

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
การเกิดแค้กจาโรไซด์ในกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี.....	4
โลหะหนักอินเดียม (Indium).....	5
การประยุกต์ใช้อินเดียม.....	6
การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction).....	6
ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดแยกโลหะหนัก.....	11
หลักการของเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (AAS).....	12
การทำปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis).....	15
การสกัดแยกโลหะโดยใช้ตัวสกัดด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	18
การสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid-phase extraction).....	19
ทฤษฎีการดูดซับ (Adsorption).....	21
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	23
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
อุปกรณ์.....	27
สารเคมี.....	27
การเตรียมสารละลายมาตรฐานอินเดียม.....	28
การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์.....	28
การเตรียมสารละลายรีเอเจนต์.....	30
การสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์.....	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	39
การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	39
การคืนกลับของอินเดียม.....	44
การหาปริมาณอินเดียมในแค้กจาโรไซต์ โดยการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก และสกัดด้วยD2EHPA ในตัวทำละลายเคโรซีน.....	44
การหาปริมาณอินเดียมในแค้กจาโรไซต์ โดยการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก และสกัดด้วยD2EHPA ในตัวทำละลายเคโรซีนและสกัดกลับคืน ด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	45
การตรวจสอบและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectrometer (SEM/EDS)...	47
การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง.....	53
การหาปริมาณอินเดียมในแค้กจาโรไซต์ โดยการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก และใช้อะเซติลอะซิโตนร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์.....	63
ประมาณการต้นทุนสารเคมีในการสกัดแยกอินเดียม.....	65
5 บทสรุป.....	68
ข้อเสนอแนะ.....	69
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	77
ประวัติผู้วิจัย.....	97

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ.....	21
2 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อพฤติกรรมดูดซับอินเดียมไอออน	24
3 อัตราส่วนการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 2.0 จากสารละลาย 0.20 โมลต่อลิตร กรดไฮโดรคลอริก และ 0.20 โมลต่อลิตร โพแทสเซียมคลอไรด์	29
4 อัตราส่วนการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.0-6.0 จากสารละลาย 0.10 โมลต่อลิตรกรดอะซิติก และ 0.10 โมลต่อลิตรโซเดียมอะซิเตท ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร.....	29
5 อัตราส่วนการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 จากสารละลาย 0.01 โมลต่อลิตรไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และ 0.01 โมลต่อลิตร ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตปริมาตร 100 มิลลิลิตร	29
6 ปริมาณอินเดียมที่ตรวจพบ จากการใช้สารละลายมาตรฐานอินเดียม ความเข้มข้น 4.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่า pH ต่าง ๆ กันและไม่ปรับค่า pH	39
7 ปริมาณอินเดียมที่ตรวจพบในสารละลายกรดไนตริก เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวสกัด (D2EHPA) ต่าง ๆ กัน.....	41
8 ปริมาณอินเดียมที่ตรวจพบ เมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกต่าง ๆ กัน..	43
9 ผลการย่อยเค็จากโรไซต์ด้วยกรดซัลฟิวริกและการสกัดแยกอินเดียมด้วยตัวสกัดด้วย D2EHPA ในตัวทำละลายเคโรซีน.....	45
10 ผลการสกัดแยกอินเดียมออกจากเค็จากโรไซต์ด้วย D2EHPA ในตัวทำละลายเคโรซีนและสกัดกลับคืนด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	46
11 ชนิดของธาตุที่พบ ค่าต่ำสุด-สูงสุดและค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนัก (wt%) ในเค็จากโรไซต์เริ่มต้น.....	48
12 ชนิดของธาตุที่พบ ค่าต่ำสุด-สูงสุดและค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์น้ำหนัก (wt%) ของกากตะกอน (Residue) หลังขั้นตอนการ Reflux เป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5.00 โมลต่อลิตร.....	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
13	ชนิดของธาตุที่พบ ค่าต่ำสุด-สูงสุดและค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนัก (wt%) ของกากของแข็งที่เกิดจากการสกัดกลับคืนด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	52
14	ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมของการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง จากการใช้สารละลายมาตรฐานอินเดียมความเข้มข้น 4.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	53
15	ปริมาณอินเดียมที่ตรวจพบ จากการใช้สารละลายมาตรฐานอินเดียมความเข้มข้น 4.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และสกัดด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็งที่ค่าความเข้มข้นของอะเซติลอะซิโตนต่าง ๆ กัน.....	54
16	ปริมาณอินเดียมที่ตรวจพบ จากการใช้สารละลายมาตรฐานอินเดียมความเข้มข้น 4.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และสกัดด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง ที่ค่าความเข้มข้นของ CTAB ต่าง ๆ กัน.....	56
17	ปริมาณอินเดียมที่ตรวจพบ จากการศึกษาชนิดของตัวชะ (Eluent) โดยใช้ความเข้มข้นของตัวชะที่ 4.00 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร.....	58
18	ปริมาณอินเดียมที่ตรวจพบ จากการศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ใช้เป็นตัวชะที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	59
19	ปริมาณอินเดียมที่ตรวจพบ เมื่อมีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวดูดซับในปริมาณต่างกัน.....	60
20	ปริมาณอินเดียมที่ตรวจพบ จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนสารละลายที่ต่าง ๆ กัน.....	62
21	ผลการสกัดแยกอินเดียมจากเค้กจาโรไซด์ โดยใช้อะเซติลอะซิโตนร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์.....	64
22	ต้นทุนสารเคมีการสกัดแยกอินเดียมไอออนด้วยเทคนิคการสกัดตัวทำละลาย.....	65
23	ต้นทุนสารเคมีการสกัดแยกอินเดียมไอออนด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง.....	66
24	ข้อมูลความเข้มข้นเริ่มต้นของอินเดียม เมื่อย่อยเค้กจาโรไซด์ 2.xxxx กรัมด้วยการชะย่อยด้วยกรด 4 ชนิด.....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
25	ตัวอย่างข้อมูลความเข้มข้นของอินเดียม เมื่อย่อยเค้กจาโรไซต์ 2.xxxx กรัม ด้วยกรดซัลฟิวริกและสกัดด้วย D2EHPA ในตัวทำละลายเคโรซีน.....	82
26	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอินเดียมเมื่อ ย่อยเค้กจาโรไซต์ 2.xxxx กรัม ด้วยกรดซัลฟิวริกและสกัดด้วย D2EHPA ในตัวทำละลายเคโรซีนและสกัดกลับคืนด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	83
27	ตัวอย่างข้อมูลความเข้มข้นของอินเดียม เมื่อย่อยเค้กจาโรไซต์ 2.xxxx กรัม ด้วยกรดซัลฟิวริกและใช้อะเซติลอะซิโตนร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์.....	86
28	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอินเดียม เมื่อย่อยเค้กจาโรไซต์ 2.xxxx กรัม ด้วยกรดซัลฟิวริกและใช้อะเซติลอะซิโตน ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์.....	87

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 การเกิดแค็กจาโรไซต์ในกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี	4
2 วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรวยแยก.....	7
3 โครงสร้างของ D2EHPA.....	10
4 องค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	13
5 กระบวนการเกิดอะตอมมิสระในเปลวไฟ.....	14
6 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น กับค่าการดูดกลืนแสง.....	16
7 การหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยวิธีการเติมสารละลายมาตรฐาน.....	17
8 ขั้นตอนการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid-Phase Extraction).....	20
9 ความน่าจะเป็นระหว่าง Indium-acetylacetonato complex กับ CTAB ในสารละลาย.....	26
10 การจัดเตรียมอุปกรณ์ในการกลั่นไหลกลับ (reflux).....	31
11 การสุ่มตัวอย่าง (sampling) แค็กจาโรไซต์.....	33
12 การจัดเตรียมอุปกรณ์ในการกลั่นลดความดัน	34
13 ขั้นตอนการแยกอินเดียมจากแค็กจาโรไซต์ด้วยกรดซัลฟิวริกและสกัด ด้วย D2EHPA.....	35
14 ขั้นตอนการแยกอินเดียมจากแค็กจาโรไซต์โดยการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง.....	38
15 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH กับร้อยละการคืนกลับของอินเดียม.....	40
16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มข้นของ D2EHPA กับร้อยละ การคืนกลับของอินเดียม.....	41
17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกกับร้อยละ.....	43
18 SEM/EDS สเปกตรัมของแค็กจาโรไซต์เริ่มต้น.....	47
19 SEM/EDS สเปกตรัมของกากตะกอน (Residue) หลังขั้นตอนการ Reflux เป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5.00 โมลต่อลิตร.....	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
20 SEM/EDS สเปกตรัมของกากของแข็งที่เกิดจากการสกัดกลับคืนด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	51
21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH กับร้อยละการคืนกลับของอินเดียม.....	53
22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของอะเซติลอะซิโตนกับร้อยละการคืนกลับของอินเดียม.....	55
23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มข้นของ CTAB กับร้อยละการคืนกลับของอินเดียม.....	57
24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดไนตริก (โมลต่อลิตร) กับค่าร้อยละการคืนกลับของอินเดียม.....	59
25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ (มิลลิกรัม) กับค่าร้อยละการคืนกลับของอินเดียม.....	61
26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ (มิลลิกรัม) กับค่าร้อยละการคืนกลับของอินเดียม.....	62
27 เหมืองเปิดแบบชั้นบันไดที่เหมืองผาแดง จังหวัดตาก.....	78
28 โครงสร้างของอะเซติลอะซิโตน (Acetylacetone) ชนิดไบเดนเทตลิแกนด์.....	79
29 โครงสร้างอะเซติลอะซิโตนจับกับอินเดียมไอออน.....	80
30 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานอินเดียม.....	81
31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Abs) กับ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอินเดียม เมื่อย่อยเค้กจาโรไซด์ด้วยกรดซัลฟิวริก และสกัดด้วย D2EHPA และสกัดกลับคืนด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	84
32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Abs) กับ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอินเดียม เมื่อย่อยเค้กจาโรไซด์ด้วยกรดซัลฟิวริก และใช้อะเซติลอะซิโตนร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์.....	87