

มหาวิทยาลัยบูรพา

วิทยาเขตชลบุรี

การพัฒนาวิธีการหาปริมาณโครเมียมโดยใช้ตัวทำละลายปริมาณน้อย

วรินดา แก้วมณีวงษ์

ปี ๒๕๕๗

333188

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤศจิกายน ๒๕๕๖

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ วรินดา แก้วมณีวงศ์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.อภิญา นวคุณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นางพัทธนันท์ นาถพันธ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(ดร.พุทธรักษา วรานุกุล)

.....กรรมการ
(ดร.อภิญา นวคุณ)

.....กรรมการ
(นางพัทธนันท์ นาถพันธ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ สิริไชย)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ดันตวิธานุรักษ์)

วันที่ 25 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2556

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. อภิญญา นวคุณ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ นางพัทธนันท์ นาดพินิจ กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ศิริไชย และ ดร. การะเกด เทศศรี ที่กรุณาสนับสนุนสารเคมีในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร. พุทธรักษา วรานุสุภากุล จากภาควิชาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ศิริไชย ที่กรุณารับเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบพระคุณ นายชาติชาย มาลาพงษ์ นางสาวนพวรรณ ทักษันท์ที่คอยให้คำปรึกษาเป็นกำลังใจและช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา ซึ่งมีส่วนให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

วรินดา แก้วมณีวงศ์

54910063: สาขาวิชา: เคมี: วท.ม. (เคมี)

คำสำคัญ: โครเมียม (III) และโครเมียม (VI)/ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาร์ไซด์/ การสกัดแบบคู่
ไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย/
ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี

วรินดา แก้วฉวีวงษ์: การพัฒนาวิธีการหาปริมาณ โครเมียม โดยใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อย
(DEVELOPMENT OF CHROMIUM DETERMINATION METHOD USING SMALL
VOLUME OF SOLVENT) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อภิญญา นวคุณ, D.Sc., พัทธนันท์
นาลพินิจ, วท.ม. 154 หน้า. ปี พ.ศ. 2556.

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม (III) และโครเมียม (VI) ในตัวอย่างน้ำจากสิ่งแวดล้อม โดยเทคนิคการสกัดแบบคู่ไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย โดยใช้ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาร์ไซด์เป็นลิแกนด์ สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อน ได้แก่ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลต่อลิตร พีเอช 1.5 ความเข้มข้นของลิแกนด์ 0.0025% (w/v) เวลาในการเกิดสารเชิงซ้อน 35 นาที ในเทคนิคการสกัดแบบคู่ไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจายที่ศึกษา โดยใช้โคเดซิลเบนซีนซัลโฟนิกเอซิด 0.05% (w/v) ในสารละลายผสมไดคลอโรมีเทนกับเมทานอลที่อัตราส่วน 70:30 (%v/v) สำหรับสกัดสารเชิงซ้อนจากชั้นน้ำ สภาวะที่เหมาะสมใช้ปริมาตรตัวทำละลายในการสกัด 500 ไมโครลิตร ตัวทำละลายเจือจาง (เอทานอล) 500 ไมโครลิตร เวลาในการสกัด 4 นาที และโซเดียมคลอไรด์ 30% (w/v) หลังจากกระบวนการสกัดแยกวัฏภาคทั้งสองด้วยอัตราเร็วในการเหวี่ยง 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8 นาที สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมรวม ทำการออกซิไดซ์สารละลายตัวอย่างโดยซีเรียม (IV) 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์โครเมียมอยู่ในช่วง 1-100 ไมโครกรัมต่อลิตร ($R^2=0.9979$) ชัดจำกัดในการตรวจวัดและขีดจำกัดในการตรวจวัดการวิเคราะห์ปริมาณของโครเมียมรวมมีค่า 12 และ 14 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ความเที่ยงของวิธี มีค่าอยู่ในช่วง 0.69-2.08% (n=10) และ 1.29-3.77% (n=9) สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำภายในวันเดียวกันและการวิเคราะห์ซ้ำระหว่างวันตามลำดับ ร้อยละการได้กลับคืน มีค่าอยู่ในช่วง 69-105% ยิ่งไปกว่านั้นความเข้มข้นของการสกัดเพิ่มขึ้น 200 เท่า งานวิจัยที่ได้เสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม (III) และโครเมียม (VI) จากตัวอย่างน้ำสิ่งแวดล้อม

54910063: MAJOR: CHEMISTRY; M.Sc. (CHEMISTRY)

KEYWORDS: Cr(III) AND Cr(VI)/ 1,5-DIPHENYLCARBAZIDE/

DODECYLBENZENESULPHONIC ACID /

ION PAIR EXTRACTION-DISPERSIVE LIQUID-LIQUID

MICROEXTRACTION/ UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETRY

WARINDA KAEWMANEEWONG: DEVELOPMENT OF CHROMIUM
DETERMINATION METHOD USING SMALL VOLUME OF SOLVENT. ADVISORY
COMMITTEE: APINYA NAVAKHUN, D.Sc., PATTHANAN NATPINIT, M.Sc. 154 P. 2013.

In this work, a procedure for preconcentration of Cr(III) and Cr(VI) in environmental water samples using ion pair-dispersive liquid-liquid microextraction (IP-DLLME) was studied. The 1,5-diphenylcarbazide (DPC) was used as chelating agent. The optimum Cr-DPC complex formation conditions were 0.1 M phosphate buffer, pH 1.5, chelating agent concentration of 0.0025% (w/v), reaction time of 35 minutes. In IP-DLLME studies, dodecylbenzenesulphonic acid (DBSA) 0.05% (w/v) in mixture of dichloromethane and methanol (70:30% (v/v)) was used for extraction of Cr-DPC complex from aqueous solution. In addition, the optimum IP-DLLME conditions were extraction solvent of 500 μ l, dilution solvent (ethanol) of 500 μ l, shaking time of 4 minutes, and sodium chloride of 30% (w/v). After extraction process, the phase separation was performed with a centrifugation rate of 2000 rpm for 8 minutes. In order to determine the amount of total Cr, sample solution was oxidized by Ce(IV) 5 mg/l, at 95 °C, for 40 minutes. Under the optimum conditions, linearity in the range of 1-100 μ g/l ($R^2=0.9979$) was obtained. The detection limits and quantification limits for total Cr were 12 μ g/l and 14 μ g/l, respectively. The precisions of the method were 0.69-2.08% (n=10) and 1.29-3.77% (n=9) for repeatability and intermediate precision, respectively. The percent recovery was 69-105%. Moreover, the high enrichment factor of 200 was achieved. The proposed method was successfully applied to the determination of Cr(III) and Cr(VI) in environmental water samples.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่	1
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ความสำคัญของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โครเมียม.....	4
2.1.1 สมบัติของโครเมียม.....	5
2.1.2 การค้นพบ.....	6
2.1.3 การดูดซึมและการแพร่กระจายของโครเมียมและสารประกอบโครเมียม.....	6
2.1.4 ความเป็นพิษต่อสุขภาพของโครเมียมและสารประกอบโครเมียม.....	6
2.1.5 ความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมของโครเมียมและสารประกอบโครเมียม.....	7
2.2 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (DPC).....	7
2.2.1 สมบัติของ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (DPC).....	8
2.2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนของ Cr(VI) กับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์.....	8
2.2.3 โครงสร้าง 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ และอนุพันธ์.....	9
2.3 เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	9
2.3.1 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction, LLE).....	9
2.3.2 การสกัดของเหลวด้วยของเหลวในระดับไมโคร (Liquid Liquid Liquid Microextraction, LLLME).....	10

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3.3 เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid Phase Extraction, SPE).....	11
2.3.4 เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวด้วยเส้นใยกลวง (Hollow fiber Liquid Phase Microextraction, HF-LPME).....	12
2.3.5 การสกัดด้วยตัวทำละลายหยดเดียว (Single Drop Microextraction, SDME).....	13
2.3.6 การสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย (Dispersive Liquid-Liquid Microextraction, DLLME).....	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม.....	17
2.4.2 การสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย.....	24
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	32
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2 สารเคมี.....	32
3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน.....	34
3.4 การเตรียมสารเคมี.....	34
3.5 การเตรียมตัวอย่างน้ำจากสิ่งแวดล้อม.....	36
3.6 วิธีการทดลอง.....	37
3.6.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของสารเชิงซ้อนที่เกิดจาก Cr(VI) กับ DPC.....	37
3.6.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมของเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบ แพร่กระจาย (Dispersive Liquid-Liquid Microextraction, DLLME).....	39
3.6.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI).....	42
3.6.4 สารรบกวนการวิเคราะห์ (Interference).....	45
3.6.5 ศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation).....	46
3.6.6 ศึกษาปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำ.....	47
4 ผลการวิจัย.....	49
4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดสารเชิงซ้อนของ Cr(VI) กับ DPC.....	49

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2 การหาสถานะที่เหมาะสมของเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบ แพร่กระจาย (Dispersive liquid-liquid micro extraction, DLLME).....	54
4.3 การหาสถานะที่เหมาะสมในการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI).....	64
4.4 สารรบกวนการวิเคราะห์ (Interference)	75
4.5 ศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation).....	83
4.6 การวิเคราะห์ปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำ.....	87
5 อภิปรายและสรุปผล.....	90
5.1 การหาสถานะที่เหมาะสมของสารเชิงซ้อนที่เกิดจาก Cr(VI) กับ DPC.....	91
5.2 การหาสถานะที่เหมาะสมของเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบ แพร่กระจาย (Dispersive Liquid-Liquid Microextraction, DLLME).....	92
5.3 การหาสถานะที่เหมาะสมในออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI).....	95
5.4 สารรบกวนการวิเคราะห์ (Interference).....	98
5.5 ศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation).....	99
5.6 ศึกษาปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำ.....	104
5.7 สรุปผลการทดลอง.....	104
บรรณานุกรม.....	105
ภาคผนวก.....	118
ภาคผนวก ก	119
ภาคผนวก ข	122
ภาคผนวก ค	128
ภาคผนวก ง	132
ภาคผนวก จ	136
ภาคผนวก ฉ	142
ภาคผนวก ช	149
ภาคผนวก ซ	151
ประวัติผู้วิจัย.....	154

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 สมบัติต่าง ๆ ของโครเมียม.....	5
2-2 สมบัติต่าง ๆ ของ 1.5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (DPC)	8
3-1 ปฏิกิริยาและขอบเขตที่ศึกษาในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อน.....	38
3-2 ปฏิกิริยาและขอบเขตในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยเทคนิคตัวทำละลาย ของเหลวแบบแพร่กระจาย.....	42
3-3 ชนิดของตัวออกซิไดซ์ที่สภาวะเหมาะสมในการออกซิไดซ์ จากงานวิจัยอื่น ๆ.....	43
3-4 ปฏิกิริยาและขอบเขตในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการออกซิไดซ์.....	45
4-1 สมการเส้นตรง ความชันและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ DPC....	52
4-2 ปฏิกิริยาและสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อน.....	54
4-3 ปฏิกิริยาและสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยเทคนิคตัวทำละลายของเหลวแบบ แพร่กระจาย.....	63
4-4 สมการเส้นตรง ความชันและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในการ ออกซิไดซ์.....	65
4-5 สมการเส้นตรง ความชันและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เวลาต่าง ๆ ในการออกซิไดซ์....	67
4-6 สมการเส้นตรง ความชันและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกรดในการออกซิไดซ์.....	68
4-7 สมการเส้นตรง ความชันและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกรดในการออกซิไดซ์.....	69
4-8 สมการเส้นตรง ความชันและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของกรด ซัลฟิวริก.....	71
4-9 สมการเส้นตรง ความชันและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ Ce(IV).....	72
4-10 สมการเส้นตรง ความชันและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของกรด เปอร์คลอริก.....	74
4-11 แสดงปฏิกิริยาและสภาวะที่เหมาะสมในการออกซิไดซ์.....	75
4-12 ความทนทานต่อการรบกวนของไอออนบวกในการวิเคราะห์โครเมียมรวม (0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร)	79
4-13 ความทนทานต่อการรบกวนของไอออนลบในการวิเคราะห์โครเมียมรวม (0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร)	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-14 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์.....	86
4-15 ร้อยละการได้กลับคืนเมื่อเติมสารละลายมาตรฐานโครเมียมรวมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงไปในตัวอย่างน้ำ.....	86
4-16 ความเข้มข้นของโครเมียมรวมที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำแหล่งต่าง ๆ.....	87
4-17 ความเข้มข้นของโครเมียมรวมที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำแหล่งต่าง ๆ เมื่อทำการเติมสารมาตรฐานโครเมียมลงไป.....	88
4-18 ความเข้มข้นของโครเมียมรวมที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำแหล่งต่าง ๆ เมื่อทำการเติมสารมาตรฐานโครเมียมลงไปแล้วทำการวิเคราะห์โดยเทคนิค AAS.....	88
4-19 การเปรียบเทียบปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำระหว่างเทคนิคที่เสนอกับ AAS.....	89
5-1 ปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อน.....	91
5-2 ปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยเทคนิคตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย.....	95
5-3 ปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการออกซิไดซ์.....	98
5-4 ความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์.....	100
5-5 ขีดจำกัดในการตรวจวัดและความเที่ยงในการหาปริมาณโครเมียมโดยเทคนิค UV-VIS เปรียบเทียบกับเทคนิคที่เสนอ.....	101
5-6 ขีดจำกัดในการตรวจวัดและความเที่ยงในการหาปริมาณโครเมียมโดยเทคนิคต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเทคนิคที่เสนอ.....	102
5-7 ขีดจำกัดในการตรวจวัดและความเที่ยงในการหาปริมาณโครเมียมโดยเทคนิค DLLME เปรียบเทียบกับเทคนิคที่เสนอ.....	103

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 โครงสร้างของ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (DPC)	9
2-2 โครงสร้างของไดฟีนิลคาร์บาโซน (DPCO)	9
2-3 โครงสร้างของไดฟีนิลคาร์บาไดเอโซน (DPCDO).....	9
2-4 การสกัดของเหลวด้วยของเหลวในระดับไมโคร (LLLME).....	10
2-5 การสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง.....	11
2-6 การสกัด HF-LPME.....	13
2-7 การสกัดด้วย SDME ลงในตัวอย่างโดยตรง.....	14
2-8 การสกัดด้วย HS-SDME ลงในตัวอย่าง.....	15
2-9 การสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย.....	16
4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่ ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร.....	49
4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC.....	50
4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสเฟตบัพเฟอร์กับการดูดกลืนแสงของ สารเชิงซ้อน Cr-DPC.....	51
4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(VI) กับการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC.....	52
4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ DPC กับสภาพไวในการตรวจวัดของสารเชิงซ้อน Cr-DPC.....	53
4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC.....	53
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ DBSA กับการดูดกลืนแสง.....	55
4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในการเหวี่ยงกับการดูดกลืนแสง.....	55
4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเหวี่ยงกับการดูดกลืนแสง.....	56
4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรตัวทำละลายในการสกัดกับการดูดกลืนแสง.....	57
4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างสารที่เป็นตัวแพร่กระจายกับการดูดกลืนแสง.....	58
4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของสารที่เป็นตัวแพร่กระจายกับการดูดกลืนแสง.....	59
4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัดกับการดูดกลืนแสง.....	60
4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์กับการดูดกลืนแสง.....	61

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของตัวทำละลายเจือจางกับค่าการดูดกลืนแสง.....	62
4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของตัวทำละลายเจือจางกับค่าการดูดกลืนแสง.....	63
4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(III) กับค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิต่าง ๆ ใน การออกซิไดซ์.....	65
4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสภาพไวในการตรวจวัด.....	66
4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(III) กับค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่าง ๆ ในการ ออกซิไดซ์.....	66
4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการออกซิไดซ์กับสภาพไวในการตรวจวัด.....	67
4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(III) กับค่าการดูดกลืนแสงในกรดต่างชนิดของ การออกซิไดซ์.....	68
4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(III) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของกรดซัลฟิวริก.....	69
4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกกับสภาพไวในการตรวจวัด.....	70
4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(III) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ Ce(IV).....	71
4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Ce(IV) กับสภาพไวในการตรวจวัด.....	72
4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(III) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของกรดเปอร์คลอริก.....	73
4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดเปอร์คลอริกกับสภาพไวในการตรวจวัด.....	74
4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนบวกกับค่าการดูดกลืนแสง (1000:1).....	76
4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนบวกกับค่าการดูดกลืนแสง (100:1).....	76
4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนบวกกับค่าการดูดกลืนแสง (500:1).....	77
4-31 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนบวกกับค่าการดูดกลืนแสง (50:1).....	78
4-32 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนบวกกับค่าการดูดกลืนแสง (20:1).....	78
4-33 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนลบกับค่าการดูดกลืนแสง (1000:1).....	79
4-34 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนลบกับค่าการดูดกลืนแสง (100:1).....	80
4-35 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนลบกับค่าการดูดกลืนแสง (500:1).....	81

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-36 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนลบกับค่าการดูดกลืนแสง (50:1).....	82
4-37 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอออนลบกับค่าการดูดกลืนแสง (20:1).....	82
4-38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมรวมกับค่าการดูดกลืนแสงสำหรับการหา ความเป็นเส้นตรงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC.....	84
4-39 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมรวมกับค่าการดูดกลืนแสงสำหรับการ สร้างกราฟมาตรฐานของสารเชิงซ้อน Cr-DPC.....	85