

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทองแดง.....	4
2.1.1 โลหะวิทยาของทองแดง.....	4
2.1.2 ความเป็นพิษของทองแดง.....	4
2.2 ไครเมียม.....	5
2.2.1 โลหะวิทยาของไครเมียม.....	5
2.2.2 ความเป็นพิษของไครเมียม.....	5
2.3 นิกเกิล.....	6
2.3.1 โลหะวิทยาของนิกเกิล.....	6
2.3.2 ความเป็นพิษของนิกเกิล.....	7
2.4 น้ำเสียอุตสาหกรรม.....	7
2.5 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน.....	8
2.5.1 การแยกด้วยไฟฟ้า.....	8
2.5.2 การตกตะกอนทางเคมี.....	9

	หน้า
2.6 กระบวนการเคมีไฟฟ้า.....	10
2.6.1 เซลล์กัลวานิก.....	11
2.6.2 เซลล์อิเล็กโทรไลต์.....	11
2.6.3 การนำพาไอออนในสารละลาย.....	14
2.6.4 กระบวนการที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า.....	16
2.6.5 โพลาริเซชัน.....	19
2.6.6 กฎฟาราเดย์.....	20
2.6.7 ประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้า.....	21
2.7 วิธีการควบคุมกระบวนการเคมีไฟฟ้า.....	22
2.7.1 การควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้าคงที่.....	22
2.7.2 การควบคุมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่.....	23
2.8 ขั้วไฟฟ้า.....	24
2.9 รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์ไฟฟ้าเคมี.....	25
2.9.1 โมโนโพลาร์เซลล์เดียว.....	26
2.9.2 โมโนโพลาร์แบบขนาน.....	26
2.9.3 โมโนโพลาร์แบบอนุกรม.....	27
2.9.4 แบบไบโพลาร์.....	28
2.10 การแยกโลหะโดยอาศัยหลักการเคมีไฟฟ้า.....	28
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	39
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี.....	39
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	39
3.1.2 สารเคมี.....	40
3.1.3 การเตรียมน้ำเสียจริงและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการทดลอง.....	40
3.2 การจัดอุปกรณ์การทดลองโดยวิธีทางเคมีไฟฟ้า.....	41
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	44
3.3.1 การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาที่อัตราการไหลที่ต่ำสุดในการกำจัด ทองแดง โครเมียมและนิกเกิล.....	44

3.3.2 การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่สุดในการ กำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิล.....	46
3.4 วิธีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์.....	48
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	49
4.1 การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างที่มีต่อการ กำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิลออกจากน้ำเสียโรงงานผลิตแทนพิมพ์.....	50
4.2 การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาผลของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อการ กำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิลออกจากน้ำเสียโรงงานผลิตแทนพิมพ์.....	56
4.3 พีเอช.....	64
4.4 ประสิทธิภาพเชิงกระแส.....	69
4.5 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัด.....	76
4.5.1 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี.....	76
4.5.2 ค่าใช้จ่ายด้านเคมีไฟฟ้า.....	76
4.5.3 ค่าขั้วไฟฟ้า.....	77
4.6 แนวคิดการนำไปใช้งานจริง.....	77
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	80
5.3 ความสำคัญทางวิศวกรรม.....	80
รายการอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	85
ภาคผนวก ก ผลการทดลองทุกชุดการทดลอง.....	86
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ.....	127
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	131

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม.....	9
2.2	สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
2.2	สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ).....	38
3.1	คุณลักษณะของน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
3.2	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 1.....	45
3.3	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 2.....	47
3.4	วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัด.....	48
4.1	องค์ประกอบน้ำเสียโรงงานผลิตแทนพิมพ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	49
4.2	แสดงเวลาและร้อยละการกำจัดทองแดงให้ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร..	54
4.3	แสดงเวลาและร้อยละการกำจัดโครเมียมให้ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร..	55
4.4	แสดงเวลาและร้อยละการกำจัดนิกเกิลให้ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร..	55
4.5	แสดงเวลาและร้อยละการกำจัดทองแดงให้ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ณ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย ตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	57
4.6	แสดงเวลาและร้อยละการกำจัดโครเมียมให้ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ณ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย ตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	61
4.7	แสดงเวลาและร้อยละการกำจัดนิกเกิลให้ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ณ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย ตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	61
4.8	แสดงตัวอย่างปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพีเอช 1 ยูนิต.....	67
4.9	แสดงเวลาและประสิทธิภาพเชิงกระแสสูงสุดในการกำจัดทองแดงให้ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ณ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ ที่อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	70

ตารางที่	หน้า
4.10 แสดงเวลาและประสิทธิภาพเชิงกระแสสูงสุดในการกำจัดโครเมียมให้ผ่านเกณฑ์ ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ณ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ ที่ อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	70
4.11 แสดงเวลาและประสิทธิภาพเชิงกระแสสูงสุดในการกำจัดนิกเกิลให้ผ่านเกณฑ์ค่า มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ณ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ ที่ อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	71
ก.1 ค่าพีเอชของทองแดง โครเมียมและนิกเกิล ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 เมื่อ ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหลของ น้ำเสียตัวอย่าง 8.3 มิลลิลิตรต่อนาที	87
ก.2 ผลการทดลองการกำจัดทองแดงจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหล ของน้ำเสียตัวอย่าง 8.3 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4.....	88
ก.3 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหล ของน้ำเสียตัวอย่าง 8.3 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4.....	89
ก.4 ผลการทดลองการกำจัดนิกเกิลจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อ ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหลของ น้ำเสียตัวอย่าง 8.3 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4.....	90
ก.5 ค่าพีเอชของทองแดง โครเมียมและนิกเกิล ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 เมื่อ ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหลของ น้ำเสียตัวอย่าง 5.6 มิลลิลิตรต่อนาที.....	91
ก.6 ผลการทดลองการกำจัดทองแดงจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหล ของน้ำเสียตัวอย่าง 5.6 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4.....	92
ก.7 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหล ของน้ำเสียตัวอย่าง 5.6 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4.....	93

ตารางที่	หน้า
ก.22 ผลการทดลองการกำจัดทองแดงจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 7.72 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4.....	121
ก.22 ผลการทดลองการกำจัดทองแดงจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 7.72 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 (ต่อ)	122
ก.23 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 7.72 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4	123
ก.23 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 7.72 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 (ต่อ).	124
ก.24 ผลการทดลองการกำจัดนิเกิลจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 7.72 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4	125
ก.24 ผลการทดลองการกำจัดนิเกิลจากน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 7.72 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่าง 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 (ต่อ).....	126

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า.....	13
2.2 การเคลื่อนที่ของไอออนแบบไมเกรชัน.....	15
2.3 การนำพาไอออนจากชั้นสารละลายไปยังผิวหน้าขั้วไฟฟ้าด้วยการแพร่.....	16
2.4 (ก) กระบวนการที่ขั้วไฟฟ้า เรียกว่า เรียกว่า กระบวนการฟาราเดอิก.....	17
2.4 (ข) กระบวนการที่ขั้วไฟฟ้า เรียกว่า เรียกว่า กระบวนการนอนฟาราเดอิก.....	17
2.5 (ก) ก่อนการอัดกระแสในกระบวนการนอนฟาราเดอิก.....	18
2.5 (ข) หลังการอัดกระแสในกระบวนการนอนฟาราเดอิก.....	18
2.6 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้า คงที่.....	22
2.6 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้า คงที่.....	22
2.7 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบกระแสไฟฟ้า คงที่.....	24
2.7 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบ กระแสไฟฟ้าคงที่.....	24
2.8 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์เซลล์เดี่ยว.....	26
2.9 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบขนาน.....	27
2.10 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบอนุกรม.....	27
2.11 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบไบโพลาร์.....	28
2.12 โพลาริเซชันของ Cu, M_1, M_2	29
2.13 โพลาริเซชันของ M_1, M_2	30
2.14 โพลาริเซชันของทองแดงกับสังกะสีและสารเชิงซ้อนของทองแดงกับสังกะสี.....	31
3.1 (ก) ขั้วไฟฟ้าแอโนดที่ใช้ทดลอง.....	40
3.1 (ข) ขั้วไฟฟ้าแคโทดที่ใช้ทดลอง.....	40
3.2 เซลล์เคมีไฟฟ้าแบบมีรอยต่อของสารละลาย โดยกั้นสารละลายฝั่งแคโทดและ แอโนดด้วยแผ่นแก้วพูน.....	42
3.3 เซลล์เคมีไฟฟ้าแบบมีรอยต่อของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง.....	42

ภาพที่	หน้า
3.4 การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง.....	43
3.4 การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาอัตราการไหลที่ดีที่สุดในการกำจัดทองแดง โครเมียม และนิกเกิล.....	45
3.5 การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ดีที่สุดในการกำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิล.....	47
4.1 (ก) ร้อยละการกำจัดทองแดงออกจากน้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร เทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 8.3, 5.6 และ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	51
4.1 (ข) ร้อยละการกำจัดทองแดงออกจากน้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร เทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 8.3, 5.6 และ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	51
4.1 (ค) ร้อยละการกำจัดทองแดงออกจากน้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร เทียบกับเวลาที่อัตราเร็วในการไหล 8.3, 5.6 และ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	51
4.1 (ง) ร้อยละการกำจัดทองแดงออกจากน้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร เทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 8.3, 5.6 และ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	51
4.2 (ก) ร้อยละการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร เทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 8.3, 5.6 และ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	52
4.2 (ข) ร้อยละการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร เทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 8.3, 5.6 และ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	52
4.2 (ค) ร้อยละการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร เทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 8.3, 5.6 และ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	52
4.2 (ง) ร้อยละการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร เทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 8.3, 5.6 และ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4	

ภาพที่	หน้า
4.8 (ข) ค่าพีเอชเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	65
4.8 (ค) ค่าพีเอชเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	65
4.8 (ง) ค่าพีเอชเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	65
4.9 ความเข้มข้นของทองแดง โครเมียมและนิกเกิลกับค่าพีเอชเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	66
4.10 ความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่มีต่อการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ชนิดต่างๆ.....	69
4.11 (ก) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของทองแดงเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	73
4.11 (ข) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของทองแดงเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	73
4.11 (ค) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของทองแดงเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	73
4.11 (ง) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของทองแดงเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	73
4.12 (ก) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของโครเมียมเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	74

ภาพที่	หน้า
4.12 (ข) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของโครเมียมเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	74
4.12 (ค) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของโครเมียมเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	74
4.12 (ง) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของโครเมียมเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	74
4.13 (ก) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของนิกเกิลเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	75
4.13 (ข) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของนิกเกิลเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	75
4.13 (ค) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของนิกเกิลเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	75
4.13 (ง) ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสของนิกเกิลเทียบกับเวลาเมื่อควบคุมความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ 1.54, 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ควบคุมอัตราการไหลคงที่ที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที.....	75