

การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสี ในตับคน  
ด้วยเทคนิคทางอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี  
และนิวตรอนแอคติเวชัน



นางสาว พรทิพย์ ตัดตะวะศาสตร์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชา เคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529


ISBN 974-567-231-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

011802

I16599652

The Quantitative Analysis of Iron, Copper and Zinc in  
Human Liver by Atomic Absorption Spectrophotometry  
and Neutron Activation Analysis



Miss Porn-tip Tattawasart

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the  
Requirements for the Degree of Master of Science  
Department of Chemistry

Graduate School  
Chulalongkorn University

1986

ISBN 974-567-231-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสีในดินคนด้วย เทคนิคทาง  
อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี และนิวตรอนแอคติเวชัน  
โดย                              นางสาว พรทิพย์ ตัดตะวะศาสตร์  
ภาควิชา                              เคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ แมน อมรสิทธิ์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      นายแพทย์ วิรัช บริรักษ์จรรยาวัตร



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.เทพ เชียงทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ แมน อมรสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นายแพทย์ วิรัช บริรักษ์จรรยาวัตร)

..... กรรมการ  
(นาย ประม คุ้มแกตุ)

..... กรรมการ  
(ดร. ลีทวิชย์ ลิทิพัฒน์ไพบูลย์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสี ในตับคนด้วยเทคนิคทาง  
อะตอมมิกแอมซอพซันสเปกโตรโฟโตเมตรี และนิวตรอนแอคติเวชัน

ชื่อนิสิค                      นางสาว พรทิพย์ ศักตะวะศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา          รองศาสตราจารย์ แม้น อมรสิทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      นายแพทย์ วิรัช บริรักษ์จรรยาวัตร

ภาควิชา                        เคมี

ปีการศึกษา                  2529



บทคัดย่อ

การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสีในตัวอย่างตับคนปกติ จำนวน 111 ตัวอย่าง และตัวอย่างตับผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมียจำนวน 10 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชัน และ เทคนิคอะตอมมิกแอมซอพซันสเปกโตรโฟโตเมตรี ปรากฏว่า ผลการวิเคราะห์จากทั้งสอง เทคนิคสอดคล้องกัน คือพบว่าตับคนปกติมีปริมาณเหล็กอยู่ในช่วง 131-1088 ไมโครกรัม/กรัม ปริมาณทองแดง 13-488 ไมโครกรัม/กรัม และปริมาณสังกะสี 101-575 ไมโครกรัม/กรัม ของน้ำหนักตับแห้ง จากการใช้คอมพิวเตอร์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุทั้งสาม กับอายุ และเพศ พบว่าปริมาณทองแดง เป็นปฏิภาคกลับกับอายุ แต่เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณสังกะสี และปริมาณธาตุทั้งสามจะไม่ขึ้นอยู่กัเพศ สำหรับปริมาณทองแดงในทารกจะมีปริมาณสูงกว่าในคนปกติที่อายุตั้งแต่ 1 ปีขึ้นไป ส่วนตับผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมีย พบว่ามีปริมาณเหล็กและทองแดงสูงผิดปกติ แต่ปริมาณสังกะสีต่ำกว่าคนปกติ จากการศึกษาลักษณะของเซลล์ด้วยอิเล็กตรอนไมโคร-สโคป พบว่าในตับผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมียมีสารประกอบเหล็กอยู่ในเฮพาทิกเซลล์และคิพเฟอร์เซลล์ โดยที่จะไม่พบในตับคนปกติ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์เหล็ก ทองแดง และสังกะสี ที่มีปริมาณน้อยมาก ๆ โดยการทำให้ microextraction ด้วย MIXOR ก่อนวิเคราะห์ด้วย AAS-GFA ปรากฏว่าประสิทธิภาพของการสกัด ความถูกต้อง ความแม่นยำ และลดข้อจำกัดของการวิเคราะห์ได้ดีขึ้น

Thesis Title            The Quantitative Analysis of Iron, Copper and Zinc in  
Human Liver by Atomic Absorption Spectrophotometry  
and Neutron Activation Analysis

Name                      Miss Porntip Tattawasart

Thesis Advisor        Associate Professor Maen Amorasit

Thesis Co-Advisor    Doctor Viraj Borirakchanyavat

Department            Chemistry

Academic Year        1986



#### ABSTRACT

Neutron activation analysis and atomic absorption spectrophotometric techniques were used for the determination of iron, copper and zinc in 111 samples of normal human liver and 10 samples of thalassemic persons. The results of both techniques were agreed and found that the iron content was in the range of 131-1088  $\mu\text{g/g}$ , 13-488  $\mu\text{g/g}$  of copper and 101-575  $\mu\text{g/g}$  of zinc in dry weight livers. The correlation between the amounts of these elements in the livers, ages and sexes was studied by a computer. It showed that the copper content was inversely proportional to the age and directly proportional to the content of zinc. However these elements have no correlation with sex. For the copper content of the infant liver was found to be the highest among the studied ages range from 0-87 years old. In the thalassemic persons, iron and copper contents were unusually high but zinc was in opposite direction to the normal ones. From the study of liver cells of the thalassemic liver with a transmission electron microscope was found that iron compound was deposited in hepatic cell and

could not be found for the normal liver. In this research the microextraction technique for iron, copper and zinc with a MIXOR were performed to get a better efficiency accuracy precision and lower detectability.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาคือ รองศาสตราจารย์ แมน อมรสิทธิ์ ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ตลอดจนตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมคือ นายแพทย์ วิรัช บริรักษ์จรรยาวัตร แผนกอายุรศาสตร์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ในการจัดเก็บตัวอย่างดี ตลอดจนให้คำแนะนำปรึกษาที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณปฐม แหยม เกตุ ผู้อำนวยการกองจัดคากัมมันตรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ในการให้คำแนะนำทางวิชาการและการปฏิบัติ เกี่ยวกับเทคนิคนิวตรอน-เอกติ เวชัน และรองศาสตราจารย์ ดร. เทอด เทศประทีป อาจารย์ประจำหน่วยพยาธิวิทยา ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการจัดทำสไลด์และรูปภาพ ประกอบการตรวจดูเซลล์ดี ขอขอบคุณ คุณไพรัช ศรีโยธา และคุณนิวัตร เรือนทองดี ในความช่วยเหลือจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย แม้จะเป็นส่วนหนึ่งก็นับว่า ได้ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
ดับและหน้าที่ของตับ .....	1
โลหะหนักในตับ .....	3
โรคตับและสาเหตุการเกิดโรค .....	3
1. โรควิลสัน (Wilson's diseaseหรือ hepatolenticular degeneration) .....	3
2. โรคธาลัสซีเมีย (Thalassemia) .....	4
ขบวนการ เมตาบอลิซึมของ โลหะหนักในตับ .....	5
1. ขบวนการ เมตาบอลิซึมของ เหล็ก .....	5
2. ขบวนการ เมตาบอลิซึมของ ทองแดง .....	7
3. ขบวนการ เมตาบอลิซึมของ สังกะสี .....	8
การกำจัด โลหะหนักที่มากเกินไปออกจากร่างกาย .....	9
1. การกำจัด เหล็ก .....	9
2. การกำจัด ทองแดง .....	10
2. ทฤษฎี .....	11
หลักการของ เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ .....	11



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

1. อะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) .....	11
1.1 Calibration method .....	12
1.2 Standard Addition method .....	12
2. นิวตรอนแอกติเวชัน (Neutron Activation Analysis) .....	16
2.1 หลักการของ เทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน .....	17
2.2 ข้อดีของการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชัน .....	19
2.3 ข้อเสียของการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชัน .....	21
2.4 สาเหตุที่อาจทำให้การวิเคราะห์โดยวิธีนิวตรอนแอกติเวชันมีข้อผิดพลาด .....	21
3. การทดลองและผลการทดลอง .....	23
ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย .....	23
การเตรียมตัวอย่างดิบเพื่อใช้ในงานวิเคราะห์ .....	23
การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงและ เหล็กในตัวอย่างดิบด้วย เทคนิคทางนิวตรอนแอกติเวชัน .....	23
1. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	27
2. วิธีการทดลอง .....	27
2.1 การตรวจสอบ เบื้องต้นของสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน .....	27
2.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในตัวอย่างดิบ .....	27
2.3 วิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างดิบ .....	28
3. ผลการทดลอง .....	28
การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสีในตัวอย่างดิบด้วย เทคนิคทางอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี .....	37
1. การศึกษา เทคนิคการ เพิ่มความ เข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน เหล็กทองแดงและสังกะสีด้วยการสกัด .....	37
1.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ .....	37
1.2 วิธีทำการทดลองและผลการทดลอง .....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2. การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสีในตัวอย่างด้วยเทคนิคทางอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี .....	61
2.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	61
2.2 วิธีการทดลองและผลการทดลอง .....	61
การตรวจดูเซลล์ของคนปกติ เปรียบเทียบกับเซลล์ของผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมีย ...	73
1. การตรวจดูเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา .....	73
2. การตรวจดูเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนไมโครสโคป .....	76
4. การใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล .....	78
การวิเคราะห์ทาสมาการรีเกรสชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดอย่างธรรมดา .....	78
การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS <sup>X</sup> , release 2.1 .....	79
1. คำสั่งโปรแกรม FREQUENCY / HISTOGRAM .....	79
2. คำสั่งโปรแกรม PEARSON CORRELATION .....	91
3. คำสั่งโปรแกรม SCATTER DIAGRAM .....	93
4. คำสั่งโปรแกรม REGRESSION (หรือการวิเคราะห์การถดถอย) .....	104
4.1 ENTER .....	104
4.2 STEPWISE .....	106
5. อภิปรายสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	107
อภิปรายสรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสีในตัวอย่าง .....	107
อภิปรายสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ .....	113
อภิปรายสรุปผลการตรวจดูเซลล์ .....	120
อภิปรายสรุปผลการศึกษาเทคนิค microextraction ด้วย "MIXOR" .....	121
ข้อเสนอแนะ .....	125
บรรณานุกรม .....	126
ประวัติผู้เขียน .....	130

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการหาปริมาณ เหล็กและทองแดง โดยการสกัดควบคู่กับ เทคนิคอะตอม มิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี .....	16
2.2 แสดงค่าค่าสุดของการตรวจวิเคราะห์ธาตุบางชนิดโดยใช้นิวตรอนแอคติเวชัน.....	20
3.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ เหล็กและทองแดง ในตัวอย่างคัมด้วย เทคนิคทาง นิวตรอนแอคติเวชัน .....	33
3.2 แสดงค่าต่าง ๆ ของสภาวะของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบแกรไฟต์ที่ใช้วิเคราะห์ .....	39
3.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การสกัดสารละลาย เหล็ก ทองแดง และสังกะสี ด้วยระบบ APDC-MIBK โดยการใช้กรวยแยกเปรียบเทียบกับ MIXOR .....	46
3.4 แสดง Precision และ Accuracy ของการสกัดสารละลาย เหล็ก ทองแดง และสังกะสี ด้วยกรวยแยกเปรียบเทียบกับ MIXOR โดยใช้ระบบ APDC-MIBK และวิเคราะห์ด้วย เทคนิค GFA .....	48
3.5 แสดงผลการทดสอบความสามารถของการวิเคราะห์ เหล็กทาง AAS ด้วยเทคนิค GFA โดยใช้ความเข้มข้นสารละลาย $0.05 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ .....	52
3.6 แสดงผลการทดสอบความสามารถของการวิเคราะห์ทองแดงทาง AAS ด้วยเทคนิค GFA โดยใช้ความเข้มข้นสารละลาย $0.05 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ .....	53
3.7 แสดงผลการทดสอบความสามารถของการวิเคราะห์สังกะสีทาง AAS ด้วยเทคนิค GFA โดยใช้ความเข้มข้นสารละลาย $0.05 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ .....	54
3.8 แสดงผลการทดสอบความสามารถของการวิเคราะห์ เหล็กทาง AAS ด้วยเทคนิคการสกัดด้วยกรวยแยกและ MIXOR ร่วมกับ GFA จากการใช้ สารละลายที่มีความเข้มข้น $0.01 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ .....	55
3.9 แสดงผลการทดสอบความสามารถของการวิเคราะห์ เหล็กทาง AAS ด้วยเทคนิคการสกัดด้วยกรวยแยกและ MIXOR ร่วมกับ GFA จากการใช้ สารละลายที่มีความเข้มข้น $0.01 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ .....	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.10 แสดงผลการทดสอบความสามารถของการวิเคราะห์สังกะสีทาง AAS ด้วยเทคนิคการสกัดด้วยกรวยแยกและ MIXOR ร่วมกับ GFA จากการใช้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.01 µg/cm <sup>3</sup> .....	59
3.11 แสดงค่าต่าง ๆ ของสภาวะ เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.. ที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก ทองแดง และสังกะสีในตัวอย่างดิบคน .....	65
3.12 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสีในตัวอย่างดิบด้วย เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ .....	66
4.1 แสดงโปรแกรมของ Least Square Method ที่ใช้ในการคำนวณและสร้างกราฟ มาตรฐาน .....	80
4.2 แสดงโปรแกรม SPSS <sup>X</sup> , release 2.1 ที่ใช้วิเคราะห์ผลการทดลองหาปริมาณ เหล็ก ทองแดง และสังกะสีในตัวอย่างดิบ .....	83
4.3 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่าง ดิบคนปกติทั้งหมดด้วยเทคนิค INAA และเทคนิค AAS .....	91
4.4 แสดง เมตริกซ์ความสัมพันธ์ในระหว่างปริมาณเหล็ก ปริมาณทองแดง อายุ และ เพศ จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิบคนปกติด้วย เทคนิค INAA .....	92
4.5 แสดง เมตริกซ์ความสัมพันธ์ในระหว่างปริมาณเหล็ก ปริมาณทองแดง ปริมาณสังกะสี อายุ และ เพศ จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิบคนปกติด้วย เทคนิค AAS .....	93
4.6 แสดงค่าคงที่และช่วงของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระในสมการการถดถอย เชิง เส้น ของปริมาณเหล็กและปริมาณทองแดงในตัวอย่างดิบคนปกติที่วิเคราะห์ด้วย เทคนิค INAA .....	106
4.7 แสดงค่าคงที่ และช่วงของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระในสมการ การถดถอย เชิง เส้นของปริมาณเหล็ก ปริมาณทองแดง และปริมาณสังกะสีในตัวอย่างดิบคน ปกติ ที่วิเคราะห์ด้วย เทคนิค AAS .....	106
5.1 แสดงค่าเฉลี่ยและช่วงของปริมาณเหล็กและทองแดงในตัวอย่างดิบคนปกติโดยแบ่ง เพศและช่วงอายุ วิเคราะห์ด้วย เทคนิค AAS .....	108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.2 แสดงค่าเฉลี่ยและช่วงของปริมาณเหล็ก ทองแดง และสังกะสีในตัวอย่างดิบคนปกติโดยแบ่งเพศและช่วงอายุ วิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง AAS .....	110
5.3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณเหล็กและทองแดงในตัวอย่างดิบคนปกติจำนวน 59 ตัวอย่าง เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค INAA และเทคนิค AAS .....	112
5.4 แสดงผลการทดสอบความสามารถของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเหล็ก ทองแดง และสังกะสี ด้วยเทคนิค GFA เปรียบเทียบกับเทคนิค flame-AAS....	122
5.5 แสดงค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การสกัดสารละลายมาตรฐานเหล็ก ทองแดง และสังกะสีโดยใช้เทคนิค microextraction เปรียบเทียบกับเทคนิค macroextraction .....	123
5.6 แสดงค่า % relative error โดยเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวิเคราะห์สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยเทคนิค microextraction เปรียบเทียบกับเทคนิค macroextraction .....	124
5.7 แสดงค่า detection limit ของการวิเคราะห์สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยเทคนิค microextraction เปรียบเทียบกับเทคนิค macroextraction..	124

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนภาพแสดงการกระจายและการถ่ายเท เหล็กภายในร่างกาย .....	6
1.2	แสดงปริมาณทองแดงในพลาสมาในหญิงมีครรภ์ตามระยะเวลาก่อนคลอดและ หลังคลอด .....	6
1.3	แสดงปฏิกิริยาการรวมตัวของ desferrioxamine กับ ferric ion.....	10
2.1	แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS .....	12
2.2	แสดงกราฟมาตรฐานโดยวิธี Standard Addition .....	13
3.1	ภาชนะบรรจุตัวอย่างและภาชนะนำสาร เข้าอาบรังสีนิวตรอน .....	24
3.2	ไดอะแกรมของ เครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ .....	25
3.3	หัววัดรังสีแกมมา และ เครื่องนับรังสีแกมมา .....	26
3.4	แสดงแกมมาสเปกตรัมของตัวอย่างคืบภายหลังการอาบรังสีนิวตรอนใน pneumatic tube .....	29
3.5	แสดงแกมมาสเปกตรัมของสารมาตรฐาน Bovine Liver (SRM 1577) ภายหลังการอาบรังสีนิวตรอนใน pneumatic tube .....	30
3.6	แสดงแกมมาสเปกตรัมของตัวอย่างคืบเพื่อหาปริมาณเหล็กภายหลังการอาบรังสี นิวตรอนใน Lazy Susan System .....	31
3.7	แสดงแกมมาสเปกตรัมของ Bovine Liver (SRM 1577) โดยขยายสเกล แสดงเฉพาะ $Fe^{59}$ .....	32
3.8	"MIXOR" ที่นำมาประยุกต์ใช้ในเทคนิค microextraction .....	38
3.9	กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานธาตุเหล็ก .....	40
3.10	กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานธาตุทองแดง .....	40
3.11	กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานธาตุสังกะสี .....	41

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นสารละลาย เหล็กหลังจากสกัดด้วยกรวยแยก .....	43
3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นสารละลาย เหล็กหลังจากสกัดด้วย MIXOR .....	43
3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นสารละลาย ทองแดงหลังจากสกัดด้วยกรวยแยก .....	44
3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นสารละลาย ทองแดงหลังจากสกัดด้วย MIXOR .....	44
3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นสารละลาย สังกะสีหลังจากสกัดด้วยกรวยแยก .....	45
3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้นสารละลาย สังกะสีหลังจากสกัดด้วย MIXOR .....	45
3.18 แสดงตัวอย่างพีคของการหา detection limit ของเทคนิค GFA .....	51
3.19 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับความเข้มข้น ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก .....	62
3.20 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพีคกับความเข้มข้น ของสารละลายมาตรฐานทองแดง .....	62
3.21 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับความเข้มข้น ของสารละลายมาตรฐานสังกะสี .....	64
3.22 แสดงตัวอย่างของพีคที่ได้จากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานทองแดง ด้วยเทคนิค GFA .....	64
3.23 แสดงเซลล์ในตัวอย่างคัมปนคิตี ย้อมสี Turnbull blue 400 x .....	73
3.24 แสดงเหล็กในคัพเฟอร์เซลล์ของคัมพู๋วยโรคธาลัสซีเมีย, ย้อมสี Turnbull blue, 200 x .....	74
3.25 เซลล์ของตัวอย่างคัมพู๋วยโรคธาลัสซีเมียที่ขยายมาจากรูปที่ 3.24 แสดงเหล็ก ในเฮพาทิกเซลล์ (HC) และคัพเฟอร์เซลล์ (KC), 400 x .....	74

## สารบัญรูป (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.26	แสดง เซลล์คัมของตัวอย่างคัมคนปกติ, ย้อมสี H & E, 200 x ..... 75
3.27	แสดง เหล็กในคัพเฟอร์เซล (KC) และ เฮพาทิกเซล (HC) ของตัวอย่างคัม ผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมีย, ย้อมสี H & E, 200 x ..... 75
3.28	เซลล์คัมของตัวอย่างคัมผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมียที่ขยายจากรูปที่ 3.27 แสดง เหล็กใน KC และ HC, 400 x ..... 76
3.29	แสดง เฮพาทิกเซล (HC) และคัพเฟอร์เซล (KC) ในตัวอย่างคัมคนปกติ, 3700 x ..... 77
3.30	แสดง ฮีโมสดีเคอริบอดี (HB) ในคัพเฟอร์เซล (KC) และ เฮพาทิกเซล (HC) ของตัวอย่างคัมผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมีย 3700 x ..... 77
4.1	แสดง ฮีสโตแกรมของปริมาณเหล็กในตัวอย่างคัมที่วิเคราะห์ด้วย INAA ..... 86
4.2	แสดง ฮีสโตแกรมของปริมาณเหล็กในตัวอย่างคัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS ..... 87
4.3	แสดง ฮีสโตแกรมของปริมาณทองแดงในตัวอย่างคัมที่วิเคราะห์ด้วย INAA ..... 88
4.4	แสดง ฮีสโตแกรมของปริมาณทองแดงในตัวอย่างคัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS ..... 89
4.5	แสดง ฮีสโตแกรมของปริมาณสังกะสีในตัวอย่างคัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS ... 90
4.6	แสดง SCATTER DIAGRAM ของความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับปริมาณเหล็กใน ตัวอย่างคัมคนปกติที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค INAA ..... 95
4.7	แสดง SCATTER DIAGRAM ของความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับปริมาณทองแดงใน ตัวอย่างคัมคนปกติที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค INAA ..... 96
4.8	แสดง SCATTER DIAGRAM ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับปริมาณทองแดง ในตัวอย่างคัมคนปกติที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค INAA ..... 97
4.9	แสดง SCATTER DIAGRAM ของความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับปริมาณเหล็กใน ตัวอย่างคัมคนปกติที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS ..... 98
4.10	แสดง SCATTER DIAGRAM ของความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับปริมาณทองแดง ในตัวอย่างคัมคนปกติที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GFA ..... 99



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 แสดง SCATTER DIAGRAM ของความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับปริมาณสังกะสี ในตัวอย่างคัมคนปกติที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS .....	100
4.12 แสดง SCATTER DIAGRAM ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับปริมาณ ทองแดงในตัวอย่างคัมคนปกติที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS .....	101
4.13 แสดง SCATTER DIAGRAM ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับปริมาณสังกะสี ในตัวอย่างคัมคนปกติที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS .....	102
4.14 แสดง SCATTER DIAGRAM ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของทองแดงกับ ปริมาณสังกะสีในตัวอย่างคัมคนปกติที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS .....	103

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย