

<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ</b>	
1.1	ความจำกัดของแหล่งทรัพยากร	4
1.2	การใช้ประโยชน์แหล่งทรัพยากรอย่างบูรณาการ	6
1.3	บทบาทของวิศวกรรมและเทคโนโลยี	10
<b>บทที่ 2</b>	<b>แหล่งทรัพยากรและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน</b>	<b>17</b>
2.1	การพัฒนาที่ยั่งยืน	18
2.2	การใช้แหล่งทรัพยากรและเทอร์โมไดนามิกส์	20
2.3	การใช้ประโยชน์ทรัพยากรอย่างยั่งยืนเชิงบูรณาการ	27
2.4	สถานภาพการใช้ประโยชน์แหล่งทรัพยากรธรณีและตัวชี้วัด	29
2.4.1	การประเมินสถานภาพการใช้ประโยชน์แหล่งทรัพยากรธรณี	29
2.4.2	ตัวชี้วัดสถานภาพการใช้ประโยชน์แหล่งทรัพยากรธรณี	31
2.5	การบริโภคทรัพยากร	34
2.6	วงจรการผลิตของแหล่งทรัพยากร	38
2.7	การนำกลับมาใช้ใหม่และการสิ้นเปลืองแหล่งทรัพยากร	42
2.8	การนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่และการอนุรักษ์พลังงาน	44
<b>บทที่ 3</b>	<b>หลักการของการเก็บกลับคืนทรัพยากรและนำกลับมาใช้ใหม่</b>	<b>51</b>
3.1	การนำกลับมาใช้ใหม่กับการใช้ประโยชน์แหล่งทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ	52
3.2	ความจำเป็นของการเก็บคืนทรัพยากรและนำมาใช้ใหม่	54
3.3	การเก็บกลับคืนทรัพยากร	57
3.3.1	การเก็บกลับคืนวัสดุ	57
3.3.2	การเก็บกลับคืนพลังงาน	61
3.3.3	การเก็บกลับคืนของเหลวและน้ำ	62
3.4	การใช้ซ้ำและการนำมาใช้ใหม่	64
3.5	เกณฑ์และข้อจำกัดในการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่	66
3.5.1	เกณฑ์ในการเก็บกลับคืนทรัพยากร	66
3.5.2	ข้อจำกัดในการนำกลับมาใช้ใหม่	67
3.6	ระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่	68



3.7	การประเมินวัฏจักรชีวิตและการนำกลับมาใช้ใหม่	71
3.8	กระบวนการคัดแยกในการเก็บกลับคืนทรัพยากร	78
<b>บทที่ 4</b>	<b>การลดขนาดและคัดขนาดในกระบวนการเก็บกลับคืน</b>	<b>83</b>
4.1	การลดขนาด	84
4.1.1	กลไกของการแตกหัก	84
4.1.2	การใช้พลังงานในการลดขนาด	86
4.1.3	ความสัมพันธ์ของพลังงานและการลดขนาด	90
4.1.4	การหาค่าดัชนีกำลังงาน	92
4.1.5	การกระจายของขนาดที่ได้จากการลดขนาด	93
4.1.6	ความสัมพันธ์ของมวลสมดุลและการกระจายของขนาด	98
4.1.7	การออกแบบกระบวนการลดขนาด	106
4.1.8	ประเภทของอุปกรณ์ลดขนาด	108
4.1.9	การเลือกใช้และออกแบบกำหนดขนาดเครื่องลดขนาด	115
4.2	การคัดขนาดด้วยตะแกรง	124
4.2.1	กระบวนการคัดขนาดด้วยตะแกรง	124
4.2.2	พื้นตะแกรงและพื้นที่ช่องเปิด	127
4.2.3	ประเภทของตะแกรงคัดขนาด	127
4.2.4	ประสิทธิภาพของการคัดขนาดด้วยตะแกรง	129
4.2.5	ปริมาณวัสดุไหลวนซ้ำในการคัดขนาด	132
4.2.6	การออกแบบตะแกรงคัดขนาด	135
4.3	การคัดพวกโดยไฮโดรไซโคลน	140
4.3.1	การเคลื่อนที่ของอนุภาคในไฮโดรไซโคลน	143
4.3.2	ความสัมพันธ์ของ $d_{50}$	144
4.3.3	การออกแบบไฮโดรไซโคลน	147
4.3.4	แบบจำลองของไฮโดรไซโคลน	163
4.3.5	ประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลน	164
4.4	การคัดพวกแบบไหลข้ามใช้เกลียวลำเลียง	168
4.4.1	การทำงานและรูปแบบของอุปกรณ์คัดพวกแบบไหลข้าม	169
4.4.2	การตกตัวของอนุภาคแร่หรือวัสดุในอ่าง	170
4.4.3	การออกแบบกำหนดขนาดเครื่องคัดพวกแบบไหลข้ามชนิดเกลียวลำเลียง	171



<b>บทที่ 5</b>	<b>การตัดแยกทางกายภาพ</b>	<b>177</b>
5.1	การตัดแยกและเส้นโค้งแห่งการตัดแยก	178
5.1.1	มวลสมดุลในการตัดแยก	182
	(1) การปรับแก้มวลสมดุล	184
	(2) การรายงานผลมวลสมดุล	187
5.1.2	การวิเคราะห์ความสามารถในการตัดแยก	188
	(1) การตัดแยกด้วยขนาด	189
	(2) การตัดแยกด้วยความถ่วงจำเพาะ	190
	(3) การตัดแยกด้วยอำนาจแม่เหล็ก	193
	(4) การตัดแยกด้วยการลอย	193
5.1.3	ประสิทธิภาพในการตัดแยก	195
	(1) ประสิทธิภาพรวม	195
	(2) ประสิทธิภาพเชิงขนาด	197
	(3) ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและการกระจายขนาด	199
	(4) ประสิทธิภาพปรับแก้ของการคัดขนาด	201
	(5) ประสิทธิภาพปรับแก้โดยใช้การประมาณการด้วยสมการ	205
5.2	การตัดแยกด้วยคุณสมบัติทางกายภาพ	210
5.2.1	การตัดแยกด้วยแม่เหล็กและไฟฟ้า	210
	(1) การตัดแยกด้วยกระแสไฟฟ้าวน	210
	(2) การตัดแยกด้วยอำนาจแม่เหล็ก	220
	(3) การตัดแยกโดยอำนาจไฟฟ้าสถิตและไฟฟ้าแรงสูง	228
5.2.2	การตัดแยกด้วยความหนาแน่น	238
	(1) การตัดแยกโดยการเคลื่อนที่ในชั้นวัสดุตัวกลางและขึ้นลงในแนวตั้ง	240
	(2) การตัดแยกโดยการเคลื่อนที่ในของเหลวหรือน้ำเป็นชั้นบางในแนวราบ	246
	(3) การตัดแยกโดยการลอยและจม	250
	(4) การตัดแยกด้วยกระแสการเคลื่อนที่ของอากาศ	263
5.2.3	การแยกระหว่างสถานะของแข็งและของเหลว	267
	(1) การรวมกลุ่มและการเกาะกลุ่ม	267
	(2) การตกตะกอน	275
	(3) การกรองแยก	291



5.2.4	การตัดแยกพวก	303
	(1) อุปกรณ์ตัดแยกอัตโนมัติด้วยแสง	305
	(2) อุปกรณ์ตัดแยกอัตโนมัติด้วยรังสีเอกซ์	306
	(3) อุปกรณ์ตัดแยกอัตโนมัติด้วยกัมมันตรังสี	307
	(4) อุปกรณ์ตัดแยกอัตโนมัติด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	307

<b>บทที่ 6</b>	<b>การคัดแยกด้วยการลอย</b>	<b>311</b>
6.1	พื้นฐานการลอยแร่และวัสดุ	312
6.1.1	คุณสมบัติของแร่และวัสดุในการลอย	312
6.1.2	พฤติกรรมของพื้นผิวสัมผัส	315
6.2	สารเคมีปรับสภาพในการลอย	317
6.3	สมดุลของแรงในระบบการลอย	325
6.4	กลไกของการลอย	328
6.4.1	เวลาเหนี่ยวนำ	329
6.4.2	การเกาะตัวของฟองอากาศกับอนุภาค	330
6.5	จลนศาสตร์ของการลอย	332
6.5.1	การหาปริมาตรห้องลอยที่เหมาะสม	333
6.5.2	สมการของอัตราเร็วในการลอย	335
6.5.3	ผลกระทบของขนาดอนุภาค	336
6.5.4	อัตราเร็วในการลอยในการทำงานต่อเนื่อง	337
6.6	การออกแบบเชิงกลของการลอย	340
6.7	ประเภทและสมรรถนะของเครื่องลอย	343
6.8	การออกแบบวงจรการลอย	346
6.8.1	วงจรการลอยพื้นฐาน	347
6.8.2	วงจรการบัดในการลอย	349
6.9	การประยุกต์การลอยในการแยกวัสดุอื่น	352
6.9.1	การลอยกำจัดผงหมึกพิมพ์จากกระดาษ	352
6.9.2	การลอยพลาสติก	353

<b>บทที่ 7</b>	<b>การแยกและเก็บกลับคืนโดยกระบวนการทางเคมี</b>	<b>357</b>
7.1	เสถียรภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารประกอบ	358



7.2	การทำละลาย	364
7.2.1	ข้อพิจารณาด้านจลนศาสตร์ของการทำละลาย	367
7.2.2	ขั้นตอนในการทำละลาย	368
7.3	กระบวนการทางความร้อน	377
7.3.1	ผลของกระบวนการทางความร้อนในกระบวนการเก็บกลับคืน	377
7.3.2	การเผาผลาญ	378
7.4	การแยกสกัดด้วยธาตุกลุ่มฮาโลเจน	379
<b>บทที่ 8</b>	<b>เศรษฐศาสตร์และการวางแผนโครงการในการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่</b>	<b>389</b>
8.1	หลักการทางเศรษฐศาสตร์ในการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่	390
8.1.1	กลไกของตลาดในการนำกลับมาใช้ใหม่	390
8.1.2	อุปสงค์และอุปทาน	392
8.1.3	ค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงต่อหน่วยการผลิตที่เพิ่มขึ้น	396
8.2	เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	399
8.2.1	ต้นทุนหรือมูลค่ารวมรายปี	401
8.2.2	ค่าใช้จ่ายที่หลีกเลี่ยงได้	402
8.2.3	ต้นทุนวัฏจักรชีวิต	404
8.3	การวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเลือกการลงทุน	408
8.4	การวางแผนและออกแบบโครงการ	415
8.5	การประมาณราคาค่าใช้จ่ายลงทุนและค่าใช้จ่ายในการทำงานเบื้องต้น	425
8.5.1	ค่าใช้จ่ายลงทุน	425
8.5.2	ค่าใช้จ่ายทำงาน	427
<b>บทที่ 9</b>	<b>การเก็บกลับคืนทรัพยากรและนำกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรม</b>	<b>431</b>
9.1	โลหะนอกกลุ่มเหล็ก	432
9.1.1	อะลูมิเนียม	432
9.1.2	ทองแดง	436
9.1.3	สังกะสี	438
9.1.4	แทนทาลัมและไนโอเบียม	439
9.1.5	แคดเมียม	442



9.2	โลหะมีค่า	446
9.2.1	ทองคำและเงินจากตะกรันทุติยภูมิจากกระบวนการทำทองคำให้บริสุทธิ์	446
9.2.2	โลหะกลุ่มแพลทินัม (PGM)	449
9.3	แก้ว	452
9.4	ซากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	455
9.4.1	ซากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ประจำบ้าน และเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์	455
9.4.2	ซากโทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่	465
9.4.3	ซากหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์	467
9.5	พลาสติกและซากบรรจุภัณฑ์	469
9.5.1	พลาสติก	469
9.5.2	ซากบรรจุภัณฑ์	479
9.6	ซากรถยนต์ที่หมดอายุใช้งาน (End-of-Life Vehicles, ELV)	481
9.6.1	ซากรถยนต์ที่หมดอายุใช้งาน	485
9.6.2	ซากแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	487
9.7	ซากเศษเหลือทิ้งอื่น ๆ	490
9.7.1	กระดาษพิมพ์เก่า	490
9.7.2	แผ่นยิปซัมจากการรีไซเคิลหรือหมดการใช้งาน	491
9.7.3	ฮัมโมเนียมซัลเฟตและแคลเซียมคาร์บอเนตจากกากยิปซัมสังเคราะห์	492
9.7.4	แอนติโมนีไดรอกไซด์	493
9.7.5	วัสดุพลอยได้จากการเผาถ่านหิน	496



ตารางที่ 1.1-1	ประมาณการอายุใช้งานของแหล่งทรัพยากรธรณีที่เป็นแหล่งสำรองที่ทราบปริมาณ (reserve) ที่สามารถนำมาใช้ได้เชิงพาณิชย์ทั่วโลกในปัจจุบัน	5
ตารางที่ 1.1-2	ประมาณการอายุใช้งานของแหล่งทรัพยากรธรณีที่เป็นแหล่งที่มีศักยภาพ (resource) ทั่วโลกในปัจจุบัน	6
ตารางที่ 2.2-1	ผลผลิตและประมาณการกากของเสียเหลือทิ้งต่อปีจากการผลิตโลหะและแร่สำคัญ	26
ตารางที่ 2.4.1-1	กรอบแนวคิด Pressure-State-Response ที่เป็นแนวทางในการประเมินสถานภาพการใช้ประโยชน์แหล่งทรัพยากรธรณี	30
ตารางที่ 2.5-1	อายุใช้งานเป็นปีที่ลดลงของแหล่งทรัพยากรที่มีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นในอัตราต่าง ๆ	37
ตารางที่ 2.8-1	พลังงานที่ใช้ในการผลิตโลหะจากสินแร่จากแหล่งปฐมภูมิ	44
ตารางที่ 2.8-2	พลังงานที่ประหยัดได้ต่อหน่วยของวัสดุที่เก็บกลับคืนได้จากขยะมูลฝอย	45
ตารางที่ 2.8-3	พลังงานที่ประหยัดได้ต่อหน่วยของโลหะที่เก็บกลับคืนได้	45
ตารางที่ 2.8-4	พลังงานที่ใช้และการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตโลหะอะลูมิเนียมจากสินแร่และเศษวัสดุเหลือทิ้งที่เก็บกลับคืนมาใช้ใหม่	46
ตารางที่ 3.1-1	วิธีการใช้ประโยชน์แหล่งทรัพยากรธรณีอย่างมีประสิทธิภาพ	52
ตารางที่ 3.3.1-1	ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นและอัตราการเก็บกลับคืนวัสดุ	58
ตารางที่ 3.3.1-2	ประมาณการอัตราการเกิดของเสียวัตถุอันตรายของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2550-2565 (ต้นต่อปี)	58
ตารางที่ 3.3.1-3	อัตราการเก็บกลับคืนจากของเสียวัตถุอันตรายที่เกิดขึ้นในชุมชน	59
ตารางที่ 3.3.1-4	ประมาณการเกิดกากอุตสาหกรรมในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (พ.ศ. 2545)	60
ตารางที่ 3.7-1	การใช้พลังงาน การปลดปล่อยมลพิษและกากของเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของอะลูมิเนียม	73
ตารางที่ 3.7-2	กลุ่มของผลกระทบสิ่งแวดล้อมพื้นฐานที่เกิดจากการปลดปล่อยมลสาร	77
ตารางที่ 3.7-3	ดัชนีค่ามาตรฐานสำหรับผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming Potentials, GWP)	78
ตารางที่ 4.1.2-1	ค่าดัชนีกำลังงานโดยทั่วไปของวัสดุและแร่	88
ตารางที่ 4.1.2-2	การใช้พลังงานโดยเปรียบเทียบในการลดขนาดของอุปกรณ์ลดขนาดโดยทั่วไป	89
ตารางที่ 4.1.6-1	พารามิเตอร์การแตกหักโดยทั่วไป	100



ตารางที่ 4.1.8-1	สรุปลักษณะและข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์ลดขนาดประเภทย่อยหายบ	111
ตารางที่ 4.1.9-1	แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ลดขนาดแบบฉีกตัดความเร็วต่ำ แรงบิดสูง ที่มีจำหน่ายในตลาด	115
ตารางที่ 4.1.9-2	กำลังงานที่แกนเพลลาขับของหม้อบดแบบทอนกลมเป็นแรงม้า	121
ตารางที่ 4.1.9-3	กำลังงานที่แกนเพลลาขับของหม้อบดแบบลูกกลมเป็นแรงม้า	122
ตารางที่ 4.2.1-1	โอกาสการลอดผ่านรูตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมของเม็ดวัสดุทรงกลม	125
ตารางที่ 4.2.2-1	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ช่องเปิดตามขนาดความกว้างของเส้นลวดและขนาดรูเปิด	127
ตารางที่ 4.2.5-1	แสดงการคำนวณมวลสมดุลที่ระอบของการคัดขนาดในวงจรปิด เมื่อประสิทธิภาพของการคัดขนาดด้วยตะแกรงเท่ากับ 0.9 (90%)	133
ตารางที่ 4.2.6-1	ตารางตัวปรับค่า F ในการหาขนาดพื้นที่ตะแกรง	136
ตารางที่ 4.2.6-2	ตัวปรับค่าวัสดุหายบ วัสดุละเอียด และประสิทธิภาพของการคัดขนาดด้วย ตะแกรง	137
ตารางที่ 4.2.6-3	ตารางตัวปรับค่าอื่น ๆ	137
ตารางที่ 4.3.3-1	ประมาณการตัวปรับค่าขนาดการกระจายขนาดในส่วนล้นที่ต้องการเป็น ขนาดจุดตัด	152
ตารางที่ 4.4.3-1	ข้อมูลพื้นฐานของเครื่องคัดพวกแบบไหลข้ามใช้เกลียวลำเลียง จากผู้ผลิต	173
ตารางที่ 5.1.1-1	การกระจายของโลหะอะลูมิเนียมในวัสดุช่วงขนาดต่าง ๆ	188
ตารางที่ 5.1.1-2	มวลสมดุลของการลอยแร่ซิลิไนต์	188
ตารางที่ 5.1.2-1	ขนาดของตะกอนหางแร่แบไรต์ ( $BaSO_4$ ) ในปอดกตะกอนและการกระจาย ของแบไรต์	189
ตารางที่ 5.1.2-2	ของเหลวเข้มข้นหนักที่ใช้ในการทดลองแยกส่วนลอยและจม	190
ตารางที่ 5.1.2-3	ตัวอย่างผลการทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการคัดแยกด้วยการลอย โดยการวิเคราะห์การหลุดแยก	194
ตารางที่ 5.1.3-1	การคำนวณหาประสิทธิภาพการคัดแยกเชิงขนาดจากค่าประสิทธิภาพรวม และการกระจายของขนาดส่วนหายบ (UF) และส่วนละเอียด (OF)	200
ตารางที่ 5.1.3-2	การคำนวณหาปริมาณของแข็งที่ออกทางส่วนหายบหรือส่วนชั้น $R_{\text{underflow}}$ จากลมการ	207
ตารางที่ 5.1.3-3	ประมาณการปริมาณของแข็งที่ถูกคัดออกไปทางส่วนหายบของเครื่อง คัดขนาดแบบสไปรอลจากสมการ	209
ตารางที่ 5.2.1-1	ความเหนียวนำไฟฟ้าและความหนาแน่นของวัสดุชนิดต่าง ๆ	214





ตารางที่ 5.2.1-2	กระบวนการตัดแยกที่ใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ	228
ตารางที่ 5.2.2-1	อัตราการทำงานโดยทั่วไปของจิ๊ก	245
ตารางที่ 5.2.2-2	ตัวแปรในการทำงานของโต๊ะสัน	248
ตารางที่ 5.2.2-3	ผลวิเคราะห์และปริมาณเก็บได้ของโลหะมีค่าจากการแยกโดยโต๊ะสันในการเก็บกลับคืนโลหะมีค่าจากตะกรันหุติยภูมิจากการทำทองคำให้บริสุทธิ์	250
ตารางที่ 5.2.2-4	วัสดุตัวกลางในเตรียมมัชฉิมหนัก	253
ตารางที่ 5.2.2-5	สัดส่วนของเฟอร์โรซิลิกอน น้ำ และวัสดุหรือแร่ที่ป้อนที่เหมาะสมในการแยกด้วยไซโคลนมัชฉิมหนัก	259
ตารางที่ 5.2.2-6	อัตราการทำงานของไซโคลนมัชฉิมหนักขนาดต่าง ๆ	260
ตารางที่ 5.2.2-7	การแยกวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้และวัสดุที่เผาไหม้ได้จากขยะมูลฝอยด้วยกระแสอากาศโดยทั่วไป	264
ตารางที่ 5.2.4-1	อัตราการตัดแยกด้วยมือและประสิทธิภาพการเก็บได้	304
ตารางที่ 6.2-1	บัญชีสารเคมีที่ใช้โดยทั่วไปในการปรับสภาพผิวหน้าเม็ดแร่และวัสดุในการลอย	325
ตารางที่ 6.3-1	ความยากง่ายในการเปียกน้ำของเม็ดอนุภาคแร่บางชนิด	328
ตารางที่ 6.7-1	ข้อมูลสมรรถนะการทำงานของเครื่องลอย	345
ตารางที่ 7.2.2-1	สารประกอบของธาตุโลหะที่ไม่ละลายและตกตะกอนจากสารละลายได้	376
ตารางที่ 8.1.3-1	การประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะชุมชนโดยมีและไม่มี การเก็บกลับคืนคัดแยกนำกลับมาใช้ใหม่ของเทศบาล	399
ตารางที่ 8.2.3-1	การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งวัฏจักรชีวิตโครงการผลิตแร่จากแหล่ง	406
ตารางที่ 8.2.3-2	การคำนวณมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดของเครื่องลดขนาด	407
ตารางที่ 8.3-1	ผลตอบแทนการลงทุนกรณีไม่มีรายได้จากการขายวัสดุที่คัดแยกได้	411
ตารางที่ 8.3-2	ผลตอบแทนการลงทุนกรณีที่มีรายได้จากการขายวัสดุที่คัดแยกได้	412
ตารางที่ 8.3-3	การวิเคราะห์ทางการเงินโครงการคัดแยกและปรับปรุงคุณภาพซากหลอดฟลูออเรลเซนซ์เพื่อการเก็บกลับคืนทรัพยากรและนำกลับมาใช้ใหม่	414
ตารางที่ 8.4-1	ตัวอย่างประมาณการค่าใช้จ่ายลงทุนเบื้องต้น โครงการเก็บกลับคืนโลหะมีค่าจากซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์	425
ตารางที่ 8.5.1-1	แนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายลงทุนเบื้องต้น	426
ตารางที่ 8.5.2-1	แนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายทำงาน	428
ตารางที่ 9.1.1-1	ปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตอะลูมิเนียม	433



ตารางที่ 9.1.1-2	เศษโลหะอะลูมิเนียมและโลหะผสมอะลูมิเนียมที่ใช้ในการหลอมแยกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยทั่วไป	435
ตารางที่ 9.4.1-1	ปริมาณโลหะและวัสดุที่เป็นส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้าประจำบ้านโดยทั่วไปเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก	456
ตารางที่ 9.4.1-2	ระบบการจัดการซากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศเกาหลีใต้	459
ตารางที่ 9.5.1-1	ประเภทของพลาสติกที่ใช้ในอุปกรณ์เครื่องใช้ประจำวัน	470
ตารางที่ 9.5.1-2	ความหนาแน่นของพลาสติกประเภทต่าง ๆ	473
ตารางที่ 9.5.1-3	วิธีการคัดแยกพลาสติกออกจากพลาสติกตามคุณสมบัติ	474
ตารางที่ 9.5.1-4	สารเคมีเคลือบผิวที่มีการใช้ทดลองในการลอยแยกพลาสติก	476
ตารางที่ 9.7.5-1	องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของซีโนสเฟียร์	498



รูปที่ 1.1-1	สมดุลการผลิต การใช้ การเก็บกลับคืน และการทิ้งโลหะอะลูมิเนียม	4
รูปที่ 1.2-1	วงจรการผลิตและการบริโภคเครื่องใช้และอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีมาตรการและกฎระเบียบต่าง ๆ กำกับในปัจจุบัน	8
รูปที่ 1.2-2	พลังงานที่ใช้ในการผลิตโลหะจากสินแร่	10
รูปที่ 1.3-1	วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเทคโนโลยีการนำกลับมาใช้ใหม่ในแต่ละ ขั้นตอน	13
รูปที่ 2.2-1	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการแปรรูปทรัพยากรไปเป็นผลิตภัณฑ์ และของเสีย	25
รูปที่ 2.4.1-1	กรอบแนวคิด Pressure-State-Response ในการใช้ประโยชน์ แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ	30
รูปที่ 2.5-1	ปริมาณการผลิตหรือบริโภคทรัพยากรจากแหล่งตามระยะเวลา	35
รูปที่ 2.5-2	การบริโภคทรัพยากรที่เพิ่มขึ้นในอัตราเอกซ์โพเนนเชียล	35
รูปที่ 2.6-1	ปริมาณการบริโภคทรัพยากรสะสมจากแหล่ง	39
รูปที่ 2.6-2	ปริมาณการผลิตทรัพยากรจากแหล่งเพื่อบริโภค	40
รูปที่ 2.6-3	เส้นโค้งการผลิตแบบ Gaussian ที่มีอัตราการเพิ่มแบบเอกซ์โพเนนเชียล	42
รูปที่ 3.2-1	วงจรการใช้ประโยชน์แหล่งทรัพยากร	55
รูปที่ 3.2-2	วัฏจักรการผลิตและการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่	56
รูปที่ 3.3.3-1	แผนผังวงจรแสดงการปรับปรุงคุณภาพน้ำล้างแผ่นเหล็กรีร้อนเพื่อนำกลับ มาใช้ใหม่	63
รูปที่ 3.7-1	วัฏจักรการผลิต การใช้ และการนำกลับมาใช้ใหม่ของอะลูมิเนียม	72
รูปที่ 3.7-2	ทางเลือกในการจัดการซากผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุใช้งาน	74
รูปที่ 3.7-3	ตัวอย่างผลการประเมินวัฏจักรชีวิตทางเลือกในการจัดการซาก	75
รูปที่ 3.7-4	วัฏจักรของการผลิตและการบริโภค	75
รูปที่ 3.8-1	กระบวนการคัดแยกและปรับปรุงคุณภาพในการเก็บกลับคืนทรัพยากร และนำกลับมาใช้ใหม่	80
รูปที่ 4.1.1-1	แสดงการเคลื่อนตัวของรอยแตกในก้อนวัสดุเมื่อได้รับพลังงาน	85
รูปที่ 4.1.1-2	แสดงลักษณะการแตกของวัสดุเมื่อได้รับพลังงานขนาดต่าง ๆ กัน	86
รูปที่ 4.1.1-3	แสดงการกระจายของขนาดวัสดุที่แตกตามรูปที่ 4.1.1-2	86
รูปที่ 4.1.2-1	แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการลดขนาด	87
รูปที่ 4.1.2-2	พลังงานในการลดขนาดโดยทั่วไปที่เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดวัสดุเล็กลง	89



รูปที่ 4.1.5-1	แสดงวิธีการสร้างกราฟการกระจายของขนาดตามวิธีชูมานน์ (Shumann plot)	93
รูปที่ 4.1.5-2	การกระจายขนาดของพลาสติกที่ได้จากการลดขนาด สร้างกราฟตามวิธีโรซิน แรมเลอร์	94
รูปที่ 4.1.5-3	การกระจายขนาดโรซิน แรมเลอร์ที่ $n = 1$	95
รูปที่ 4.1.5-4	การกระจายของขนาดวัสดุหลังการลดขนาดประมาณการโดยสร้างกราฟตามวิธีชูมานน์	96
รูปที่ 4.1.5-5	แสดงการกระจายของขนาดวัสดุประเภทต่าง ๆ ในขณะชุมชนเมื่อผ่านการลดขนาดขั้นต้น	98
รูปที่ 4.1.6-1	แสดงฟังก์ชันการแตกหักเมื่อสร้างเป็นกราฟตามปริมาณมวลค้างตะแกรงและสะสมตามขนาดสัมพัทธ์	
รูปที่ 4.1.7-1	ขั้นตอนการออกแบบแผนผังวงจรถูกกำหนดขนาดอุปกรณ์ลดขนาด	107
รูปที่ 4.1.8-1	ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ลดขนาดแบบค้อนหรือใบมีดเหวี่ยง	109
รูปที่ 4.1.8-2	การลดขนาดซากกรดยนต์ด้วยเครื่องลดขนาดแบบตัดเฉือน	110
รูปที่ 4.1.8-3	ลักษณะของใบมีดของอุปกรณ์ลดขนาดแบบตัดเฉือน	110
รูปที่ 4.1.8-4	ลักษณะเครื่องบดแบบทอนกลม	113
รูปที่ 4.1.8-5	ลักษณะเครื่องบดแบบลูกกลม	114
รูปที่ 4.2.3-1	แสดงลักษณะการทำงานของตะแกรงคัดโค้ง (sieve bend)	128
รูปที่ 4.2.3-2	ตะแกรงสันความถี่สูง	129
รูปที่ 4.2.3-3	ตะแกรงหมุน	129
รูปที่ 4.2.4-1	เส้นโค้งการกระจายของขนาดที่ผ่านตะแกรงในเงื่อนไขอุดมคติและการทำงานจริง	130
รูปที่ 4.2.4-2	การกระจายขนาดของวัสดุบด วัสดุหยาบ และวัสดุละเอียด	131
รูปที่ 4.2.6-1	อัตราการทำงานพื้นฐานต่อหน่วยของตะแกรง	136
รูปที่ 4.3-1	ลักษณะโดยทั่วไปของไฮโดรไซโคลอน	141
รูปที่ 4.3-2	การเคลื่อนที่ของของผสมในไฮโดรไซโคลอน	142
รูปที่ 4.3.3-1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอนและความดันลดและอัตราการทำงาน (ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต AKW)	151
รูปที่ 4.3.3-2	ลักษณะการไหลของทางออกส่วนหยาบ	155
รูปที่ 4.3.3-3 (ก)	ชุดของไฮโดรไซโคลอนที่ออกแบบให้ทำงานร่วมกันสำหรับการคัดแยกขนาดที่ต้องการและอัตราการทำงานสูง	160



รูปที่ 4.3.3-3 (ข)	ชุดของไฮโดรไซโคลนที่ออกแบบให้ทำงานร่วมกันสำหรับการคัดแยกขนาดที่ต้องการและอัตราการทำงานสูง	161
รูปที่ 4.3.5-1	เส้นโค้งประสิทธิภาพการคัดขนาดในไฮโดรไซโคลน	166
รูปที่ 4.4.1-1	ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องคัดพวกแบบไหลข้ามใช้เกลียวลำเลียงสวนหยาบ (spiral classifier)	170
รูปที่ 4.4.2-1	ทิศทางความเร็วของอนุภาคในการตกตัวในอ่าง	170
รูปที่ 4.4.3-1	การประยุกต์ใช้เครื่องคัดพวกแบบไหลข้ามใช้เกลียวลำเลียงและไฮโดรไซโคลนในวงจรการล้างตะกอนเก็บกลับคินสารละลายตกค้างในกระบวนการทำละลาย	174
รูปที่ 5.1-1	กระบวนการคัดแยกวัสดุและแร่ที่มีประสิทธิภาพตามขนาด	179
รูปที่ 5.1-2	แสดงเส้นโค้งแห่งคุณสมบัติในการคัดแยกโดยทั่วไป	180
รูปที่ 5.1-3	หลักการพื้นฐานในการคัดแยกวัสดุ	180
รูปที่ 5.1-4	แสดงเส้นโค้งการคัดแยกของวัสดุหรือแร่ป้อนและส่วนที่คัดแยกได้	181
รูปที่ 5.1-5	ความยากง่ายในการคัดแยกวัสดุหรือแร่	182
รูปที่ 5.1-6	การตอบสนองต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของกลุ่มแร่ชายหาด	182
รูปที่ 5.1.1-1	การไหลของมวลวัสดุในการคัดแยก	183
รูปที่ 5.1.2-1	การกระจายของแบรด์ในตะกอนหางแร่จากบ่อดกตะกอนเศษหางแร่	189
รูปที่ 5.1.2-2	การวิเคราะห์การแยกส่วนลอยและจมของถ่านหิน	192
รูปที่ 5.1.2-3	การทดสอบการแยกส่วนลอยและจมของชิ้นส่วนซากเครื่องรับโทรศัพท์นึ่งที่ย่อยแล้วขนาด -9.5+1.65 มม.	192
รูปที่ 5.1.2-4	การกระจายของโลหะทองแดงในชิ้นส่วนซากเครื่องรับโทรศัพท์นึ่งตาม ถ.พ. ที่แยกส่วนลอยและจม	193
รูปที่ 5.1.2-5	กราฟแสดงเส้นโค้งแห่งการหลุดแยกในการวิเคราะห์ความสามารถในการคัดแยกด้วยการลอย	195
รูปที่ 5.1.3-1	มวลสมดุลของกระบวนการคัดแยกวัสดุ	196
รูปที่ 5.1.3-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $F_c(x)-F_f(x)$ และ $F(x)-F_f(x)$	197
รูปที่ 5.1.3-3	เส้นโค้งของประสิทธิภาพเชิงขนาดการคัดแยกตามการกระจายของขนาด	198
รูปที่ 5.1.3-4	การคัดแยกแร่ดินขาวโดยไฮโดรไซโคลนและจุดตัด	199
รูปที่ 5.1.3-5	ประสิทธิภาพการคัดแยกเชิงขนาด (partition efficiency) ของการคัดแยกโดยไฮโดรไซโคลนตามตัวอย่างที่ 5.1.3-1	201
รูปที่ 5.1.3-6	ประสิทธิภาพการคัดขนาดจริงและปรับแก้ (corrected) ของไฮโดรไซโคลน	205
รูปที่ 5.1.3-7	ประมาณการประสิทธิภาพการคัดขนาดด้วยสมการ	206



รูปที่ 5.1.3-8	สัดส่วนปริมาณที่ออกทางส่วนหยابและการกระจายขนาดจากการประมาณการโดยสมการ	208
รูปที่ 5.1.3-9	กราฟประสิทธิภาพการคัดขนาดจากข้อมูลจริงและการปรับแก้ด้วยสมการ	209
รูปที่ 5.2.1-1	การเกิดกระแสไฟฟ้าวนในชั้นส่วนกระเบื้องอะลูมิเนียมในสนามแม่เหล็ก	242
รูปที่ 5.2.1-2	ขนาดของชิ้นวัสดุที่สามารถแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยกระแสไฟฟ้าวน	213
รูปที่ 5.2.1-3	แกนหมุนแม่เหล็ก (magnetic rotor)	215
รูปที่ 5.2.1-4	การกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กในบริเวณผิวหน้าของพื้นที่มีแม่เหล็กวางเรียงสลับขั้ว	216
รูปที่ 5.2.1-5	ผลของอัตราการป้อนที่มีต่อปริมาณการเก็บได้ของโลหะอะลูมิเนียมจากขยะมูลฝอย	218
รูปที่ 5.2.1-6	การทำงานของเครื่องคัดแยกกระแสไฟฟ้าวนแบบสายพานและลูกกลิ้งแม่เหล็กหมุนแนวราบ	219
รูปที่ 5.2.1-7	แม่เหล็กไฟฟ้าตามตัวอย่างที่ 5.2.1-1	223
รูปที่ 5.2.1-8	เครื่องแยกสายพานแม่เหล็กวงขวาง	227
รูปที่ 5.2.1-9	หลักการของการแยกแม่เหล็กความเข้มสูงในรางหรือถังบรรจุตัวกลางลูกเหล็ก (หรือเส้นใยเหล็ก) ระหว่างขั้วแม่เหล็ก	227
รูปที่ 5.2.1-10	การแยกด้วยไฟฟ้าสถิตโดยการเหนี่ยวนำ	230
รูปที่ 5.2.1-11	การจัดวางอิเล็กทรอนิกส์ในการยิงประจุตัวนำที่ดี	231
รูปที่ 5.2.1-12	การเกิดแรงกระจายสะท้อน (image force) ในการแยกโดยไฟฟ้าสถิตและไฟฟ้าแรงสูง	233
รูปที่ 5.2.1-13	การแยกซ้ำโดยอุปกรณ์คัดแยกแบบไฟฟ้าแรงสูง	235
รูปที่ 5.2.1-14	เครื่องคัดแยกไฟฟ้าสถิตแบบลูกกลิ้ง	236
รูปที่ 5.2.1-15	เครื่องแยกไฟฟ้าสถิตแบบแผ่นแบน	236
รูปที่ 5.2.2-1	แสดงการทำงานของจิ๊ก	241
รูปที่ 5.2.2-2	การตกตัวโดยอิสระของเม็ดวัสดุในระยะแรกเริ่ม	242
รูปที่ 5.2.2-3	การตกตัวที่ไม่อิสระในสภาพแวดล้อมที่มีความเร็วสวนขึ้น	243
รูปที่ 5.2.2-4	การจัดเรียงตัวของเม็ดอนุภาควัสดุในช่วงสุดท้าย	244
รูปที่ 5.2.2-5	การแยกในชั้นวัสดุตัวกลาง	245
รูปที่ 5.2.2-6	ลักษณะโดยทั่วไปของโต๊ะสั่น	247
รูปที่ 5.2.2-7	การแยกกลุ่มโลหะออกจากตะกรันทุติยภูมิจากกระบวนการทำให้ทองคำบริสุทธิ์ในการเก็บกลับคืนโลหะมีค่า	249
รูปที่ 5.2.2-8	การคัดแยกด้วยวิธีมีขั้วหมักโดยเครื่องแยกแบบต่าง ๆ	255



รูปที่ 5.2.2-9	เครื่องแยกมีขั้วนิมหันที่ประเภทตัวกลางนิ่ง (แบบตั้ง) และประเภทตัวกลางเคลื่อนไหว (แบบไซโคลน)	256
รูปที่ 5.2.2-10	วงจรการเก็บเพชรด้วยการแยกมีขั้วนิมหัน	257
รูปที่ 5.2.2-11	วงจรการแยกแร่หรือวัสดุด้วยไซโคลนมีขั้วนิมหัน	261
รูปที่ 5.2.2-12	ผลจากการแยกวัสดุจากขยะมูลฝอยด้วยกระแสอากาศ	264
รูปที่ 5.2.3-1	ลักษณะระนาบไฟฟ้าสองชั้น (electrical double layer)	267
รูปที่ 5.2.3-2	ความต่างศักย์ที่ pH ต่าง ๆ และจุดไอประจุ	269
รูปที่ 5.2.3-3	อิทธิพลของความต่างศักย์ซีตาและจุดที่มีประจุเป็นกลางในการลอยแร่ เกอไทต์ (Goethite)	271
รูปที่ 5.2.3-4	การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ซีตาเมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ลงในของผสม	272
รูปที่ 5.2.3-5	ความสัมพันธ์ระหว่างการตกตัวของอนุภาคของแข็งและเวลาในท่อกลม	274
รูปที่ 5.2.3-6	ความสัมพันธ์ความเร็วในการตกตัวและความเข้มข้นในของผสม	275
รูปที่ 5.2.3-7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $h/w_A$ กับ $v/w_A$	276
รูปที่ 5.2.3-8	มวลสมมูลในถังตกตะกอน	277
รูปที่ 5.2.3-9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตกตัวและความเจือจาง	278
รูปที่ 5.2.3-10	การไหลออกของส่วนชั้นและชั้นที่มีความชันต่าง ๆ ในถังตกตะกอน	279
รูปที่ 5.2.3-11	ความสัมพันธ์ของความเจือจางของส่วนชั้น (Du) และความเร็วที่เกิดจากไหลออกที่จุดใด ๆ	280
รูปที่ 5.2.3-12	การหาเวลาที่ชั้นตะกอนมีความหนาแน่นต่าง ๆ และความเร็วตกตัวของชั้นตะกอน	280
รูปที่ 5.2.3-13	ความเปลี่ยนแปลงของโซนที่ตะกอนตกสะสมตัวตามเวลา	285
รูปที่ 5.2.3-14	ลักษณะการตกตัวของตะกอนและการเข้าสู่โซนที่ตะกอนตกสะสมตัวแน่น (compression zone)	286
รูปที่ 5.2.3-15	ถังตกตะกอนทรงกลมแบบพื้นฐาน	290
รูปที่ 5.2.3-16	ถังตกตะกอน ก. แบบกรวยลึก (deep cone) และ ข. แบบแผ่นเอียง (lamellar)	291
รูปที่ 5.2.3-17	พื้นฐานของระบบการกรองแยก	292
รูปที่ 5.2.3-18	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำใสสะสมและเวลาในการกรองแยก	294
รูปที่ 5.2.3-19	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการกรองกับความชันและความเจือจางของผสมที่ป้อน	296
รูปที่ 5.2.3-20	เวลาที่ไม่มีกรองและคาบเวลาที่เหมาะสม	297
รูปที่ 5.2.3-21	ลักษณะการเรียงซ้อนของแผ่นรองรับของเครื่องกรองแยกโดยใช้แรงดัน	301



รูปที่ 5.2.3-22	ลักษณะของเครื่องกรองสูญญากาศแบบถังกลม	302
รูปที่ 5.2.3-23	ลักษณะของเครื่องกรองสูญญากาศแบบแผ่นกลมตั้ง	302
รูปที่ 5.2.3-24	การกรองสูญญากาศแบบสายพาน	303
รูปที่ 5.2.4-1	แสดงการทำงานของอุปกรณ์คัดแยกอัตโนมัติด้วยแสงอินฟราเรด	306
รูปที่ 5.2.4-2	ลักษณะการทำงานของระบบคัดแยกอัตโนมัติด้วยรังสีเอกซ์	307
รูปที่ 6.1.2-1	ลักษณะการดูดซึมของโมเลกุลสารเคลือบผิวบนผิวหน้าของเม็ดแร่หรือวัสดุ	316
รูปที่ 6.1.2-2	การเกาะติดของฟองอากาศกับผิวหน้าเม็ดแร่หรือวัสดุที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบผิว 2 ชั้นโมเลกุล	316
รูปที่ 6.2-1	การเรียงตัวและการยึดเกาะของประจุบริเวณผิวหน้าเม็ดแร่ฟลูออไรต์ โดยสารเคลือบผิวกลุ่มกรดไขมันที่ให้ประจุลบ	320
รูปที่ 6.2-2	การเรียงตัวและยึดเกาะของประจุบริเวณผิวหน้าของควอตซ์ โดยสารเคลือบผิวกลุ่มอะมีนที่ให้ประจุบวก	321
รูปที่ 6.2-3	ปริมาณของซิลิกาที่ลอยขึ้น แปรผันตามช่วง pH และชนิดของสารปรับสภาพผิว	323
รูปที่ 6.2-4	อิทธิพลของ pH ที่มีต่อปริมาณการเก็บได้ในการลอย	324
รูปที่ 6.3-1	แสดงสมดุลของแรงในระบบ 3 สถานะเมื่อวัสดุของแข็งอยู่ในน้ำและอากาศ แรงดึงระหว่างผิวจะสมดุลที่จุด 0	326
รูปที่ 6.3-2	ลักษณะของการยึดเกาะของฟองอากาศและอนุภาคในน้ำ	326
รูปที่ 6.3-3	การยึดเกาะของเม็ดวัสดุของแข็งกับฟองอากาศในสภาวะการไหลต่าง ๆ	327
รูปที่ 6.4.1-1	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเหนียวน้ำและค่ามุมสัมผัส	329
รูปที่ 6.5-1	ปริมาณการเก็บได้ตามเวลาในการลอย	333
รูปที่ 6.5.1-1	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการลอยและปริมาณเม็ดอนุภาคที่ลอยได้ที่เหลืออยู่ในห้องลอย	334
รูปที่ 6.5.1-2	อัตราเร็วในการลอยที่แตกต่างกันของอนุภาควัสดุสองชนิดที่ถูกลอยในสภาวะเดียวกัน	335
รูปที่ 6.5.3-1	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดอนุภาคและปริมาณการเก็บได้	336
รูปที่ 6.5.3-2	การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่อัตราเร็วตามขนาดเม็ดอนุภาค	337
รูปที่ 6.7-1	แสดงลักษณะของเครื่องลอยประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม	344
รูปที่ 6.8.1-1	วงจรการลอยแร่และวัสดุอย่างง่าย	
รูปที่ 6.8.1-2	วงจรการลอยที่มีวงจรลอยซ้ำค้ำค้ำและวงจรลอยสะอาดอยู่ในห้องเรียงแถวเดียวกัน	347





รูปที่ 6.8.1-3	แผนผังวงจรการลอยแบบเฉพาะเจาะจงในการลอยแร่ทองแดง สังกะสี ซัลไฟด์	349
รูปที่ 6.8.2-1	วงจรการบดละเอียดสำหรับการลอยที่ต้องการบดแร่และวัสดุ ให้มีขนาดละเอียดมากโดยหลีกเลี่ยงการบดมากเกินไป	350
รูปที่ 6.8.2-2	วงจรการบดละเอียดสำหรับการลอยโดยใช้เครื่องคั้ดขนาด 2 ครั้ง เพื่อควบคุมการกระจายขนาดหลีกเลี่ยงการบดมากเกินไป	351
รูปที่ 6.8.2-3	วงจรการบดซ้ำในวงจรการลอย	351
รูปที่ 7-1	การผลิตโทเทเนียมออกไซด์จากแร่โอลเมนไนต์ที่คั้ดแยกได้จากแร่ชายหาด	358
รูปที่ 7.1-1	เสถียรภาพของสารประกอบออกไซด์	362
รูปที่ 7.4-1	วงจรเทอร์โมไดนามิกส์ของปฏิกิริยาการแยกสกัดด้วยธาตุกลุ่มฮาโลเจน	380
รูปที่ 8.1.1-1	ราคาขั้นต่ำและปริมาณการผลิตส่วนเกินในตลาด	391
รูปที่ 8.1.2-1	อุปสงค์กระดาษเก่าที่นำกลับมาใช้ผลิตใหม่	392
รูปที่ 8.1.2-2	อุปทานกระดาษเก่าที่นำกลับมาใช้ผลิตใหม่	393
รูปที่ 8.1.2-3	อุปสงค์และอุปทานในตลาดของกระดาษเก่าที่นำกลับมาผลิตใหม่	394
รูปที่ 8.1.2-4	การเลื่อนขึ้นของเส้นอุปสงค์ เมื่อเพิ่มปริมาณความต้องการบริโภค	395
รูปที่ 8.1.2-5	การเลื่อนขึ้นของเส้นอุปทานเมื่อลดปริมาณความต้องการผลิต และขายในตลาด	396
รูปที่ 8.1.3-1	ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมและค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงต่อหน่วยการผลิต หรือการนำกลับมาใช้ใหม่ที่เพิ่มขึ้น	397
รูปที่ 8.4-1	แผนผังวงจรการเก็บกลับคืนสังกะสีจากกองแร่เหลือทิ้งและ มวลผสมมูลเบื้องต้น	422
รูปที่ 8.4-2	ตัวอย่างแผนการทำงานโครงการออกแบบระบบคั้ดแยกตะกอนผงเหล็ก และเก็บกลับคืนปรับปรุงคุณภาพน้ำล้างเพื่อหมุนเวียนใช้ใหม่ใน กระบวนการผลิตแผ่นเหล็กรีดร้อน	423
รูปที่ 9.1.1-1	แผนผังกระบวนการเก็บกลับคืนอะลูมิเนียมจากน้ำเสียจากกระบวนการ เตรียมผิวโลหะ	436
รูปที่ 9.1.3-1	ฝุ่นสังกะสีที่เกิดจากกระบวนการหลอมในเตาอาร์กไฟฟ้า (EAF)	439
รูปที่ 9.1.4-1	แผนผังกระบวนการการเก็บกลับคืนแทนทาลัมและไนโอเบียมจากตะกรัน จากการถลุงแร่ดีบุก	441
รูปที่ 9.2.1-1	กระบวนการทำทองคำให้บริสุทธิ์และการเกิดตะกรันทุติยภูมิ (secondary slag)	447



รูปที่ 9.2.1-2	การเก็บกลับคืนทองคำและเงินจากตะกรันทุติยภูมิโดยการละลายน้ำ การแยกโต๊ะสั้น และการแยกสกัดทางเคมี	448
รูปที่ 9.2.2-1	ส่วนประกอบของท่อไอเสียนยนต์โดยทั่วไป	449
รูปที่ 9.2.2-2	ลักษณะของโครงสร้างฐานและรังผึ้งของไส้กรองไอเสียนยนต์ แบบแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์	450
รูปที่ 9.2.2-3	ภาพถ่ายของหน้าตัด 1 ช่องรังผึ้งของไส้กรองไอเสียนยนต์ แบบแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์	450
รูปที่ 9.2.2-4	กระบวนการเก็บกลับคืนโลหะกลุ่มแพลทินัม (PGM) จากซากไส้กรองไอเสียนยนต์	451
รูปที่ 9.3-1	วงจรการคัดแยกปรับปรุงคุณภาพเศษแก้วจากขวดแก้ว เศษแก้วคละสี โดยทั่วไป	454
รูปที่ 9.4.1-1	แผนผังกระบวนการคัดแยกเก็บกลับคืนวัสดุจากซากเครื่องใช้ไฟฟ้า ของศูนย์เก็บกลับคืนวัสดุเพื่อนำมาใช้ใหม่แห่งหนึ่งในประเทศเกาหลีใต้	457
รูปที่ 9.4.1-2	ภาพถ่ายสายการถอดประกอบคัดแยกซากตู้เย็น	458
รูปที่ 9.4.1-3	ชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ที่ถอดแยกได้และโลหะทองแดงและเหล็ก ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก	458
รูปที่ 9.4.1-4	กระบวนการเก็บกลับคืนโลหะมีค่าจากซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์	464
รูปที่ 9.4.1-5	กระบวนการคัดแยกและเก็บกลับคืนโลหะมีค่าจากซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	465
รูปที่ 9.4.3-1	แสดงเครื่องตัดขั้วหลอดแบบตรงโดยใช้เปลวไฟแบบหนึ่ง	468
รูปที่ 9.4.3-2	แผนผังกระบวนการคัดแยกปรับปรุงคุณภาพซากหลอดไฟฟ้า ฟลูออเรสเซนต์	469
รูปที่ 9.5.1-1	กระบวนการเก็บพลาสติกกลับคืนมาใช้เป็นวัตถุดิบในการถลุงเหล็ก	472
รูปที่ 9.5.1-2	วิธีการนำพลาสติกกลับคืนมาใช้ใหม่และการคัดแยก	473
รูปที่ 9.5.1-3	การทำงานของจิ๊กแบบผสมในการคัดแยกพลาสติกที่มีความต่างจำเพาะ ใกล้เคียงกันมาก	475
รูปที่ 9.5.1-4	กลไกการลอยแยกพลาสติกและประสิทธิภาพการลอย	477
รูปที่ 9.5.1-5	การแยกพลาสติกออกจากพลาสติกด้วยวิธีตัวกลางมีขมิ้นหนักและการลอย	477
รูปที่ 9.5.1-6	การคัดแยกพลาสติกหุ้มสายไฟด้วยวิธีการให้ประจุโดยการสัมผัสขั้วลีสและ การแยกไฟฟ้าสถิต	478
รูปที่ 9.5.1-7	กระบวนการคัดแยกวัสดุจากซากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ของศูนย์คัดแยกมิตรชุบิชิอิคาชิยามา ประเทศญี่ปุ่น	479



รูปที่ 9.5.2-1	แผนผังกระบวนการคัดแยกปรับปรุงคุณภาพพลาสติก PET จากขวด บรรจุภัณฑ์	481
รูปที่ 9.6-1	แผนผังกระบวนการจัดการซากรถยนต์ที่หมดอายุใช้งาน	482
รูปที่ 9.6-2	ระบบการจัดการซากรถยนต์ของประเทศญี่ปุ่น	484
รูปที่ 9.6.1-1	เครื่องฉีกตัดยางรถยนต์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์	486
รูปที่ 9.6.2-1	กระบวนการคัดแยกเก็บกลับคืนตะกั่วจากซากแบตเตอรี่	489
รูปที่ 9.6.2-2	ภาพถ่ายเปลือกแบตเตอรี่ด้านบนที่ถูกตัด เครื่องเลื่อยอย่างง่าย เตาหลอมแบบนอนและโลหะตะกั่วทุติยภูมิ	490
รูปที่ 9.7.4-1	การแยกสกัดแอนติโมนีไดรอกไซด์จากแร่พลวงความบริสุทธิ์ต่ำ	495
รูปที่ 9.7.5-1	การคัดแยกวัสดุพลอยได้จากถ้ำลอย	497
รูปที่ 9.7.5-2	กระบวนการคัดแยกปรับปรุงคุณภาพถ้ำลอยคุณภาพสูง โดยไตรโบอิเล็กทรอนิกส์และไซโคลน	500

ขวัญชัย สีม่าพันธ์

การเก็บกลับคืนทรัพยากรและนำกลับมาใช้ใหม่ / ขวัญชัย สีม่าพันธ์

1. การนำกลับมาใช้ใหม่. 2. การอนุรักษ์พลังงาน. 3. การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ.

333.715

ISBN 978-974-03-2635-9

สพจ. 1440



สรรคุณเสาวิชาการ ผู้ดีใจคม  
www.ChulaPress.com  
Knowledge to All

เลขหมู่ 628.  
ย 14  
2553  
เลขทะเบียน 17687  
วันที่ 24/ค.ย./2553  
105422

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2553

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้นต้องได้รับ

อนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE  
สำนักหอสมุดฯ คณะวิทยาศาสตร์บริการ



1110012048

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

จัตุรัสจามจรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร.0-2160-5300-1 โทรสาร 0-2160-5304

CALL CENTER โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

เครือข่าย ศูนย์หนังสือ ม.วลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652

ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงราย จ.เชียงราย โทร. 0-5377-6000

ร้านหนังสือดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) रामคำแหง 43/1 โทร. 0-2538-2573

โทรสาร 0-2539-7091

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สยามสแควร์ ชั้น 14 โทร. 0-2218-9889-90

โทรสาร 0-2254-9495

กองบรรณาธิการ : ทศนีย์ ผิวขำ

พิสูจน์อักษร : ลิปิกา มณีญาณโรจน์

ออกแบบปก : วรภา อาสาสุ

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทร. 0-2218-3557 [5306-136/1,050(2)]

<http://www.cuprint.chula.ac.th>