

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตารางประกอบ	ฐ
สารบัญรูปประกอบ	ด
อักษรย่อและสัญลักษณ์	น
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 โพลีอินเจกชันอะนาไลซิส	1
1.1.1 ประวัติความเป็นมา	1
1.1.2 หลักการของ เอฟ ไอ เอ	2
1.1.3 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบ เอฟ ไอ เอ	5
1.1.4 การประยุกต์ใช้ระบบ เอฟ ไอ เอ	10
1.1.5 บทบาทของ เอฟ ไอ เอ ในการวิเคราะห์โลหะ	11
1.2 โครเมียม	14
1.2.1 ประวัติการค้นพบ	14
1.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	15
1.2.3 ผลของโครเมียมต่อสิ่งมีชีวิต	16
1.2.4 ความเป็นพิษของโครเมียม	17
1.2.5 การใช้ประโยชน์ของโครเมียม	18
1.2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณ โครเมียม	19
1.3 สังกะสี	21
1.3.1 ประวัติการค้นพบ	21
1.3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	22
1.3.3 ผลของสังกะสีต่อสิ่งแวดล้อม	23
1.3.4 ความเป็นพิษของสังกะสี	24
1.3.5 ประโยชน์ของสังกะสี	24
1.3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี	25
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	26

	หน้า
บทที่ 2 การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมโดยใช้ 1,5-dipenylcarbazide	27
เป็น complexing reagent	
2.1 ทัวไป	27
2.2 การทดลอง	28
2.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	28
2.2.2 สารเคมี	28
2.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์บางส่วนที่สร้างขึ้นสำหรับระบบเอฟ ไอ เอ	29
2.2.4 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์	31
2.3 หลักการ	32
2.4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	33
2.4.1 การศึกษาก่อนนำเข้าสู่ระบบเอฟ ไอ เอ	33
2.4.1.1 การศึกษาสเปกตรัมดูดกลืนแสงก่อนนำเข้าสู่ระบบเอฟ ไอ เอ	33
2.4.1.2 การศึกษาสูตร โครงสร้าง (empirical formula)	34
ของสารประกอบเชิงซ้อน	
2.4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ในระบบเอฟ ไอ เอ	37
2.4.3 การศึกษาคุณลักษณะของการวิเคราะห์ (Analytical characteristics)	79
2.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม [Cr(VI)] ในตัวอย่าง	94
บทที่ 3 การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีโดยใช้ 4-(2'-Thiazolylazo) resorcinol	
เป็น complexing reagent	96
3.1 ทัวไป	96
3.2 การทดลอง	97
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	97
3.2.2 สารเคมี	97
3.2.3 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์	98
3.3 หลักการ	99
3.4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	100
3.4.1 การศึกษาก่อนนำเข้าสู่ระบบเอฟ ไอ เอ	100
3.4.1.1 การศึกษาสเปกตรัมดูดกลืนแสง (Absorption spectra)	100

	หน้า
3.4.1.2 การศึกษาผลของ pH ที่มีต่อสเปกตรัมดูดกลืนแสง	102
3.4.1.3 การศึกษาสูตรโครงสร้าง (empirical formula) ของสารประกอบเชิงซ้อน	103
3.4.2 การศึกษาในระบบ เอฟ ไอ เอ	105
3.4.2.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ในระบบ เอฟ ไอ เอ	105
3.4.2.2 การศึกษาคุณลักษณะของการวิเคราะห์ (Analytical characteristics)	150
3.4.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี [Zn(II)] ในตัวอย่าง	158
บทที่ 4 วิจารณ์ สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	161
4.1 ทัวไป	161
4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	161
4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม	161
4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี	164
4.3 สรุปผลการทดลอง	166
4.4 ข้อเสนอแนะ	167
เอกสารอ้างอิง	168
ภาคผนวก	171
ประวัติผู้เขียน	177

สารบัญตารางประกอบ

ตาราง	หน้า
1.1 เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบ เอฟ ไอ เอ	2
1.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบเอฟ ไอ เอ ในการวิเคราะห์โลหะในน้ำ	13
1.3 สมบัติทางกายภาพของโครเมียม (Cr)	15
1.4 ตัวอย่างของรีเอเจนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม	20
1.5 สมบัติทางกายภาพของสังกะสี (Zn)	22
2.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมระหว่างCr(VI) กับ DPC ในอัตราส่วน ปริมาตรต่าง ๆ กัน	35
2.2 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม	37
2.3 ผลการศึกษาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม	38
2.4 ผลการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกต่อขนาดสัญญาณ และความยาวคลื่น	40
2.5 สภาวะที่ใช้ในการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ DPC	43
2.6 ผลการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ DPC	44
2.7 ผลการศึกษ้อัตราเร็วของการไหลของสารละลายที่เหมาะสม	47
2.8 Analytical Characteristics สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Cr(VI) ความเข้มข้น 0.90 ppm โดยใช้อัตราการไหลของสารละลายต่าง ๆ กัน	48
2.9 ผลการศึกษานาฬิกาของ mixing tubing ที่เหมาะสม	51
2.10 สภาวะที่ใช้ศึกษาหาความยาวของ mixing part ที่เหมาะสม	54
2.11 ผลการศึกษาคความยาวของ mixing part ส่วนที่ 1(จากรูป 2.5 ตำแหน่ง A) โดยความยาวของ mixing part ส่วนที่ 2 (จากรูป2.5 ตำแหน่งB) ยาว 70.0 cm	55
2.12 ผลการศึกษาคความยาวของ mixing part ส่วนที่ 2 (จากรูป 2.5 ตำแหน่ง B) โดยความยาวของ mixing part ส่วนที่ 1(จากรูป2.5 ตำแหน่ง A) ยาว 25.0 cm	58
2.13 ผลการศึกษานาฬิกาของหลอดทดสอบที่ใช้พัน mixing coil ที่เหมาะสม	61
2.14 ผลการศึกษาคความยาวของ mixing part แบบ s.b.s.r ส่วนที่ 1 (จากรูป 2.5 ตำแหน่งA) โดยความยาวของ mixing part แบบ s.b.s.rส่วนที่ 2 (จากรูป2.5 ตำแหน่งB) ยาว 2.00 cm	64

ตาราง	หน้า
2.15 ผลการศึกษาความยาวของ mixing part แบบ s.b.s.r ส่วนที่ 2 (ดูรูป 2.5 ตำแหน่งB) โดยความยาวของ mixing part แบบ s.b.s.r ส่วนที่ 1(ดูรูป2.5 ตำแหน่งA)ยาว 1.00 cm	66
2.16 ผลการศึกษาชนิดของ mixing part ที่เหมาะสม	69
2.17 Analytical Characteristics สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Cr(VI) ความเข้มข้น 1.00 ppm โดยใช้ชนิดของ mixing part ต่าง ๆ กัน	70
2.18 ผลการศึกษาปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	73
2.19 Analytical Characteristics สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Cr(VI) ความเข้มข้น 1.00 ppm โดยใช้ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างต่างกัน	74
2.20 ผลการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของโพลีรูเซลที่ใช้ในการทดลอง	77
2.21 Analytical Characteristics สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Cr(VI) ความเข้มข้น 1.00 ppm โดยใช้ flow through cell ต่างกัน	78
2.22 สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการศึกษาช่วงที่เป็นเส้นตรง	79
2.23 ผลการศึกษาช่วงที่เป็นเส้นตรง	80
2.24 ผลการศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	82
2.25 ผลการศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์	83
2.26 ขนาดสัญญาณของแบล็ก 12 ครั้ง	84
2.27 ขนาดสัญญาณของสารละลายมาตรฐาน Cr(VI) ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ detection limit	85
2.28 ผลการศึกษาสารรบกวนที่มีผลต่อการวิเคราะห์ Cr(VI)	87
2.29 เปอร์เซนต์ของการเบี่ยงเบนจากสัญญาณของ Cr(VI) บริสุทธิ์โดยไอออนอื่นๆ	89
2.30 ผลการศึกษากกราฟมาตรฐาน (calibration graph)	90
2.31 ผลการศึกษาความถูกต้องของวิธี โดยการหำร้อยละของการกลับคืน	92
2.32 การหำร้อยละของการกลับคืน (% recovery) เมื่อใช้น้ำตัวอย่าง W1	93
2.33 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม [Cr(VI)] ในน้ำตัวอย่าง โดยวิธี เอฟ ไอ เอ เทียบกับวิธี AAS	94
2.34 ผลการศึกษาความแตกต่างระหว่างวิธี เอฟ ไอ เอ เทียบกับวิธี AAS	95

ตาราง	หน้า
3.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมระหว่าง Zn(II) กับ TAR ในอัตราส่วนปริมาตรต่างกัน	103
3.2 สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม	105
3.3 ผลการศึกษาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม	106
3.4 ผลการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อความยาวคลื่นที่เหมาะสมและขนาดสัญญาณ	108
3.5 ผลการศึกษาผลของความเข้มข้นของ โซเดียมอะซิเตทที่เหมาะสม	110
3.6 สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาหาความเข้มข้นของรีเอเจนต์ที่เหมาะสม	113
3.7 ผลการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ TAR รีเอเจนต์	114
3.8 ผลการศึกษาหาอัตราเร็วในการไหลของกระแสตัวพาที่เหมาะสม	117
3.9 คุณลักษณะทางการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Zn(II) ความเข้มข้น 1.00 ppm โดยใช้อัตราการไหลของกระแสตัวพาต่างกัน	120
3.10 ผลการศึกษาขนาดของ mixing tubing ที่เหมาะสม	121
3.11 คุณลักษณะการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Zn(II) ความเข้มข้น 1.00 ppm โดยใช้ mixing tubing ขนาดต่างกัน	121
3.12 ผลการศึกษาความยาวของ mixing part ที่เหมาะสม	124
3.13 ผลการศึกษาขนาดของหลอดทดสอบที่ใช้พันรอบ mixing coil ที่เหมาะสม	127
3.14 ผลการศึกษาความยาวที่เหมาะสมของ mixing part แบบ single bead string reactor	130
3.15 คุณลักษณะการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Zn(II) ความเข้มข้น 1.00 ppm โดยใช้ mixing part แบบ s.b.s.r ที่มีความยาวต่างกัน	133
3.16 ผลการศึกษาชนิดของ mixing part ที่เหมาะสม	134
3.17 คุณลักษณะการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Zn(II) ความเข้มข้น 1.00 ppm โดยใช้ mixing part ชนิดต่างๆ กัน	134
3.18 ผลการศึกษาหาปริมาณของสารตัวอย่างที่เหมาะสม	138
3.19 คุณลักษณะการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Zn(II) ความเข้มข้น 1.00 ppm โดยใช้ ปริมาณของสารตัวอย่างต่างกัน	138

ตาราง	หน้า
3.20 สถานะต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อสารรบกวน	142
3.21 ผลการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อสารรบกวนที่ pH ต่างๆ เมื่อใช้สารละลาย Zn : metal ion ในอัตราส่วน 1.00 : 2.00 ppm	143
3.22 ผลความเข้มข้นของ TSC ที่มีต่อสารรบกวน เมื่อใช้สารละลายตัวอย่างเป็น Zn : metal ion ในอัตราส่วน 1.00 : 10.00 ppm	145
3.23 ผลความเข้มข้นของ Sodium thiosulphate ที่มีต่อสารรบกวนเมื่อใช้สารละลาย ตัวอย่างเป็น Zn : metal ion ในอัตราส่วน 1.00 : 10.00 ppm	147
3.24 สถานะต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาผลจากสารรบกวน	148
3.25 ผลการศึกษาผลกระทบจากสารรบกวนต่อการวิเคราะห์สังกะสี (Zn)	149
3.26 ผลการศึกษาช่วงที่เป็นเส้นตรง	151
3.27 ผลการศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	153
3.28 ผลการศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์	154
3.29 ผลการศึกษากราฟเทียบมาตรฐานของสารละลาย Zn(II)	155
3.30 ผลการศึกษาความถูกต้องโดยการหำร้อยละของการกลับคืน (% recovery)	157
3.31 การหำร้อยละของการกลับคืน (% recovery) เมื่อใช้น้ำตัวอย่าง K 1	158
3.32 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในน้ำตัวอย่างโดยวิธี FIA เทียบกับ วิธี AAS	159
3.33 ผลการศึกษาความแตกต่างระหว่างวิธี FIA เทียบกับวิธี AAS	160
4.1 คุณลักษณะทางการวิเคราะห์ (Analytical Characteristics) สำหรับการวิเคราะห์ โครเมียม [Cr(VI)]	163
4.2 คุณลักษณะทางการวิเคราะห์ (Analytical Characteristics) สำหรับการวิเคราะห์ สังกะสี [Zn(II)]	165

สารบัญรูปประกอบ

รูป	หน้า
1.1 การเปลี่ยนแปลงสัมฐานของความเข้มข้นของ sample zone ในกระแสตัวพา ที่กำลังไหลเป็นฟังก์ชันของเวลาและรูปร่างของสัญญาณจากการวิเคราะห์ ที่ได้แต่ละแบบ	3
1.2 รูปแบบทั่วไปของการเคลื่อนที่ในท่อปิดของ sample zone	4
1.3 ระบบ เอฟ ไอ เอ พื้นฐานสำหรับระบบที่มีรีเอเจนต์ชนิดเดียว	5
1.4 chemifold (chemical manifold) ชนิดต่าง ๆ ของระบบเอฟ ไอ เอ	5
1.5 ลักษณะของเพอร์ริสตาลติกบีมปี	6
1.6 ลักษณะของ connector ที่ใช้ในระบบเอฟ ไอ เอ	7
1.7 รูปแบบระบบการฉีดที่ใช้ในระบบเอฟ ไอ เอ	8
1.8 สัญญาณลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในระบบ เอฟ ไอ เอ	10
1.9 การประยุกต์เทคนิคเอฟ ไอ เอ ในงานด้านต่าง ๆ	10
1.10 FIA manifold อย่างง่ายสำหรับวิเคราะห์โลหะโดยมี flame AAS เป็นระบบตรวจวัด	12
2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ 1,5-diphenylcarbazine หรือ DPC	27
2.2 อินเจคชันวาล์ว (Injection valve) ที่ใช้ในระบบ	29
2.3 มิกซิงพาร์ท (mixing part) ชนิดต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย	30
2.4 flow through cell ที่ทำขึ้นใช้ในงานวิจัย	31
2.5 ระบบ เอฟ ไอ เอ อย่างง่ายที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณ Cr(VI)	32
2.6 ระบบ FIA ที่ใช้วิเคราะห์ Cr(VI) โดยใช้ DPC เป็นรีเอเจนต์	33
2.7 สเปกตรัมดูดกลืนแสง (ก) ของสารละลาย Cr(VI) กับ DPC (ข) ของสารละลาย DPC รีเอเจนต์เมื่อใช้ UV-VIS Spectrophotometer เป็น detector	34
2.8 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมระหว่าง Cr(VI) (1.0×10^{-3} M) กับ DPC (1.0×10^{-3} M) ที่มีอัตราส่วนปริมาตรต่างๆกัน	36
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น (nm) กับ ขนาดสัญญาณ (mV)	39
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น (nm) กับ ขนาดสัญญาณ (mV) เมื่อใช้ ความเข้มข้นของกรรคชาติฟูริกต่างกัน	41

รูป	หน้า
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณ (mV) ที่ความยาวคลื่น 540 nm กับความเข้มข้นของ H ₂ SO ₄ ต่างๆกัน	42
2.12 Calibration graph เมื่อใช้ความเข้มข้นของ DPC ต่างกัน	45
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน (mV/ppm) กับความเข้มข้นของ DPC (%w/v)	46
2.14 Calibration graph เมื่อใช้อัตราการไหลของสารละลายกรดซัลฟูริก (H ₂ SO ₄) + สารละลายรีเอเจนต์ (DPC) ในช่วง 1.0 + 1.0 ถึง 3.0 + 3.0 ml / min	49
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm) กับอัตราการไหลของกระแสตัวพา(ml/min)	50
2.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง t _{base} (sec) กับ อัตราการไหลของกระแสตัวพา (ml/min)	50
2.17 Calibration graph เมื่อใช้ mixing tubing ที่มีขนาดต่างกัน	52
2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน (mV/ppm) กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ mixing tube (in)	53
2.19 Calibration graph เมื่อใช้ mixing part ส่วนที่ 1 ยาว 0-100.00 cm	56
2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm)กับความยาวของmixing part ส่วนที่ 1 (cm)	57
2.21 Calibration graph เมื่อใช้ mixing part ส่วนที่ 2 ยาว 25.00-100.00 cm	59
2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน (mV/ppm) กับความยาวของ mixing part ส่วนที่ 2 (cm)	60
2.23 Calibration graph เมื่อใช้หลอดทดสอบที่พัน mixing coil ขนาด 1.20-2.40 cm	62
2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm) กับขนาดหลอดทดสอบ (O.D) ที่ใช้พัน mixing coil (cm)	63
2.25 Calibration graph เมื่อใช้ความยาวของ mixing part ชนิด s.b.s.r ส่วนที่ 1 ในช่วง 1.00 - 8.00 cm	65
2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm) กับ ความยาวของ s.b.s.r ส่วนที่ 1 (cm)	66
2.27 Calibration graph เมื่อใช้ความยาวของ mixing part ชนิด s.b.s.r ส่วนที่ 2 ในช่วง 1.00 - 8.00 cm	67
2.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm) กับ ความยาวของ s.b.s.r ส่วนที่ 2 (cm)	68
2.29 Calibration graph เมื่อใช้ mixing part ต่างชนิดกัน	71
2.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน (mV/ppm) กับ ชนิดของ mixing part	72
2.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง t _{base} (sec) กับ ชนิดของ mixing part	72

รูป	หน้า
2.32 Calibration graph เมื่อใช้สารตัวอย่างปริมาณต่างกัน	75
2.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm)กับปริมาตรสารตัวอย่างที่ใช้ (μl)	76
2.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง t_{base} (sec) กับ ปริมาตรสารตัวอย่างที่ใช้ (μl)	76
2.35 Calibration graph เมื่อใช้ flow through cell ต่างชนิดกัน	78
2.36 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณสุทธิ(mV) กับความเข้มข้นของCr(VI) (ppm)	81
2.37 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณ(mV)กับความเข้มข้นต่างๆของCr(VI) (ppm)	86
2.38 ลักษณะที่กที่ไดจากการใช้สารละลาย Cr(VI) เข้มข้น 0.10-1.00 ppm	91
2.39 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม [Cr(VI)]	91
3.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ 4-(2'-thiazolylazo) resorcinol หรือ TAR	96
3.2 ระบบ เอฟ ไอ เอ ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี	99
3.3 ระบบ เอฟ ไอ เอ ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีโดยใช้ TAR เป็นรีเอเจนต์	100
3.4 สเปกตรัมดูดกลืนแสง (η) สารละลาย Zn(II) กับ TAR รีเอเจนต์เทียบกับ รีเอเจนต์แบลนด์ (ข) สารละลาย TAR รีเอเจนต์	101
3.5 สเปกตรัมดูดกลืนแสงของสารละลาย Zn(II) กับ TAR ที่ค่า pH ต่างๆกัน	102
3.6 การดูดกลืนแสงของสารละลายผสมระหว่าง Zn(II) (1.0×10^{-4} M) กับ TAR (1.0×10^{-4} M) ที่มีอัตราส่วนปริมาตรต่างๆกัน	104
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณ (mV) กับความยาวคลื่น (nm)	107
3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณ(mV) กับความยาวคลื่น (nm) ที่ pH ต่างๆ	109
3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณ(mV)กับความยาวคลื่น 530 nm ที่ pH ต่างๆ	109
3.10 Calibration graph เมื่อใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทในช่วง 0.01-0.30 M	111
3.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง slope (mV/ppm) กับความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท (M)	112
3.12 Calibration graph เมื่อใช้ความเข้มข้นของ TAR ในช่วงความเข้มข้น 2.5×10^{-6} M ถึง 2.5×10^{-5} M	115
3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน (mV/ppm)กับความเข้มข้นของ TAR (M)	116
3.14 Calibration graph ที่ไดจากการใช้อัตราการไหลของกระแสตัวพาต่าง ๆ กัน	118
3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm)กับอัตราการไหลของกระแสตัวพา(ml/min)	119
3.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง t_{base} (sec) กับ อัตราการไหลของกระแสตัวพา(ml/min)	119

รูป	หน้า
3.17 Calibration graph เมื่อใช้ mixing tubing ที่มีขนาดต่างกัน	122
3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm) กับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (i.d.) ของ mixing tubing (in)	123
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง t_{base} (sec)กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (i.d.) ของ mixing tubing (in)	123
3.20 Calibration graph เมื่อใช้ mixing part ที่มีความยาวต่างกัน	125
3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน (mV/ppm) กับความยาวของ mixing part (cm)	126
3.22 Calibration graph เมื่อใช้หลอดทดสอบที่พันรอบ mixing coil ขนาด1.20-2.40 cm	128
3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน (mV/ppm) กับ ขนาดของหลอดทดสอบ(cm)	129
3.24 Calibration graph เมื่อใช้ความยาวของ mixing partชนิด s.b.s.r ในช่วง 2.00-7.00 cm	131
3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm)กับความยาวของ s.b.s.r ที่ใช้(cm)	132
3.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง t_{base} (sec) กับ ความยาวของ s.b.s.r ที่ใช้(cm)	132
3.27 Calibration graph เมื่อใช้ mixing part ต่างชนิดกัน	135
3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm)กับชนิดของ mixing part ที่ใช้ศึกษา	136
3.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง t_{base} (sec)กับ ชนิดของ mixing part ที่ใช้ศึกษา	136
3.30 Calibration graph เมื่อใช้ปริมาตรสารละลายตัวอย่างต่างกัน	139
3.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความชัน(mV/ppm) กับ ปริมาตรสารตัวอย่าง (μ l)	140
3.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง t_{base} (sec) กับ ปริมาตรสารตัวอย่าง (μ l)	140
3.33 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณ(mV) กับ pH ของสารละลายรีเอเจนต์	144
3.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละของการเบี่ยงเบน ไปของสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์สารละลายผสมระหว่าง Zn(II) และไอออนอื่นๆกับ pH ของสารละลายรีเอเจนต์	144
3.35 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณ(mV) กับความเข้มข้นของ Zn(II)(ppm)	152
3.36 ลักษณะพีคที่ได้จากการใช้สารละลาย Zn(II) เข้มข้น 0.20-1.00 ppm	156
3.37 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี [Zn(II)]	156

อักษรย่อและสัญลักษณ์

mV	=	มิลลิโวลต์
μ l	=	ไมโครลิตร
ml	=	มิลลิลิตร
nm	=	นาโนเมตร
cm	=	เซนติเมตร
m	=	เมตร
ppb	=	part per billion
ppm	=	part per million
cm ³	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
M	=	โมลาร์
mg	=	มิลลิกรัม
g	=	กรัม
°C	=	องศาเซลเซียส
%	=	เปอร์เซ็นต์
w	=	น้ำหนัก
v	=	ปริมาตร
sec	=	วินาที
min	=	นาที
hr	=	ชั่วโมง
λ	=	ความยาวคลื่น
I.D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน
O.D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก
\bar{X}	=	arithmetic mean
SD	=	standard deviation
RSD.	=	relative standard deviation
in	=	inch
s.b.s.r	=	single bead string reactor