

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ประเภทของเซรามิกและการประยุกต์ใช้งาน	1
1.2 กระบวนการผลิตทางเซรามิก	3
1.3 ลักษณะโครงสร้างของเซรามิก	4
1.4 อิเล็กโทรเซรามิก	5
1.5 เทคนิคการเตรียมสารอิเล็กโทรเซรามิก	5
1.6 เซลล์เชื้อเพลิงและแบตเตอรี่	8
1.7 ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LiCoO_2)	9
1.8 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	16
บทที่ 2 การทดลอง	17
2.1 สารเคมีและอุปกรณ์การทดลอง	17
2.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	17
2.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	17
2.2 วิธีการทดลอง	18
2.2.1 การเตรียมผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์โดยวิธีปฏิบัติภายในสถานะของของแข็ง	18
2.2.2 การเตรียมผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์โดยวิธีเพคินีหรือวิธีซิเตรท	18
2.2.3 การเตรียมผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์โดยวิธีการตกตะกอน	19
2.2.4 วิธีการวิเคราะห์ผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมได้	21

	หน้า
บทที่ 3 ผลการทดลอง	25
3.1 ผลการเตรียมสารอินเทอร์มีเดียตและพอลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์	25
3.2 ผลการวิเคราะห์โดยเทอร์โมแกรวิเมตริกอะนาไลซิส	29
3.3 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันสเปกโทรสโกปี	32
3.4 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	45
3.5 ผลการวิเคราะห์โดยสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี	62
3.6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณลิเทียมและ โคบอลต์โดยเทคนิคอะตอมมิก แอมซอร์พชันสเปกโทรสโกปี	68
บทที่ 4 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง	93
4.1 วิจารณ์ผลการทดลอง	93
4.2 สรุปผลการทดลอง	113
เอกสารอ้างอิง	115
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก การคำนวณ	119
ภาคผนวก ข อินฟราเรดสเปกตรัมของสารตั้งต้นในการเตรียมโดยวิธีต่าง ๆ และอินฟราเรดสเปกตรัมของลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์มาตรฐาน	124
ภาคผนวก ค ค่า d-spacing ของลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์และ โคบอลต์ออกไซด์ จาก JCPDS	130
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ โดยเทคนิคต่าง ๆ	132
ประวัติผู้เขียน	148

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 ลักษณะของอินเทอร์มิเดียตและผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมได้โดยวิธีต่าง ๆ	25
3.2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์โดยวิธีต่าง ๆ	26
3.3 น้ำหนักอินเทอร์มิเดียตและผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมได้โดยวิธีต่าง ๆ	27
3.4 การเปรียบเทียบค่า d-spacing ของสารตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีปฏิบัติในสถานะของแข็งกับค่า d-spacing ของสารมาตรฐานจาก JCPDS	42
3.5 การเปรียบเทียบค่า d-spacing ของสารตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรทกับค่า d-spacing ของสารมาตรฐานจาก JCPDS	43
3.6 การเปรียบเทียบค่า d-spacing ของสารตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอนกับค่า d-spacing ของสารมาตรฐานจาก JCPDS	44
3.7 ความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของอินเทอร์มิเดียตและสารตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีปฏิบัติในสถานะของของแข็ง	59
3.8 ความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของอินเทอร์มิเดียตและสารตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรท	59
3.9 ความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของอินเทอร์มิเดียตและสารตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน	61
3.10 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานผลึกเทียมที่ความยาวคลื่น 670.7 นาโนเมตร	68
3.11 ค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณผลึกเทียมในสารละลายตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีปฏิบัติในสถานะของของแข็ง อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	69
3.12 ค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณผลึกเทียมในสารละลายตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรท อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	70
3.13 ค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณผลึกเทียมในสารละลายตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรท อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	71
3.14 ค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณผลึกเทียมในสารละลายตัวอย่างผลึกเทียม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรท อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	72

[illegible]

	หน้า
3.30 ค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณโคบอลต์ในสารละลายตัวอย่างลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	88
3.31 ค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณโคบอลต์ในสารละลายตัวอย่างลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	89
3.32 ค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณโคบอลต์ในสารละลายตัวอย่างลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส	90
3.33 ค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณโคบอลต์ในสารละลายตัวอย่างลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	91
3.34 อัตราส่วนโดยโมลของ Li : Co ในสารละลายตัวอย่างลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์จากการ เตรียมทั้ง 3 วิธีที่อุณหภูมิต่าง ๆ	92
4.1 สรุปผลการวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิของน้ำหนักอินเทอร์มีเดียตที่ลดลงและเปอร์เซ็นต์ของ น้ำหนักที่สูญหายไป	96
4.2 อัตราส่วนความเข้มของพีค (003) ต่อ (104), I_{003} / I_{104} ของลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่ เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเครท อุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียส	101
4.3 อัตราส่วนความเข้มของพีค (003) ต่อ (104), I_{003} / I_{104} ของลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่ เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียส	103
4.4 ตำแหน่งความถี่ของการสั่นของ O-Co-O bending และ Li-O stretching ในสารตัวอย่าง ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเครท อุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียส	107
4.5 ตำแหน่งความถี่ของการสั่นของ O-Co-O bending และ Li-O stretching ในสารตัวอย่าง ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียส	109
ภน. ค.1 ค่า d-spacing ของลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์มาตรฐานจาก JCPDS	130
ภน. ค.2 ค่า d-spacing ของโคบอลต์ (I,II) ออกไซด์มาตรฐานจาก JCPDS	131

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 Hexagonal layered structure ของลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์	10
1.2 กลไกการเกิด charge และ discharge ในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน	15
2.1 แผนภาพการเตรียมลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ โดยวิธีเพคินี	20
2.2 แผนภาพการเตรียมลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน	21
3.1 เทอร์โมแกรมของอินเทอร์มิเดียตที่เตรียม โดยวิธีปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง	29
3.2 เทอร์โมแกรมของอินเทอร์มิเดียตที่เตรียม โดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท	30
3.3 เทอร์โมแกรมของอินเทอร์มิเดียตที่เตรียม โดยวิธีตกตะกอน	31
3.4 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึกลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียมโดยวิธีปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	32
3.5 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึกลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียม โดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	33
3.6 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึกลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียม โดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	34
3.7 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึกลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียม โดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	35
3.8 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึกลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียม โดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส	36
3.9 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึกลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียม โดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	37
3.10 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึกลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียม โดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	38
3.11 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึกลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียม โดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	39
3.12 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึกลิเทียม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียม โดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	40

	หน้า
3.13 เอกซเรย์คิฟแฟรกชันของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส	41
3.14 เอกซเรย์คิฟแฟรกชันของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	42
3.15 อินฟราเรดสเปกตรัมของอินเทอร์มีเดียตที่เตรียมโดยวิธีปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง	45
3.16 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีปฏิกิริยาในสถานะ ของแข็ง อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	46
3.17 อินฟราเรดสเปกตรัมของอินเทอร์มีเดียตที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท	47
3.18 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	48
3.19 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	49
3.20 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	50
3.21 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส	51
3.22 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซิเตรท อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	52
3.23 อินฟราเรดสเปกตรัมของอินเทอร์มีเดียตที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน	53
3.24 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	54
3.25 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	55
3.26 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	56
3.27 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส	57
3.28 อินฟราเรดสเปกตรัมของงูเหลือม โคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	58

	หน้า
3.29 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 8,000 เท่า	62
3.30 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรท อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 14,000 เท่า	62
3.31 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรท อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 14,000 เท่า	63
3.32 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรท อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 14,000 เท่า	63
3.33 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรท อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 14,000 เท่า	64
3.34 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีเพคินีหรือซีเตรท อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 14,000 เท่า	64
3.35 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 20,000 เท่า	65
3.36 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 20,000 เท่า	65
3.37 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 20,000 เท่า	66
3.38 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 10,000 เท่า	66
3.39 SEM ของผงลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีตกตะกอน อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส; กำลังขยาย 14,000 เท่า	67
3.40 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานลิเทียม	68
3.41 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโคบอลต์	80
ภน. ข.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของลิเทียมคาร์บอเนตมาตรฐาน	124
ภน. ข.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของลิเทียมคาร์บอเนตที่ได้จากการทดลอง	125
ภน. ข.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคบอลต์คาร์บอเนตมาตรฐาน	126
ภน. ข.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของกรดซิทริก	127
ภน. ข.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคบอลต์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรท	127

	หน้า
ภน. ข.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของลิเทียมไฮดรอกไซด์โมโนไฮเดรต	128
ภน. ข.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์มาตรฐาน	129
ภน. ง.1 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ด้วยผลึก	133
ภน. ง.2 ระดับของพลังงานของอะตอมโซเดียม ($_{11}\text{Na}^{23}$) ($1s^2, 2s^2 2p^6, 3s^1$)	139
ภน. ง.3 transition diagram สำหรับ	140
1. อะตอมมิกแอมบอร์พจน์ 2. อะตอมมิกอิมิตชัน 3. อะตอมมิกฟลูออเรสเซนซ์	
ภน. ง.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ รวมทั้งระบบภายใน column (A) และ console unit (B) ของเครื่อง SEM	145

อักษรย่อและสัญลักษณ์

°C	=	degree celcius
cm ⁻¹	=	per centimeter
mm	=	millimeter
nm	=	nanometer
g	=	gram
mg	=	milligram
ml	=	millilitre
IR	=	Infrared Spectroscopy
XRD	=	X-ray Diffraction Spectroscopy
TGA	=	Thermogravimetric Analysis
AAS	=	Atomic Absorption Spectroscopy
SEM	=	Scanning Electron Microscopy