจึงแยกออกจากกัน และไหลสวนทางกัน ไปยังสเตจถัดไป เครื่องมือนี้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการผสมตามแนวแกน (Axial Mixing) นอกจากนี้ ส่วนแยกพัก (Settlers) โดยปกติมีขนาดใหญ่กว่าส่วนผสม (Mixer)

4.2.1.2 แบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential) เครื่องสกัดแบบนี้ จะมีการถ่ายโอนมวลตลอดความยาวของเครื่อง ของเหลวจะไหลสวนทางกันเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของของเหลว 2 เฟส เครื่องสกัดนี้จะไม่มีการแบ่งจำนวนขั้นตอนสมดุลแยกกันอย่างชัดเจน และจะเกิดการแยกเฟสที่ปลายเครื่องเท่านั้นจะเหมาะสมกับระบบ ที่มีการถ่ายโอนมวลเร็ว

4.2.2 แบ่งตามลักษณะการใช้พลังงานกลจากภายนอก ดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 การจำแนกประเภทเครื่องสกัดและการทำงาน

Classification and type	Industrial applications*
A. Gravity-separated extractors	
a. Continuous-contact (i.e. differential)	
1. Non-mechanical columns	
(i) Spray columns	CR
(ii) Baffle-plate columns	C, P
(iii) Packed columns	C, P, N
2. Mechanically-agitated columns	
(i) Pulsed packed columns	C, P
(ii) Raining bucket (Graesser RTL) contactor	C
b. Discontinuous (i.e. stagewise) contact, no interstage settling	
1. Rotary agitated columns	
(i) Rotary disc column (RDC)	C, P
(ii) Multi-impeller columns	C, P, M
2. Reciprocating types	
(i) Pulsed perforated plate column	C, P, Ph, M, N
(ii) Oscillating plate (Karr) column	C, P, Ph
c. Discontinuous (stagewise) contact, with interstage settling	
1. Partial Settling	
(i) Scheibel column	C, Ph
(ii) Asymmetric rotary disc column (ARDC)	C, Ph
2. Total Settling	
(i) Perforated plate column (with downcomers or riser)	P, C
(ii) Rotary film extractor	M
(iii) Vertical mixer-settlers	P, C, M
(iv) Horizontal mixer-settlers	P, C, M, N
B. Centrifugally-separated extractors	
a. Continuous contact	
1. Perforated plate (Podbaniak)	C, Ph, (N)
2. Film-flow (de Laval)	C, Ph, (N)
b. Mixer-settler	
1. Luwesta	C, Ph
2. Robatel	C, Ph

*Key to applications: C = chemical manufacture; CR = fast homogeneous chemical reaction only; P =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
petroleum refining, petrochemicals; Ph = pharmaceutical; M = hydrometallurgy; N = Nuclear

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 ประเภทไม่ใช้พลังงานกลจากภายนอก

ข้อดี - ค่าใช้จ่ายน้อย

ข้อเสีย - เกิดการผสมน้อย

- พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนมวลต่ำ
- ประสิทธิภาพการสกัดของคอลัมน์ต่ำ

ตัวอย่าง - คอลัมน์แบบสเปรย์ (Spray Column)

- คอลัมน์แบบแพค (Packed Column)

4.2.2.2 ประเภทใช้พลังงานกลจากภายนอก

ข้อดี - พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนมวลสูง

- ประสิทธิภาพการสกัดของคอลัมน์ดี

ข้อเสีย - ค่าใช้จ่ายสูง

- ถ้ากวนมากเกินไปอาจทำให้เกิดการผสมย้อนกลับ (Backmixing) ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนมวลลดลง
- มีการผสมตามแนวแกน

ตัวอย่าง - การกวน (Agitated) ได้แก่ คอลัมน์แบบแกนกลางหมุน

- การเขย่า (Pulsation) ได้แก่ คอลัมน์แบบพัลส์แพค (Pulse Packed)

4.2.3 แบ่งตามลักษณะการวางตัวของคอลัมน์แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

4.2.3.1 คอลัมน์ตามแนวตั้ง (Vertical Column Type Extractor)

การใช้คอลัมน์ตามแนวตั้งจะประหยัดพื้นที่ติดตั้งมากกว่า และไม่มีส่วนพัก (Settler) ระหว่างสเตจ ทำให้เกิดการกักเก็บตัวทำละลายในกระบวนการน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง คอลัมน์ แบบสเปรย์ (Spray Column)

4.2.3.2 คอลัมน์ตามแนวนอน (Horizontal Extractors)

ตัวอย่าง - มิกเซอร์เซทเทเลอร์ (Mixer-settlers)

- เครื่องสกัดแบบใช้แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Extractors)
- เครื่องสกัดแบบเรนนิ่ง บัคเก็ต (Raining Bucket Extractors)

4.3 ตัวอย่างบางส่วนของเครื่องสกัดที่ใช้ในอุตสาหกรรม [5],[6],[8]

4.3.1 เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซทเทเลอร์ (Mixer-settler)

เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซทเทเลอร์เป็นแบบสแตจไวส์ที่ใช้กันมากที่สุด ซึ่งเหมาะกับระบบที่มีอัตราการถ่ายโอนมวลช้า ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการจึงต้องมากขึ้น เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนมวลจนถึงสมดุล

เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซทเทเลอร์แบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังรูปที่ 4.2 คือ ส่วนผสม (Mixer) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เฟสหนึ่งกระจายเข้าไปในอีกเฟสหนึ่ง โดยการใช้พลังงานกลหรือพลังงานลมเข้าไป และอีกส่วน คือ ส่วนแยก (เซทเทเลอร์) ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการแยกชั้นระหว่างเฟสทั้งสองที่เกิดการผสมกันในส่วนผสม การติดตั้งเครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซทเทเลอร์นี้อาจติดตั้งในแนวดิ่งหรือแนวระดับ แล้วให้มีการไหลแบบสวนทางภายในหรือระหว่างอุปกรณ์ การสูบ (Pumping) ภายในและระหว่างอุปกรณ์อาศัยระบบกล ระบบไฮดรอลิก หรือแรงโน้มถ่วงของโลก พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการออกแบบ คือ คุณสมบัติของเฟส รูปร่างของของผสมและช่องแยกพัก ลักษณะภายในของช่องผสมและช่องแยก และพลังงานที่ให้แก่ตัวกวน จุดมุ่งหมายของการออกแบบ คือ ทำให้เครื่องมือนี้นี้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ นอกจากนี้ช่องผสมควรมีขนาดเหมาะสม เพื่อให้มีเวลาเพียงพอต่อการเข้าสู่ภาวะสมดุลของทั้งสองเฟส ช่องแยกพักควรมีขนาดใหญ่พอที่จะให้เกิดการแยกเฟสอย่างสมบูรณ์ ในระบบของเครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซทเทเลอร์โดยทั่วไป เวลาที่ใช้ในการผสมกันไม่เกินหนึ่งถึงสองนาที แม้ว่าระบบที่มีอัตราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่ายไอออนมวลต่ำ ทำให้อาจใช้เวลามากกว่าบ้าง สมรรถนะการทำงานจริงพิจารณาจากประสิทธิภาพของแต่ละขั้นตอน

ประสิทธิภาพของขั้นตอนจะลดลง ถ้าเฟสทั้งสองมิได้ถูกแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ในช่องแยกพัก ลักษณะเช่นนี้ไม่มีผลนักต่อขั้นตอนช่วงกลาง แต่ในขั้นตอนสุดท้ายหากเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่บริสุทธิ์

4.3.2 เครื่องสกัดแบบแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Device)

เครื่องสกัดแบบแรงหนีศูนย์กลาง แสดงในรูปที่ 4.3 เครื่องสกัดแบบแรงหนีศูนย์กลาง เป็นได้ทั้งแบบสเตทไวส์และดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งมีหลักการทำงานโดยเฟสหนึ่งกระจายและไหลสวนทางกับเฟสอื่น โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางที่ทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างเฟสทั้งสอง หลักการออกแบบเครื่องสกัดแบบแรงหนีศูนย์กลาง ลักษณะภายในของแรงหนีศูนย์กลางและแรงของการหมุน

หากจำแนกรูปแบบของอุปกรณ์ประเภทนี้ จะมีทั้งแบบขั้นตอนเดียวและหลายขั้นตอน และมีทั้งแบบที่ติดตั้งในแนวตั้งกับติดตั้งในแนวระดับ ข้อดีของอุปกรณ์ประเภทนี้ ได้แก่

1. เวลาที่สารอยู่ในเครื่อง (Residence Time) สั้นกว่า
2. ปริมาณสารที่บรรจุ (Hold-up) ต่ำกว่า
3. ใช้เนื้อที่น้อยกว่า
4. ทำความสะอาดง่าย
5. สามารถใช้กับสารละลายที่มีช่วงคุณสมบัติทางกายภาพในการใช้งานกว้างกว่า

4.3.3 เครื่องสกัดโดยใช้ไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Extraction)

เครื่องสกัดโดยใช้หลักไฟฟ้าสถิตย์ แสดงในรูปที่ 4.4 อุปกรณ์แบบนี้อาศัยหลักการของหยดในเฟสกระจายซึ่งถูกให้ประจุและเร่งผ่านเฟสต่อเนื่อง เนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้า การสั่นสะเทือนของหยดมีผลต่ออัตราการถ่ายไอออนมวลระหว่างหยดและเฟสต่อเนื่อง ซึ่งหยดที่กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่อยู่ภายใน สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเฟสกระจายและเฟสต่อเนื่อง เพิ่มขึ้นด้วยการสั่น และสามารถแสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์ของเฟสกระจายสำหรับหยดที่กำลังสั่น ขึ้นอยู่กับสภาพการไหลแบบปั่นป่วนภายในหยดสาร

เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงแก่หัวฉีด และทันทีที่หยดสารออกจากหัวฉีด หยดสารจะถูกทำให้มีประจุ จากนั้นจะถูกแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงทางไฟฟ้า ทำให้หยดสารมีความเร็วมากขึ้นเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า แทนที่จะตกลงตามสนามแรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ประจุบนหยดสารยังทำให้เกิดแรงทางกลในทิศทางตั้งฉากออกจากผิวของสาร ดังนั้นแรงดึงดูดระหว่างเฟสที่เป็นหยดสารกับสารที่เป็นเนื้อสารจะลดลง ผลลัพธ์จากแรงทั้งสองจะเพิ่มการสั่นสะเทือนของหยด ซึ่งก็คือ เพิ่มอัตราถ่ายโอนมวล

ในคอลัมน์นี้ที่แยกของเหลวออกจากของเหลว สามารถหาอัตราการถ่ายโอนมวลจากผลคูณของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลและพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารทั้งสองยิ่งหยดเล็กลง พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารทั้งสองยิ่งมากขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายโอนมวลสูงขึ้น

4.3.4 คอลัมน์แบบแพค (Packed Column)

คอลัมน์แบบแพคถูกพัฒนาขึ้นจากคอลัมน์แบบเดิม ด้วยการบรรจุวัสดุขนาดเล็กลงหรือแพกกิง ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพโดยจะลดการผสมย้อนกลับ (Backmixing) ของเฟสต่อเนื่องและเพิ่มการถ่ายโอนมวลโดยจะแตกหยดของเฟสต่อเนื่องที่มีขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนและจะช่วยให้การผสมในหยดได้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปชนิดของแพกกิง ได้แก่ Rasching rings และ Berl saddles ในการเลือกแพกกิงนั้นต้องคำนึงถึงการเปียกของเฟสต่อเนื่อง คอลัมน์ประเภทนี้เป็นแบบที่ง่าย ราคาถูก และสามารถขยายเส้นผ่านศูนย์กลางได้โดยไม่มีปัญหาในการเดินเครื่อง นอกจากนี้ยังนิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการจำนวนหน่วยในการถ่ายโอนน้อยแต่ไม่เหมาะสมกับของเหลวที่มีสารแขวนลอย

การจัดคอลัมน์แสดงดังรูป 4.5 (ก) เพลท (Plate) ที่รองรับการบรรจุควรมีพื้นที่ว่างอย่างน้อยเท่ากับแพกกิง (Packing) รวมทั้งมีตะแกรง (Bar Grid) ดังรูป 4.5 (ข) Harmilton and เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pratt (1984) และ Stevens and Pratt (1986) ได้เสนอว่าเฟสกระจายเกิดการกระจายอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งกระจายขนาดที่สภาวะคงตัว (Steady State) อัตราการถ่ายโอนมวลจะต่างจากคอลัมน์แบบสเปรย์ เนื่องจากเส้นทางที่คดเคี้ยว รวมทั้งการลดความเร็ว การเพิ่มความเร็ว การรวมตัว และการกระจาย

ส่วนมากคอลัมน์ประเภทนี้ จะใช้เซรามิกหรือโลหะ เมื่อใช้กับระบบที่สะอาดดังเช่นระบบน้ำ และเมื่อเฟสน้ำมันเป็นเฟสกระจาย หรืออีกทางเลือกหนึ่งคือใช้พลาสติก เช่น โพลีเอทิลีน หรือโพลีโพรไพลีน เมื่อเฟสน้ำเป็นเฟสกระจาย หากใช้วัสดุสลับกัน เช่น ใช้เซรามิกหรือโลหะบรรจุ เมื่อเฟสน้ำเป็นเฟสกระจาย เฟสกระจายจะไหลบนแพกกิงเหมือนฟิล์มซึ่งแม้ว่ามีความหนาเพียงเล็กน้อย ก็ทำให้การทำงานลดลง

4.3.5 คอลัมน์แบบแกนกลางหมุน (Rotary Disc Column หรือ RDC)

เครื่องสกัดประเภทนี้ได้รับการพัฒนาในห้องปฏิบัติการของรอยัลดัตช์/เชลล์ (Royal Dutch /Shell Laboratories) อัมสเตอร์ดัม เมื่อปี ค.ศ. 1948-1952 ดังแสดงรูปที่ 4.6 RDC ประกอบด้วยช่องว่างตามแนวตั้งที่แบ่งเป็นส่วน ๆ โดยวงแหวนสเตเตอร์ (Stator ring) และมีแกนตามแนวตั้งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าภายนอก ซึ่งมีชุดโรเตอร์ดิस्कจะน้อยกว่าส่วนเปิดของสเตเตอร์ ดังนั้น โรเตอร์ทั้งหมดสามารถใส่หรือถอดออกเพื่อทำการบำรุงรักษาได้ ในขณะที่เครื่องสกัดกำลังทำงาน สารทั้งหมดที่อยู่ในคอลัมน์จะหมุนและเกิดเป็นคู่กระแสวนตามแนววนอน (Vortex) ซ้อนทับกันระหว่างโรเตอร์แต่ละคู่ซึ่งอยู่คร่อมสเตเตอร์ดิस्कทั้งสองที่อยู่ติดกัน ดังรูปที่ 4.6 การเกิดกระแสวนนี้จะช่วยให้เฟสกระจายมีขนาดหยดเล็กลง เมื่อมีการไหลสุทธิของสารประกอบในแนวตั้งซึ่งไหลสวนทางกับเฟสต่อเนื่อง จากการศึกษาของคอสเตอร์ (Kosters, 1983) พบว่า RDC ที่ใช้ส่วนมากมักมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงต่ำกว่า 1 เมตร จนถึง 4.5 เมตร และมักใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เนื่องจาก RDC มีโครงสร้างแบบเปิด ทำให้เกิดความสกปรกน้อยกว่าเครื่องสกัดชนิดอื่น จึงสามารถใช้ได้กับระบบที่มีของแข็ง เช่น การทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ และการล้างของแข็ง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคงตัวของกระแสวนเกิดจากผลกระทบของมวลสารในระหว่างโรเตอร์คัสก์และวงแหวนสเตเตอร์ที่เหมาะสม นอกจากนี้ควรมีพื้นที่ว่างเพียงพอในการไหลตามแนวตั้ง การเลือกระยะความสูงของแต่ละส่วนควรทำอย่างระมัดระวัง หากสูงเกินไปจะทำให้เกิดกระแสวนที่ไม่เสถียร หากน้อยไปจะลดการเกิดกระแสวน ผลจากการขยายขนาดของเครื่องจะมากกว่าผลจากการเพิ่มความสูงของเครื่องสกัด โดยจะทำให้การถ่ายโอนมวลต่อสเตรตเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาที่สารอยู่ในเครื่องเพิ่มขึ้น ในการขยายขนาด ควรใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลลัมน์อย่างน้อย 7.5 เซนติเมตร แต่ที่นิยมใช้ คือ 10-15 เซนติเมตร รวมทั้งควรแบ่งคอลลัมน์ไม่น้อยกว่า 15 ส่วน ขณะที่โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วต่อเนื่อง

4.3.6 เครื่องสกัดแบบพัลส์ (Pulse Extractor)

จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่า คอลลัมน์แบบพัลส์สามารถควบคุมการทำงานง่าย มีความทนทานสูง และมีปริมาตรต่ำกว่าคอลลัมน์ที่มีการกวน แม้ว่าแบบมีเครื่องกวนจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบไม่มีเครื่องกวน พลังงานที่ใช้ในระบบจะนำไปใช้ในการเคลื่อนที่ไปมาของพัลส์ เช่น ชิ้นส่วนของเพลทที่เจาะรูซึ่งมีการเคลื่อนที่ไปมา ขณะที่เฟสของเหลวทั้งสองเฟสสัมผัสกัน เมื่อมีการไหลสวนทางกันในคอลลัมน์

Van Dijk (1935) เสนอลักษณะการทำงานของคอลลัมน์ที่มีการพัลส์ 2 แบบ คือ

1. การใช้เพลทที่เจาะรู โดยเพลทดังกล่าวจะเคลื่อนที่ไปมาตามแนวตั้งของคอลลัมน์เมื่อมีของเหลวไหลผ่าน
2. โครงสร้างภายในของการสกัด เช่น แพกกิง และซีฟเพลท (Sieve Plate) ซึ่งจะหยุดนิ่งขณะที่ของเหลวถูกพัลส์ด้วยไฮโดรลิกโดยกลไกของพัลส์ภายนอก พลังงานที่ใช้ในการพัลส์จะเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนมวลโดยการเพิ่มพื้นที่สัมผัส หรือจะเกิดความปั่นกววนสูงขึ้นในระบบโดยการให้ความเร่งและความหมุนวนกลับไปกลับมาในของเหลว

ตัวอย่างของคอลลัมน์แบบพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6.1 คอลัมน์แบบพัลส์สเปรย์ (Pulsed Spray Column)

เนื่องจากคอลัมน์แบบสเปรย์เป็นเครื่องสกัดที่มีลักษณะเป็นท่อยาวว่างเปล่า และมีของเหลว 2 เฟสไหลสวนทางกัน โดยเฟสกระจายถูกฉีดกระจายผ่านของเหลวชนิดที่สอง ซึ่งเรียกว่า เฟสหลัก ทั้งนี้ที่หยดอาจจะไหลผ่านขึ้นหรือลง ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเฟสกระจายเมื่อเทียบกับเฟสหลัก เครื่องสกัดประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้ เพราะสามารถใช้ได้กับของเหลวที่มีความสกปรกและมีการกัดกร่อน ซึ่งไหลผ่านด้วยอัตราการไหลที่สูง นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างที่ง่าย ราคาถูก และมีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง ดังนั้นประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบสเปรย์สามารถเพิ่มขึ้นได้ หากเพิ่มอัตราการไหล

สำหรับการขยายขนาดและการออกแบบ Luric and Sharer กล่าวว่า การพัลส์มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกของคอลัมน์แบบสเปรย์เพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะที่การพัลส์ต่ำ ๆ O'Brien (1954) รายงานว่า ประสิทธิภาพของเครื่องจะสูงขึ้นเมื่อความถี่พัลส์สูงขึ้น

4.3.6.2 คอลัมน์แบบพัลส์แพค (Pulsed Packed Column)

เนื่องจากคอลัมน์แบบสเปรย์มีประสิทธิภาพต่ำ การเพิ่มประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบสเปรย์สามารถทำได้ โดยการใส่แพกกิงในคอลัมน์แบบสเปรย์ ชนิดของแพกกิง ได้แก่ Raching rings และ Bearl saddles นอกจากนี้ยังเพิ่มการพัลส์เข้าไปในคอลัมน์แบบแพคนี้ด้วย เรียกว่า คอลัมน์แบบพัลส์แพค ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนมวล เนื่องจาก การกระจายตัวของแบบที่มีการพัลส์จะดีกว่าแบบที่ไม่มีการพัลส์ เฟลทที่มีรูจะถูกติดไว้ที่ส่วนบนเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่และการปรับแนวของแพกกิงเนื่องจากการพัลส์

เครื่องกำเนิดพัลส์ (Pulsation Generator) ต้องแข็งแรงและมีคุณภาพสูงเพียงพอที่จะทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ หน่วยกระตุ้นทางกลจะอยู่ในรูปเครื่องสูบลม (Pump) ที่มีลูกสูบซึ่งจะยกขึ้นโดยตรงจากพื้นของคอลัมน์ หรือในรูปลูกเบี้ยว หรือรูปเบลโลว์ (Bellow)

Thronton (1954) ได้เสนอว่า แพกกิ่งที่ทำจากพอลิเอทิลีนจะไม่เป็ยกในสารละลายน้ำ ซึ่งจะมีความจุและอัตราการแลกเปลี่ยนมวลสูงกว่าแพกกิ่งที่ทำจากเซรามิก การพัลส์จะลดขนาดหยดของเฟสกระจาย เพิ่ม Hold-up และเพิ่มพื้นที่ระหว่างผิวสัมผัสสำหรับการแลกเปลี่ยนมวล การพัลส์จะทำให้เกิดอิมัลชันเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการไหลต่อพื้นที่สูงสุด (Throughput) ลดลง

4.3.6.3 คอลัมน์แบบพัลส์เพอร์ฟอเรท-เพลท (Pulsed Perforated-plate Column)

การพัลส์จะเป็นแบบที่มีการรวมตัวกันแล้วกระจายตัวใหม่เข้าไปเข้ามา (Coalescence - redispersion Recycle) ในของเหลวทั้งสองเฟส การเคลื่อนตัวของเฟสกระจายจากเพลทหนึ่งไปอีกเพลทหนึ่ง ขึ้นอยู่กับว่าของเหลวหนักหรือเบาเป็นเฟสกระจาย ชั้นที่ถูกรวมตัวนี้ไม่มีแรงเพียงพอที่จะทำให้ของเหลวผ่านแผ่นรูพรุนได้ เพราะจะมีแรงดึงระหว่างผิวหน้าจนกระทั่งจะมีการพัลส์ขึ้นไปหรือลงมาอีก ซึ่งจะเป็นแรงดันให้เฟสกระจายผ่านแผ่นเจาะรูพรุนขึ้นไปในเพลทต่อไป ดังนั้นในการทำงานที่มีประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบพัลส์ เฟสทั้งสองจะไหลจากเพลทหนึ่งไปยังอีกเพลทหนึ่งโดยจะมีการกระจายตัวและรวมตัวกัน คอลัมน์แบบพัลส์เพอร์ฟอเรท-เพลท แสดงดังรูปที่ 4.7

ข้อดีของคอลัมน์แบบพัลส์เพอร์ฟอเรท-เพลท

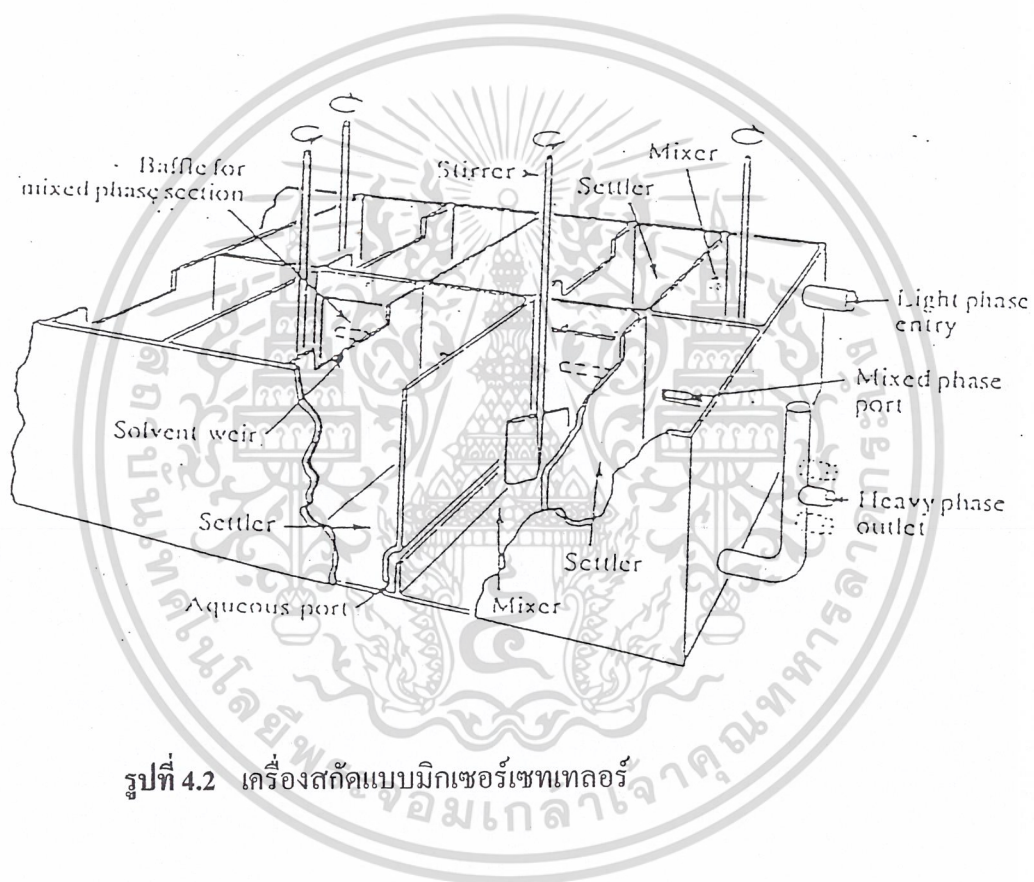
- 1) การทำงานมีการยืดหยุ่นดีจะมีลักษณะของพัลส์เปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ
- 2) สามารถใช้ได้กับกระบวนการที่มีความแตกต่างของความหนาแน่นเพียงเล็กน้อย
- 3) สามารถขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ง่าย

ข้อเสียของคอลัมน์แบบพัลส์เพอร์ฟอเรท-เพลท

- 1) การพัลส์เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดอิมัลชัน
- 2) มีข้อจำกัดต่อจำนวนตามทฤษฎีซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มพลังงานในการพัลส์ เมื่อเพิ่มขนาดของการพัลส์ ทำให้เกิดการผสมย้อนกลับในทางตรงข้าม คือ ถ้าของเหลวถูกพัลส์ด้วยอัตราเร็วสูงขึ้น ความดันที่หน่วยการพัลส์จะน้อยกว่าความดันของกระบวนการ ในกรณีนี้จะทำให้เกิด Cavitation อย่างไรก็ตามผลกระทบนี้จะไม่เกิดในระบบพัลส์ด้วยอากาศ (Air-pulsed)

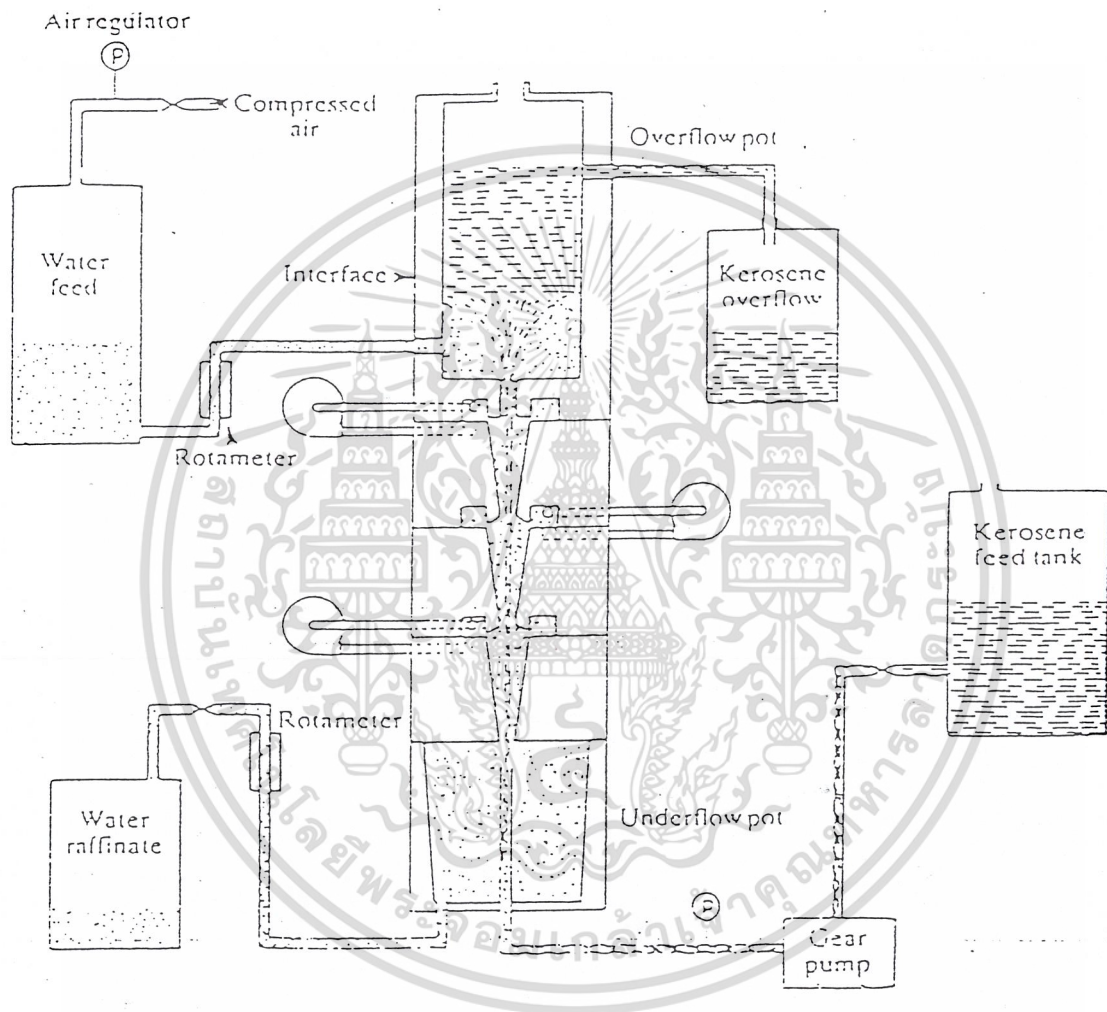


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



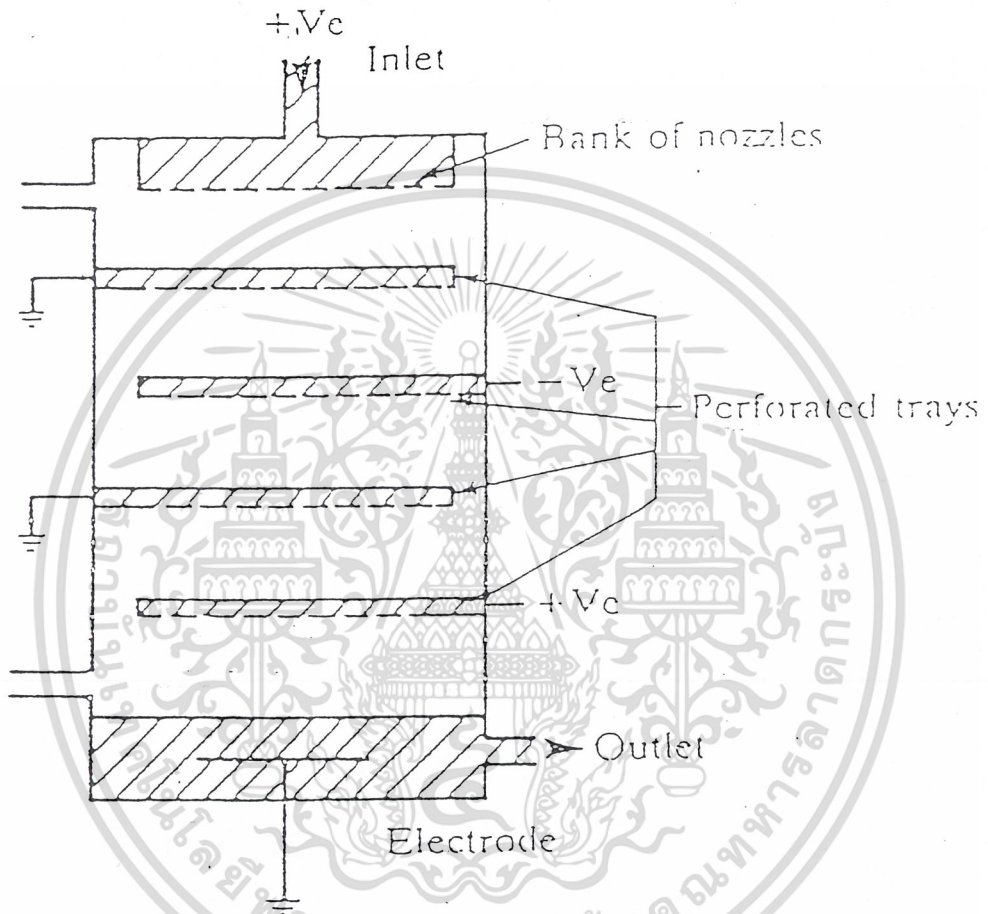
รูปที่ 4.2 เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซทเทลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



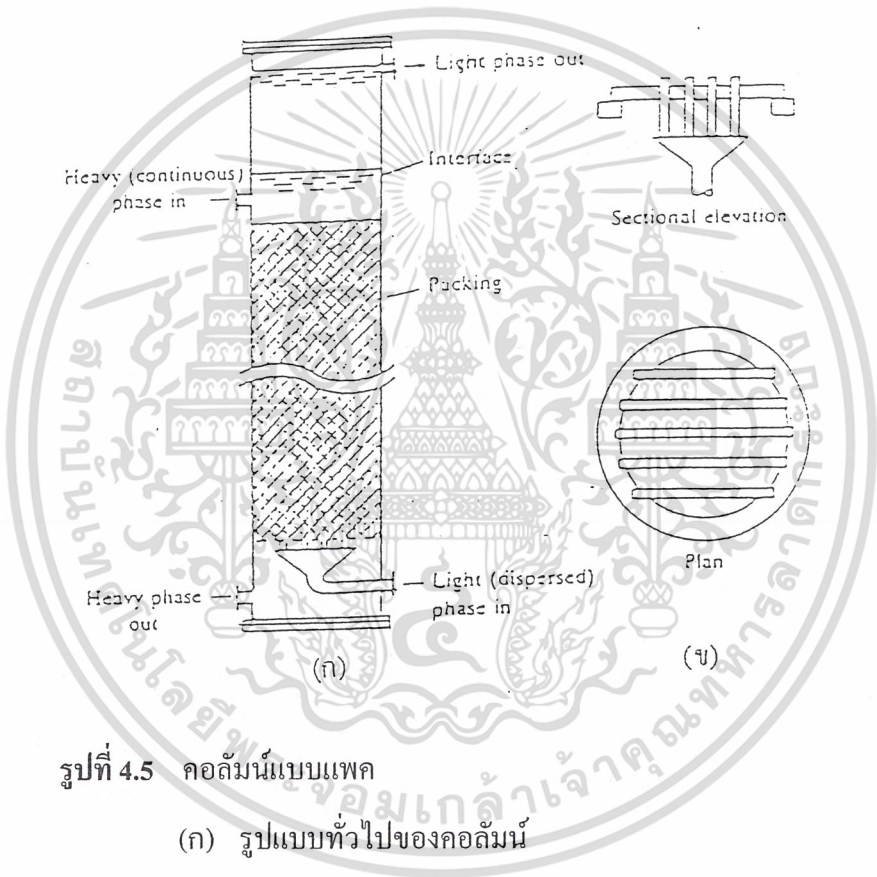
รูปที่ 4.3 เครื่องสกัดแบบแรงหนีศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เครื่องสกัดโดยใช้ไฟฟ้าสถิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

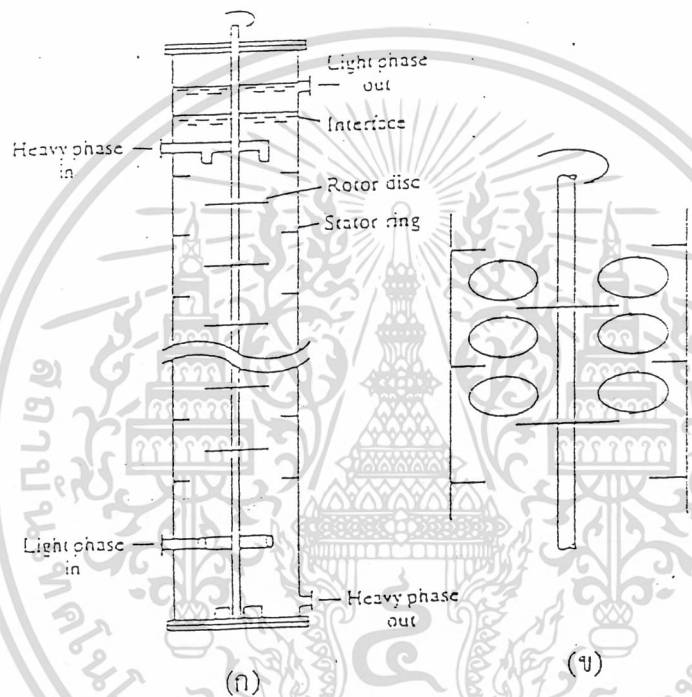


รูปที่ 4.5 คอลัมน์แบบแพค

(ก) รูปแบบทั่วไปของคอลัมน์

(ข) การแพคเป็นเหมือนตะแกรงและช่วยให้เฟสเบาถูกกระจาย

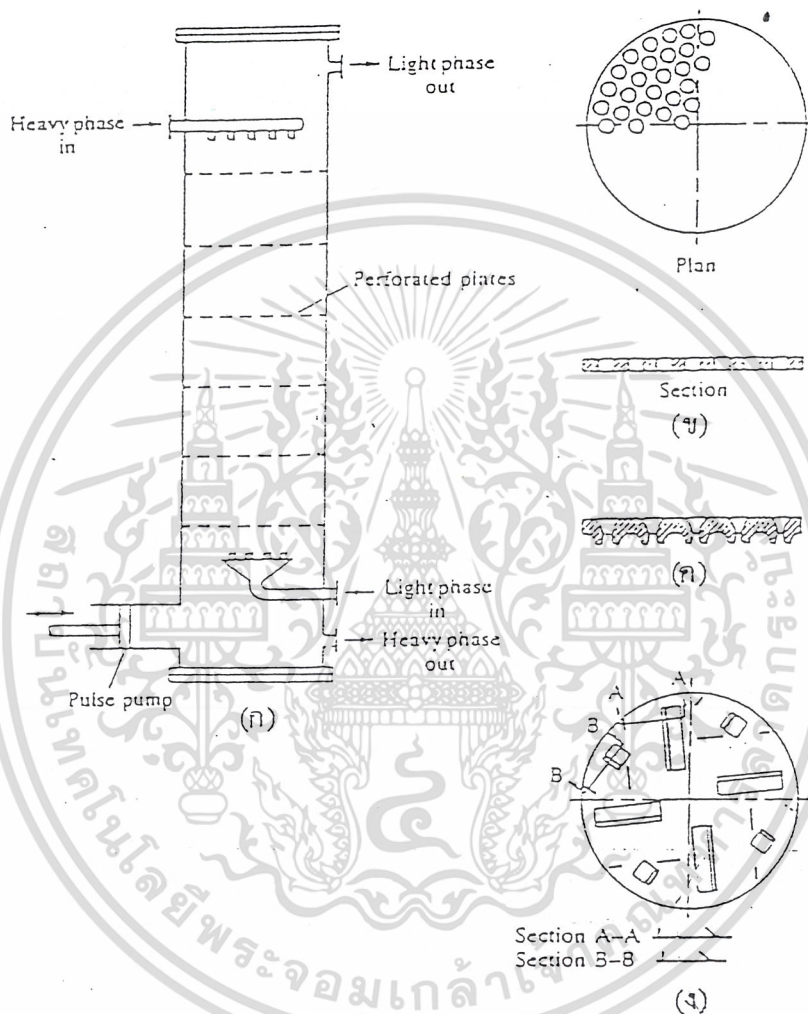
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 คอตัมน์แบบแกนกลางหมุน

- (ก) รูปแบบทั่วไปของคอตัมน์
- (ข) รูปแบบของการไหลในแต่ละสเตจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 คอลลัมน์แบบพัลส์ เพอร์โฟเรทด์ – เฟลต

- (ก) รูปแบบของคอลลัมน์โดยทั่วไป
- (ข) เฟลตแบบแผ่นราบ (Flat Plate)
- (ค) เฟลตแบบมีรูยื่นออกมา (Plate with Protruded Holes)
- (ง) เฟลตแบบหมุน (Swirl Plate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ชุดพัลส์คอดัมน์สำหรับสก็ดเรอ์ทที่ใช้ในปริณญาณิพนธ์ [5]

ชุดพัลส์คอดัมน์ประกอบด้วยคอดัมน์แบบพัลส์เพอร์ฟอเรทด์-เพลต เครื่องสูบบิเมตอริง และเครื่องช่วยกำเนิดพัลส์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.4.1 คอดัมน์

ทำด้วยท่อแก้วหนา 2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 37 มิลลิเมตร ยาวท่อนละ 40 เซนติเมตร จำนวน 6 ท่อน วางต่อกันในแนวตั้ง ท่อแก้วแต่ละท่อนถูกยึดให้ต่อกันด้วยหน้าแปลนโลหะสแตนเลสและลวดตาแหวก หน้าแปลนที่รองรับปลายท่อแก้วแต่ละด้านทำเป็นบ่าและมีปะเก็น PTFE (เทฟลอน) หนา 6 มิลลิเมตร เซาะร่องลึก 3 มิลลิเมตร รองรับปลายท่อแก้วกับบ่าหน้าแปลน ส่วนปลายบนสุดและล่างสุดของคอดัมน์ ใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 70 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร รวมความสูงของตัวคอดัมน์และปลายบน-ล่างประมาณ 3.43 เมตร ภายในตัวคอดัมน์มีแผ่นโลหะสแตนเลสหนา 0.5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร พื้นที่เจาะรู 30% จำนวน 50 แผ่น แต่ละแผ่นวางเรียงห่างกันแผ่นละ 5 เซนติเมตร คอดัมน์มีปริมาตรรวมประมาณ 5 ลิตร ลักษณะของคอดัมน์แสดงดังรูปที่ 4.8

4.4.2 เครื่องสูบบิเมตอริง (Metering pump)

ใช้สำหรับสูบส่งของเหลวเข้าสู่คอดัมน์ เครื่องสูบที่ใช้เป็นชนิด 2 หัว (Double Head) หัวหนึ่งของเครื่องสูบจะถูกใช้สำหรับส่งของเหลวชั้นน้ำ และอีกหัวหนึ่งของเครื่องสูบจะใช้สำหรับส่งของเหลวชั้นน้ำมัน

การเพิ่มลดอัตราการไหลของเครื่องสูบมี 2 ส่วน คือ ระยะชัก (Stroke Length) ซึ่งกำหนดตั้งแต่ 0-100% และความถี่ในเครื่องสูบซึ่งมี 2 ความถี่ คือ ความถี่ต่ำ และความถี่สูง การปรับอัตราการไหลของของเหลวทำได้โดยการตั้งค่าระยะชักที่อยู่หน้าหัวเครื่องสูบ (Pump Head) ที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งในการสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบ ระบบสูบส่งสารละลายเรอิร์ทไนเทรต และ 50% TBP ในน้ำมันก๊าด เข้าสู่คอลัมน์ เพื่อปรับเทียบอัตราการไหลของของเหลวทั้งสารละลายเรอิร์ทไนเทรตและ 50% TBP ในน้ำมันก๊าด

4.4.3 เครื่องกำเนิดพัลส์

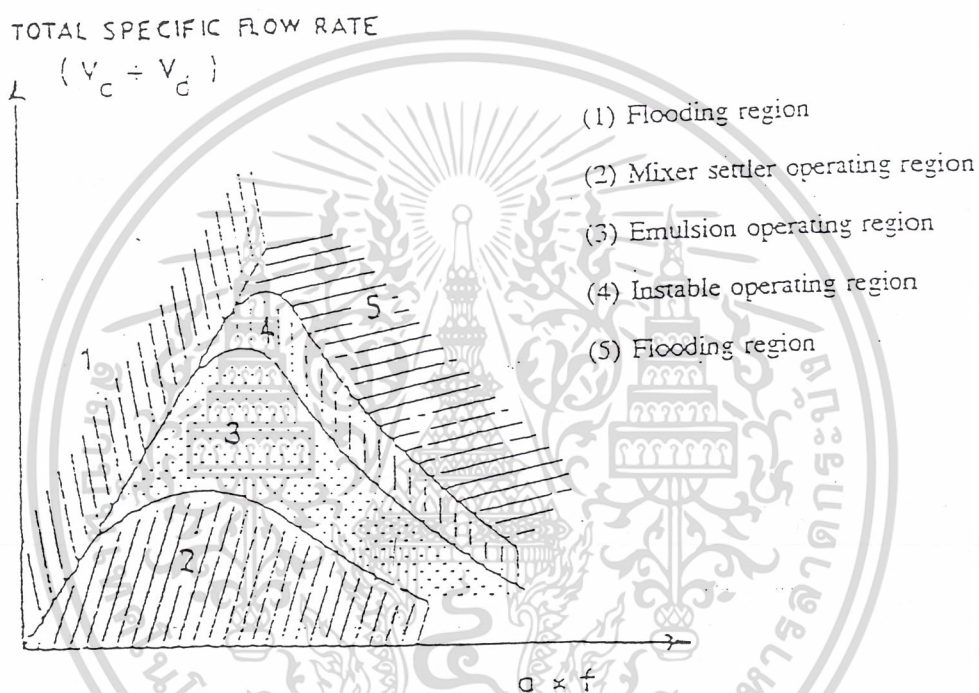
เครื่องกำเนิดพัลส์เป็นแบบใช้อากาศโดยตรง เชื่อมต่อจากเครื่องอัดอากาศ (Air - compressor) เข้าสู่คอลัมน์ทาง Pulse Leg ซึ่งทำด้วยหลอดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 3.5 เมตร

เครื่องสกดที่ใช้ในโครงการ เป็นแบบพัลส์เพอร์ฟอเรท-เพลท ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อแก้วยาว ภายในบรรจุด้วยเพอร์ฟอเรท-เพลทไว้ เฟสของเหลวหนักและเฟสของเหลวเบา ไหลสวนทางกัน ของเหลวหนึ่งเป็นเฟสกระจายและอีกของเหลวหนึ่งเป็นเฟสต่อเนื่อง การพัลส์ ทำได้โดยตรงด้วยลมผ่านทางฐานคอลัมน์ และผ่านไปตามความยาวคอลัมน์

เฟสกระจายไหลผ่านรูของเพอร์ฟอเรท-เพลท และกระจายในเฟสต่อเนื่องอีกครั้ง การถ่ายโอนมวลของตัวถูกละลายจะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายโอนมวล ทำได้โดยการวัดความดันเป็นระยะ ๆ ตัวแปรที่ใช้ควบคุมการพัลส์ คือ แอมพลิจูด และความถี่ โดยแอมพลิจูดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นของสารละลายในคอลัมน์ในการพัลส์แต่ละครั้ง ส่วนความถี่นั้น เป็นความถี่ในการพัลส์ โดยมีหน่วยเป็นรอบ/นาที และถูกควบคุมโดย Electronic Timer ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับตั้งค่าความถี่ที่ใช้ในการทำการพัลส์ของเหลวภายในคอลัมน์

สิ่งสำคัญในการกำหนดค่าแอมพลิจูดและความถี่สำหรับการทดลอง คือ การทำงานในช่วงที่แตกต่างกัน ซึ่งอยู่ในเนื้อที่ Diagram ที่ต่างกัน ในทางปฏิบัติ จะใช้ Emulsion Operating Area ในการทำงาน เพราะเป็นช่วงที่ให้อัตราการถ่ายโอนมวลดีที่สุด

4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการท่วม [7]



รูปที่ 4.8 Droplet Pattern ของการทำงานในภาวะต่าง ๆ [9]

$V_c + V_d$ คือ ผลรวมของอัตราการไหลของเฟสทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ 1 คอลัมน์เกิดภาวะการท่วม คือ ของเหลวที่เบากว่าจะถูกดึงออกจากคอลัมน์ โดยของเหลวที่หนักกว่า เมื่อให้อัตราการไหลของเฟสหนึ่งคงที่ได้ และเพิ่มอัตราการไหลของอีกเฟสหนึ่งอย่างสม่ำเสมอ จนเข้าสู่สถานะที่ Flow Pattern ของของเหลวที่เบากว่าไม่แน่นอน อัตราการไหลขณะนี้เรียกว่า Limiting Flow Rates หรือ Flooding velocities

พื้นที่ 2 เกิดการแบ่งแยกชั้นของของเหลวระหว่าง Plate อัตราการส่งผ่านมวลสาร น้อยมาก

พื้นที่ 3 การกระจายของหยดเล็ก ๆ เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การส่งผ่านมวลสารในพื้นที่ นี้ดีที่สุดในที่สุด

พื้นที่ 4 เกิดการรวมตัวให้หยดที่ใหญ่ขึ้น อัตราการสกัดน้อยลง

พื้นที่ 5 เกิดการท่วม

ภาวะการท่วม คือ ลิมิตสูงสุดของคอลัมน์ที่จะรับปริมาณของเหลวทั้งสองเฟส โดยขึ้นกับ ความเร็วของเฟสทั้งสอง โดยทั่วไปลักษณะของ Droplet Pattern จะขึ้นอยู่กับระบบของเหลวที่ ใช้และอัตราการไหล

4.6 การเป็ยกตัว [9]

ผลกระทบของการเป็ยกตัวของเพลทด้วยของเหลวต่อประสิทธิภาพในการสกัดแยกสารพบว่า ประสิทธิภาพของคอลัมน์จะเพิ่มขึ้นถ้าเพลทเป็ยกตัวด้วยเฟสต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้เฟสกระจาย มีการสร้างตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ได้ดี ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสองเฟสเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าเพลทเป็ยกตัวด้วยเฟสกระจาย ประสิทธิภาพของคอลัมน์จะต่ำลง

พฤติกรรมกรการเป็ยกตัวของแข็งด้วยของเหลวสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. พฤติกรรมกรการเป็ยกตัวได้ดีของของแข็งด้วยน้ำ เรียกว่า Hydrophilic เพลทที่มีคุณสมบัตินี้ ได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิม โลหะสเตนเลส
2. พฤติกรรมกรการเป็ยกตัวได้ดีของของแข็งด้วยน้ำมัน เรียกว่า Hydrophobic เพลทที่มีคุณสมบัตินี้ ได้แก่ เทฟลอน

บทที่ 5

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัด

สำหรับโครงการนี้ การสกัดสารละลายแร่เอิร์ทในเทรตด้วยสารละลายของ TBP ในน้ำมันก๊าดเป็นการสกัดแร่เอิร์ทที่มีเวเลนซ์เท่ากับ 3 โดยสารละลายแร่เอิร์ทในเทรต มีแร่เอิร์ทเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูงพอซึ่งได้แก่ La, Pr, Nd, Sm, Y และ Gd

จากการทดลองของปรารณา คิ้วสุวรรณ และ สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข พบว่าหากความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแร่เอิร์ทผสมสูงกว่า 3.5 โมลาร์ ธาตุที่มีเลขอะตอมสูงหรือ แร่เอิร์ทกลุ่มหนักจะถูกสกัดได้ดี แต่เนื่องจากสารละลายแร่เอิร์ทในเทรตที่ใช้สกัดมีปริมาณ La และ Nd ซึ่งจัดอยู่ในแร่เอิร์ทกลุ่มเบาในปริมาณที่สูงมาก ขณะที่ปริมาณของ Y ซึ่งจัดอยู่ในแร่เอิร์ทกลุ่มหนักมีอยู่ในปริมาณน้อย ดังนั้นในการสกัดนี้ ระบบที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแร่เอิร์ทผสมสูง

สำหรับประสิทธิภาพการสกัด สามารถดูได้จากค่าการเลือกหรืออาจเรียกว่า Separation factor (α) สัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution coefficient) และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (Mass transfer coefficient)

จากการศึกษาของ Smutz, Bochinski และ Spedding พบว่า

กรณีที่ 1 สำหรับสารละลายที่มีแร่เอิร์ทในเทรตมากกว่า 1 ชนิด และมีความเข้มข้นของแร่เอิร์ทในเทรตค่อนข้างมาก

1) ค่า α จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นรวมของแเรเอิร์ทเท่านั้น โดยจะไม่ขึ้นกับสัดส่วนของแเรเอิร์ทที่มีอยู่ เมื่อสารละลายแเรเอิร์ทมีความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ

2) การถ่ายโอนมวลจากเฟสน้ำไปยังเฟสน้ำมันจะลดลง ถ้าในสารละลายแเรเอิร์ทไนเทรตหรือเฟสน้ำมันมีกรดไนตริกอยู่มาก

3) การถ่ายโอนมวลจากเฟสน้ำไปยังเฟสน้ำมันจะลดลง ถ้ามีสารพวก Salting-out Agent เช่น $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$

กรณีที่ 2 สำหรับสารละลายที่มีแเรเอิร์ทไนเทรตมากกว่า 1 ชนิดและมีความเข้มข้นของแเรเอิร์ทไนเทรตต่ำ

1) การถ่ายโอนมวลจากเฟสน้ำไปยังเฟสน้ำมันจะเพิ่มขึ้นในสารละลายแเรเอิร์ทไนเทรตหรือเฟสน้ำมันที่มีกรดไนตริกอยู่มาก

2) การถ่ายโอนมวลจากเฟสน้ำไปยังเฟสน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ถ้ามีสารพวก Salting-out Agent เช่น $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$

5.1 การเลือกตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดแร่ธาตุหายากซึ่งอยู่ในแร่โมนาไซต์ ตามโครงการนี้ คือ สารละลายไตรบิวทิลฟอสเฟต (Tri-n-butylphosphate, TBP) ที่ถูกเจือจางด้วยน้ำมันก๊าด (Kerosene) โดยแร่ธาตุหายากหรือแเรเอิร์ทจะถูกเตรียมในรูปของสารละลายแเรเอิร์ทไนเทรต โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลายและมีกรดไนตริกอยู่ในสารละลายในปริมาณเล็กน้อย ในที่นี้ถือว่า สารละลาย TBP เป็นเฟสน้ำมัน และสารละลายแเรเอิร์ทไนเทรตเป็นเฟสน้ำ เฟสทั้งสองถูกนำเข้าสู่หอสกัด โดยเฟสน้ำมันจะเข้าทางตอนล่างของหอสกัด ส่วนเฟสน้ำจะเข้าทางตอนบนหอสกัด จากนั้นทั้งสองเฟสจะไหลสวนทางกัน เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนมวลของแเรเอิร์ทไนเทรตที่ต้องการสกัด จากเฟสน้ำมันยังเฟสน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

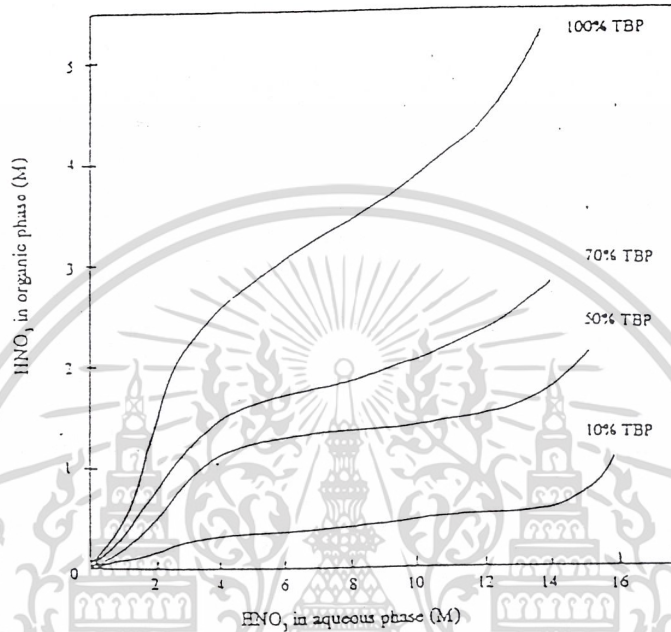
ตัวแปรต่าง ๆ ของชนิดตัวทำละลายที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดมีดังนี้

- 1) ความเข้มข้นของสารละลาย TBP (%TBP)
- 2) ความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลาย TBP

ปรารธนา คิ้วสุวรรณ และสุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข ได้ทำการทดลองศึกษาเกี่ยวกับผลของการละลายของกรดไนตริกในเฟสของสารละลาย TBP และในเฟสของน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของ TBP ในน้ำมันก๊าด เท่ากับ 10, 50, 70 และ 100% โดยปริมาตร ซึ่งสำหรับที่ 100% โดยปริมาตรนั้น ได้นำมาจากรายงานผลการทดลองของ Foos และ Wilhelm โดยกราฟแสดงผลการทดลอง เป็นดังรูปที่ 5.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดไนตริกในเฟสน้ำกับเฟสน้ำมัน

จากผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ จะมีช่วงที่กรดไนตริกไม่เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างเฟสน้ำและเฟสน้ำมัน เมื่อความเข้มข้นในเฟสน้ำเปลี่ยนไป เช่น ที่ 50% TBP เมื่อเฟสน้ำมีความเข้มข้นของกรดไนตริกในช่วง 4-12 โมลาร์ ในเฟสน้ำมันจะมีความเข้มข้นของกรดไนตริกประมาณ 1.1 โมลาร์ สำหรับที่ % TBP อื่น ๆ สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน ดังนั้น เพื่อให้การสกัดสารแรเอิร์ทไนเตรดด้วยสารละลาย TBP ไม่มีผลของการถ่ายโอนมวลของกรดไนตริกเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงควรเลือกใช้ตัวทำละลายที่มี % TBP ต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ตัวทำละลายที่ % TBP ต่ำ ทำให้เกิดผลดีและผลเสียดังต่อไปนี้

1. ลดปัญหาเรื่องการถ่ายโอนมวลของกรดไนตริก ซึ่งอาจมีผลต่อการถ่ายโอนมวลของแรเอิร์ทไนเตรด

2. ช่วยให้ความถ่วงจำเพาะของเฟสน้ำมันลดลง เนื่องจาก

- ความถ่วงจำเพาะของ TBP = 0.97
- ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันก๊าด = 0.78

ดังนั้นการใช้ % TBP ต่ำ จะทำให้ความถ่วงจำเพาะของเฟสน้ำมันลดลง ส่งผลให้การแยกตัวของเฟสน้ำและเฟสน้ำมันดีขึ้น

3. ทำให้ความสามารถในการสกัดลดลง เนื่องจากมีความเข้มข้นของ TBP ลดลง แต่ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มอัตราการใช้ของตัวทำละลายให้มากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการล้างตัวทำละลาย หากใช้อัตราการใช้ที่สูงขึ้น

ดังนั้น ในการทดลองการสกัดจึงเลือกใช้ % TBP เท่ากับ 50% ซึ่งจะทำให้ความถ่วงจำเพาะมีค่า 0.88 ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับ % TBP ในรูปที่ ข-1

ในการสกัด ได้ตั้งสมมติฐานเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณว่า “ระหว่างสกัดจะไม่มี การถ่ายโอนมวลของกรดไนตริกระหว่างเฟสน้ำและเฟสน้ำมัน และเฟสน้ำกับเฟสน้ำมันจะไม่มี การละลายซึ่งกันและกัน” แต่ในความเป็นจริงเฟสน้ำมันที่ใช้ ละลายในเฟสน้ำที่ใช้ได้น้อยมาก อยู่แล้ว ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน แต่เฟสน้ำจะสามารถละลายในเฟสน้ำมันได้ประมาณ 6% โดยน้ำหนัก ดังนั้นเพื่อให้การสกัดเป็นไปตามสมมติฐาน เฟสน้ำมันที่ใช้หรือสารละลาย 50 % TBP ในน้ำมันก๊าด จึงได้ถูกทำให้อิ่มตัวด้วยสารละลายกรดไนตริกในน้ำเสียก่อน เพื่อป้องกันมิให้ สารละลายกรดไนตริกมีการถ่ายโอนมวลอีก นอกจากนี้กรดไนตริกยังช่วยป้องกันการเกิด อิมัลชันของเฟสน้ำและเฟสน้ำมัน ซึ่งจะเป็นปัญหาในการสกัด

5.2 การเลือกชนิดเฟสต่อเนื่อง

เนื่องจากเฟลทที่ใช้เป็นโลหะสเตนเลส ดังนั้น เพื่อให้เฟสกระจายมีการสร้างตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ได้ดี จึงเลือกใช้เฟสน้ำหรือสารละลายแเรเอิร์ทไนเทรตเป็นเฟสต่อเนื่อง โดยจะให้เข้าทางด้านบนหอสกัด และให้สารละลาย TBP ในน้ำมันก๊าดซึ่งเป็นเฟสกระจาย เข้าสู่หอสกัดทางด้านล่าง เพื่อให้เกิดการไหลสวนทางกันระหว่างเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจาย

5.3 ผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแเรเอิร์ทไนเทรตต่อการสกัดแเรเอิร์ท

จากข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับผลของกรดไนตริกต่อการสกัดแเรเอิร์ทไนเทรต ดังได้กล่าวมาแล้ว สำหรับการสกัดในสารละลายที่มีความเข้มข้นของแเรเอิร์ทไนเทรตสูง ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กรดไนตริกจะช่วยลดการเกิดอิมัลชันระหว่างเฟสน้ำและน้ำมัน
2. เมื่อตัวทำละลายที่เลือกใช้เป็น 50% TBP ในน้ำมันก๊าดที่ถูกทำให้อิ่มตัวด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ จากรูปที่ 5.1 ควรใช้เฟสน้ำที่มีความเข้มข้นกรดไนตริกอยู่ในช่วง 4-10 โมลาร์ เพื่อป้องกันการถ่ายโอนมวลของกรดไนตริกระหว่างการสกัดแเรเอิร์ทไนเทรต
3. ที่ความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ จะทำให้ค่าการเลือก ไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแเรเอิร์ทภายในสารละลายแเรเอิร์ทผสม ซึ่งเป็นผลดีที่จะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในโครงการนี้ไปใช้กับสารละลายแเรเอิร์ทผสมอื่น ๆ ที่มีองค์ประกอบต่าง ๆ กันได้ดี
4. ที่ความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ จะทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลของสารที่ต้องการสกัดได้ดี

บทที่ 6

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแร่เอิร์ทไนเทรต

6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังกวน (Mixer)
2. ถังกรอง (Filter Tank)
3. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
4. เครื่องต้มระเหย (Evaporator)
5. ถังเก็บสาร
6. เครื่องชั่งสาร

6.2 สารเคมี

1. แร่เอิร์ทผสม (Mixed Rare Earths หรือ Mixed RE)
2. กรดไนตริกเข้มข้น 68% โดยปริมาตร (68% HNO₃)
3. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂)
4. น้ำจัดไอออนแล้ว
5. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 56% (56% NH₄OH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ขั้นตอนการเตรียมสารป้อนหรือสารละลายเรอ์ทไนเทรต

1. ถ้างาเรอ์ทผสมด้วยน้ำจืดไอออนแล้วในถังกวน ปิดเครื่องกวนและทิ้งให้ตะกอนนอนก้น จากนั้นดูดน้ำตอบนทิ้งด้วยวิธีกลักน้ำ โดยล้างซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออก เช่น ถ้ามีโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไอออนจะถูกสกัดก่อน เป็นต้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลง

2. นำไปกรองด้วยถังกรอง จะได้ตะกอนของเรอ์ทผสม หรือ $RE(OH)_3$

3. นำตะกอนที่กรองได้ ใส่ในถังกวนและเติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 68% โดยปริมาตร จนกระทั่งตะกอนของเรอ์ทไฮดรอกไซด์ละลายหมด

4. เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อออกซิไดซ์ซีเรียมที่มีเวเลนซีเท่ากับ 3 (Ce(III)) ให้เป็นซีเรียมที่มีเวเลนซีเท่ากับ 4 (Ce(IV)) ซึ่งจะทำให้ pH ของสารละลายลดลง จากนั้นจึงเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 56% โดยปริมาตร จนกระทั่งได้สารละลายที่มีค่า pH ประมาณ 5.5 และทิ้งไว้ให้เกิดการตกตะกอนของซีเรียมที่มีเวเลนซีเท่ากับ 4

5. กรองด้วยถังกรองจะได้เค็ลซีเรียมและสารละลายเรอ์ทไนเทรต หรือ $RE(NO_3)_3$

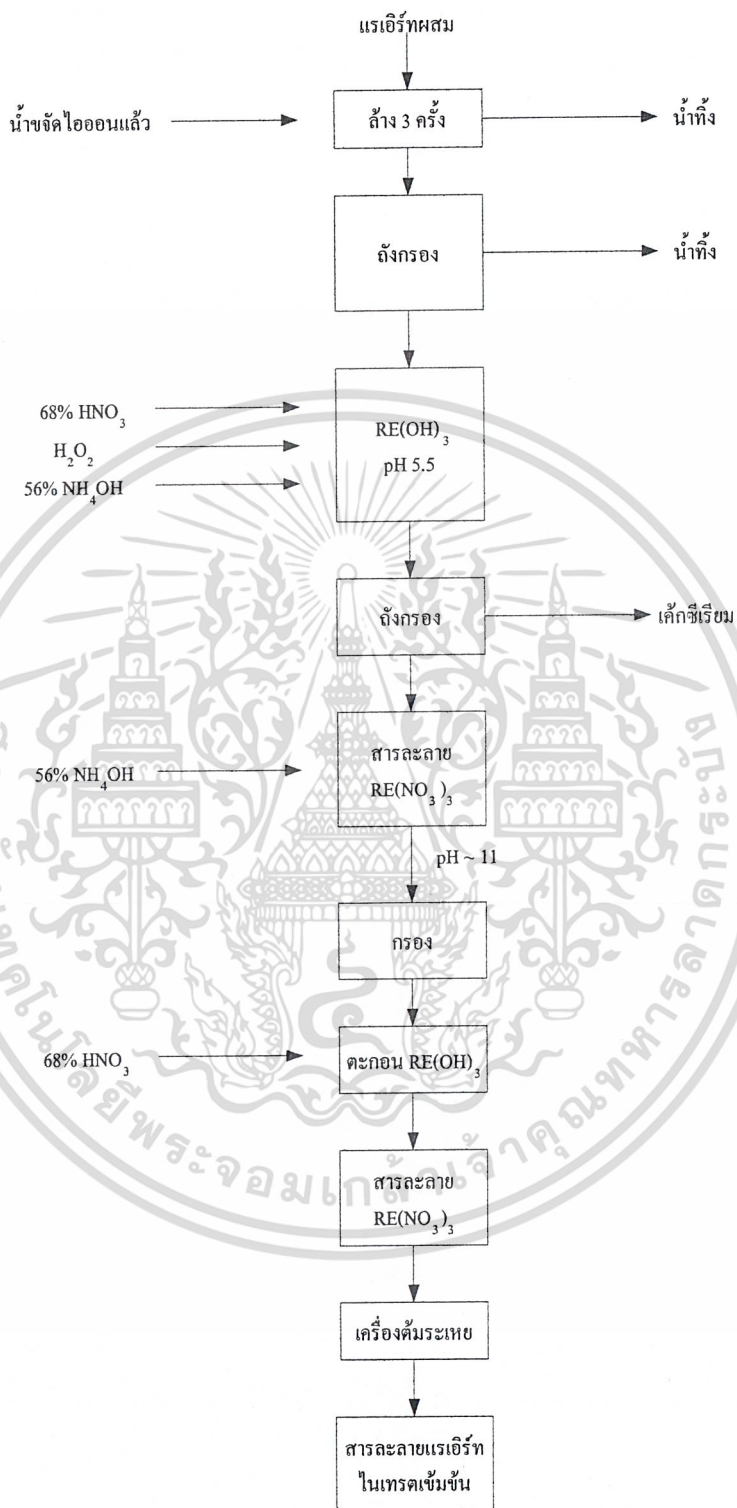
6. เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 56% โดยปริมาตร จนกระทั่งได้สารละลายที่มีค่า pH ประมาณ 11 จะทำให้เกิดการตกตะกอนของเรอ์ทผสมในรูปของเรอ์ทไฮดรอกไซด์

7. นำตะกอนส่วนที่เหลือไปกรองด้วยถังกรอง จะได้ตะกอนของเรอ์ทผสมที่ไม่มีไอออนของซีเรียมเหลืออยู่

8. นำตะกอนที่ได้ ใส่ถังกวนและค่อย ๆ เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 68% โดยปริมาตรลงไป เพื่อทำการละลายตะกอนเรอ์ทไฮดรอกไซด์ และได้สารละลายเรอ์ทไนเทรต

9. นำสารละลายเรอ์ทไนเทรตเข้าเครื่องต้มระเหยเพื่อเพิ่มความเข้มข้น จะได้สารป้อนที่ความเข้มข้นและความถ่วงจำเพาะที่ต้องการ

ขั้นตอนทั้งหมดนี้แสดงได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการเตรียมสารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 6.1 สรุปข้อมูลเกี่ยวกับการเตรียมสารละลายเรอ์ทไนเทรต

Batch	1	2
น้ำหนัก mixed - RE(OH) ₃	60.58 kg	14.76 kg
น้ำหนักซีเรียมที่ตกตะกอนได้	10.4 kg	7.0 kg
น้ำหนัก RE(OH) ₃ ก่อนละลายกรดไนตริก	4.4 kg	3.2 kg
ปริมาตรที่ได้ของสารป้อนก่อนนำไปต้มระเหย	20 ลิตร	12 ลิตร
ความถ่วงจำเพาะก่อนนำไปต้มระเหย	1.232	1.235
ปริมาตรที่ได้ของสารป้อน	6.45 ลิตร	4 ลิตร
ความถ่วงจำเพาะหลังทำการต้มระเหย	1.667	1.662

สำหรับวิธีการเตรียมสารละลายเรอ์ทไนเทรตในโครงการนี้ ได้มีการปรับปรุง ขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1. ในขั้นตอนการตกตะกอนของซีเรียมที่มีเวเลนซ์เท่ากับ 4 ได้นำสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 56% โดยปริมาตร มาใช้เพื่อทำการเพิ่ม pH ให้ได้ประมาณ 11 แทนการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 20% โดยมวลต่อปริมาตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเจือปนของโซเดียมไอออนในสารละลายเรอ์ทไนเทรตผสม ซึ่งหากในสารละลายเรอ์ทไนเทรตผสมมีโซเดียมไอออนเจือปนอยู่จะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดลดลง เพราะในการสกัดนั้นโซเดียมไอออนจะถูกสกัดออกมาก่อน

2. สำหรับสารละลายเรอ์ทไนเทรตที่มีการตกตะกอนของซีเรียมแล้ว จะถูกนำมาเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 56% โดยปริมาตร จนกระทั่งได้สารละลายที่มี ค่า pH ประมาณ 11 เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเรอ์ทไนเทรตไฮดรอกไซด์ แล้วจึงนำตะกอนที่ได้มาทำการละลายด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 68% โดยปริมาตรอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อเตรียมสารละลายแเรเอิร์ทในเทรตด้วยวิธีนี้จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายแเรเอิร์ทในเทรตมีค่าสูงขึ้นเป็น 1.20 ซึ่งหากทำการเตรียมสารละลายแเรเอิร์ทในเทรตด้วยวิธีเดิม (ไม่มีขั้นตอนการตกตะกอนของแเรเอิร์ทผสมด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์) จะทำให้ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายแเรเอิร์ทในเทรตเพียง 1.02 ดังนั้น การเตรียมสารละลายแเรเอิร์ทในเทรตด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้ประหยัดพลังงานและเวลาที่ใช้ในการต้มระเหย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแเรเอิร์ท

ในทรรศต่อการสกัดแเรเอิร์ทผสม

จากข้อมูลที่ได้ศึกษามาพบว่า ควรทำการทดลองศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแเรเอิร์ทในทรรศต่อการสกัดแเรเอิร์ทผสม ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องไทเทรต
2. อุปกรณ์สำหรับห้องปฏิบัติการเคมี เช่น บีกเกอร์ ปิเปต กรวยแยก ถังมือยาง ฯลฯ
3. เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุแบบ ICP (Inductively Coupled Plasma)
4. ขวดเก็บสารสำหรับวิเคราะห์

7.2 สารเคมี

1. กรดไนตริกเข้มข้น 68% โดยปริมาตรและกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์
2. แรเอิร์ทผสม
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นประมาณ 0.01 โมลาร์
4. สารละลายมาตรฐาน KHP เข้มข้นประมาณ 0.01 โมลาร์
5. 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าด (50% TBP ใน Kerosene)
6. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมสารละลายแเรเอิร์ทไนเทรตที่มีความเข้มข้นของกรดไนตริกต่าง ๆ กัน โดยการผสมสารละลายแเรเอิร์ทไนเทรต 25 มิลลิลิตร กับสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 68% ในปริมาณต่าง ๆ กัน เพื่อให้ได้สารละลายแเรเอิร์ทไนเทรตที่มีความเข้มข้นของกรดไนตริกอยู่ในช่วง 0.3-3.5 โมลาร์ จากนั้นนำสารละลายที่ได้ มาไทเทรตหาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่แน่นอน โดยใช้เครื่องไทเทรต

2. หาความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารตัวอย่าง โดยการไทเทรตสารตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตัวอย่างละ 2 ครั้ง

3. ดำเนินการสกัดสารตัวอย่างด้วย 50% TBP ในน้ำมันก๊าดที่อิ่มตัวด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ โดย

3.1 เตรียม 50% TBP ในน้ำมันก๊าดที่อิ่มตัวด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ โดยการนำ 50% TBP ในน้ำมันก๊าด 1 ส่วน กับกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์อีก 1 ส่วนมาผสมกัน หลังจากนั้นเขย่าของผสมในกรวยแยกจนเข้าสู่สมดุล แล้วจึงแยกเฟสน้ำมันออก

3.2 นำ 50% TBP ที่เตรียมได้จำนวน 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารตัวอย่างทั้ง 14 ตัวอย่าง แล้วเขย่าเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เข้าสู่สมดุล

3.3 แยกเฟสน้ำมันออก นำเฟสน้ำมันที่ได้ (สารตัวอย่างที่ถูกสกัดแล้ว) มาวัดหาความเข้มข้นของกรดไนตริก โดยไทเทรตสารตัวอย่างที่ถูกสกัดแล้วกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตัวอย่างละ 2 ครั้ง

4. วิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่าง โดยการนำสารป้อนและสารตัวอย่างที่ถูกสกัดแล้ว ทั้ง 14 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแเรเอิร์ทไนเทรตโดยเครื่อง ICP ซึ่งจะแสดงผลขององค์ประกอบในรูปของความเข้มข้น เป็นมิลลิกรัม/มิลลิลิตรของแเรเอิร์ทออกไซด์



รูปที่ 7.1 ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแร่เอิร์ทในเทอร์คต่อการสกัดแร่เอิร์ทผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 แร่เอิร์ทออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้

แร่เอิร์ทออกไซด์	มวลโมเลกุล	Conversion factor
La_2O_3	325.82	2
Nd_2O_3	336.48	2
Pr_6O_{11}	1021.46	6
Y_2O_3	225.82	2
Sm_2O_3	348.72	2
Gd_2O_3	362.50	2
CeO_3	172.12	1
Dy_2O_3	373.00	2
Eu_2O_3	351.94	2
Yb_2O_3	394.08	2

Conversion factor คือ factor ที่ใช้ในการเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้นของแร่เอิร์ทออกไซด์ จาก มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (mg/ml) ให้กลายเป็นโมลาร์ (mol/l) ของแร่เอิร์ท โดยสามารถเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้นได้จาก

$$\text{molar of rare earth} = \frac{\text{mg / ml of rare earth oxide} \times \text{factor}}{1000 \times \text{มวล โมเลกุลของแร่เอิร์ทออกไซด์}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 7.2 ความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายเรเออร์ที่ไนเตรดที่เดิม 68% HNO_3 ก่อนและหลังการสกัดด้วย 50% TBP ในน้ำมันก๊าดที่อิ่มตัวด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์

สารตัวอย่าง	ความเข้มข้นของกรด HNO_3 (โมลาร์)		ความเข้มข้นของ HNO_3 ที่ลดลง
	ก่อนสกัด	หลังสกัด	
สารป้อน	0.397	0.655	-0.258 *
1	0.454	0.686	-0.232 *
2	0.567	0.690	-0.123 *
3	0.662	0.751	-0.089 *
4	0.751	0.822	-0.071 *
5	0.835	0.808	0.027
6	0.931	0.903	0.028
7	0.877	0.825	0.052
8	1.299	1.113	0.186
9	1.777	1.422	0.355
10	2.119	1.710	0.406
11	2.479	2.009	0.470
12	2.712	2.294	0.418
13	3.073	2.596	0.477
14	3.431	2.924	0.507

* หมายถึง ความเข้มข้น HNO_3 หลังจากถูกสกัดด้วย TBP มีความเข้มข้น HNO_3 เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 7.3 ปริมาณแร่อิทธิออกไซด์ที่เหลืออยู่ในสารตัวอย่าง (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

	[HNO ₃]	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
<i>F</i>	0.397	200850	3728.00	29930	113100	23770	243.9	14420	3291	121.0	18690
<i>Raf</i>	0.655	183200	1270.00	22860	84800	15110	134.9	8430	1558	67.9	11430
1	0.454	183100	1266.43	23230	87000	15680	139.2	8780	1641	69.4	11760
2	0.567	182300	1194.69	23430	88000	15950	141.8	8970	1693	70.5	11970
3	0.662	182200	1235.12	23460	88400	16040	142.3	9000	1699	70.4	12020
4	0.751	180200	1191.12	23250	87500	15860	140.6	8860	1679	69.5	11840
5	0.835	178900	1232.74	22890	85900	15470	136.5	8640	1614	67.3	11480
6	0.931	175100	1206.95	22460	84600	15240	135.7	8530	1614	68.1	11320
7	0.877	185500	3160.00	25290	95300	17740	184.1	10200	2000	76.9	13050
8	1.299	180000	3137.00	24790	94100	17580	181.2	10190	2008	73.9	12880
9	1.777	171200	2864.50	23940	91100	17300	175.3	10060	1970	70.4	12560
10	2.119	163200	2916.00	23020	88200	16970	173.5	9920	1991	68.7	12240
11	2.479	157300	2812.00	22460	86100	16740	167.2	9840	1945	65.4	12020
12	2.712	155100	2769.00	22170	85400	16670	169.9	9780	1990	65.7	11960
13	3.073	147100	2693.00	21290	81300	15940	163.4	9420	1932	62.8	11420
14	3.431	123000	2399.00	17740	68400	13480	136.7	7960	1618	51.2	9580

ตารางที่ 7.4 ปริมาณแร่อิทธิออกไซด์ที่ถูกสกัดเข้าไปใน TBP (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

	[HNO ₃]	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
<i>Raf</i>	0.655	17650	2458.00	7070	28300	8660	109.0	5990	1733	53.1	7260
1	0.454	17750	2461.57	6700	26100	8090	104.7	5640	1650	51.6	6930
2	0.567	18550	2533.31	6500	25100	7820	102.1	5450	1598	50.5	6720
3	0.662	18650	2492.88	6470	24700	7730	101.6	5420	1592	50.6	6670
4	0.751	20650	2536.88	6680	25600	7910	103.3	5560	1612	51.5	6850
5	0.835	21950	2495.26	7040	27200	8300	107.4	5780	1677	53.7	7210
6	0.931	25750	2521.05	7470	28500	8530	108.2	5890	1677	52.9	7370
7	0.877	15350	568.00	4640	17800	6030	59.8	4220	1291	44.1	5640
8	1.299	20850	591.00	5140	19000	6190	62.7	4230	1283	47.1	5810
9	1.777	29650	863.50	5990	22000	6470	68.6	4360	1321	50.6	6130
10	2.119	37650	812.00	6910	24900	6800	70.4	4500	1300	52.3	6450
11	2.479	43550	916.00	7470	27000	7030	76.7	4580	1346	55.6	6670
12	2.712	45750	959.00	7760	27700	7100	74.0	4640	1301	55.3	6730
13	3.073	53750	1035.00	8640	31800	7830	80.5	5000	1359	58.2	7270
14	3.431	77850	1329.00	12190	44700	10290	107.2	6460	1673	69.8	9110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

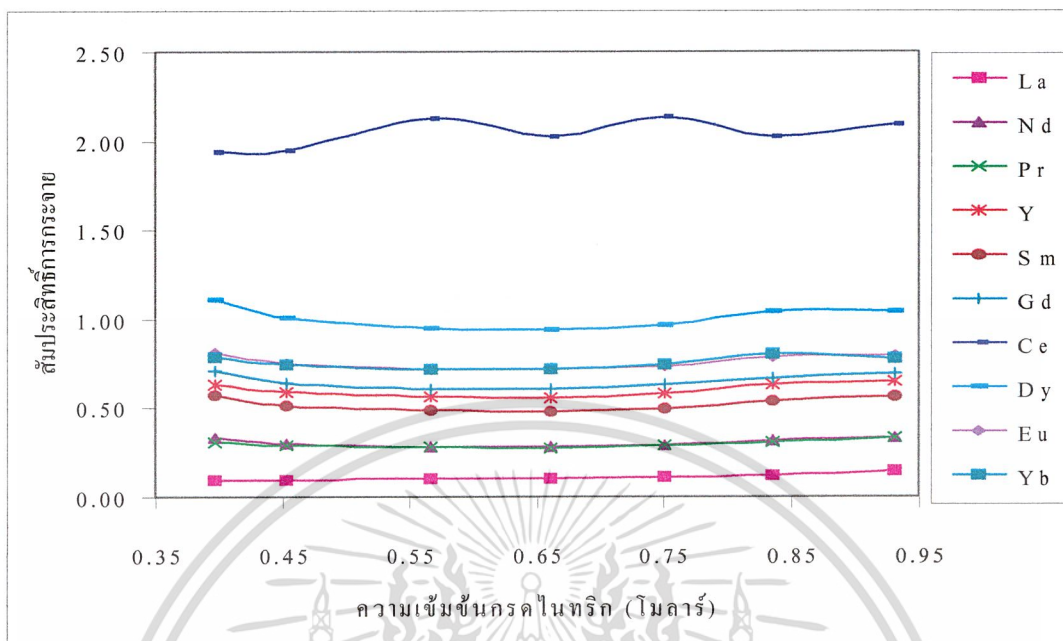
ตารางที่ 7.5 สัมประสิทธิ์การกระจาย (k) ณ ความเข้มข้นกรดไนตริกต่าง ๆ

	[HNO ₃]	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Yb	Y
<i>Raf</i>	0.655	0.096	1.935	0.309	0.334	0.573	0.808	0.711	1.112	0.782	0.635
1	0.454	0.097	1.944	0.288	0.300	0.516	0.752	0.642	1.005	0.744	0.589
2	0.567	0.102	2.120	0.277	0.285	0.490	0.720	0.608	0.944	0.716	0.561
3	0.662	0.102	2.018	0.276	0.279	0.482	0.714	0.602	0.937	0.719	0.555
4	0.751	0.115	2.130	0.287	0.293	0.499	0.735	0.628	0.960	0.741	0.579
5	0.835	0.123	2.024	0.308	0.317	0.537	0.787	0.669	1.039	0.798	0.628
6	0.931	0.147	2.089	0.333	0.337	0.560	0.797	0.691	1.039	0.777	0.651
7	0.877	0.083	0.180	0.183	0.187	0.340	0.325	0.414	0.646	0.573	0.432
8	1.299	0.116	0.188	0.207	0.202	0.352	0.346	0.415	0.639	0.637	0.451
9	1.777	0.173	0.301	0.250	0.241	0.374	0.391	0.433	0.671	0.719	0.488
10	2.119	0.231	0.278	0.300	0.282	0.401	0.406	0.454	0.653	0.761	0.527
11	2.479	0.277	0.326	0.333	0.314	0.420	0.459	0.465	0.692	0.850	0.555
12	2.712	0.295	0.346	0.350	0.324	0.426	0.436	0.474	0.654	0.842	0.563
13	3.073	0.365	0.384	0.406	0.391	0.491	0.493	0.531	0.703	0.927	0.637
14	3.431	0.633	0.554	0.687	0.654	0.763	0.784	0.812	1.034	1.363	0.951

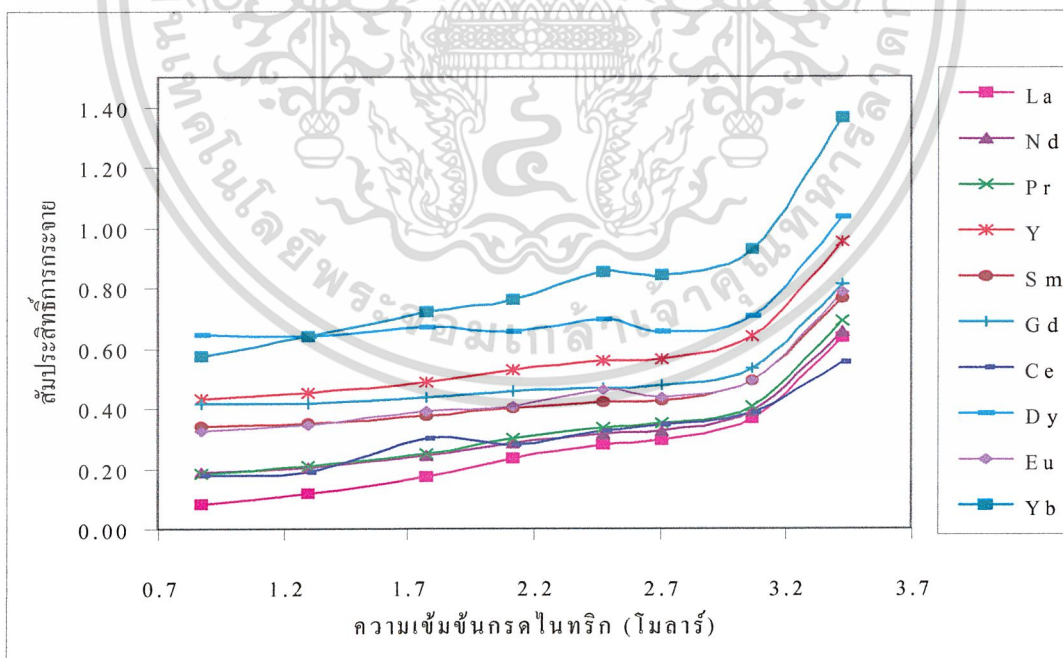
ตารางที่ 7.6 ค่าการเลือก (α) ณ ความเข้มข้นกรดไนตริกต่าง ๆ

	[HNO ₃]	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Yb	Y
<i>Raf</i>	0.655	1	20.089	3.210	3.464	5.949	8.387	7.375	11.545	8.117	6.593
1	0.454	1	20.050	2.975	3.095	5.322	7.759	6.626	10.372	7.670	6.079
2	0.567	1	20.839	2.726	2.803	4.818	7.076	5.971	9.276	7.040	5.517
3	0.662	1	19.718	2.694	2.730	4.708	6.975	5.883	9.154	7.022	5.421
4	0.751	1	18.586	2.507	2.553	4.352	6.411	5.476	8.378	6.466	5.049
5	0.835	1	16.498	2.507	2.581	4.373	6.413	5.452	8.468	6.503	5.119
6	0.931	1	14.204	2.262	2.291	3.806	5.422	4.695	7.065	5.282	4.427
7	0.877	1	2.172	2.217	2.257	4.108	3.925	5.000	7.801	6.930	5.223
8	1.299	1	1.626	1.790	1.743	3.040	2.987	3.584	5.516	5.502	3.894
9	1.777	1	1.741	1.445	1.394	2.159	2.260	2.502	3.872	4.150	2.818
10	2.119	1	1.207	1.301	1.224	1.737	1.759	1.966	2.830	3.300	2.284
11	2.479	1	1.177	1.201	1.133	1.517	1.657	1.681	2.500	3.071	2.004
12	2.712	1	1.174	1.187	1.100	1.444	1.477	1.608	2.216	2.854	1.908
13	3.073	1	1.052	1.111	1.070	1.344	1.348	1.453	1.925	2.536	1.742
14	3.431	1	0.875	1.086	1.033	1.206	1.239	1.282	1.634	2.154	1.502

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

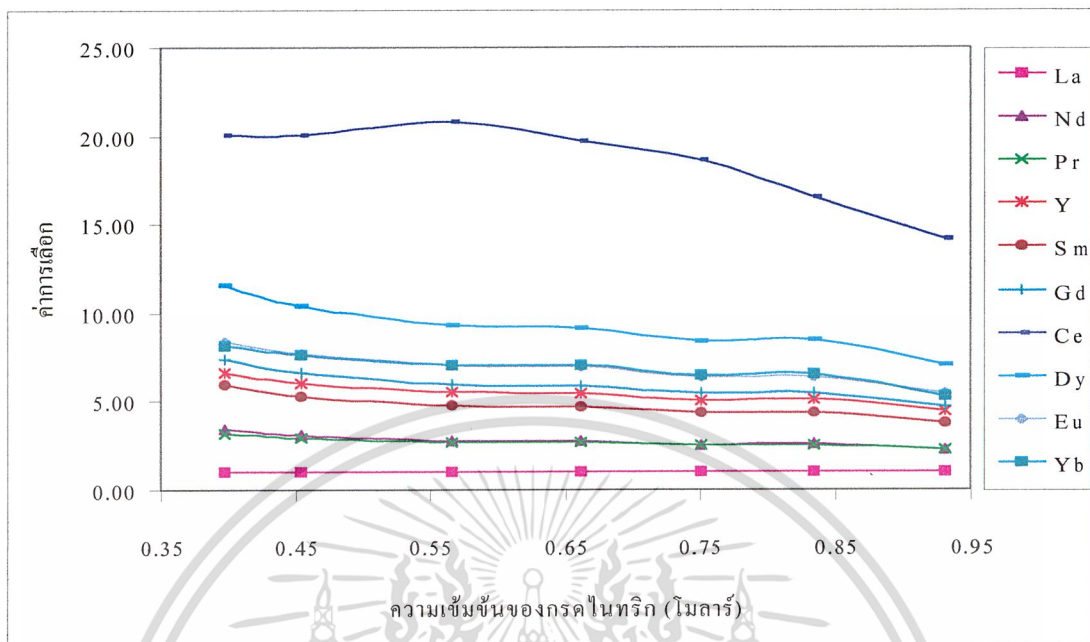


รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายกับความเข้มข้นของกรดไนตริก ณ ช่วงความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ

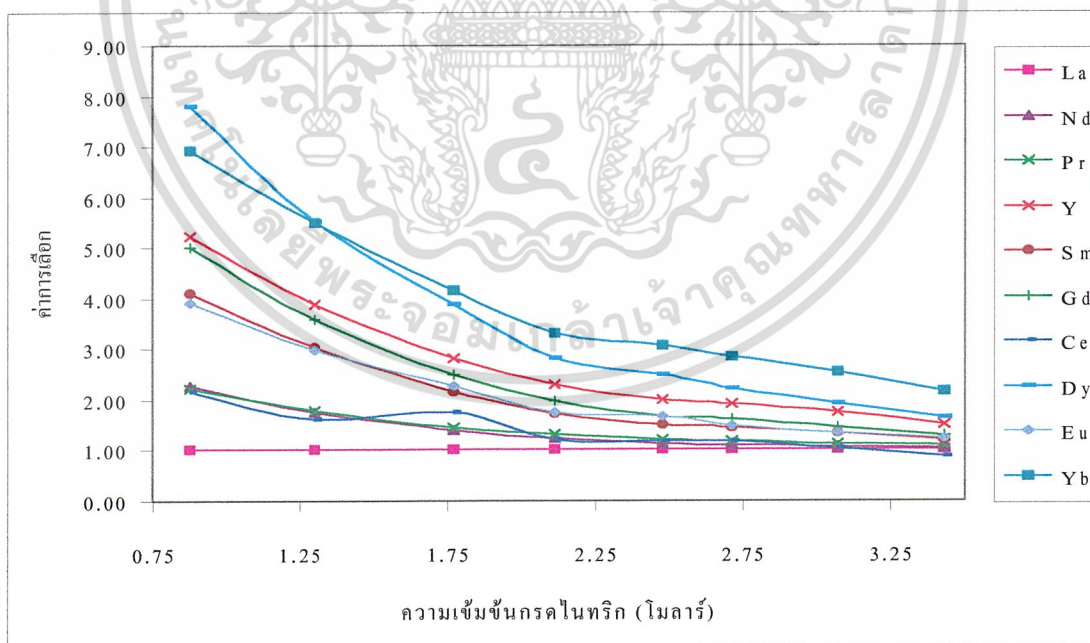


รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายกับความเข้มข้นของกรดไนตริก ณ ช่วงความเข้มข้นของกรดไนตริกสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเลือกกับความเข้มข้นของกรดไนตริก
ณ ช่วงความเข้มข้นกรดไนตริกต่ำ



รูปที่ 7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเลือกกับความเข้มข้นของกรดไนตริก
ณ ช่วงความเข้มข้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสกัดแร่เอิร์ทผสม โดยการเตรียมแร่เอิร์ทผสมให้เป็นสารละลายแร่เอิร์ทในเทรต โดยใช้วิธีการสกัดแบบ Liquid-Liquid Extraction พบว่า มีปัจจัยหลายชนิดที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัด โดยปัจจัยหนึ่งคือ ความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแร่เอิร์ทผสม

จากผลการทดลอง ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 7.3 และ 7.5 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของกรดไนตริกมีค่าสูงขึ้น จะทำให้สัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าสูงขึ้นและค่าการเลือกมีค่าลดลง ดังนั้น ในการสกัดแร่เอิร์ทผสม ควรมีความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายแร่เอิร์ทในเทรตต่ำ ๆ ถึงแม้ว่าที่ความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ จะมีสัมประสิทธิ์การกระจายต่ำก็ตาม แต่เพื่อให้เกิดการแยกแร่เอิร์ทออกเป็นกลุ่มได้ดี จึงควรให้มีการค่าการเลือกที่สูง ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ นี้เองจะมีค่าการเลือกสูง

ในการเตรียมสารละลายแร่เอิร์ทผสมเพื่อใช้ในการสกัด พบว่า จะมีความเข้มข้นของกรดไนตริกเหลืออยู่ในสารละลายแร่เอิร์ทผสมประมาณ 0.3-0.5 โมลาร์ และเมื่อนำสารละลายแร่เอิร์ทผสมมาสกัดด้วยสารละลาย 50% TBP ในน้ำมันก๊าดที่อิ่มตัวด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ จะเกิดการถ่ายโอนมวลของกรดไนตริกระหว่างเฟสทั้งสอง โดยจากตารางที่ 7.2 ความเข้มข้นของกรดไนตริกที่เหลืออยู่ในสารละลายแร่เอิร์ทผสมหลังการสกัดด้วย TBP มีค่าประมาณ 0.6-1.0 โมลาร์ ซึ่งจากข้อมูลในรูปที่ 7.2 และ 7.4 ที่ความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ (ประมาณ 0.3-1.0 โมลาร์) สัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะมีการถ่ายโอนมวลของกรดไนตริกในระหว่างการสกัด ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของกรดไนตริกมีค่าไม่คงที่ แต่ถ้านในการสกัดมีการใช้สารละลายแร่เอิร์ทผสมที่มีความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ จะทำให้ช่วยลดปัญหาผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกต่อประสิทธิภาพการสกัดได้ ทั้งนี้เพราะที่ความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ จะมีสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกค่อนข้างคงที่นั่นเอง

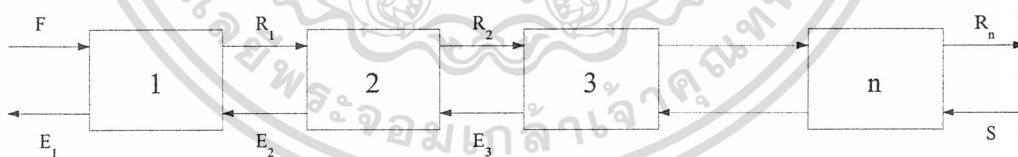
บทที่ 8

การศึกษาภาวะสมดุลของระบบสารละลายเรอ์ทไนเทรตกับสารละลาย 50%

ไทรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าดที่อิ่มตัวด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์

จุดสมดุล หมายถึง ณ เวลาใด ๆ ที่ตัวถูกละลายในสองเฟสเกิดสมดุลกัน เนื่องจากการมีการสัมผัสกันระหว่างสองเฟสจนพอสมควร ณ จุดสมดุลนี้ จะไม่มีการถ่ายโอนมวลของตัวถูกละลายระหว่างเฟสทั้งสองอีก

การศึกษาเรื่องการสกัดของเหลวด้วยของเหลวในโรงงานนี้ เป็นการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไหลสวนทางกัน ดังได้กล่าวถึงรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 3.1



รูปที่ 8.1 รูปแบบของการสกัดแบบไหลสวนทางกัน

การศึกษาถึงการทำให้แบบจำลองของการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบสวนทางกันในระดับห้องทดลอง กระทำขึ้นประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน ทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์ ความสะดวกในการปฏิบัติงาน และการควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ หากทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือจริงจะเป็นการสิ้นเปลืองมาก เพราะต้องใช้สารเคมีในปริมาณมาก ใช้พลังงานสูง และใช้เวลาในการศึกษาทดลองนาน การทดลองในระดับห้องทดลองจึงมีบทบาทมาก เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ทรัพยากรในปริมาณน้อย มีความสะดวกในการปฏิบัติ รวมทั้งสามารถควบคุมกระบวนการได้ง่าย

8.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

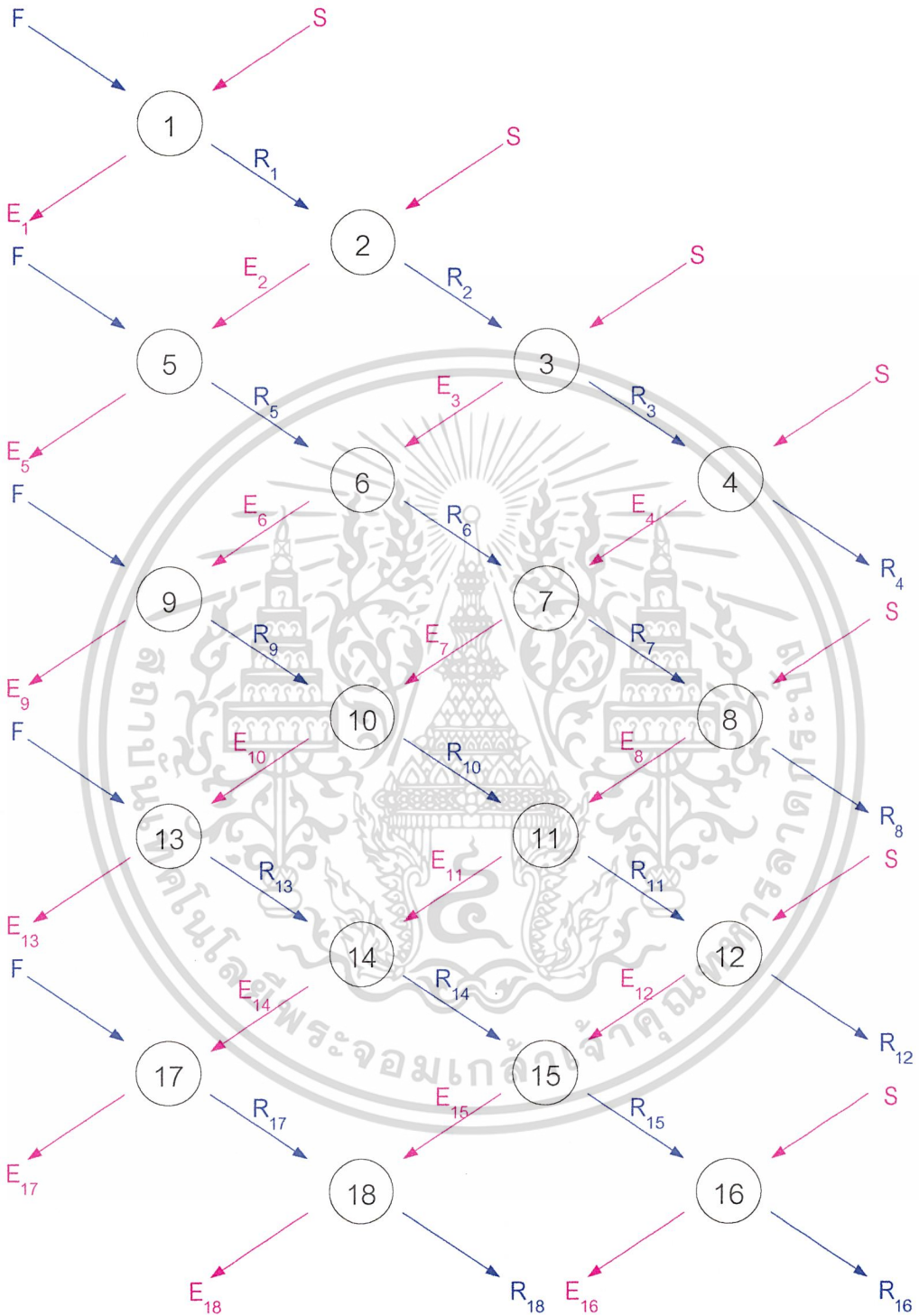
1. เครื่อง ICP
2. เครื่องเขย่ากรวยแยก
3. กรวยแยก
4. ขวดวัดปริมาตร
5. ไมโครปิเปต
6. อุปกรณ์อื่น ๆ ในห้องปฏิบัติการ

8.2 สารเคมี

1. สารละลายเรเอิร์ทในเทรตที่มีความเข้มข้นของกรดไนตริกประมาณ 0.4 โมลาร์
2. สารละลาย 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าดที่ถูกทำให้อิ่มตัวด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์

8.3 ขั้นตอนการทดลอง

เนื่องจากการศึกษาเรื่องการสกัดของเหลวด้วยของเหลวนี้ เป็นแบบไหลสวนทางกัน ดังนั้น การหาสถานะสมดุลของระบบที่ต้องการศึกษา จึงได้จำลองให้สารที่ใช้ในการสกัดมีการเคลื่อนที่แบบไหลสวนทางกัน โดยมีรูปแบบดังรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 แบบจำลองการสกัดแบบสวนทาง

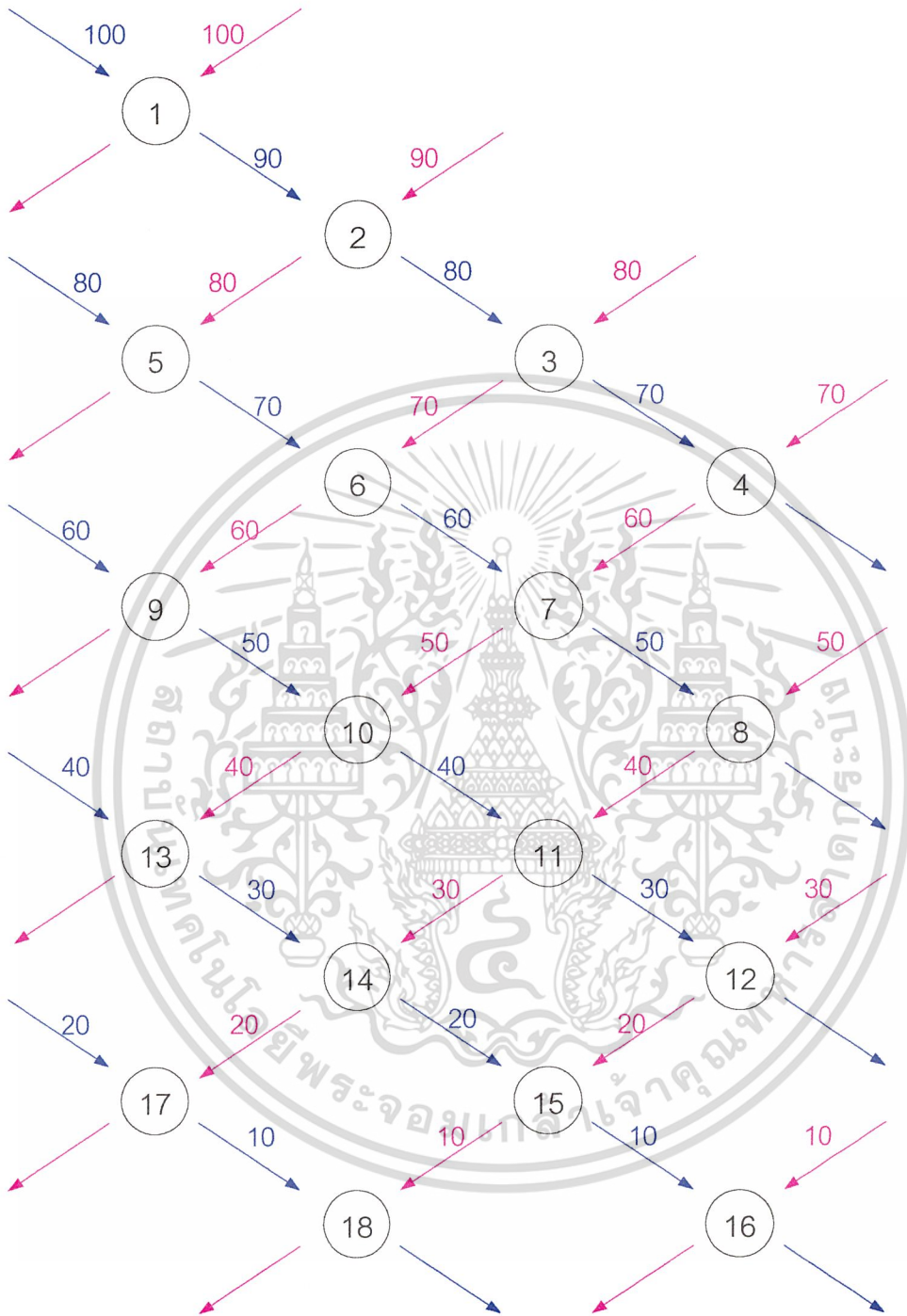
○ แทนกรวยแยก 1 อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการหาข้อมูลสมมูลทำได้ดังนี้

1. นำสารป้อนและตัวทำละลายอย่างละ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยกที่ 1 จากนั้นเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 12 นาที จนกระทั่งสารทั้งสองเข้าสู่สมมูล
2. หลังการเขย่า เมื่อสารเกิดการแยกเฟส จะได้ R_1 และ E_1 แยกสารทั้งสองออกจากกัน พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างทั้งสอง ตัวอย่างละ 10 มิลลิลิตร สำหรับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแเรเอิร์ทด้วยเครื่อง ICP
3. นำ R_1 และ S อย่างละ 90 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยกที่ 2 ทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 12 นาที จนกระทั่งสารทั้ง 2 เข้าสู่สมมูล ตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกเฟส ได้ R_2 และ E_2 เก็บตัวอย่างทั้งสอง ตัวอย่างละ 10 มิลลิลิตร สำหรับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแเรเอิร์ทด้วยเครื่อง ICP
4. นำ E_2 และ F อย่างละ 80 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยกที่ 5 และนำ R_2 และ S อย่างละ 80 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยกที่ 3 ทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 12 นาที จนกระทั่งสารทั้งสองเข้าสู่สมมูล ตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกเฟสได้ R_3 , E_3 , R_4 และ E_4 เก็บตัวอย่างทั้งสอง ตัวอย่างละ 10 มิลลิลิตร สำหรับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแเรเอิร์ทด้วยเครื่อง ICP
5. ทำการทดลองเช่นนี้ไปเรื่อย โดยปริมาณของสารที่ใส่ลงในกรวยแยก (มิลลิลิตร) แต่ละใบแสดงไว้ดังรูปที่ 8.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.3 ปริมาณของสารที่ใช้ในการทดลอง

○ แทนกรวยแยก 1 อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 8.1 ความเข้มข้นของแร่เอิร์ทออกไซด์ในส่วนสกัด (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Total
1	8480	257.3	4563	19180	6270	50.2	4151	1121.0	26.7	5080	49179.2
2	9920	234.5	4016	16960	4695	38.8	2887	703.0	19.9	3522	42996.2
3	10480	207.5	3356	14000	3330	29.3	1932	432.4	14.0	2342	36123.1
4	10200	210.5	2655	10820	2239	21.2	1227	258.2	9.7	1509	29149.6
5	8750	262.8	4813	20580	6430	50.0	4144	1017.0	28.3	5170	51245.0
6	6760	237.6	4327	18230	6430	48.6	4363	1161.0	27.9	5510	47095.1
7	9950	263.3	3794	19840	3709	44.3	2086	741.0	23.2	2510	42960.8
8	10490	233.5	3828	16410	3747	33.6	2112	442.2	15.8	2535	39847.1
9	7000	261.8	4778	20130	7410	57.2	5110	1428.0	30.8	6430	52635.7
10	8300	257.3	4693	20130	6630	51.8	4358	1110.0	30.0	5510	51070.1
11	8910	278.8	4902	21420	6390	51.9	4006	956.0	29.0	4964	51907.7
12	9810	250.6	4200	18460	4635	38.9	2678	567.0	19.2	3209	43867.7
13	7060	257.3	4968	20860	7820	59.1	5390	1507.0	32.1	6820	54773.4
14	7320	259.3	4876	20950	7320	55.6	4896	1261.0	31.2	6160	53129.0
15	8610	268.3	4946	21710	6790	53.4	4316	1035.0	30.7	5390	53149.4
16	11150	260.8	4455	19540	4991	42.1	2991	626.0	21.2	3494	47571.0
17	7660	264.8	5140	21680	8070	61.0	5570	1565.0	33.9	7040	57084.7
18	7390	259.8	4952	21290	7520	57.1	5080	1320.0	32.1	6300	54200.9
19	8600	187.6	4307	18430	6170	50.4	4163	1075.0	22.8	3854	46859.8
20	8930	153.2	3218	13950	3888	34.4	2430	575.0	14.2	2216	35408.7
21	10730	165.5	3099	13380	3158	30.3	1853	404.3	12.5	1705	34537.5
22	10270	129.8	2408	10250	2083	21.7	1160	231.4	8.6	1091	27653.6
23	8780	227.7	5280	22550	8010	64.6	5510	1442.0	31.8	5250	57146.1
24	7770	172.7	3979	17470	5490	45.2	3574	843.0	21.9	3371	42736.8
25	9830	196.0	4376	19320	5260	46.2	3239	705.0	21.3	3032	46025.5
26	10970	182.5	3725	16360	3745	36.3	2139	431.1	14.8	1955	39558.7
27	6790	183.2	4406	18820	7060	54.6	4928	1288.0	26.8	4749	48305.6
28	7660	202.5	4576	19880	6810	57.2	4598	1170.0	29.0	4387	49369.7
29	8880	206.5	4502	19890	6030	52.7	3846	905.0	26.3	3663	48001.5
30	9810	191.7	4045	17980	4625	42.2	2742	575.0	18.7	2517	42546.6
31	7420	211.9	4953	20880	8050	65.0	5680	1585.0	32.8	5490	54367.7
32	7340	203.0	4586	19700	7120	58.9	4859	1270.0	30.2	4673	49840.0
33	7750	205.3	4496	19850	6530	56.2	4267	1053.0	27.6	4045	48280.2
34	10400	199.4	4194	18500	5040	46.0	3035	668.0	21.3	2814	44917.6
35	7930	216.3	4597	20930	8130	66.1	5740	1631.0	32.9	5540	54813.3
36	7260	193.7	4506	19210	7130	57.8	4913	1302.0	29.5	4753	49355.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวิชาหการใชงานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไมอนุญาตหน้ไปใชประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.2 ความเข้มข้นของแรเอิร์ทในส่วนสกัด (โมลาร์)

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Yb	Y	Total
1	0.05205	0.00149	0.02680	0.11400	0.03596	0.00029	0.02290	0.00601	0.00014	0.04499	0.30464
2	0.06089	0.00136	0.02359	0.10081	0.02693	0.00022	0.01593	0.00377	0.00010	0.03119	0.26479
3	0.06433	0.00121	0.01971	0.08321	0.01910	0.00017	0.01066	0.00232	0.00007	0.02074	0.22152
4	0.06261	0.00122	0.01560	0.06431	0.01284	0.00012	0.00677	0.00138	0.00005	0.01336	0.17827
5	0.05371	0.00153	0.02827	0.12233	0.03688	0.00028	0.02286	0.00545	0.00014	0.04579	0.31724
6	0.04150	0.00138	0.02542	0.10836	0.03688	0.00028	0.02407	0.00623	0.00014	0.04880	0.29304
7	0.06108	0.00153	0.02229	0.11793	0.02127	0.00025	0.01151	0.00397	0.00012	0.02223	0.26217
8	0.06439	0.00136	0.02249	0.09754	0.02149	0.00019	0.01165	0.00237	0.00008	0.02245	0.24401
9	0.04297	0.00152	0.02807	0.11965	0.04250	0.00033	0.02819	0.00766	0.00016	0.05695	0.32798
10	0.05095	0.00149	0.02757	0.11965	0.03802	0.00029	0.02404	0.00595	0.00015	0.04880	0.31693
11	0.05469	0.00162	0.02879	0.12732	0.03665	0.00029	0.02210	0.00513	0.00015	0.04396	0.32071
12	0.06022	0.00146	0.02467	0.10972	0.02658	0.00022	0.01478	0.00304	0.00010	0.02842	0.26921
13	0.04334	0.00149	0.02918	0.12399	0.04485	0.00034	0.02974	0.00808	0.00016	0.06040	0.34157
14	0.04493	0.00151	0.02864	0.12452	0.04198	0.00032	0.02701	0.00676	0.00016	0.05456	0.33039
15	0.05285	0.00156	0.02905	0.12904	0.03894	0.00030	0.02381	0.00555	0.00016	0.04774	0.32901
16	0.06844	0.00152	0.02617	0.11614	0.02862	0.00024	0.01650	0.00336	0.00011	0.03095	0.29204
17	0.04702	0.00154	0.03019	0.12886	0.04628	0.00035	0.03073	0.00839	0.00017	0.06235	0.35589
18	0.04536	0.00151	0.02909	0.12655	0.04313	0.00032	0.02803	0.00708	0.00016	0.05580	0.33702
19	0.05279	0.00109	0.02530	0.10955	0.03539	0.00029	0.02297	0.00576	0.00012	0.03413	0.28738
20	0.05482	0.00089	0.01890	0.08292	0.02230	0.00020	0.01341	0.00308	0.00007	0.01963	0.21621
21	0.06586	0.00096	0.01820	0.07953	0.01811	0.00017	0.01022	0.00217	0.00006	0.01510	0.21040
22	0.06304	0.00075	0.01414	0.06092	0.01195	0.00012	0.00640	0.00124	0.00004	0.00966	0.16828
23	0.05389	0.00132	0.03101	0.13403	0.04594	0.00037	0.03040	0.00773	0.00016	0.04650	0.35136
24	0.04770	0.00100	0.02337	0.10384	0.03149	0.00026	0.01972	0.00452	0.00011	0.02986	0.26186
25	0.06034	0.00114	0.02570	0.11484	0.03017	0.00026	0.01787	0.00378	0.00011	0.02685	0.28106
26	0.06734	0.00106	0.02188	0.09724	0.02148	0.00021	0.01180	0.00231	0.00008	0.01731	0.24071
27	0.04168	0.00106	0.02588	0.11186	0.04049	0.00031	0.02719	0.00691	0.00014	0.04206	0.29758
28	0.04702	0.00118	0.02688	0.11816	0.03906	0.00033	0.02537	0.00627	0.00015	0.03885	0.30327
29	0.05451	0.00120	0.02644	0.11822	0.03458	0.00030	0.02122	0.00485	0.00013	0.03244	0.29391
30	0.06022	0.00111	0.02376	0.10687	0.02653	0.00024	0.01513	0.00308	0.00009	0.02229	0.25933
31	0.04555	0.00123	0.02909	0.12411	0.04617	0.00037	0.03134	0.00850	0.00017	0.04862	0.33514
32	0.04506	0.00118	0.02694	0.11709	0.04084	0.00033	0.02681	0.00681	0.00015	0.04139	0.30659
33	0.04757	0.00119	0.02641	0.11799	0.03745	0.00032	0.02354	0.00565	0.00014	0.03582	0.29608
34	0.06384	0.00116	0.02464	0.10996	0.02891	0.00026	0.01674	0.00358	0.00011	0.02492	0.27412
35	0.04868	0.00126	0.02700	0.12441	0.04663	0.00038	0.03167	0.00875	0.00017	0.04907	0.33799
36	0.04456	0.00113	0.02647	0.11418	0.04089	0.00033	0.02711	0.00698	0.00015	0.04210	0.30389

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 ความเข้มข้นของแร่เอิร์ทออกไซด์ในส่วนคงเหลือ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Total
F	197900	1418.6	29080	110400	23180	271.6	13740	3301	114.0	17790	397195
1	186300	1201.8	23930	89000	16320	202.5	9170	1995	79.8	12040	340239
2	179100	1090.8	20140	73100	11700	160.0	6280	1292	61.2	8490	301414
3	166400	1151.1	17440	59700	8760	127.1	4451	849	47.5	6220	265146
4	156500	863.7	13660	45960	5760	102.4	2774	571	38.2	4228	230457
5	194900	1355.2	27020	103000	19540	238.4	11070	2460	98.8	14220	373902
6	199900	1340.0	25930	97500	16640	215.3	8850	1852	81.3	11350	363659
7	193400	1255.0	23130	85300	12950	182.2	6480	1291	64.0	8380	332432
8	191100	1127.0	20060	71100	9470	148.1	4455	845	48.7	5920	304274
9	197000	1385.0	28120	107900	21170	243.0	12070	2648	100.2	15540	386176
10	199500	1318.0	27760	106300	19300	223.5	10540	2101	86.6	13440	380569
11	201600	1359.0	26620	101500	16690	211.1	8590	1653	75.8	10850	369149
12	192600	1188.0	22520	82700	11960	164.9	5710	1029	55.2	7380	325307
13	195400	1411.0	28120	108400	21630	247.6	12420	2781	104.3	16110	386624
14	192700	1449.0	27360	105600	19880	246.3	11000	2412	98.9	14060	374806
15	196900	1387.0	26950	103800	17950	222.8	9460	1845	83.1	11910	370508
16	191600	1218.0	22900	85800	12920	177.0	6410	1173	61.7	8200	330460
17	199400	1412.0	28710	110500	22380	250.0	12970	2848	105.7	16740	395316
18	195300	1395.0	27870	107900	20870	241.4	11750	2470	98.7	14990	382885
19	187100	1279.0	23370	90500	16530	193.7	9580	1975	82.0	9350	339960
20	178400	1153.0	19390	73900	11900	151.5	6280	1254	62.0	6530	299021
21	167200	1019.1	15940	59200	8410	121.0	4220	820	48.1	4613	261591
22	164900	929.1	13930	50400	6440	96.6	3070	555	39.3	3556	243916
23	195100	1390.9	26520	103500	19770	219.6	11080	2351	91.9	10930	370953
24	201100	1362.4	25530	98600	16840	199.9	8970	1753	78.0	8780	363213
25	203700	1288.6	23780	90700	13870	173.6	6950	1244	62.8	6840	348609
26	196100	1132.1	20220	74600	10100	136.6	4721	790	46.7	4790	312636
27	200900	1428.5	28230	110700	21900	233.0	12480	2596	99.5	12250	390817
28	202100	1414.3	27620	108300	19850	221.5	10790	2106	89.1	10480	382971
29	197800	1384.2	25870	100800	16770	203.1	8610	1601	75.3	8320	361434
30	190700	1243.8	22170	84700	12540	163.2	6060	1053	57.5	5950	324638
31	195900	1440.8	27820	109100	22050	237.3	12660	2723	103.2	12490	384524
32	198900	1459.9	27900	109600	21020	216.9	11610	2186	90.3	11320	384303
33	200500	1410.7	27220	107200	18920	215.3	9980	1838	83.5	9610	376978
34	193200	1305.7	23200	89500	13970	172.5	6940	1203	63.1	6780	336334
35	196800	1444.8	28090	110200	22570	239.1	12960	2794	104.7	12760	387963
36	196100	1439.7	27690	108800	21440	229.3	12040	2423	97.8	11750	382010

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร ห้ามมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

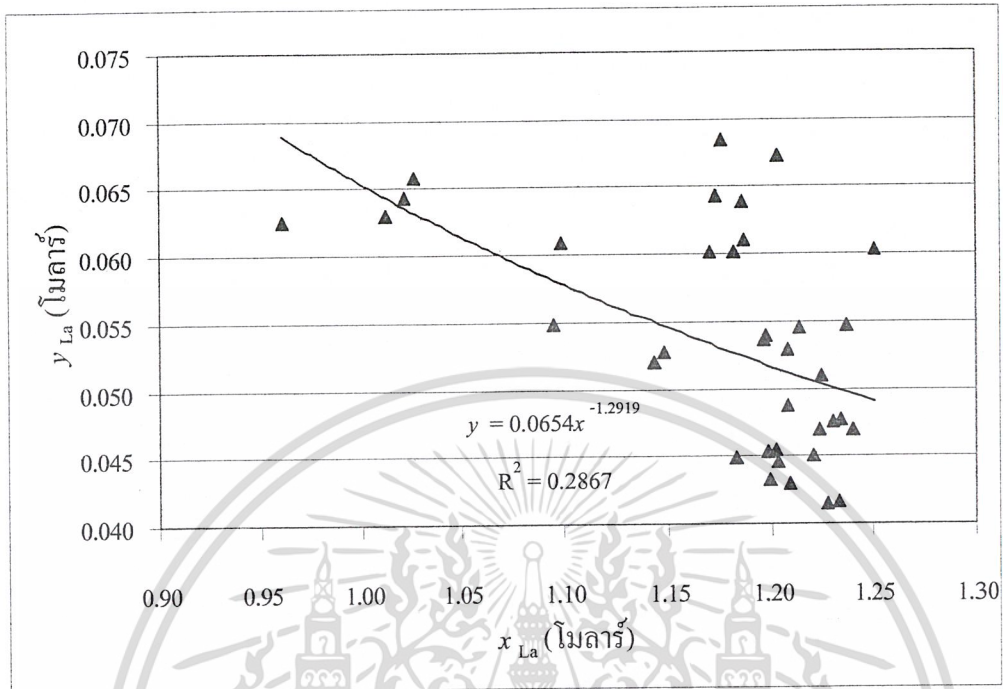
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.4 ความเข้มข้นของแร่เอิร์ทในส่วนคงเหลือ (โมลาร์)

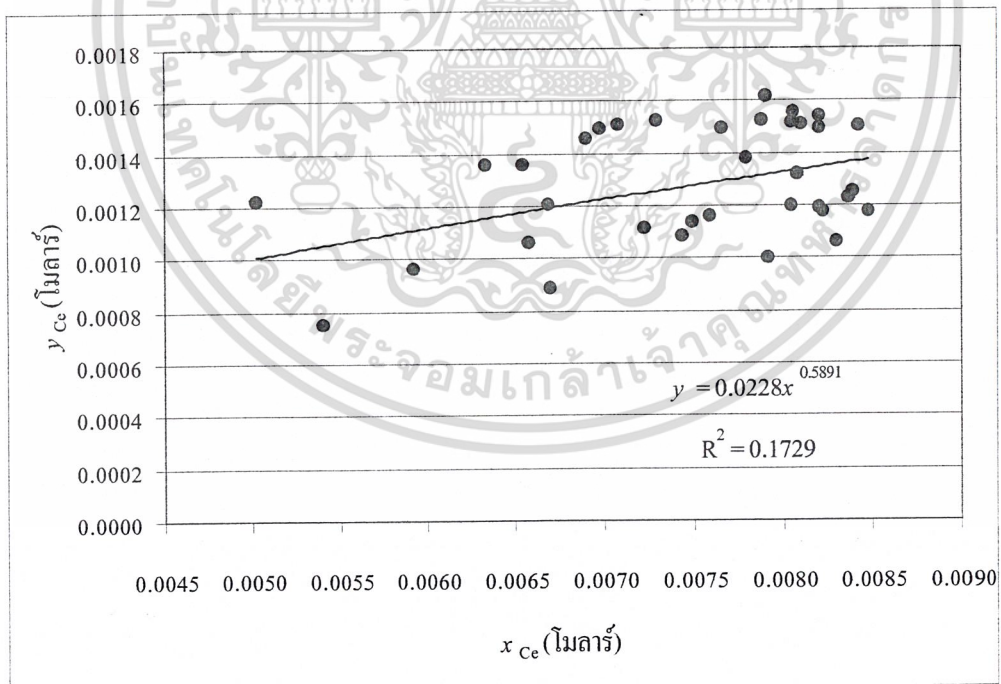
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Yb	Y	Total
<i>F</i>	1.2148	0.0082	0.1708	0.6562	0.1329	0.0015	0.0758	0.0177	0.0006	0.1576	2.4362
1	1.1436	0.0070	0.1406	0.5290	0.0936	0.0012	0.0506	0.0107	0.0004	0.1066	2.0832
2	1.0994	0.0063	0.1183	0.4345	0.0671	0.0009	0.0346	0.0069	0.0003	0.0752	1.8436
3	1.0214	0.0067	0.1024	0.3549	0.0502	0.0007	0.0246	0.0046	0.0002	0.0551	1.6208
4	0.9607	0.0050	0.0802	0.2732	0.0330	0.0006	0.0153	0.0031	0.0002	0.0374	1.4087
5	1.1964	0.0079	0.1587	0.6122	0.1121	0.0014	0.0611	0.0132	0.0005	0.1259	2.2893
6	1.2271	0.0078	0.1523	0.5795	0.0954	0.0012	0.0488	0.0099	0.0004	0.1005	2.2230
7	1.1872	0.0073	0.1359	0.5070	0.0743	0.0010	0.0358	0.0069	0.0003	0.0742	2.0299
8	1.1730	0.0065	0.1178	0.4226	0.0543	0.0008	0.0246	0.0045	0.0002	0.0524	1.8570
9	1.2093	0.0080	0.1652	0.6413	0.1214	0.0014	0.0666	0.0142	0.0005	0.1376	2.3656
10	1.2246	0.0077	0.1631	0.6318	0.1107	0.0013	0.0582	0.0113	0.0004	0.1190	2.3280
11	1.2375	0.0079	0.1564	0.6033	0.0957	0.0012	0.0474	0.0089	0.0004	0.0961	2.2547
12	1.1822	0.0069	0.1323	0.4916	0.0686	0.0009	0.0315	0.0055	0.0003	0.0654	1.9852
13	1.1994	0.0082	0.1652	0.6443	0.1241	0.0014	0.0685	0.0149	0.0005	0.1427	2.3692
14	1.1829	0.0084	0.1607	0.6277	0.1140	0.0014	0.0607	0.0129	0.0005	0.1245	2.2937
15	1.2086	0.0081	0.1583	0.6170	0.1029	0.0013	0.0522	0.0099	0.0004	0.1055	2.2642
16	1.1761	0.0071	0.1345	0.5100	0.0741	0.0010	0.0354	0.0063	0.0003	0.0726	2.0174
17	1.2240	0.0082	0.1686	0.6568	0.1284	0.0014	0.0716	0.0153	0.0005	0.1483	2.4230
18	1.1988	0.0081	0.1637	0.6413	0.1197	0.0014	0.0648	0.0132	0.0005	0.1328	2.3444
19	1.1485	0.0074	0.1373	0.5379	0.0948	0.0011	0.0529	0.0106	0.0004	0.0828	2.0737
20	1.0951	0.0067	0.1139	0.4393	0.0682	0.0009	0.0346	0.0067	0.0003	0.0578	1.8236
21	1.0263	0.0059	0.0936	0.3519	0.0482	0.0007	0.0233	0.0044	0.0002	0.0409	1.5955
22	1.0122	0.0054	0.0818	0.2996	0.0369	0.0005	0.0169	0.0030	0.0002	0.0315	1.4881
23	1.1976	0.0081	0.1558	0.6152	0.1134	0.0012	0.0611	0.0126	0.0005	0.0968	2.2623
24	1.2344	0.0079	0.1500	0.5861	0.0966	0.0011	0.0495	0.0094	0.0004	0.0778	2.2131
25	1.2504	0.0075	0.1397	0.5391	0.0795	0.0010	0.0383	0.0067	0.0003	0.0606	2.1231
26	1.2037	0.0066	0.1188	0.4434	0.0579	0.0008	0.0260	0.0042	0.0002	0.0424	1.9041
27	1.2332	0.0083	0.1658	0.6580	0.1256	0.0013	0.0689	0.0139	0.0005	0.1085	2.3840
28	1.2406	0.0082	0.1622	0.6437	0.1138	0.0013	0.0595	0.0113	0.0005	0.0928	2.3339
29	1.2142	0.0080	0.1520	0.5991	0.0962	0.0012	0.0475	0.0086	0.0004	0.0737	2.2008
30	1.1706	0.0072	0.1302	0.5034	0.0719	0.0009	0.0334	0.0056	0.0003	0.0527	1.9764
31	1.2025	0.0084	0.1634	0.6485	0.1265	0.0013	0.0698	0.0146	0.0005	0.1106	2.3462
32	1.2209	0.0085	0.1639	0.6515	0.1206	0.0012	0.0641	0.0117	0.0005	0.1003	2.3430
33	1.2307	0.0082	0.1599	0.6372	0.1085	0.0012	0.0551	0.0099	0.0004	0.0851	2.2962
34	1.1859	0.0076	0.1363	0.5320	0.0801	0.0010	0.0383	0.0065	0.0003	0.0600	2.0480
35	1.2080	0.0084	0.1650	0.6550	0.1294	0.0014	0.0715	0.0150	0.0005	0.1130	2.3673
36	1.2037	0.0084	0.1626	0.6467	0.1230	0.0013	0.0664	0.0130	0.0005	0.1041	2.3297

เอกสารนี้... คำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

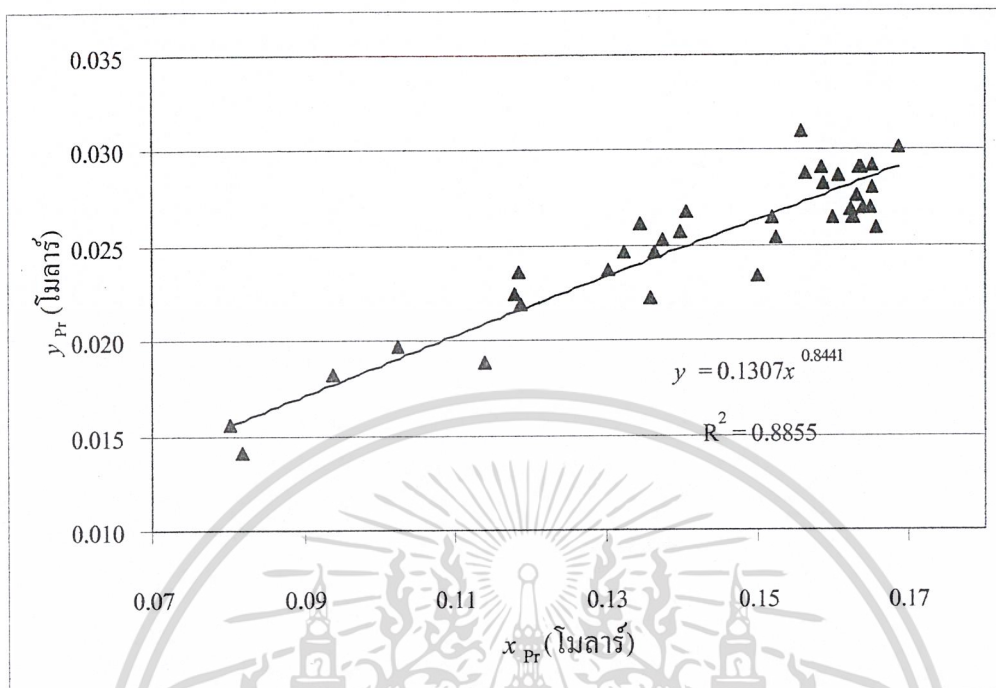


รูปที่ 8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{La} กับ x_{La} ณ สถานะสมดุล

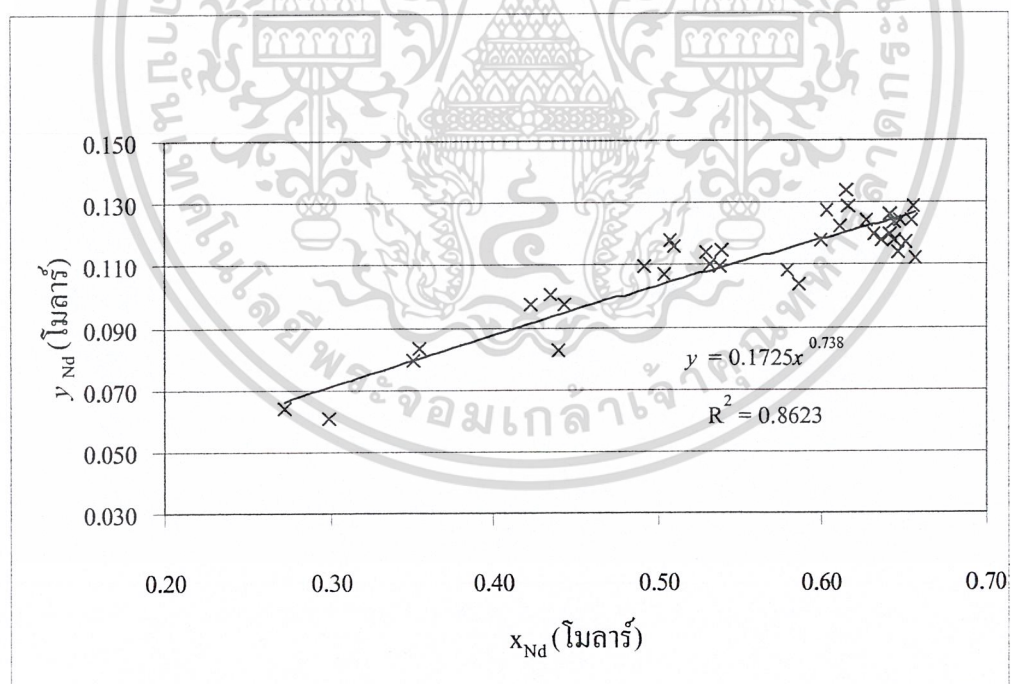


รูปที่ 8.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Cc} กับ x_{Cc} ณ สถานะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

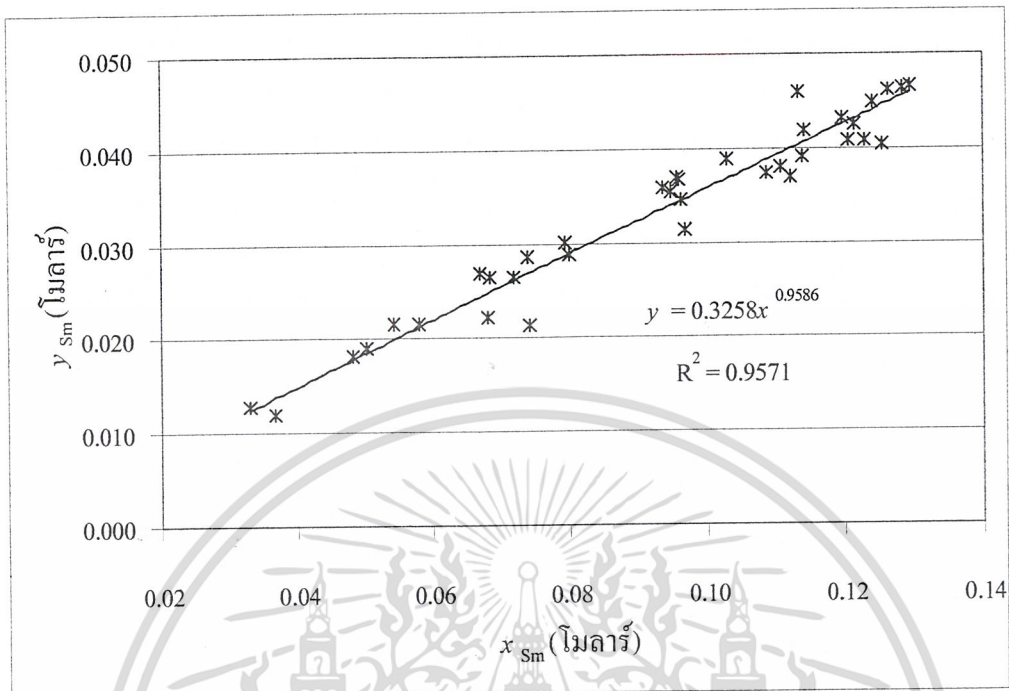


รูปที่ 8.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Pr} กับ x_{Pr} ณ สภาวะสมดุล

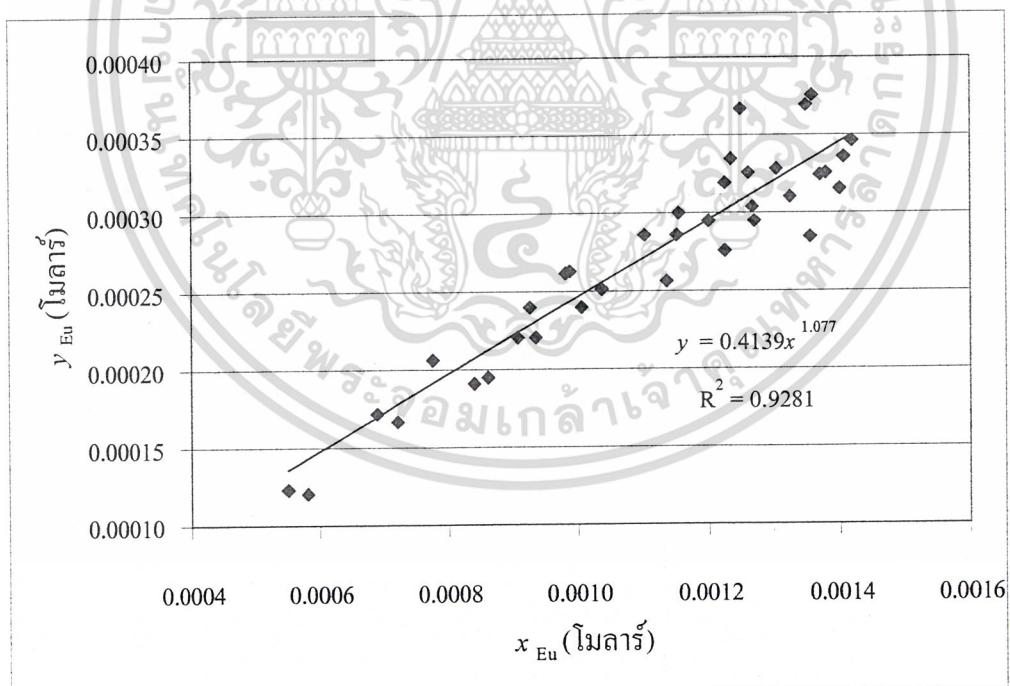


รูปที่ 8.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Nd} กับ x_{Nd} ณ สภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

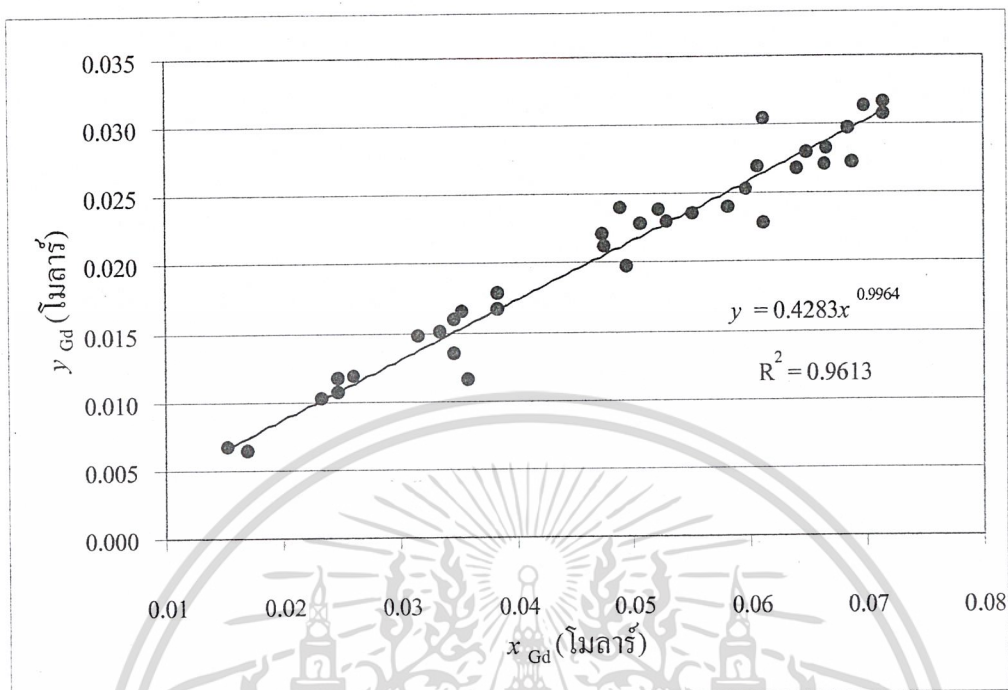


รูปที่ 8.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Sm} กับ x_{Sm} ณ สภาวะสมดุล

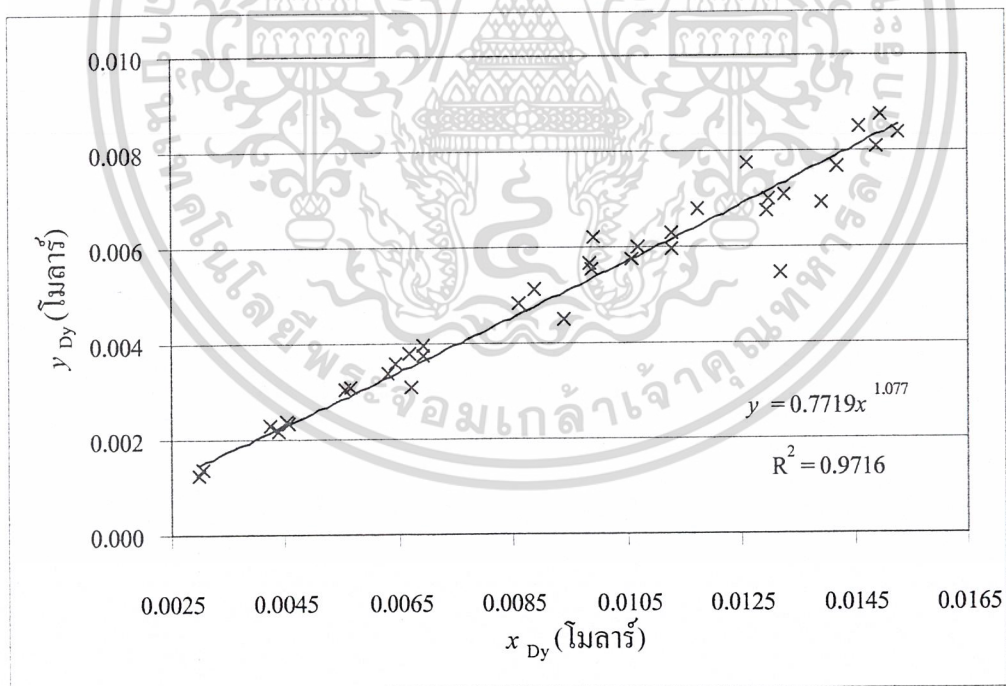


รูปที่ 8.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Eu} กับ x_{Eu} ณ สภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

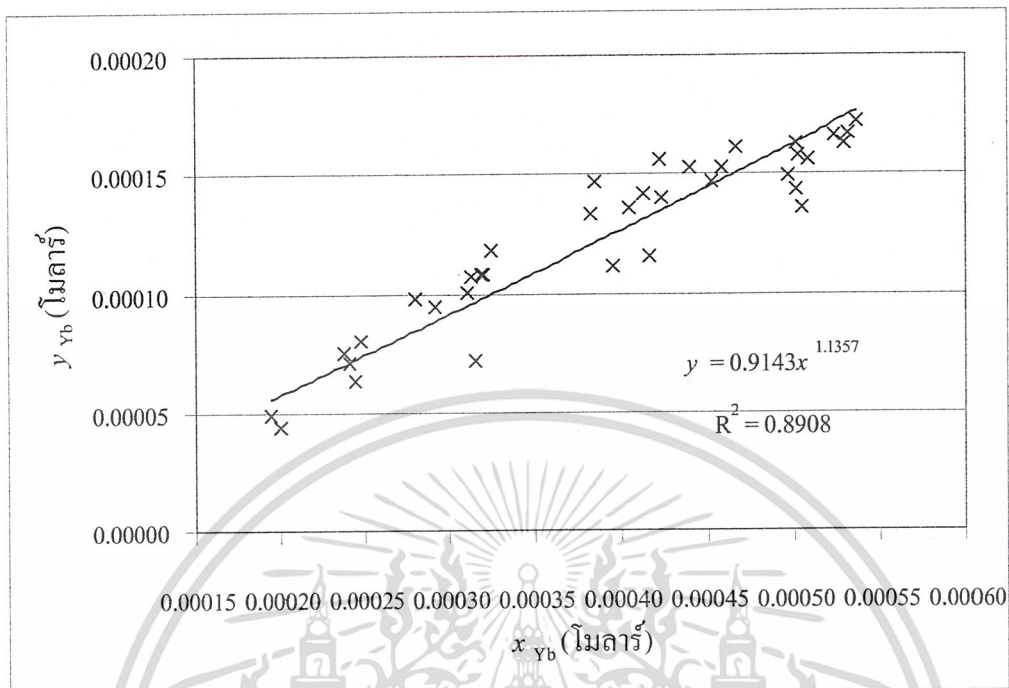


รูปที่ 8.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Gd} กับ x_{Gd} ณ สภาวะสมดุล

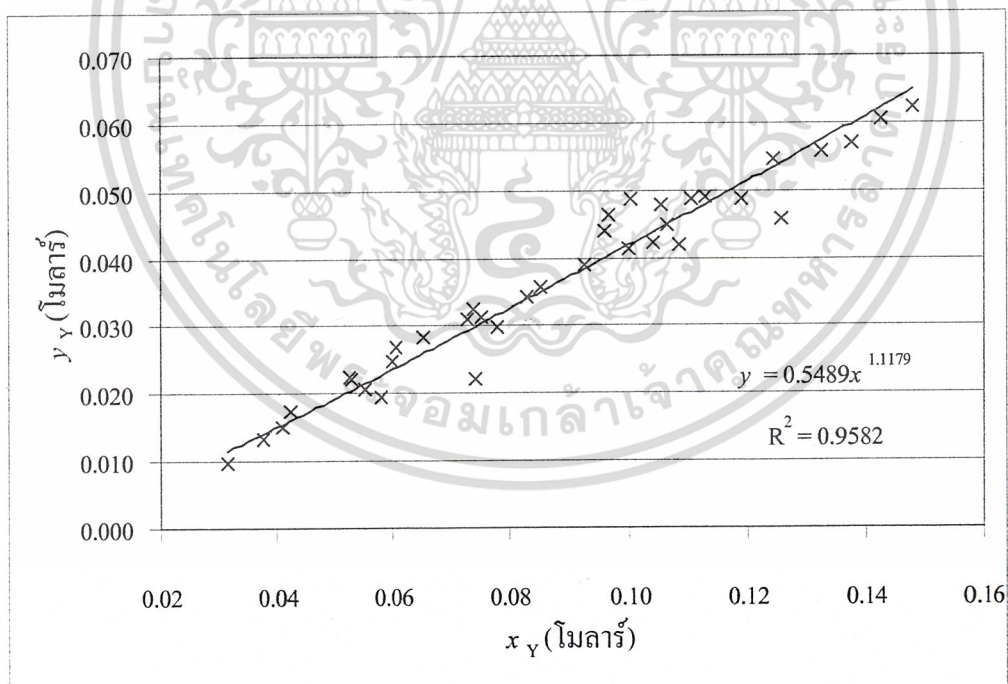


รูปที่ 8.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{Dy} กับ x_{Dy} ณ สภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

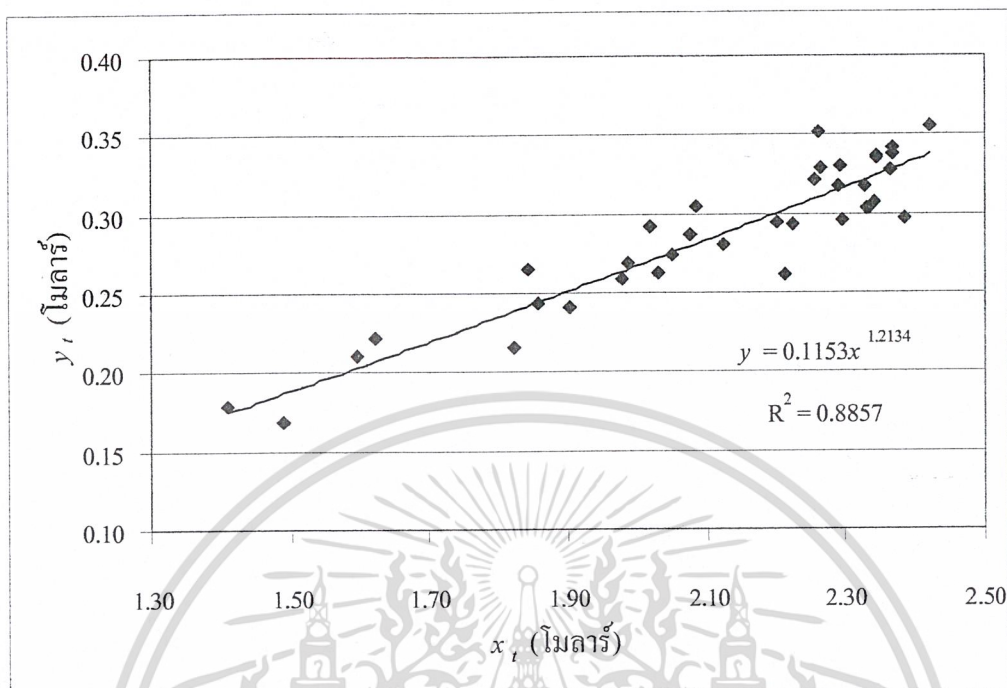


รูปที่ 8.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_{yb} กับ x_{yb} ณ สภาวะสมดุล



รูปที่ 8.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_Y กับ x_Y ณ สภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_i กับ x_i ณ สภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับข้อมูลสมมูลที่ได้จากการทดลองดังแสดงผลในตารางที่ 8.1 ถึง 8.4 เป็นการหาข้อมูลสมมูลสำหรับระบบสารละลายเรอิร์ทไนเทรตที่มีความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ กับ สารละลาย 50% TBP ในน้ำมันก๊าดที่อิมัลชันด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ โดย สารป้อนหรือสารละลายเรอิร์ทไนเทรตที่ใช้มีความเข้มข้นของกรดไนตริกประมาณ 0.4 โมลาร์ และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.64

โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง และสำหรับการทดลองทั้งสองครั้งมีสภาวะ การทดลองเหมือนกัน ยกเว้นจะแตกต่างกันที่อุณหภูมิขณะทดลอง โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ ประมาณ 27 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการทดลองในตารางที่ 8.1 ถึง 8.4 พบว่า ผลที่ได้จากการทดลองทั้งสองครั้งมีค่าใกล้เคียงกันโดย

- สำหรับการทดลองครั้งที่ 1 ผลการทดลองแสดงไว้ในข้อมูลที่ 1-18
- สำหรับการทดลองครั้งที่ 2 ผลการทดลองแสดงไว้ในข้อมูลที่ 19-36

ดังนั้น ในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ เพื่อบอกถึงประสิทธิภาพการสกัด ณ สภาวะการ สกัดที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย อาจใช้ข้อมูลสมมูลจากโครงการนี้ในการ คำนวณได้ อีกทั้งหากสารละลายเรอิร์ทผสมที่ใช้ในการสกัดมีความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ (ประมาณ 0.3 – 1.0 โมลาร์) แต่ไม่เท่ากับ 0.4 โมลาร์ ก็สามารถใช้อัตราสมมูลนี้ได้เช่นกัน เพราะในช่วงความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือก ค่อนข้างคงที่ ส่งผลให้ข้อมูลสมมูลไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของกรดไนตริกในช่วงความเข้มข้นของ กรดไนตริกต่ำ

บทที่ 9

ผลของการสกัดแเรเอิร์ทผสม ณ สภาวะการสกัดต่าง ๆ

การสกัดธาตุหายากจากแร่โมนาไซต์ โดยเตรียมธาตุหายากให้อยู่ในรูปของสารละลายแเรเอิร์ทไนเตรต ดังวิธีการเตรียมที่ได้กล่าวถึงรายละเอียดไว้ในบทที่ 6 โดยใช้สารละลาย 50% ไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าด (50% TBP ในน้ำมันก๊าด) เป็นตัวสกัดแเรเอิร์ทดังกล่าว โดยนำสารทั้งสองเข้าสู่กระบวนการสกัดแบบสวนทางกัน โดยสารละลายแเรเอิร์ทไนเตรตเป็นเฟสต่อเนื่อง และมีสภาวะการสกัดดังตารางที่ ก-1 ในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 9.1 ความเข้มข้นของแร่เอิร์ทออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัดสำหรับการสกัดครั้งที่ 1

นาที่ที่	ตำแหน่ง บนหอสกัด	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)					
		La ₂ O ₃	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
	สารป้อน	207100	31110	121300	25340	14670	18880
30	ยอดหอ	20190	6670	30180	8260	5100	5940
	1	20400	28750	108200	20910	11660	15290
	2	175300	23040	85800	15590	8540	11530
	3	191700	24010	87700	15340	8360	11600
	4	183900	21210	75900	12630	6890	10020
	5	1661000	17400	60900	9610	5370	8400
	ก้นหอ	189400	28500	108400	23230	13620	17680
60	ยอดหอ	24640	7270	32460	8400	5060	5940
	1	207100	28640	111300	20450	11180	14630
	2	201900	25640	94900	16680	9040	12290
	3	200200	24070	87300	14680	7920	11060
	4	185700	20340	72300	11430	6100	9060
	5	16970	16760	58000	8700	4693	7500
	ก้นหอ	188100	26670	101600	21000	12340	16270
100	ยอดหอ	24440	6370	28260	4892	4135	6910
	1	209800	27630	105800	18770	10140	13490
	2	207400	24920	91500	15320	8130	11280
	3	200500	22580	81100	12950	6780	9800
	4	181400	18420	64500	9660	5060	7830
	5	160900	14730	50400	7140	3786	6410
	ก้นหอ	15600	15040	54400	7980	4391	7220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9.2 ความเข้มข้นของแร่เอิร์ทออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอ สกัดสำหรับการสกัดครั้งที่ 2

นาที่ที่	ตำแหน่ง บนหอสกัด	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)					
		La ₂ O ₃	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
	สารป้อน	203900	30640	116200	25210	15150	19450
90	ยอดหอ	18980	5690	26500	7360	4671	5500
	1	202100	28870	110800	21950	12700	16410
	2	209100	28390	107400	19860	11090	14510
	3	202500	28200	107100	18790	10350	13800
	4	201300	23700	86700	14430	7990	10960
	5	18500	19460	69300	11030	5970	8780
	ก้นหอ	181500	18400	67500	10330	5710	8570
120	ยอดหอ	19690	5800	27230	7530	4781	5620
	1	203800	29410	113100	22620	13080	16910
	2	210100	29080	112100	21160	11910	15430
	3	208900	28200	107400	19800	11080	14530
	4	206000	25950	97300	16950	9360	12550
	5	193200	21950	80500	13210	7280	10280
	ก้นหอ	190500	24670	94700	18350	10860	14490
150	ยอดหอ	19540	5760	27050	7520	4786	5590
	1	207400	29980	115300	23260	13460	17340
	2	212200	29670	113800	21880	12440	16180
	3	210300	28800	110200	20820	11730	15320
	4	204100	26420	99800	18050	10000	13290
	5	203400	24210	89800	15390	8550	11800
	ก้นหอ	187100	21530	81100	14140	8120	11380

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9.3 ความเข้มข้นของแร่เอิร์ทออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอ
สกัดสำหรับการสกัดครั้งที่ 3

นาที่ที่	ตำแหน่ง บนหอสกัด	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)					
		La ₂ O ₃	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
	สารป้อน	244500	29270	107400	19910	11340	15600
90	ยอดหอ	14710	5220	22360	5640	3390	4452
	1	253300	29050	106100	18570	10080	13940
	2	250000	27580	100000	16730	8880	12260
	3	262400	27250	97700	15790	8260	11430
	4	243300	25440	89700	13820	7010	9850
	5	236900	22020	75900	10930	5550	8000
	ก้นหอ	225600	20030	68100	9640	4907	7240
120	ยอดหอ	14650	5190	22260	5620	3372	4409
	1	263600	29210	106900	18710	10120	13970
	2	253100	27430	99460	16280	8550	11910
	3	246400	27060	67600	15560	8030	11230
	4	257100	24920	87900	13260	6640	9430
	5	234000	21000	72400	10300	5120	7410
	ก้นหอ	227200	19780	67200	9250	4550	6840
150	ยอดหอ	14730	5136	21700	5496	3377	4447
	1	244300	28350	104900	18060	9590	13280
	2	267500	27010	99300	16170	8310	11540
	3	253700	26710	97100	15270	7740	10780
	4	250500	24210	86600	12860	6430	8950
	5	230500	21050	73300	10230	4952	7220
	ก้นหอ	224600	19490	67300	9220	4532	6730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9.4 ปริมาณแร่เอิร์ทไนด์ ๆ ที่ได้จากการสกัด

การสกัด ครั้งที่	ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)					
			La ₂ O ₃	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
1	ส่วนสกัด	30	20190	6670	30180	8260	5000	5940
		60	24640	7270	32460	8400	5060	5940
		100	24440	6370	28260	4892	4135	6910
	ส่วนคงเหลือ	30	189400	28500	108400	23230	13620	17680
		60	188100	26670	101600	21000	12340	16270
		100	15600	15040	54400	7980	4391	7220
2	ส่วนสกัด	90	18980	5690	26500	7360	4671	5500
		120	19690	5800	27230	7530	4781	5620
		150	19540	5760	27050	7520	4786	5590
	ส่วนคงเหลือ	90	181500	18400	67500	10330	5710	8570
		120	190500	24670	94700	18350	10860	14490
		150	187100	21530	81100	14140	8120	11380
3	ส่วนสกัด	90	14710	5220	22360	5640	3390	4452
		120	14650	5190	22260	5620	3372	4409
		150	14730	5136	21700	5496	3377	4447
	ส่วนคงเหลือ	90	225600	20030	68100	9640	4907	7240
		120	227200	19780	67200	9250	4550	6840
		150	224600	19490	67300	9220	4532	6730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองครั้งที่ 1 ได้ทำการเก็บสารตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ ที่เวลา 30, 60 และ 100 นาที ตามลำดับ ดังแสดงผลในตารางที่ 9.1 พบว่า ที่ช่วงเวลาดังกล่าวความเข้มข้นของสารตัวอย่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัดมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นค่อนข้างมาก และจากการผลการทดลองการสกัดในตารางที่ 9.4 พบว่า สำหรับการสกัดครั้งที่ 1 ณ เวลา 100 นาที ระบบยังไม่เข้าสู่ภาวะสมดุล เนื่องจาก มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของส่วนสกัดและส่วนคงเหลือค่อนข้างมาก ดังนั้นในการทดลองการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 จึงทำการเก็บสารตัวอย่าง ที่เวลา 90, 120 และ 150 นาที ตามลำดับ ดังแสดงผลในตารางที่ 9.2 และ 9.3 และจากการผลการทดลองการสกัดในตารางที่ 9.4 สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 พบว่า ที่ 120 และ 150 นาที ความเข้มข้นของส่วนสกัดและส่วนคงเหลือค่อนข้างคงที่ จึงถือว่าช่วงนี้เป็นสภาวะคงตัว โดยกำหนดให้ที่เวลา 150 นาที เป็นสภาวะคงตัว

จากข้อมูลสถานะสำหรับสกัดดังตารางที่ ค-1 พบว่า สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3

1. มีค่าอัตราส่วนของอัตราการไหลระหว่างสารละลายชั้นน้ำมีนกับสารละลายชั้นน้ำ (E/R) ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 1.56 และ 1.64 ตามลำดับ
2. มีค่าอัตราการไหลรวมเป็น 10.01 และ 14.79 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

บทที่ 10

การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของการสกัดแรเอิร์ทผสม

การสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไหลสวนทางกัน โดยใช้หอสกัดแบบพัลส์เพอร์-ฟอเรทซ์-เพลต จัดว่าเป็นการสกัดแบบคิฟเฟอเรนเชียล คือ จะมีการถ่ายโอนมวลตลอดความยาวของเครื่องสกัด และไม่มีจำนวนขั้นตอนสมดุลที่แบ่งแยกได้อย่างชัดเจนเหมือนเครื่องสกัดแบบสเตจไวส์ ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณหาขั้นตอนสมดุล เพื่อบอกถึงประสิทธิภาพการสกัดได้ การบอกประสิทธิภาพการสกัดจึงสามารถบอกได้ โดยใช้สัมประสิทธิ์การกระจาย ค่าการเลือก หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (Mass-Transfer Coefficient)

ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าการเลือกเพื่อบอกถึงประสิทธิภาพการสกัด สามารถทำได้โดยใช้ผลทดลองที่ได้จากการสกัด ดังได้กล่าวถึงรายละเอียดแล้วในบทที่ 7 ส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลนั้น จำเป็นจะต้องใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์มาช่วยในการแก้ปัญหา ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

10.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล

การถ่ายโอนมวลระหว่างเฟสสองเฟสที่มีการแยกเฟสอย่างชัดเจน เช่น การถ่ายโอนมวลระหว่างก๊าซและของเหลว หรือสำหรับการสกัดของเหลวด้วยของเหลว จะเป็นการถ่ายโอนมวลระหว่างสารละลายชั้นน้ำและสารละลายชั้นน้ำมัน ซึ่งสามารถหาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลได้ โดยใช้สมการที่ (10.1) และ (10.2)

$$Z = \frac{R}{K_x a s} \int \frac{dx}{(x-x^*)} \dots\dots\dots(10.1)$$

$$Z = \frac{E}{K_y a s} \int \frac{dy}{(y^*-y)} \dots\dots\dots(10.2)$$

จากสมการที่ (10.1) $H_R = \frac{R}{K_x a s} \dots\dots\dots(10.3)$

$$N_R = \int \frac{dx}{(x-x^*)} \dots\dots\dots(10.4)$$

จากสมการที่ (10.2) $H_E = \frac{E}{K_y a s} \dots\dots\dots(10.5)$

$$N_E = \int \frac{dy}{(y^*-y)} \dots\dots\dots(10.6)$$

10.2 ผลการคำนวณค่า H_R , N_R และ $K_x a$

การคำนวณหาค่า H_R , N_R และ $K_x a$ เพื่อบอกถึงประสิทธิภาพการสกัด โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองการสกัดที่สภาวะคงตัว ดังได้แสดงวิธีการคำนวณไว้ที่ภาคผนวก จ ได้ผลดังตารางที่ 10.1 ดังนี้

ตารางที่ 10.1 ค่า H_R , N_R และ $K_x a$ ของธาตุ Sm, Gd และ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 2

และ 3

การสกัดครั้งที่	ธาตุ	H_R	N_R	$K_x a$
2	Sm	2.354	1.202	5.403×10^{-4}
	Gd	2.496	1.134	3.096×10^{-4}
	Y	3.089	0.916	4.118×10^{-4}
3	Sm	1.215	2.329	1.495×10^{-3}
	Gd	1.222	2.316	1.486×10^{-3}
	Y	1.343	2.107	1.352×10^{-3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.3 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดโดยวิธีของ McCABE-THIELE

เนื่องจากการสกัดเรอ์ทผสมโดยใช้หอสกัดแบบปลั๊สเพอร์ฟอร์เทท-เพลท จัดว่าเป็นการสกัดแบบดิฟเฟอเรนเชียล โดยการคำนวณเพื่อหาจำนวนหน่วยการถ่ายโอน ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ และผลการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 10.1

แต่หากการสกัดเป็นแบบสเตจไวส์ การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดสามารถทำได้โดยใช้วิธีของ McCABE-THIELE โดยการพล็อตเส้นสมดุล และเส้นปฏิบัติการ (Operating Line) ลงบนกราฟ X-Y ดังแสดงวิธีการหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัดไว้ในรูปที่ ฌ-1 ถึง ฌ-6 ในภาคผนวก ฉ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 10.2

ตารางที่ 10.2 จำนวนชั้นทางทฤษฎีของธาตุ Sm, Gd และ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3

การสกัดครั้งที่	ธาตุ	จำนวนชั้นทางทฤษฎี (จากรูปที่ ฌ-1 ถึง ฌ-6)	จำนวนหน่วยการถ่ายโอน (N_R) (จากตารางที่ 10.4)
2	Sm	1.625	1.202
	Gd	1.333	1.134
	Y	1.318	0.916
3	Sm	3.000	2.329
	Gd	2.656	2.316
	Y	2.370	2.107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับการคำนวณหาค่า H_R , N_R และ $K_x a$ ของธาตุต่าง ๆ ในแรเอิร์ทผสมสำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 โดยใช้สมการที่ (10.1), (10.3) และ (10.4) ในการคำนวณ

1. ข้อมูลที่ได้การสกัดดังแสดงในตารางที่ จ-1 และ จ-2 พบว่า ความเข้มข้นของ La ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัดมีแนวโน้มไม่แน่นอน แตกต่างจากความเข้มข้นของ Pr, Nd, Sm, Gd และ Y ซึ่งมีแนวโน้มลดลงจากบนลงล่าง ดังนั้นจึงไม่นำความเข้มข้นของ La มาคำนวณหาค่า H_R , N_R และ $K_x a$

2. จากตารางที่ จ-5 และ จ-6 ค่า x_i^* ซึ่งหาจากค่า y_i ในตารางที่ จ-3 และ จ-4 พร้อมทั้งใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า y_i กับ x_i ณ สถานะสมดุล เมื่อเปรียบเทียบกับค่า x_i จากตารางที่ จ-1 และ จ-2 พบว่า สำหรับ Pr และ Nd ณ ตำแหน่งด้านบนของหอสกัด ค่า x_i มีค่าน้อยกว่า x_i^* ทั้งนี้เนื่องจากค่า y_i ที่นำมาหาค่า x_i^* มีค่าเกินจากช่วงของข้อมูลสมดุลที่ได้ทำการทดลองไว้ในบทที่ 8 ดังนั้น จึงไม่นำความเข้มข้นของ Pr และ Nd มาคำนวณหาค่า H_R , N_R และ $K_x a$

3. จากการหาค่า H_R , N_R และ $K_x a$ ของ Sm, Gd, และ Y ดังได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 10.1 พบว่า สำหรับ Sm, Gd, และ Y ในการสกัดครั้งที่ 2 มีค่า H_R สูงกว่าการสกัดครั้งที่ 3 และมีค่า N_R ต่ำกว่าการสกัดครั้งที่ 3

4. สำหรับการสกัดที่มีอัตราส่วน $E:R$ เท่ากัน การสกัดที่มีอัตราการไหลรวมของเฟสน้ำ และเฟสน้ำมันสูงจะมีการถ่ายโอนมวลของตัวถูกละลายได้ดีกว่าการสกัดที่มีอัตราการไหลรวมต่ำ ทั้งนี้ เนื่องมาจากการสกัดครั้งที่ 3 มีค่า $K_x a$ สูงกว่าการสกัดครั้งที่ 2

5. เพื่อให้การสกัดมีการถ่ายโอนมวลของตัวถูกละลายสูง จึงควรใช้สถานะการสกัดที่มีอัตราการไหลสูงแต่ไม่ควรสูงเกินจนเกิดภาวะการท่วม และควรให้สถานะการสกัดที่มีอัตราการไหล

รวมอยู่ในช่วง Emulsion Operating Region เนื่องจากในช่วงนี้มีการส่งผ่านมวลสารได้ดีที่สุด ดังได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 4.5

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนชั้นทางทฤษฎีโดยวิธีของ McCABE-THIELE กับจำนวนหน่วยการถ่ายโอน (N_R) ดังแสดงผลในตารางที่ 10.2 พบว่า ค่าทั้งสองมีแนวโน้มเหมือนกัน

- สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 มีจำนวนชั้นทางทฤษฎีและ N_R ต่ำกว่าการสกัดครั้งที่ 3
- สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 มีจำนวนชั้นทางทฤษฎีและ N_R ของ Sm, Gd และ Y ลดลง ตามลำดับ

จำนวนชั้นทางทฤษฎีและ N_R เป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพการสกัดสำหรับการสกัดแบบดิฟเฟอเรนเชียลและการสกัดแบบสเตจไวส์ตามลำดับ โดยการสกัดจะมีประสิทธิภาพดีเมื่อมีจำนวนชั้นทางทฤษฎีและ N_R สูง

ดังนั้นการสกัดเรเอิร์ทผสมโดยใช้หอสกัดแบบพลัสเพอร์ฟอเรท-เพลท จึงควรใช้ค่า N_R ในการบอกถึงประสิทธิภาพการสกัด แต่หากการสกัดเรเอิร์ทผสมเป็นการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดชนิดอื่น เช่น เครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซทเทเลอร์ ควรใช้จำนวนชั้นทางทฤษฎีในการบอกถึงประสิทธิภาพการสกัด

บทที่ 11

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

11.1 สรุปผลการทดลอง

1. สำหรับวิธีการเตรียมสารละลายเรเอิร์ทในเทอร์ต ควรใช้วิธีการที่ได้มีการปรับปรุงขั้นตอนการเตรียมดังแสดงในโครงการนี้ เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานและเวลาที่ใช้ในการต้มระเหย
2. สำหรับสารละลายเรเอิร์ทผสมที่ใช้มี La, Pr, Nd, Sm, Gd และ Y อยู่ในปริมาณมากพอสมควร โดยมีปริมาณของ La, Pr, Nd, Sm, Gd และ Y ในสารละลายเรเอิร์ทผสมจากมากไปหาน้อยตามลำดับ และเพื่อการสกัดที่มีประสิทธิภาพดี สารละลายเรเอิร์ทผสมที่ใช้ควรมีความเข้มข้นของกรดไนตริกต่ำ ๆ (ประมาณ 0.3-1.0 โมลาร์) ซึ่งที่ความเข้มข้นของกรดต่ำ ๆ นี้ จะทำให้เกิดการแยกเรเอิร์ทออกเป็นกลุ่ม ๆ ได้ดี อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดไนตริกระหว่างการสกัดต่อประสิทธิภาพการสกัดได้
3. สำหรับการสกัดที่มีอัตราส่วน $E:R$ เท่ากัน การสกัดที่มีอัตราการไหลรวมของเฟสน้ำ และเฟสน้ำมันสูงจะมีการถ่ายโอนมวลของตัวถูกละลายได้ดี

11.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการสกัดและผลการทดลองเพื่อหาข้อมูลสมดุล พบว่า ความเข้มข้นของ Pr, Nd, Sm, Gd และ Y มีแนวโน้มที่เหมือนกัน ส่วนความเข้มข้นของ La มีแนวโน้มไม่แน่นอน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของ La ในสารละลายแรเอิร์ทไนเทรตมีค่าสูงมาก และระหว่างการสกัด La อาจเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงควรจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้ผลของความเข้มข้นของ La มีแนวโน้มไม่แน่นอน

2. สำหรับการบอกประสิทธิภาพการสกัดโดยใช้ค่า K_{α} หากเป็นการสกัดในระบบที่มีตัวถูกละลายเพียงชนิดเดียว เมื่อค่า K_{α} มีค่ามาก แสดงว่าเกิดการถ่ายโอนมวลของตัวถูกละลายมาก ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการสกัดสูง แต่สำหรับการสกัดแรเอิร์ทผสมนั้น ในระบบจะมีตัวถูกละลายอยู่หลายชนิด ซึ่งสำหรับการสกัดแรเอิร์ทผสมดังกล่าว เพื่อให้เกิดการแยกตัวถูกละลายชนิดต่าง ๆ ออกจากกัน ดังนั้น การบอกถึงประสิทธิภาพการสกัดจึงควรบอกได้โดยการเปรียบเทียบค่า K_{α} ของตัวถูกละลาย แต่จากการทดลองสกัดพบว่า สำหรับ La, Pr และ Nd ไม่สามารถคำนวณหาค่า K_{α} ได้ เพราะความเข้มข้นของ La มีแนวโน้มไม่แน่นอน และความเข้มข้นของ Pr และ Nd ในเฟสน้ำมันมีค่าเกินช่วงข้อมูลสมดุลที่ได้ทำการศึกษาไว้ ดังนั้น จึงควรมีการทดลองหาข้อมูลสมดุลเพิ่มเติมต่อไป

3. การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการนำวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว มาใช้สกัดแยกแรเอิร์ทผสมเพื่อการสกัดที่ประสิทธิภาพสูง และสามารถแยกแรเอิร์ทออกจากกันได้ จึงควรมีการสกัดซ้ำซึ่งอาจทำให้เกิดความยุ่งยากและสิ้นเปลืองต้นทุนในการสร้างหอสกัด ดังนั้น ควรจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องเทคนิคการสกัดวงกลับ (Reflux) โดยอาจนำส่วนคงเหลือที่ได้จากการสกัดมาระเหยเพื่อเพิ่มความถ่วงจำเพาะ แล้วนำกลับเข้าสู่หอสกัดอีกครั้ง

4. ในการวัดอัตราการไหลของสารป้อนและตัวทำละลาย เพื่อใช้ในการคำนวณและสรุปผลการทดลอง จะต้องใช้ค่าอัตราการไหลของสารขณะทำการสกัด เพราะอัตราการไหลที่วัดได้ก่อนเข้าหอสกัดจะมีค่าสูงกว่าอัตราการไหลขณะทำการสกัด ทั้งนี้ เนื่องจากผลของความดันลดภายในหอสกัดนั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

1. สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข. รู้จักธาตุหายาก. ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ท.), 2539.
2. วิชาญ อมตาริกุล. แร่โมนาไซต์ในประเทศไทย. ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ท.), 2539.
3. ปรารธนา คิ้วสุวรรณ และสุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข. การสกัดอิตเทรียมในแร่ซีโนไทม์. ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ท.), 2538.
4. สมชาย นาคะผดุงรัตน์. โมนาไซต์และแร่ในเครือเดียวกัน. (ม.ป.ท., ม.ป.ป.).
5. กษม เขาวนจินดา และคณะ. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการสกัดแร่ธาตุหายากจากแร่โมนาไซต์ โดยหอสกัดแบบพัลส์เพอร์ฟอเรทด์-เพลท. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
6. Seader, J.D. and Henley, Ernest J. **Separation Process Principle.** John Wiley & Sons, 1998.
7. นงลักษณ์ พลรักษา และคณะ. การศึกษาภาวะการท่วมในคอลัมน์ระบบพัลส์แบบแผ่นในเจาะรู. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2538.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Laddha, G.S. and Degaleesan, T.E. **Transport Phenomena in Liquid Extraction.** New - Delhi: Tata McGraw- Hill Publishing Co., 1976.
9. ปฏิภาณ ปานทอง และคณะ. การจำลองการสกัดของเหลวแบบไหลสวนทางกันอย่างต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2539.
10. Bochinski, J.; Smutz, M; and Spedding, F.h. **Separation of Individual Rare Earths by Liquid-Liquid Extraction (Vol 5).** (n.p.), 1958.
11. Cheng , H. Y and Levins , D. M. **Solvent Extraction of Rare Earth using Pulse Columns.** (n.p.), 1992.
12. Sharp, B.M. and Smutz, M. *Ind.Eng. Chem* (January 1965): 49-54.
13. Thronton, John D. **Science and Practice of Liquid - Liquid Extraction (Vol 1).** (n.p.), 1992.
14. Geankoplis, Christi J. **Transport Processes and Unit Oprations.** 3 nd. ed. Singapore: Prentice-Hall, 1995.
15. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, ดร. **คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี.** กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2538.



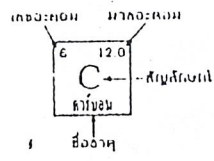
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางธาตุ

																VIIA		คาบ
																2	4.0	1
																He		
																1.008		
																ไฮโดรเจน		
3	4											5	6	7	8	9	10	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
ลิเทียม	เบริลเลียม											โบรอน	คาร์บอน	ไนโตรเจน	ออกซิเจน	ฟลูออรีน	นีออน	
11	12											13	14	15	16	17	18	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
โซเดียม	แมกนีเซียม											อะลูมิเนียม	ซิลิคอน	ฟอสฟอรัส	กำมะถัน	คลอรีน	อาร์กอน	
ธาตุแทรนซิชัน																		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
โพแทสเซียม	แคลเซียม	สแกนเดียม	ไทเทเนียม	วานาเดียม	โครเมียม	แมงกานีส	เหล็ก	โคบอลต์	นิกเกิล	ทองแดง	สังกะสี	แคดเมียม	เจอร์เมเนียม	อาร์เซนิก	ซีลีเนียม	โบรมีน	คริปทอน	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
รูบิเดียม	สตรอนเชียม	อิตาเลียม	เซอร์โคเนียม	ไนโอเบียม	โมลิบดีนัม	เทคนิเชียม	รูทีเนียม	โรเดียม	แพลตินัม	เงิน	แคดเมียม	อินเดียม	ดีบุก	แอนติโมนี	เทลลูเรียม	ไอโอดีน	ซีนอน	
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
ซีเซียม	แบเรียม	แลนทาไนด์	แฮฟเนียม	ทังสเตน	ทังสเตน	เรเนียม	ออสเมียม	อิริเดียม	แพลตินัม	ทองคำ	ปรอท	ทาลัม	ตะกั่ว	บิสมัท	โปโลเนียม	แอสทาไนด์	เรดอน	
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	
Fr	Ra	Ac†	Unq	Unp	Unh													
แฟรนเซียม	เรเดียม	แอกทิไนด์	อูนควอดริเมียม	อูนเพนตะอิมียม	อูนเฮกซะอิมียม													

ได้แปลและแก้ไข 1-0-01

ภาควิชาเคมี



58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hf	Er	Tm	Yb	Lu
ซีเรียม	พรอสบิตินัม	นีโอดิเมียม	โพรมิทียม	สมิทเทียม	ยูโรเปียม	แกดอลินัม	เทอร์บียม	ดีสมิทเทียม	แฮฟเนียม	เออร์เบียม	ทิมมัทธาเนียม	ยtterbium	ลูทีเชียม
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
ทอเรียม	โปรแทกทินัม	ยูเรเนียม	เนปทูนียม	พลูโทเนียม	อะเมริเชียม	คูเรียม	แบวกัวเชียม	แคลิฟอร์เนีย	เอิสเทเนียม	เฟรมเมียม	เมนเดลิฟเวียม	โนบิเลียม	ลอเรนเซียม

ตัวเลขในวงเล็บคือ มวลอะตอมของไอโซโทปที่เสถียรมากที่สุด

ภาคผนวก ข

ไตรบิวทิลฟอสเฟต (Tri-n-butylphosphate หรือ TBP)

สูตรโมเลกุล : $[(C_4H_9O)_3P=O]$

คุณสมบัติทางกายภาพ ที่ 25 °C:

- จุดวาบไฟ	145 องศาเซลเซียส
- ความหนาแน่น	0.975 กรัม/มิลลิลิตร
- ค่าความหนืด	3.2 มิลลิพอยส์
- ค่าการละลายได้ของ TBP ในน้ำ	0.39 กรัม/ลิตร
- ค่าการละลายได้ของน้ำใน TBP	64 กรัม/ลิตร

TBP เป็นสารประกอบอินทรีย์มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีความเสถียรมากไม่แตกตัวได้ง่ายแม้ในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูง การใช้ TBP ในการสกัดโลหะจะมีการใช้ร่วมกับสารอื่น (Diluent) คือ ตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ได้แก่

- พาราฟินไฮโดรคาร์บอน เช่น น้ำมันก๊าด (Kerosene)
- อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
- ตัวทำละลายอินทรีย์ไม่มีขั้ว เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄)

ข้อดีในการใช้สารละลายทำให้เจือจาง

1) เพื่อลดแรงยึดเกาะของ TBP ในการสกัด เนื่องจาก TBP จับกับโลหะอย่างแน่นหนา

มาก การสกัดกลับจะทำได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น และความหนืด ให้เหมาะสมกับสถานะการสกัด

เนื่องจาก TBP มีความสามารถในการสกัดโลหะได้ดี จึงมีความสำคัญในทางอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการสกัดแเรเอิร์ท ใช้แยกเซอร์โคเนียมและฮาฟเนียม ใช้เป็นแคตาลิสต์ และเป็นสารป้องกันการกัดกร่อน

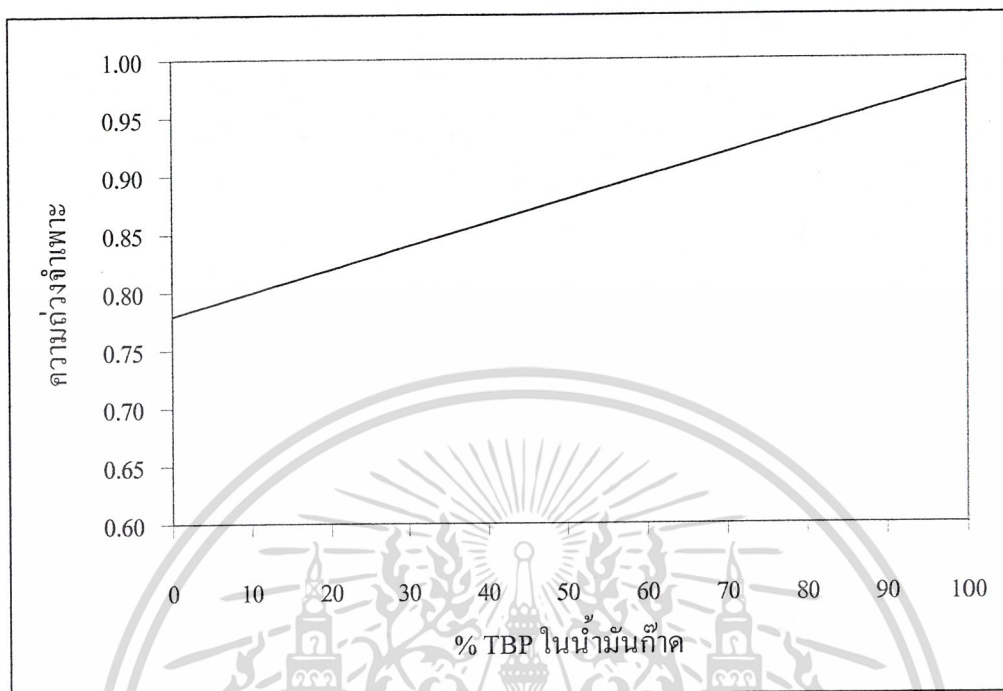
การใช้ TBP เป็นตัวทำละลาย และสกัดแเรเอิร์ทจากสารละลายในรูปไนเตรต แสดงได้ดังสมการ



เมื่อ Ln เป็น แลนทาไนด์ (Lanthanide)

เส้นขีดข้างบนแสดงว่า อยู่ในเฟสอินทรีย์

จากความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับ % TBP ในน้ำมันก๊าด ดังรูปที่ ข-1 พบว่าที่ 50% TBP ในน้ำมันก๊าดมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.88 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดแยกแเรเอิร์ท ทั้งประสิทธิภาพของการสกัดและเศรษฐกิจ



รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่จำเพาะกับ % TBP ในน้ำมันก๊าด
(ที่มา : สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข กองเคมี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

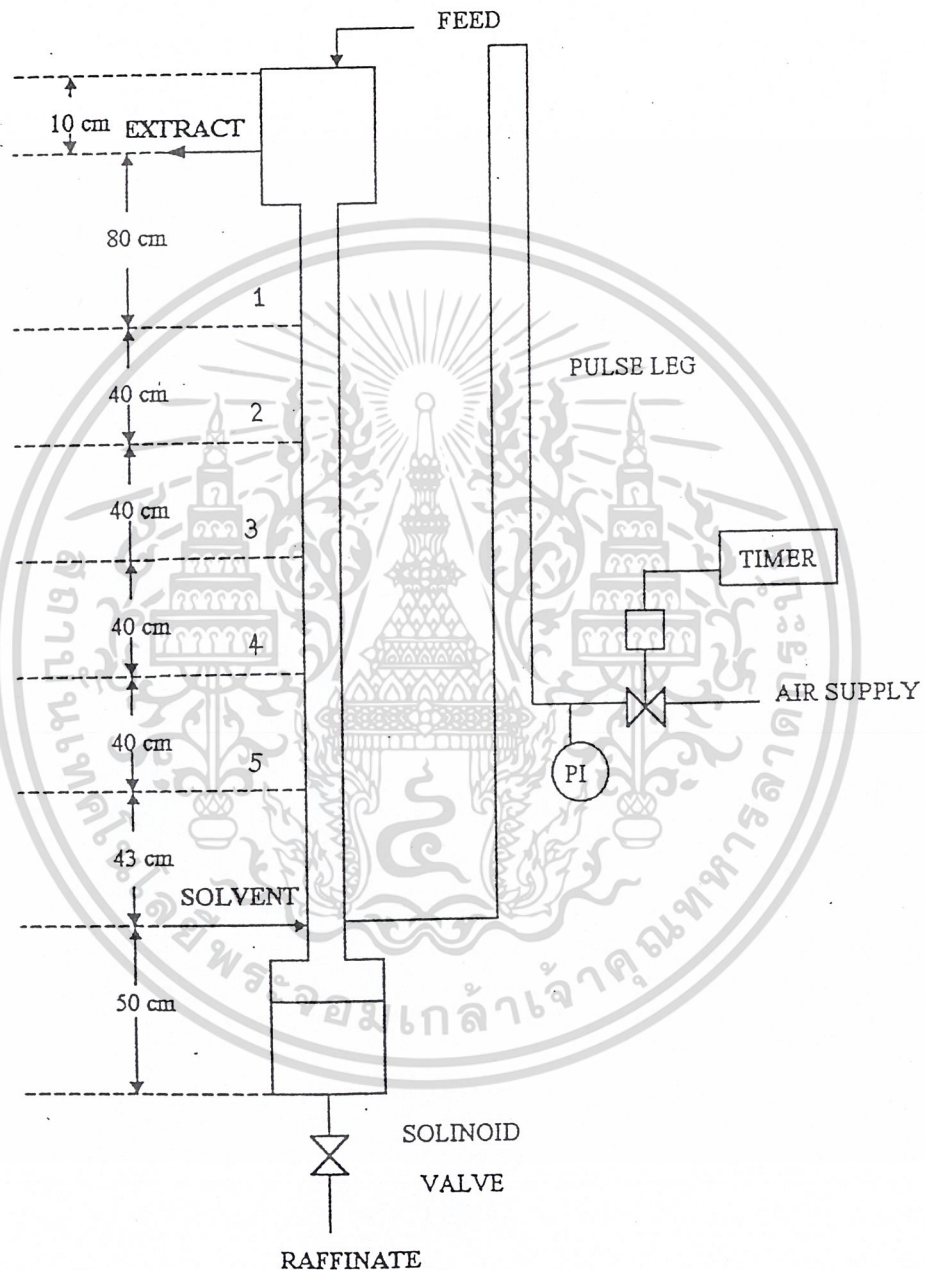
ภาคผนวก ก

ข้อมูลสถานะสำหรับหอสกัด

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลสถานะสำหรับการสกัดครั้งที่ 1, 2 และ 3

สถานะ	การสกัดครั้งที่		
	1	2	3
ความดัน (psi)	7.000	7.000	7.000
ความถี่ (รอบ/นาที)	10.000	10.000	10.000
ความถ่วงจำเพาะของสารป้อน	1.642	1.642	1.645
ความถ่วงจำเพาะของ TBP	0.880	0.880	0.895
ความถ่วงจำเพาะของส่วนแรฟไฟเนต	1.468	1.465	1.545
ความถ่วงจำเพาะของส่วนสกัด	-	-	0.968
อัตราการไหลของสารป้อน (ลิตร/ชั่วโมง)	4.120	4.000	5.600
อัตราการไหลของ TBP (ลิตร/ชั่วโมง)	6.210	6.000	9.400
อัตราการไหลของส่วนแรฟไฟเนต (ลิตร/ชั่วโมง)	-	3.830	5.580
อัตราการไหลของส่วนสกัด (ลิตร/ชั่วโมง)	-	6.210	9.000
อัตราการไหลของสารละลายชั้นน้ำ (ลิตร/ชั่วโมง)	4.120	3.915	5.590
อัตราการไหลของสารละลายชั้นน้ำมัน (ลิตร/ชั่วโมง)	6.210	6.105	9.200
อัตราการไหลรวม (ลิตร/ชั่วโมง)	10.330	10.020	14.790
อัตราส่วนของ E : R	1.510	1.560	1.640
ปริมาตรของสารป้อนที่ใช้ในการสกัด (ลิตร)	12.000	14.700	16.800
ปริมาตรของ TBP ที่ใช้ในการสกัด (ลิตร)	10.400	15.300	26.000

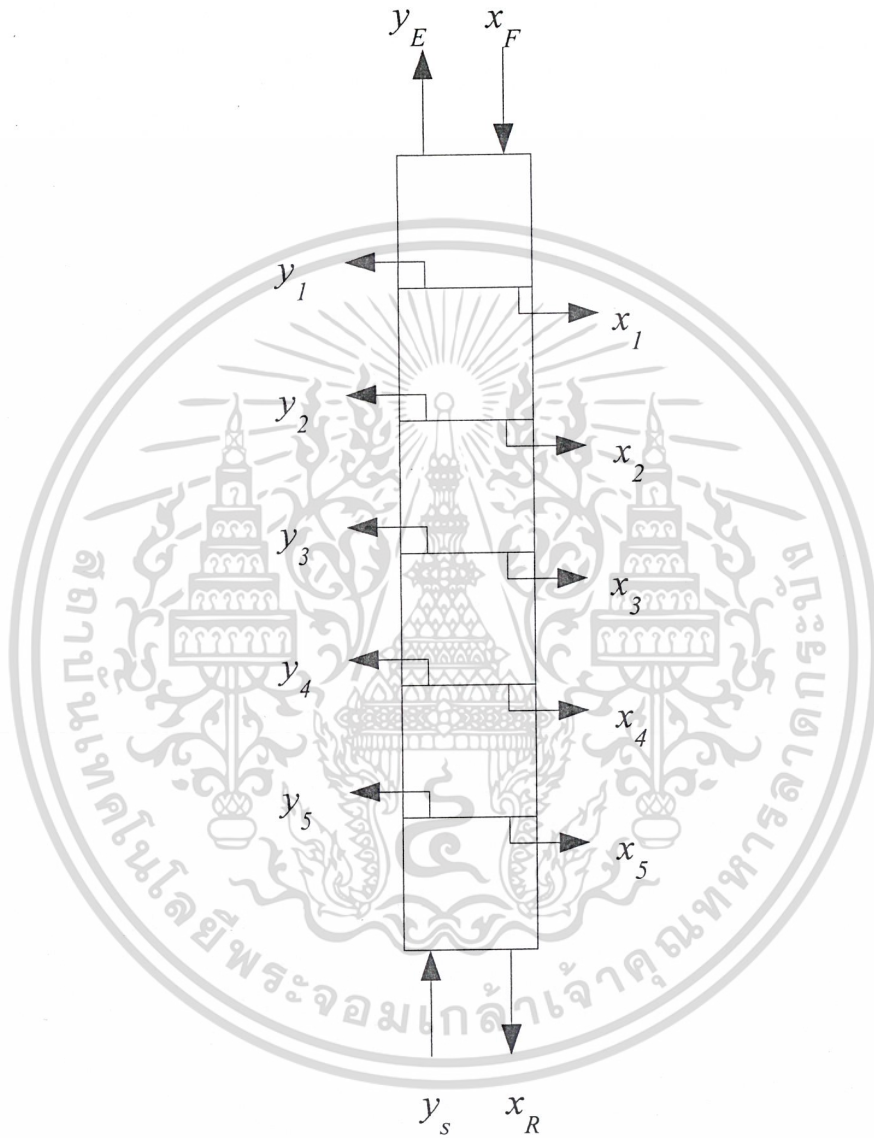
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-1 ข้อมูลจำเพาะของหอที่ใช้สกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง



รูปที่ ง-1 แบบจำลองการสกัดภายในหอสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ง-1 เมื่อทำสมมูลมวลจะได้

$$Rx_5 + Ey_5 = Rx_R + Ey_5 \dots\dots\dots (ง-1)$$

$$Rx_4 + Ey_5 = Rx_5 + Ey_4 \dots\dots\dots (ง-2)$$

$$Rx_3 + Ey_4 = Rx_4 + Ey_3 \dots\dots\dots (ง-3)$$

$$Rx_2 + Ey_3 = Rx_3 + Ey_2 \dots\dots\dots (ง-4)$$

$$Rx_1 + Ey_2 = Rx_2 + Ey_1 \dots\dots\dots (ง-5)$$

$$Rx_F + Ey_1 = Rx_1 + Ey_E \dots\dots\dots (ง-6)$$

จากสมการที่(ง-1) ถึง (ง-6)

$$y_5 = \frac{R}{E}(x_5 - x_R) \dots\dots\dots (ง-7)$$

$$y_4 = \frac{R}{E}(x_4 - x_5) + y_5 \dots\dots\dots (ง-8)$$

$$y_3 = \frac{R}{E}(x_3 - x_4) + y_4 \dots\dots\dots (ง-9)$$

$$y_2 = \frac{R}{E}(x_2 - x_3) + y_3 \dots\dots\dots (ง-10)$$

$$y_1 = \frac{R}{E}(x_1 - x_2) + y_2 \dots\dots\dots (ง-11)$$

$$y_E = \frac{R}{E}(x_F - x_1) + y_1 \dots\dots\dots (ง-12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

วิธีการคำนวณหาค่า H_R , N_R และ $K_x a$

จากผลการทดลองการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 ดังแสดงในตารางที่ 9.2 และ 9.3 ตามลำดับความเข้มข้นของแรเอิร์ทออกไซด์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ณ เวลา 150 นาที ซึ่งกำหนดให้เป็นสถานะคงตัวสามารถคำนวณเป็นความเข้มข้นของแรเอิร์ท (โมลาร์)¹ ได้ผลดังตารางที่ จ-1 และ จ-2

ตารางที่ จ-1 ความเข้มข้นของแรเอิร์ทที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนหอสกัด

สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 ณ เวลา 150 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแรเอิร์ท (โมลาร์)					
	La	Pr	Nd	Sm	Gd	Y
x_F	1.2516	0.1800	0.6907	0.1446	0.0836	0.1723
x_1	1.2731	0.1761	0.6853	0.1334	0.0743	0.1536
x_2	1.3026	0.1743	0.6754	0.1255	0.0686	0.1433
x_3	1.2909	0.1692	0.6550	0.1194	0.0647	0.1357
x_4	1.2528	0.1552	0.5932	0.1035	0.0552	0.1177
x_5	1.2485	0.1422	0.5338	0.0883	0.0472	0.1045
x_R	1.1485	0.1265	0.4820	0.0811	0.0448	0.1008
y_E'	0.1199	0.0338	0.1608	0.0431	0.0264	0.0495

ตารางที่ จ-2 ความเข้มข้นของแรเอิร์ทที่วิเคราะห์ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัด
สำหรับการสกัดครั้งที่ 3 ณ เวลา 150 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแรเอิร์ท (โมลาร์)					
	La	Pr	Nd	Sm	Gd	Y
x_F	1.5008	0.1719	0.6384	0.1142	0.0626	0.1382
x_1	1.4996	0.1665	0.6235	0.1036	0.0529	0.1176
x_2	1.6420	0.1587	0.5902	0.0927	0.0458	0.1022
x_3	1.5573	0.1569	0.5772	0.0876	0.0427	0.0955
x_4	1.5377	0.1422	0.5147	0.0738	0.0350	0.0793
x_5	1.4149	0.1236	0.4357	0.0587	0.0273	0.0639
x_R	1.3787	0.1145	0.4000	0.0529	0.0250	0.0596
y_E'	0.0904	0.0302	0.1290	0.0315	0.0186	0.0394

เนื่องจากในการสกัด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของหอสกัดสามารถเก็บตัวอย่างได้เพียงเฟสน้ำซึ่งใช้เป็นเฟสต่อเนื่อง สำหรับเฟสน้ำมันซึ่งใช้เป็นเฟสกระจายไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ ดังนั้นการหาค่าความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน จึงสามารถทำได้โดยการทำสมดุลมวลภายในหอสกัด โดยใช้ความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำ ซึ่งได้จากการทดลองในการคำนวณ²

จากสมการทำสมดุลมวลเพื่อหาความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัดได้ผลดังตารางที่ จ-3 และ จ-4

ตารางที่ จ-3 ความเข้มข้นของแร่เอิร์ทในเฟสน้ำมัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัด
สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 ณ เวลา 150 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแร่เอิร์ท (โมลาร์)					
	La	Pr	Nd	Sm	Gd	Y
y_1	0.0799	0.0318	0.1303	0.0335	0.0189	0.0338
y_2	0.0988	0.0306	0.1246	0.0285	0.0153	0.0273
y_3	0.0913	0.0274	0.1109	0.0246	0.0128	0.0224
y_4	0.0669	0.1840	0.0712	0.0144	0.0066	0.0108
y_5	0.0641	0.0101	0.0331	0.0046	0.0015	0.0024
y_E	0.0661	0.0343	0.1337	0.0407	0.0249	0.0458
y_E'	0.1199	0.0338	0.1608	0.0431	0.0264	0.0495

ตารางที่ จ-4 ความเข้มข้นของแร่เอิร์ทในเฟสน้ำมัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนหอสกัด
สำหรับการสกัดครั้งที่ 3 ณ เวลา 150 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแร่เอิร์ท (โมลาร์)					
	La	Pr	Nd	Sm	Gd	Y
y_1	0.0734	0.0316	0.1357	0.0308	0.0169	0.0352
y_2	0.1598	0.0268	0.1155	0.0242	0.0127	0.0259
y_3	0.1084	0.0257	0.1075	0.0211	0.0107	0.0218
y_4	0.0965	0.0168	0.0696	0.0127	0.0061	0.0119
y_5	0.0220	0.0056	0.0216	0.0035	0.0014	0.0026
y_E	0.0741	0.0349	0.1447	0.0752	0.0228	0.0477
y_E'	0.0904	0.0302	0.1290	0.0315	0.0186	0.0394

เนื่องจากการสกัด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของหอสกัดสามารถเก็บตัวอย่างได้เพียงแค่เฟสน้ำ ดั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทได้แต่ในเฟสน้ำ (x) สำหรับความเข้มข้นของแเรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน (y) หาได้จากการทำสมดุลมวลภายในหอสกัด ดังนั้น การหาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเพื่อบอกถึงประสิทธิภาพการสกัด ควรใช้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (K_x) โดยใช้สมการ (จ-1) ในการคำนวณ

หากการสกัดใช้เฟสน้ำมันเป็นเฟสต่อเนื่อง ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทที่วิเคราะห์ได้จะเป็น ความเข้มข้นของแเรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน (y) และความเข้มข้นของแเรเอิร์ทในเฟสน้ำ (x) จะหาได้จากการทำสมดุลมวลภายในหอสกัด การหาประสิทธิภาพการสกัดในกรณีนี้ ควรใช้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับเฟสน้ำมัน (K_y) โดยใช้สมการ (จ-2) ในการคำนวณ

จ-1 วิธีการคำนวณหาค่า H_R , N_R และ $K_x a$

จากการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 ซึ่งมีเฟสน้ำเป็นเฟสต่อเนื่อง การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (K_x) สามารถทำได้ดังนี้

1.1 ใช้สมการที่ (10.1) ในการคำนวณ ซึ่งจากข้อมูลของการสกัดทั้งสองครั้งมีข้อมูลจำเพาะ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ความสูงของหอสกัด (Z)} &= 2.83 \text{ เมตร} \\
 \text{เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์} &= 0.033 \text{ เมตร} \\
 \text{พื้นที่หน้าตัดของหอสกัด (s)} &= \pi/4 \times (0.033)^2 \text{ ตารางเมตร} \\
 &= 8.55 \times 10^{-4} \text{ ตารางเมตร} \\
 \text{อัตราการไหลของสารละลายชั้นน้ำ (R)} \\
 \text{- สำหรับการสกัดครั้งที่ 2} &= 3.915 \text{ ลิตร / ชั่วโมง} \\
 &= 1.0875 \times 10^{-6} \text{ ลูกบาศก์เมตร / วินาที} \\
 \text{- สำหรับการสกัดครั้งที่ 3} &= 5.590 \text{ ลิตร / ชั่วโมง} \\
 &= 1.553 \times 10^{-6} \text{ ลูกบาศก์เมตร / วินาที}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 คำนวณหาความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำที่สมดุลกับความเข้มข้นของแรเอิร์ท ในเฟสน้ำมัน (x^*) โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ จ-3 และ จ-4 และใช้ค่าความสัมพันธระหว่างค่า y_i กับ x_i ณ สภาวะสมดุลจากรูปที่ 8.6, 8.7, 8.8, 8.10 และ 8.13 ได้ผลดังตารางที่ จ-5 และ จ-6

ตารางที่ จ-5 ความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำที่สมดุลกับความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 ณ เวลา 150 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแรเอิร์ท (โมลาร์)				
	Pr	Nd	Sm	Gd	Y
x_E^*	0.2049	0.7080	0.1142	0.0575	0.1084
x_1^*	0.1874	0.6838	0.0932	0.0436	0.0826
x_2^*	0.1791	0.6435	0.0787	0.0353	0.0683
x_3^*	0.1571	0.5496	0.0675	0.0295	0.0572
x_4^*	0.0980	0.3015	0.0386	0.0152	0.0298
x_5^*	0.0482	0.1068	0.0117	0.0034	0.0078
x_S^*	0	0	0	0	0

ตารางที่ จ-6 ความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำที่สมดุลกับความเข้มข้นของแรเอิร์ทในเฟสน้ำมัน สำหรับการสกัดครั้งที่ 3 ณ เวลา 150 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแรเอิร์ท (โมลาร์)				
	Pr	Nd	Sm	Gd	Y
x_E^*	0.2092	0.7881	0.1039	0.0527	0.1124
x_1^*	0.1860	0.07224	0.0854	0.0390	0.0857
x_2^*	0.1530	0.5807	0.0664	0.0293	0.0651
x_3^*	0.1456	0.5269	0.0575	0.0247	0.0558
x_4^*	0.0879	0.2928	0.0339	0.0140	0.0325
x_5^*	0.0239	0.0599	0.0088	0.0032	0.0083
x_S^*	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การหาค่าจำนวนหน่วยการถ่ายโอน (N_R) โดยใช้สมการที่ (10.4) ในการคำนวณ โดย
การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\frac{1}{(x-x^*)}$ กับ x โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ จ-7 ถึง จ-9
และได้กราฟดังรูป จ-1 ถึง จ-4 และสามารถหาค่า N_R ได้จาก

$$N_R = \int_{x_R}^{x_F} \frac{dx}{(x-x^*)}$$

ตารางที่ จ-7 ข้อมูลสำหรับการคำนวณจำนวนหน่วยการถ่ายโอนเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (N_R)
ของซาแมเรียม (Sm) สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 ณ เวลาที่ 150 นาที

ครั้งที่ 2					ครั้งที่ 3				
x	x^*	$\frac{1}{(x-x^*)}$	x	x^*	$\frac{1}{(x-x^*)}$	x	x^*	$\frac{1}{(x-x^*)}$	
x_F	0.1446	x_E^*	0.1142	32.8947	x_F	0.1142	x_E^*	0.1039	97.0874
x_1	0.1334	x_1^*	0.0932	24.8756	x_1	0.1036	x_1^*	0.0854	54.9451
x_2	0.1255	x_2^*	0.0787	21.3675	x_2	0.0927	x_2^*	0.0664	38.0228
x_3	0.1194	x_3^*	0.0675	19.2678	x_3	0.0876	x_3^*	0.0575	33.2226
x_4	0.1035	x_4^*	0.0386	15.4083	x_4	0.0738	x_4^*	0.0339	25.0627
x_5	0.0883	x_5^*	0.0117	13.0548	x_5	0.0587	x_5^*	0.0088	20.0401
x_R	0.0811	x_s^*	0.0000	12.3305	x_R	0.0529	x_s^*	0.0000	18.9036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-8 ข้อมูลสำหรับการคำนวณจำนวนหน่วยการถ่ายโอนเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (N_R)
ของแก๊สโอดีเนียม (Gd) สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 ณ เวลา 150 นาที

ครั้งที่ 2					ครั้งที่ 3				
x		x^*		$\frac{1}{(x-x^*)}$	x		x^*		$\frac{1}{(x-x^*)}$
x_F	0.0836	x_E^*	0.0575	38.3142	x_F	0.0626	x_E^*	0.0527	101.010
x_1	0.0743	x_1^*	0.0436	32.5733	x_1	0.0529	x_1^*	0.0390	71.9424
x_2	0.0686	x_2^*	0.0353	30.0300	x_2	0.0458	x_2^*	0.0293	60.6061
x_3	0.0647	x_3^*	0.0295	28.4091	x_3	0.0427	x_3^*	0.0247	55.5556
x_4	0.0552	x_4^*	0.0152	25.0000	x_4	0.0350	x_4^*	0.0140	47.6190
x_5	0.0472	x_5^*	0.0034	22.8311	x_5	0.0273	x_5^*	0.0032	41.4938
x_R	0.0448	x_s^*	0	22.3214	x_R	0.0250	x_s^*	0	40.0000

ตารางที่ จ-9 ข้อมูลสำหรับการคำนวณจำนวนหน่วยการถ่ายโอนเมื่อเทียบกับเฟสน้ำ (N_R)
ของอิตเทรียม (Y) สำหรับการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 ณ เวลา 150 นาที

ครั้งที่ 2					ครั้งที่ 3				
x		x^*		$\frac{1}{(x-x^*)}$	x		x^*		$\frac{1}{(x-x^*)}$
x_F	0.1723	x_E^*	0.1084	15.6495	x_F	0.1382	x_E^*	0.1124	38.7597
x_1	0.1536	x_1^*	0.0826	14.0845	x_1	0.1176	x_1^*	0.0857	31.9480
x_2	0.1433	x_2^*	0.0683	13.3333	x_2	0.1022	x_2^*	0.0651	26.9542
x_3	0.1357	x_3^*	0.0572	12.7389	x_3	0.0955	x_3^*	0.0558	25.1889
x_4	0.1177	x_4^*	0.0298	11.3766	x_4	0.0793	x_4^*	0.0325	21.3675
x_5	0.1045	x_5^*	0.0078	๑-3413	x_5	0.0639	x_5^*	0.0083	17.9856
x_R	0.1008	x_s^*	0	9.9206	x_R	0.0596	x_s^*	0	16.7785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 การหาค่า H_R

สามารถหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสมการที่ (10.1), (10.3) และ (10.4)

จะได้ว่า

$$H_R = \frac{Z}{N_R}$$

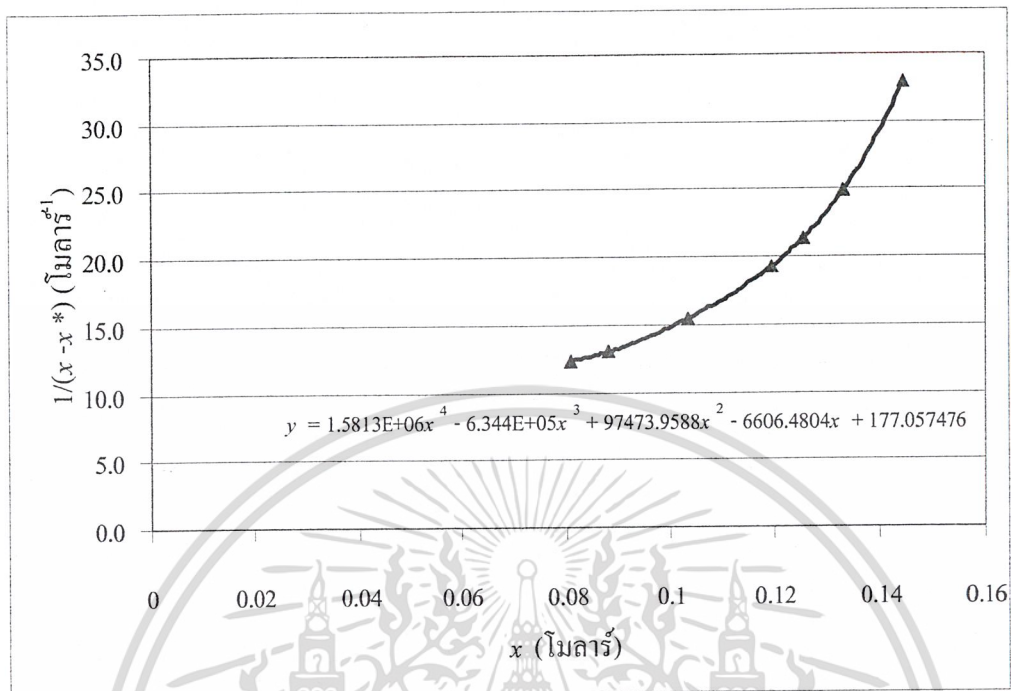
1.5 การหาค่า $K_x a$

สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (10.3) จะได้ว่า

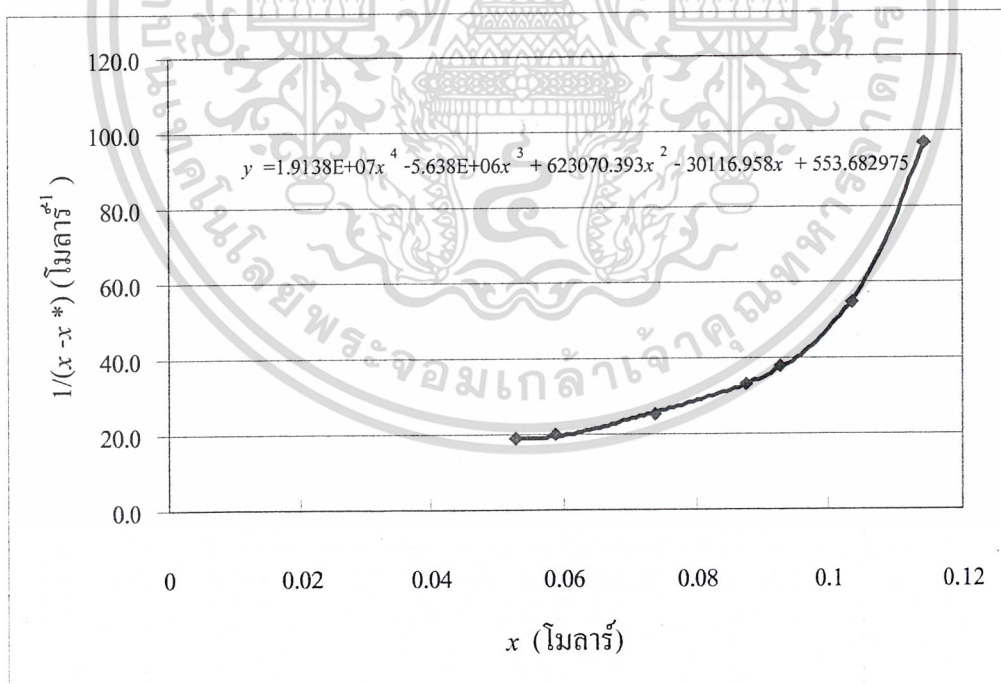
$$K_x a = \frac{R}{H_R s}$$

โดยค่า N_R , H_R และ $K_x a$ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 10.1



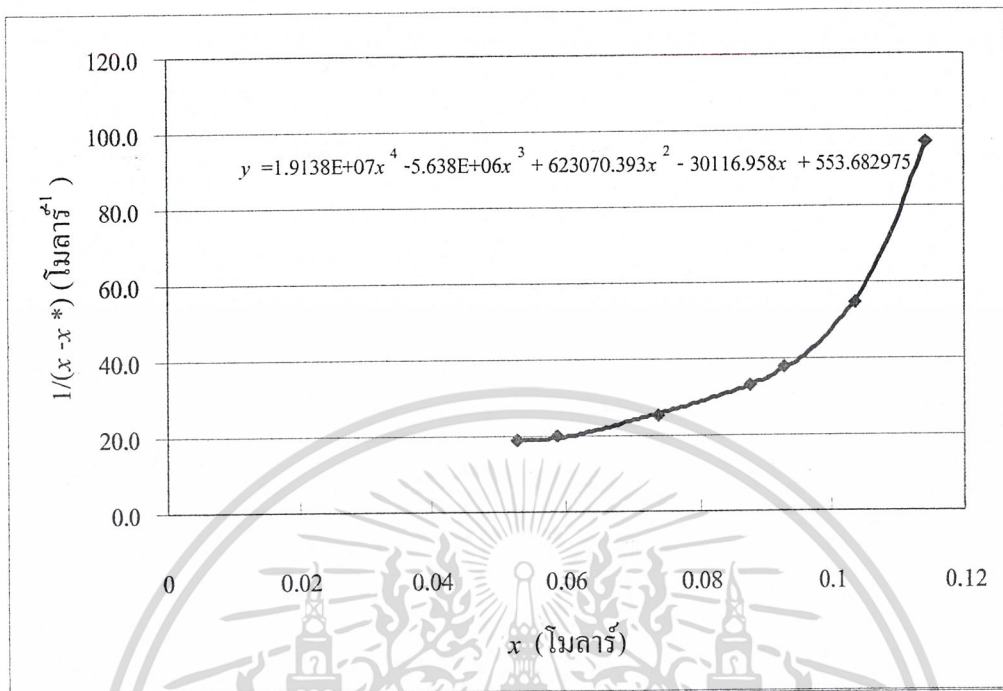


รูปที่ จ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/(x-x^*)$ กับ x ของ Sm สำหรับการทดลองครั้งที่ 2

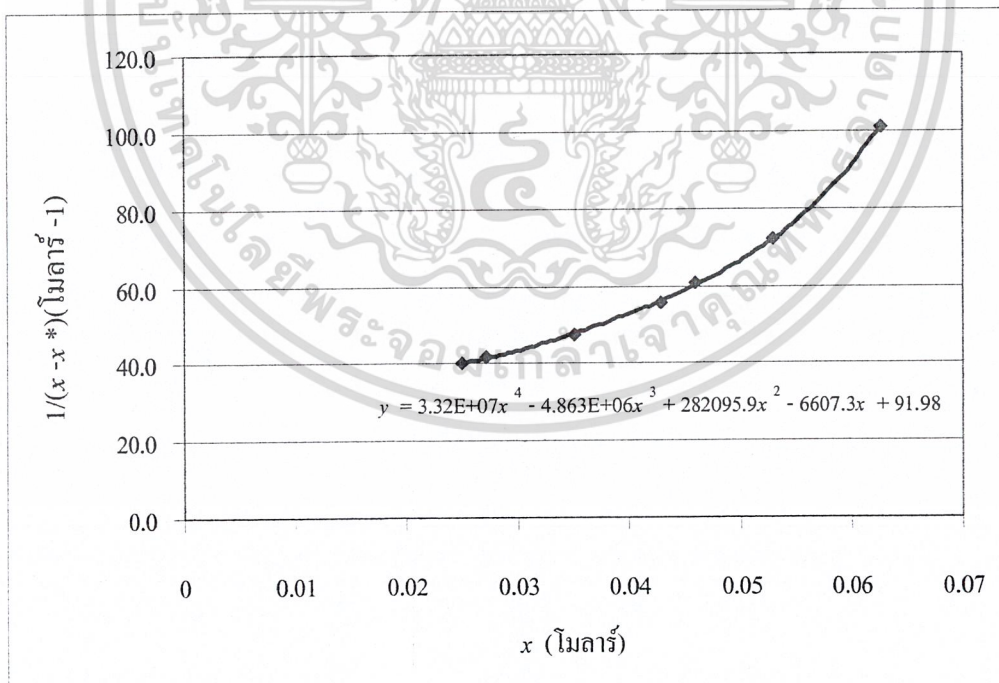


รูปที่ จ-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/(x-x^*)$ กับ x ของ Sm สำหรับการทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

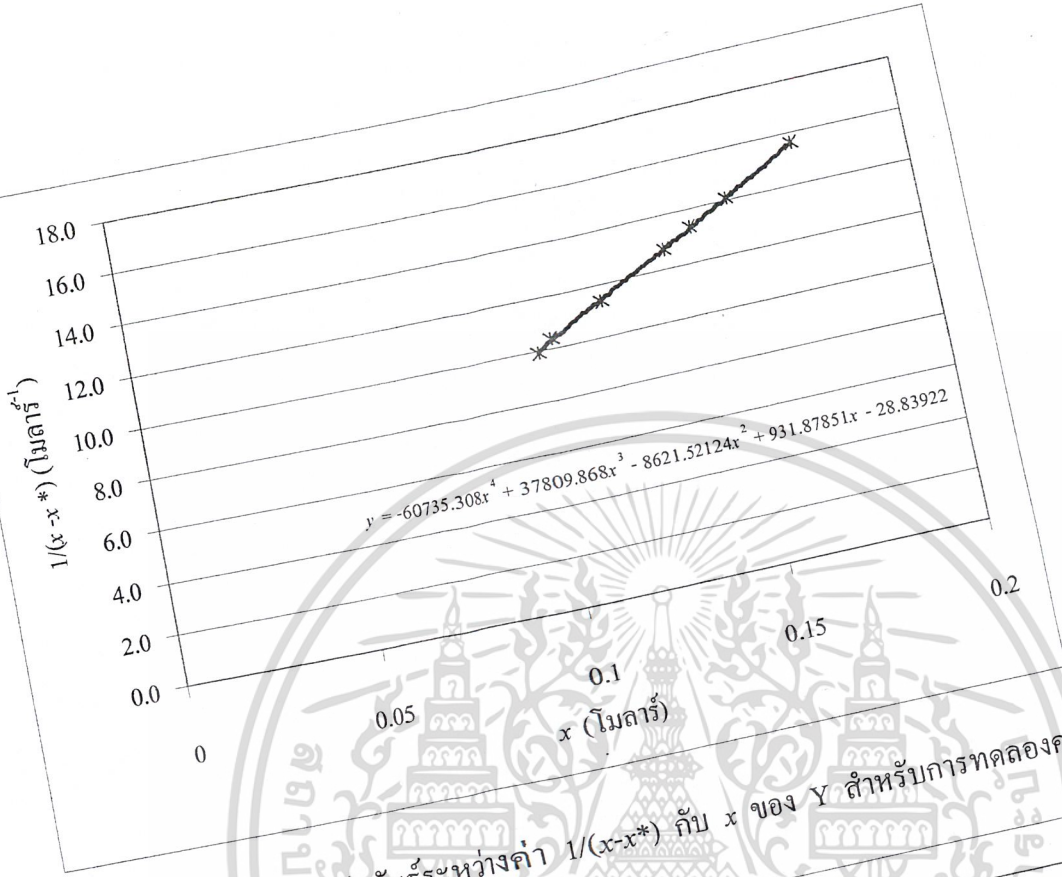


รูปที่จ-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/(x-x^*)$ กับ x ของ Gd สำหรับการทดลองครั้งที่ 2

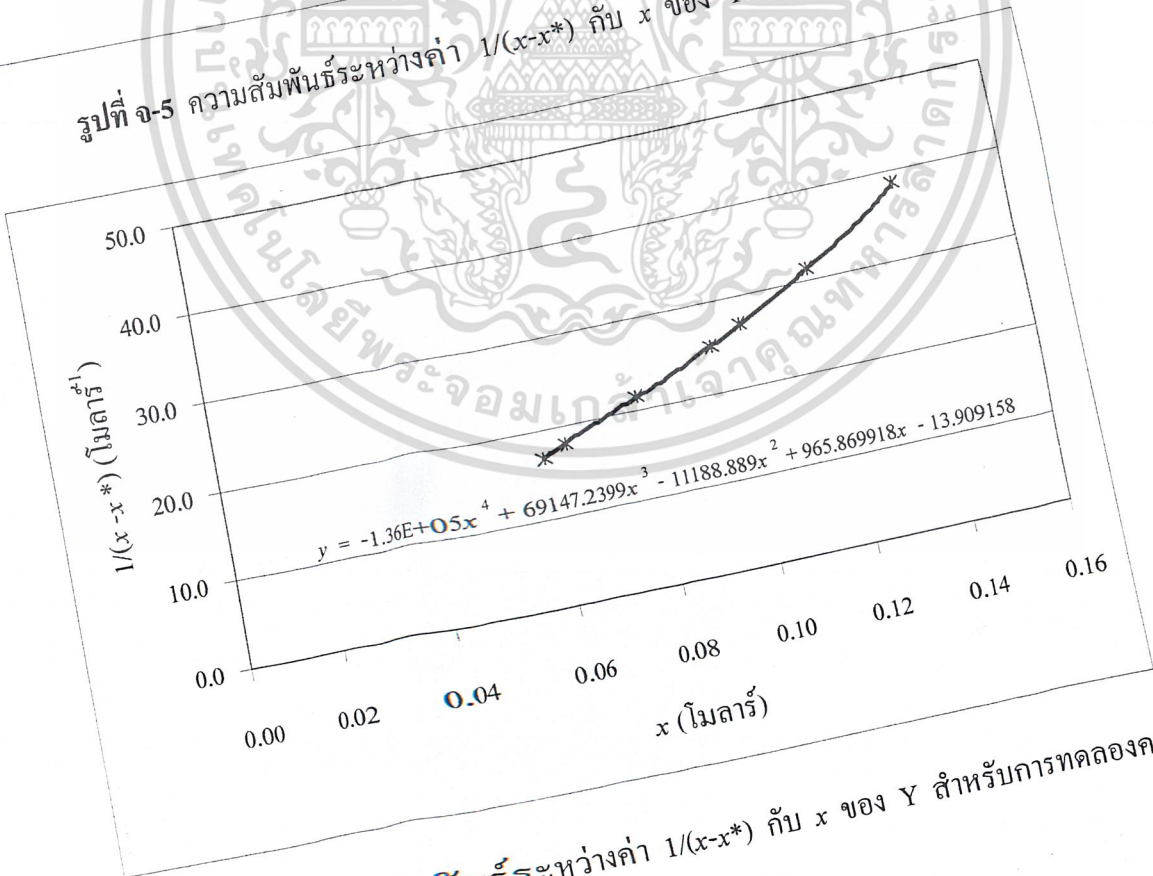


รูปที่จ-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/(x-x^*)$ กับ x ของ Gd สำหรับการทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/(x-x^*)$ กับ x ของ Y สำหรับการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ จ-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/(x-x^*)$ กับ x ของ Y สำหรับการทดลองครั้งที่ 3

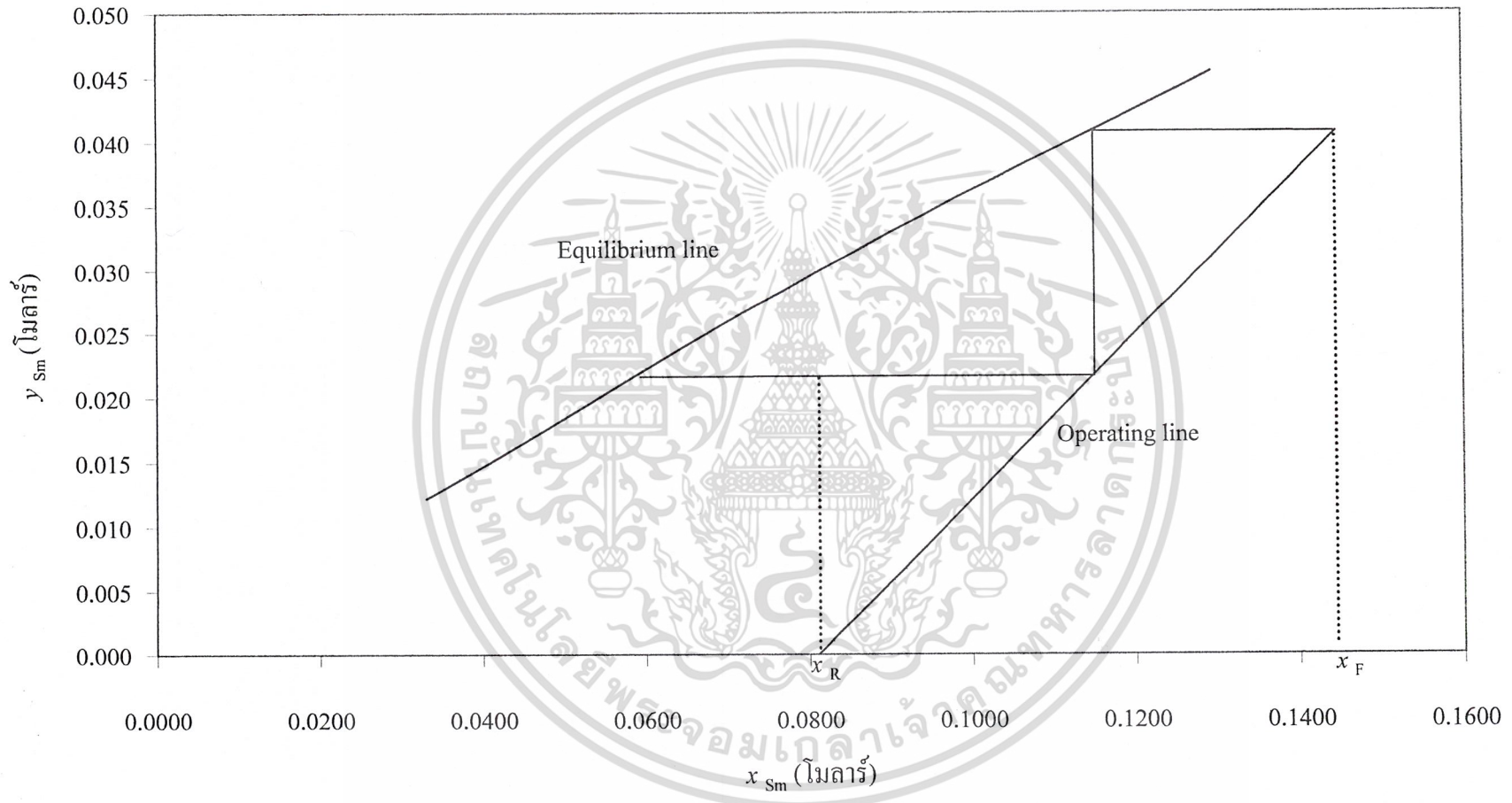
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

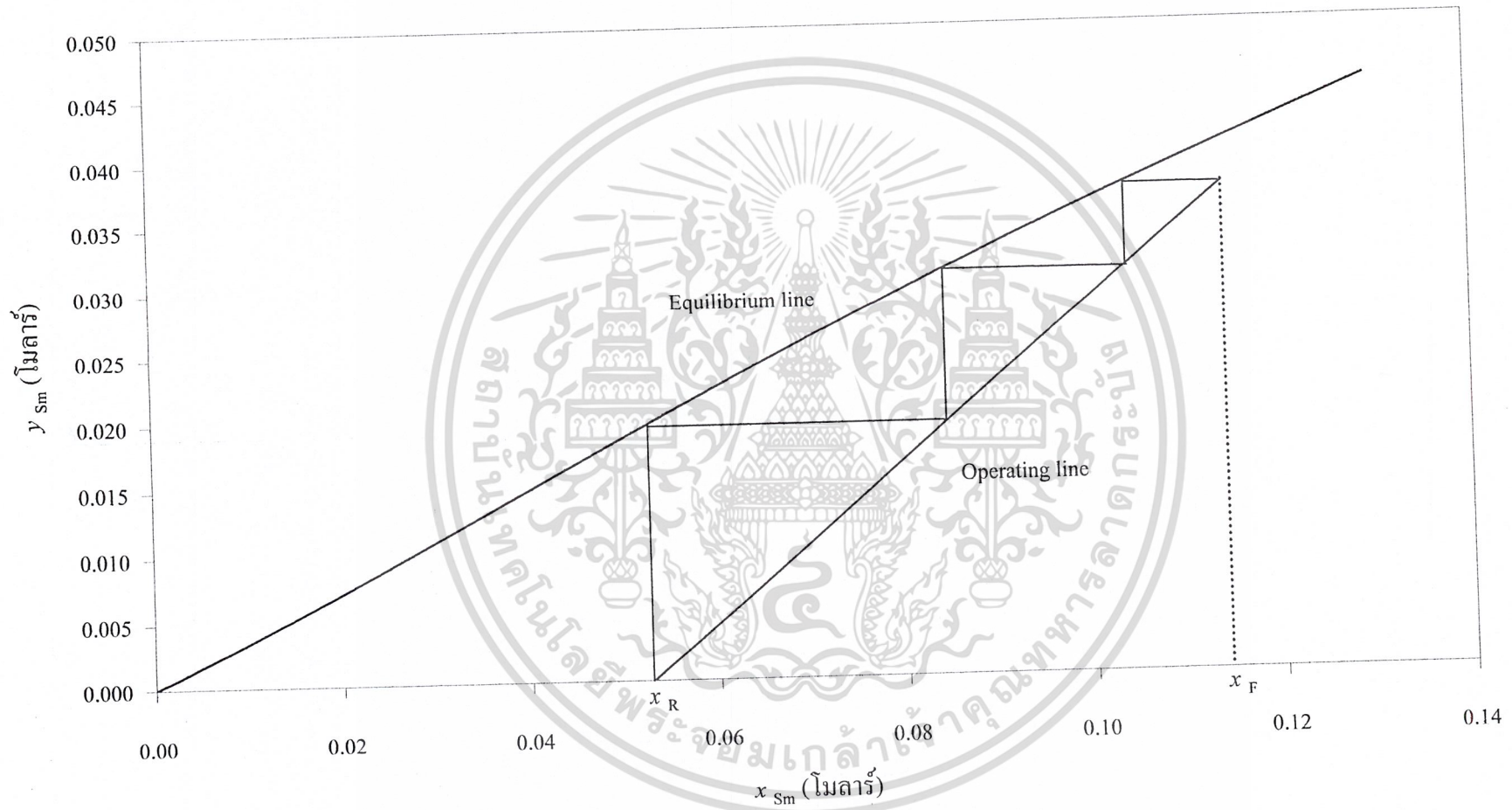
การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัด โดยวิธี McCABE-THIELE



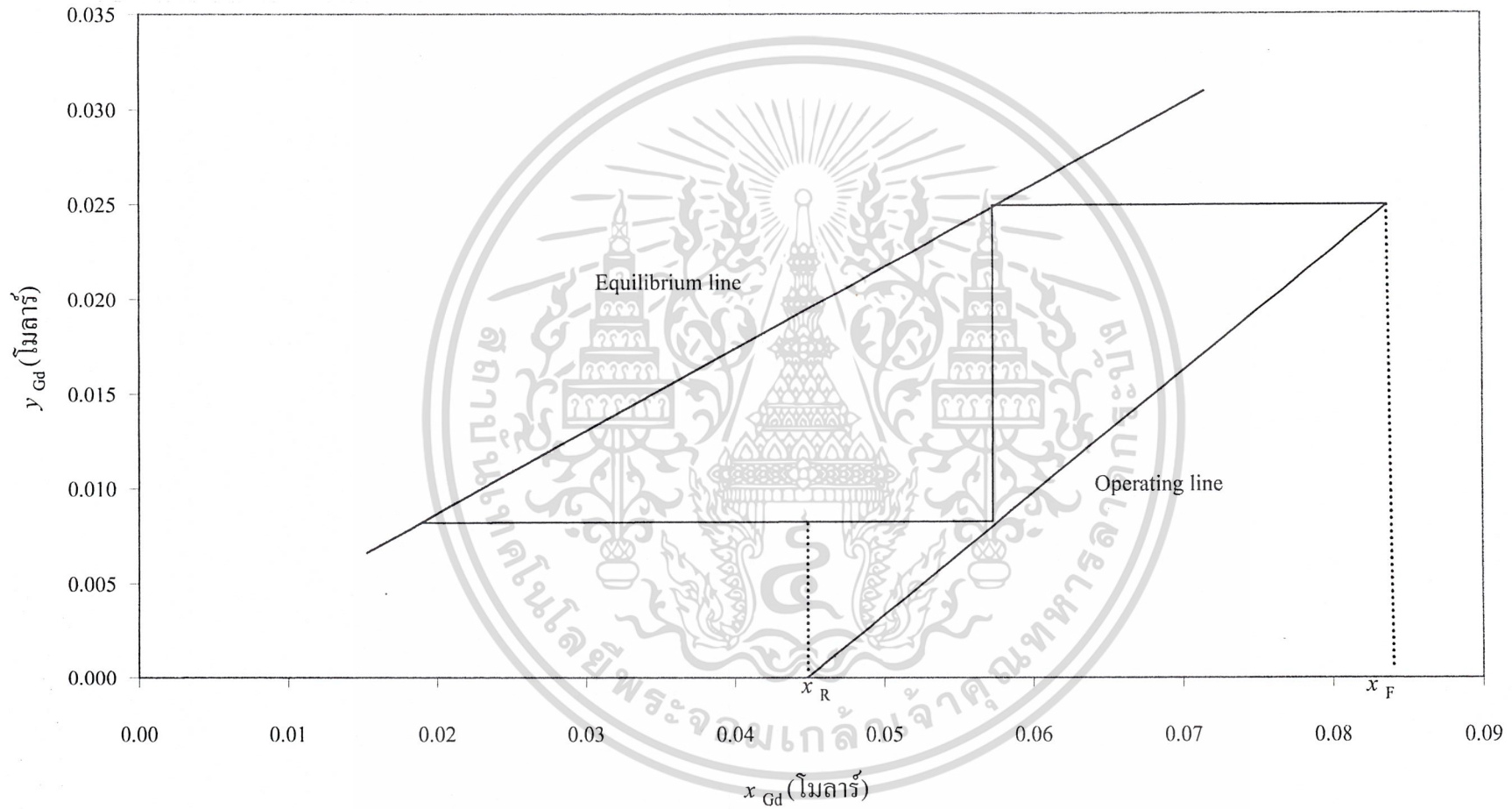
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



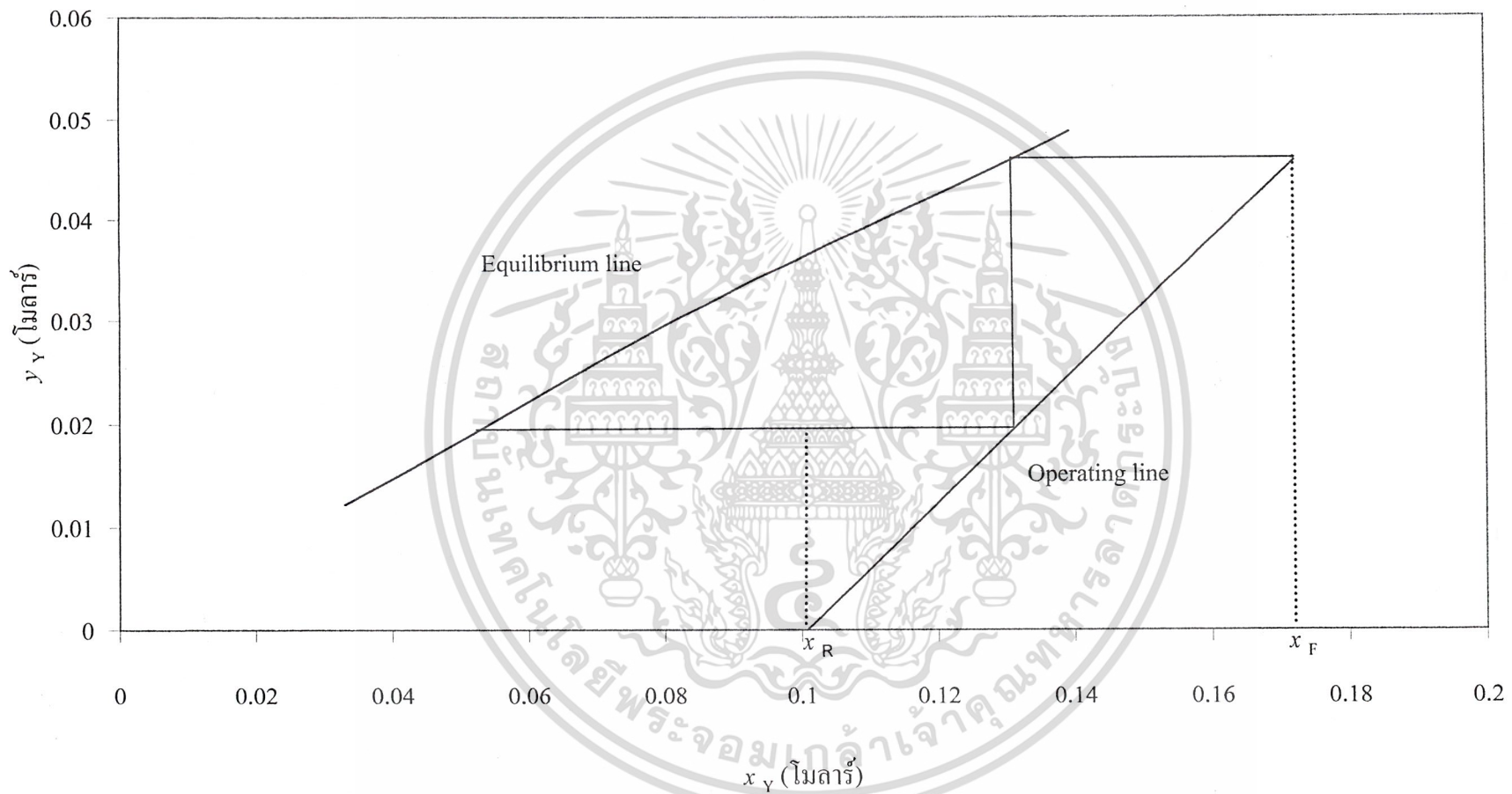
รูปที่ ๑-1 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัด โดยวิธี McCabe-THIELE ของธาตุ S_m สำหรับการสกัดครั้งที่ 2



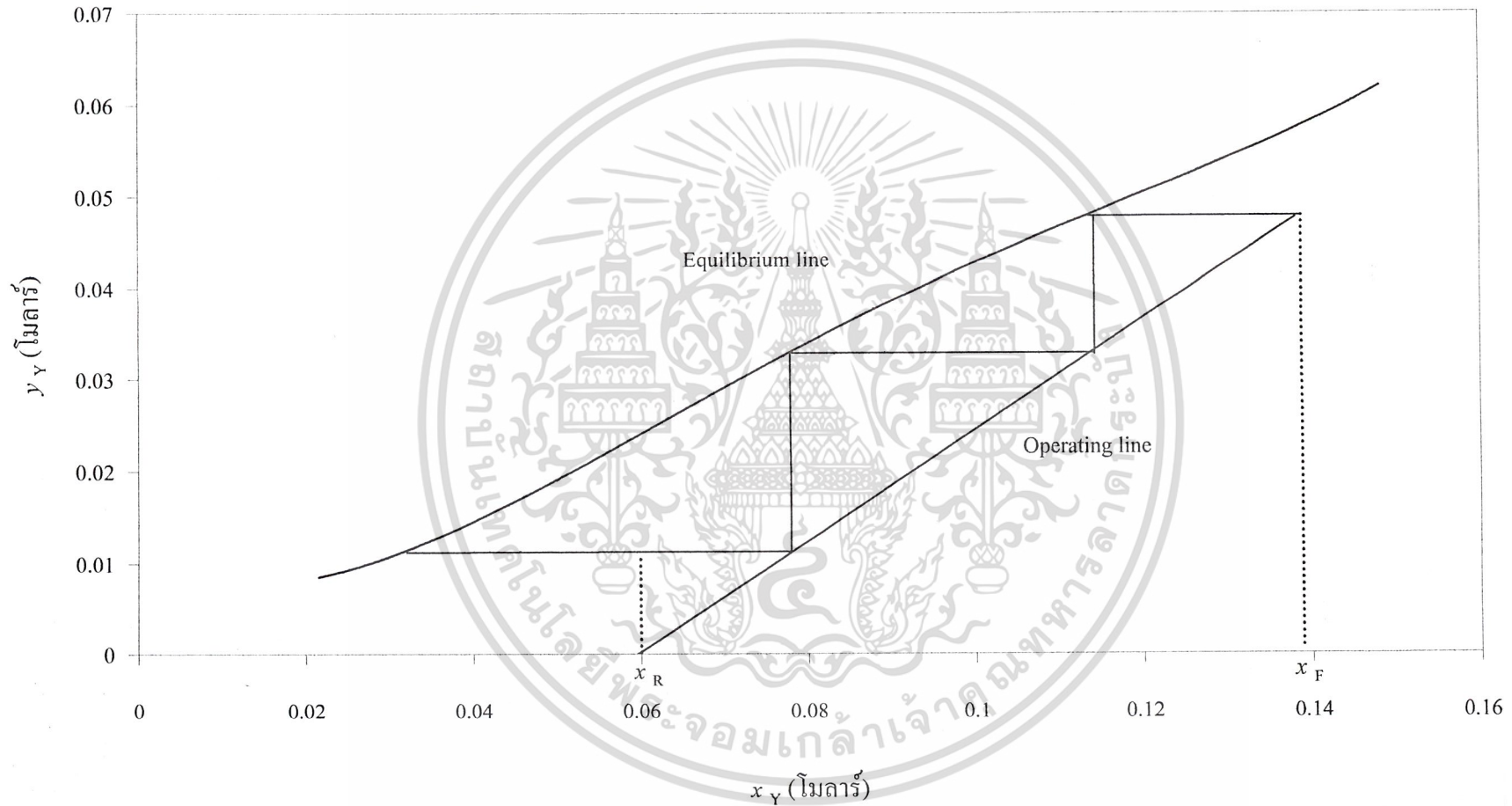
รูปที่ ๓-2 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัด โดยวิธี McCabe-THIELE ของธาตุ Sm สำหรับการสกัดครั้งที่ 3



รูปที่ ๓-3 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัด โดยวิธี McCabe-THIELE ของธาตุ Gd สำหรับการสกัดครั้งที่ 2



รูปที่ ๑-5 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัด โดยวิธี McCabe-Thiele ของธาตุ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 2



รูปที่ ๑-6 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของหอสกัด โดยวิธี McCabe Thiele ของธาตุ Y สำหรับการสกัดครั้งที่ 3