การพัฒนาส่วนเชื่อมโยงสัญญาณและโปรแกรมอิมูเลเตอร์สำหรับเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแจกแจงพลังงาน

นาย วสันต์ อัมพุชนี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-9832-6
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21047996

DEVELOPMENT OF AN INTERFACE UNIT AND AN EMULATOR PROGRAM FOR THE ENERGY DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER

Mr. Wasan Amphuchinee

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-9832-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาส่วนเชื่อมโยงสัญญาณและโปรแกรมอิมูเลเตอร์สำหรับเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแจกแจงพลังงาน
โดย	นายวสันต์ อัมพุชินี
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์เดโช ทองอร่าม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์เดโช ทองอร่าม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วสันต์ อัมพุชินี : การพัฒนาส่วนเชื่อมโยงสัญญาณและโปรแกรมอิมูเลเตอร์สำหรับเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแจกแจงพลังงาน (DEVELOPMENT OF AN INTERFACE UNIT AND AN EMULATOR PROGRAM FOR THE ENERGY DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER) อ. ที่ปรึกษา : อ.เดโช ทองอร่าม, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, 140 หน้า. ISBN 974-17-9832-6

การวิจัยนี้ได้พัฒนาส่วนเชื่อมโยงสัญญาณและโปรแกรมอิมูเลเตอร์สำหรับเครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองที่ล้าสมัยแล้ว ส่วนเชื่อมโยงสัญญาณถูกควบคุมโดยโปรแกรมอิมูเลเตอร์ทำให้สามารถรวบรวม เก็บบันทึก และแสดงผลข้อมูลสเปกตรัมได้ โปรแกรมอิมูเลเตอร์ยังทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำการวิเคราะห์สเปกตรัมเบื้องต้น เช่น การคำนวณพื้นที่ของพีค กึ่งกลางของพีค ค่า FWHM และค่า FWTM รวมทั้งการยืดขยายบริเวณที่สนใจ เป็นต้น ข้อมูลสเปกตรัมที่เก็บบันทึกไว้สามารถเรียกใช้และเปลี่ยนรูปแบบให้เข้ากับโปรแกรม WinQXAS ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศได้ โดยใช้โปรแกรม SPEDAC ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ผลการทดสอบความสามารถในการแจกแจง พลังงานของระบบที่ 5.9 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ พบว่ามีค่าเท่ากับ 167 อิเล็กตรอนโวลต์ จากการใช้พลูโทเนียม-238 เป็นต้นกำเนิดรังสี และแผ่นทองแดงเป็นชิ้นงานพบว่าพีคของ Cu K_α และ Cu K_β แยกออกจากกันได้อย่างน่าพอใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4270527221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: X-ray Fluorescence Spectrometry / EDX

WASAN AMPHUCHINEE: DEVELOPMENT OF AN INTERFACE UNIT AND AN EMULATOR PROGRAM FOR THE ENERGY DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER. THESIS ADVISOR : DECHO THONG-ARAM, THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, 140 pp. ISBN 974-17-9832-6

In this research, an interface unit and an emulator program were developed to be used with an outdated energy dispersive x-ray fluorescence (EDXRF) spectrometer. The interface unit was controlled by the emulator program enabling spectrum data acquisition, storage and display. The emulator program also allowed the user to perform some basic spectrum analysis such as calculation of peak area, peak centroid, FWHM and FWTM; as well as expansion of the ROI. The stored spectrum data could be retrieved and converted to the IAEA WinQXAS format by the IAEA SPEDAC software. The system was finally tested for its energy resolution at 5.9 keV and it was found to be 167 eV. By using a ^{238}Pu as the exciting source and a copper plate as the test specimen, Cu K_α and Cu K_β were satisfactorily resolved.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	Nuclear Technology	Student's signature.....
Field of study	Nuclear Technology	Advisor's signature.....
Academic year	2002	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เดโช ทองอร่าม รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว และ ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ รวมทั้งคณาจารย์ในภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาและองค์ความรู้ต่างๆ ให้คำปรึกษาชี้แนะ อีกทั้งให้โอกาศในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญนิวเคลียร์เทคโนโลยีสำหรับการวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี และศูนย์เครื่องมือฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัท Link Analytical Limited ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแจกแจงพลังงาน

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจ และให้การอบรมสั่งสอน

ขอขอบคุณ คุณหัสฤกษ์ เนียมอินทร์ คุณอุริช อัชชโคสิต คุณบัญชา อุนพานิช คุณจเด็จ เย็นใจ เพื่อนๆ และน้องๆทุกคนที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณแพรดาว ฟูพาณิชย์พฤกษ์ ที่เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายที่สุดขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยวิทยานิพนธ์มา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่

1. บทนำ... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2. หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์.....5

2.1 รังสีเอกซ์.....5

2.2 การดูดกลืนรังสีเอกซ์.....7

2.2.1 การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก.....8

2.2.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน 10

2.2.3 การกระเจิงแบบเรย์เลย์ 11

2.3 ระบบวิเคราะห์แบบเรืองรังสีเอกซ์.....11

2.3.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ.....11

2.3.1.1 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์.....12

2.3.1.2 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสี.....15

2.3.2 ตัวอย่าง 17

2.3.3 ส่วนของระบบวัดและวิเคราะห์รังสีเอกซ์.....19

2.3.3.1 Non-dispersion.....19

2.3.3.2 Dispersion.....21

2.4 The Energy Dispersive System 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 หัววัดรังสีเอกซ์.....23

2.4.1.1 ผลึกวิเคราะห์ (Crystal Analyser).....23

2.4.1.2 ฟิลด์เอฟเฟ็กซ์ทรานซิสเตอร์ (FET).....25

2.4.1.3 วงจรขยายสัญญาณส่วนหน้า (Preamplifier).....26

2.4.2 พัลส์โพรเซสเซอร์.....31

2.4.3 วงจรแปลงผันสัญญาณ (ADC).....33

2.4.3.1 ตัวแปลงผันสัญญาณแบบวิลคินสัน (Wilkinson ADC).....33

2.4.3.2 ตัวแปลงผันสัญญาณแบบแฟลช (Flash ADC).....36

2.4.3.3 ตัวแปลงผันสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอพพรอกซิเมชัน (Successive-Approximation ADC).....37

2.5 การสื่อสารข้อมูลอนุกรม USB.....38

2.5.1 พื้นฐานของ USB พอร์ต.....39

2.5.2 การติดต่อระหว่างอุปกรณ์และโฮสต์.....40

2.5.3 การอินเตอร์เฟสกับระบบคอมพิวเตอร์.....41

2.5.4 การอินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น.....42

2.5.5 คุณสมบัติทั่วไปของ FT8U245AM.....42

3. การพัฒนาส่วนเชื่อมโยงสัญญาณและโปรแกรมอิมูเลเตอร์.....44

3.1 ข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาส่วนเชื่อมโยงสัญญาณ.....44

3.2 แหล่งกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทป.....45

3.3 ระบบสุญญากาศ.....46

3.3.1 วงจรควบคุมระบบสุญญากาศ.....46

3.4 การออกแบบวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ.....49

3.4.1 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ.....49

3.5 โปรแกรมอิมูเลเตอร์สำหรับควบคุมการทำงานเครื่องวิเคราะห์ธาตุ.....53

3.5.1 การพัฒนาโปรแกรมอิมูเลเตอร์สำหรับควบคุมและแสดงผลข้อมูล.....54

3.5.2 การจัดเก็บข้อมูล.....57

3.5.3 การแปลงรูปแบบไฟล์ให้เป็นไฟล์มาตรฐานสำหรับ WinQXAS.....57

3.5.4 โปรแกรมวิเคราะห์ WinQXAS.....58

4. การทดสอบการทำงานของระบบ.....61

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบระบบวิเคราะห์ธาตุฯที่ได้รับกาปรับปรุง

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ประสิทธิภาพ.....61
4.2 การทดสอบการทำงานของหัววัดรังสีเอกซ์และพรีแอมป์.....62
4.2.1 การทดสอบระบบสุญญากาศภายในหัววัดรังสีเอกซ์.....62
4.2.2 การทดสอบการทำงานของพรีแอมป์.....63
4.3 การทดสอบการทำงานของพัลส์โพรเซสเซอร์.....65
4.3.1 การทดสอบการปรับแต่ง Energy Range.....65
4.3.2 การทดสอบการปรับแต่งสัญญาณจาก GAIN.....67
4.3.3 การทดสอบการปรับแต่ง Processing Time.....68
4.4 การทดสอบการทำงานของตัวแปลงผันสัญญาณ.....70
4.5 การทดสอบการทำงานของโปรแกรมอิมูเลเตอร์ควบคุมและแสดงผล.....72
4.5.1 การทดลองปรับแต่งรูปร่างสเปกตรัมของพลังงานในรูปแบบต่างๆ.....72
4.5.2 การทดลองการกำหนดช่วงสเปกตรัมที่สนใจในการวิเคราะห์.....74
4.6 การทดสอบการวิเคราะห์ธาตุฯ.....77
4.7 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวิเคราะห์ธาตุฯ.....81
5.สรุปผลและเสนอแนะ.....82
5.1 สรุปผลการทดลอง.....82
5.2 ข้อเสนอแนะ.....84
รายการอ้างอิง.....85
ภาคผนวก
ก. คุณสมบัติของต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปบางชนิด.....88
ข. Periodic Table และ X-ray Energies.....89
ค. การคำนวณ Covell Method, FWHM.....90
ง. โปรแกรมอิมูเลเตอร์.....94
จ. ไอซี FT8U245AM.....114
ฉ. แผนภาพวงจรพัลส์โพรเซสเซอร์.....134
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....140

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.15 แสดงรูปแบบไฟล์ใน WinQXAS.....59

4.7 แสดงตารางความสัมพันธ์ระหว่าง Energy Range กับความสูงสัญญาณ.....67

4.10 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Processing Time กับ FWHM ของ Cu K_{α_1}.....70

4.21 เปรียบเทียบการคำนวณระหว่างโปรแกรม Genie2000 กับโปรแกรมอิมูเลเตอร์.....76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงสเปกตรัมแบบต่อเนื่องของรังสีเอกซ์ ณ ความต่างศักย์ที่แตกต่างกัน.....6
2.2 ภาพแสดง Mass attenuation coefficient ของตะกั่วกับพลังงานโฟตอน.....8
2.3 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....9
2.4 การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....10
2.5 แสดงสเปกตรัมรังสีเอกซ์ต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากหลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้เป้าโมลิบดินัม.....12
2.6 แสดงผลกระทบของสเปกตรัมต่อเนื่องของหลอดรังสีเอกซ์เมื่อเปลี่ยนค่าของ กระแส, ไฟฟ้าศักดาสูงและเป้าที่มีเลขอะตอมต่างๆ.....13
2.7 แสดงลักษณะต้นกำเนิดรังสีแบบไอโซโทป (ก) Point Source (ข) Annular Source.....16
2.8 แสดงไดอะแกรมของ Energy Dispersive System.....22
2.9 ผลึกของหัววัดแบบกึ่งตัวนำ.....24
2.10 แผนภาพการทำงานของ FET.....26
2.11 พรีแอมพลิฟายเออร์ ชนิด Resistive Feedback.....27
2.12 พรีแอมพลิฟายเออร์ ชนิด Pulsed Optical feedback.....29
2.13 ไดอะแกรมการทำงานของ Pulse Processor.....31
2.14 โครงสร้างการทำงานของ process channel.....33
2.15 สัญญาณใน Wilkinson ระหว่างการทำ Pulse Measurement Process.....35
2.16 หลักการทำงานของ Winkinson ADC.....35
2.17 หลักการของ Flash ADC.....36
2.18 วงจรพื้นฐานที่ใช้กับ Successive-approximation ADC.....38
2.19 แสดงคอนเน็กเตอร์ USB แบบ A และ B.....39
2.20 แสดงการกำหนดอัตราเร็วในการส่งข้อมูลในระบบบัส USB.....41
2.21 แสดงรูปไอซี FT8U245AM.....43
2.22 ไดอะแกรมแสดงส่วนการทำงานภายในไอซี FT8U245AM.....43
3.1 แสดงภาพส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์ธาตุฯ.....44
3.2 แสดงแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิชนิดไอโซโทปจาก Pu-238.....45
3.3 วงจรควบคุมการทำงานของปั๊มสุญญากาศ.....47

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.4 วงจรเปรียบเทียบความดันภายในแชมเบอร์.....48

3.5 แสดงส่วนเชื่อมโยงสัญญาณ.....49

3.6 แผนภาพการทำงานของส่วนเชื่อมโยงสัญญาณ.....50

3.7 แสดงแผนภาพเวลาของวงจรควบคุมการแปลงผันสัญญาณ.....51

3.8 แสดงการพัฒนาวงจรเชื่อมโยงสัญญาณจากไอซี FT8U245.....51

3.9 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ.....52

3.10 รายชื่อพอร์ตต่างๆในคอมพิวเตอร์.....54

3.11 หน้าต่างการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ฯ.....55

3.12 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมควบคุมเครื่องวิเคราะห์ฯ.....56

3.13 หน้าต่างแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลสเปกตรัมรังสีเอกซ์จากเครื่องวิเคราะห์ธาตุฯ.....57

3.14 หน้าต่างโปรแกรมแปลงรูปแบบไฟล์ SPEDAC for Windows.....58

3.16 หน้าต่างแสดง WinQXAS.....60

4.1 หัววัดรังสีเอกซ์และพรีแอมป์ของเครื่องวิเคราะห์ธาตุฯ.....62

4.2 แผนภาพการทดสอบหัววัดรังสีและพรีแอมป์.....63

4.3 ลักษณะสัญญาณที่ออกจากหัววัดรังสี.....64

4.4 แผงควบคุมด้านหน้าวงจรพัลส์โพรเซสเซอร์.....65

4.5 แผนภาพการจัดระบบทดสอบความสามารถของพัลส์โพรเซสเซอร์.....66

4.6 แสดงรูปสัญญาณที่ผ่านการขยายสัญญาณที่ Energy Range ต่างๆ.....67

4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนค่า Gain กับตำแหน่งของพีคตำแหน่งพลังงาน K_{α_1} ที่ออกมาจากทองแดง.....68

4.9 แสดงพีคของ Cu K_{α_1} K_{α_2} ที่ Processing Time 10 20 และ 40 μs ตามลำดับ.....69

4.11 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบตัวแปลงผันสัญญาณ.....70

4.12 รูปสัญญาณจากวงจรแปลงผันสัญญาณ.....71

4.13 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงผันสัญญาณ.....72

4.14 สเปกตรัมของตัวอย่างทองแดงก่อนการปรับแต่ง.....73

4.15 สเปกตรัมของตัวอย่างเมื่อใช้ฟังก์ชั่นการยืดขยาย.....73

4.16 สเปกตรัมของตัวอย่างเมื่อใช้ฟังก์ชั่นการเลื่อนที่.....73

4.17 สเปกตรัมของตัวอย่างเมื่อใช้ฟังก์ชั่นการขยายความสูง.....74

4.18 สเปกตรัมของตัวอย่างเมื่อใช้ฟังก์ชั่นการย่อความสูง.....74

4.19 หน้าต่างโปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัม Genie2000 จากบริษัท Canberra.....75

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 หน้าต่างโปรแกรมอิมูเลเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อเก็บข้อมูลจากเครื่องวิเคราะห์ธาตุฯ.....75
4.22 หน้าต่างแสดงการหาค่า Energy Calibration.....76
4.23 การจัดอุปกรณ์และตัวอย่างในการวิเคราะห์ธาตุฯ ในเครื่อง Link System.....77
4.24 หน้าต่างโปรแกรมอิมูเลเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจากเครื่องวิเคราะห์ธาตุ.....78
4.25 หน้าต่างแสดงสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WinQXAS.....78
4.26 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WinQXAS จากเครื่องวิเคราะห์ธาตุฯ ที่ปรับปรุง....79
4.27 การจัดการทดลองเครื่องวิเคราะห์ธาตุจากหัววัดรังสีเอกซ์ชนิด Ge.....79
4.28 หน้าต่างโปรแกรม Genie2000 แสดงการเก็บข้อมูลตัวอย่างจากหัววัด Ge.....80
4.29 หน้าต่างโปรแกรม WinQXAS แสดงการวิเคราะห์ตัวอย่างจากหัววัด Ge.....80
4.30 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ธาตุที่ได้จากหัววัด Ge 81
4.31 หน้าต่างแสดงผลการหา Resolution ของระบบวิเคราะห์ธาตุฯ.....81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย