

หลักการทํางานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์และวิธีการ
เลือกสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
PRINCIPLE OF X-RAY FLUORESCENCE MACHINE
OPERATION AND SELECTION METHOD FOR
ELECTRONIC INDUSTRIAL



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หลักการทํางานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์และวิธีการ
เลือกสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

PRINCIPLE OF X-RAY FLUORESCENCE MACHINE
OPERATION AND SELECTION METHOD FOR
ELECTRONIC INDUSTRIAL



รณากาญจน์ ชายเดช

สาขา.....
เลขทะเบียน..... 149487
วันเดือนปี..... 8 ส.ค. 2561

b. 12984261

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ปีการศึกษา 2559** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRINCIPLE OF X-RAY FLUORESCENCE MACHINE
OPERATION AND SELECTION METHOD FOR
ELECTRONIC INDUSTRIAL



A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF THECNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2016

หัวข้อสหกิจศึกษา หลักการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์และวิธีการเลือกสำหรับ
อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
Principle of X-Ray Fluorescence Machine Operation and
Selection Method for Electronic Industrial

ชื่อนักศึกษา นางสาวนากาญจน์ ชายเดช รหัสนักศึกษา 56051152

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ประธานกรรมการ	
ดร.พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ กรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	หลักการทํางานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์และวิธีการเลือกสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธนากาญจน์ ขายเดช รหัสนักศึกษา 56051152
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการศึกษาหลักการและการทำงานของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement และวิธีการเลือกเครื่องมือ เนื่องจากทางแผนก IQA บริษัท ไมโครชิพ เทคโนโลยี (ไทยแลนด์) จำกัด ต้องการเลือกซื้อเครื่องมือนี้เพื่อใช้วัดความหนาของโลหะที่ชุบบริเวณขาสีดเฟรม และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในงานประเภทปลอดสารตะกั่วและโดยมีตัวเลือกทั้งหมด 4 รุ่น จาก 3 ผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่าย จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ พบว่าเครื่องรุ่น Q จากผู้ผลิต A ได้คะแนนความเหมาะสมสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 3 รุ่น และเนื่องจากเครื่องรุ่น Q มีสินค้าสาธิตทดลองใช้จึงได้นำสีกัดเฟรม Ag/Cu Alloy มาวัดความหนาของ Ag ทำการวัดซ้ำ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยของความหนาทั้ง 4 ครั้งมีความใกล้เคียงกัน จึงนำมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยโปรแกรม Minitab และตั้งสมมติฐานหลัก (H_0) ว่า ค่าเฉลี่ยความหนาของการวัดซ้ำ 4 ครั้ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบคือยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่งผลให้เครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement รุ่น Q จากผู้ผลิต A เป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมสำหรับฟังก์ชันการใช้งานในปัจจุบันมากที่สุด

คำสำคัญ : การทดสอบสมมติฐาน เครื่องมือวัดความหนาของผิวชั้นเคลือบ วิธีการเลือกซื้อเครื่องมือเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์

Title	Principle of X-Ray Fluorescence Machine Operation and Selection Method for Electronic Industrial
Student	Miss. Tanakarn Chaidecth Student ID 56051152
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Dr. Witoon Yindeesuk

Abstract

This research, discusses the study of the principles and operation of the X-ray fluorescence instrument for coating thickness measurement and tool selection method for electronic industrial due to the IQA Department at Microchip Technology (Thailand) Ltd. expressing an interest to buy this tool to measure the thickness of the metal that is plated in the lead frame and analyze element composition in lead-free work with 4 models from 3 suppliers and distributors. By comparison of features, it was found that the Q model from supplier A had the highest rating compared to the other 3 models, and since the Q model had a demo machine, the Ag / Cu Alloy lead frame was used to measure the thickness of the Ag. We found that the average thickness of the 4 times were similar. The hypothesis was hypothesized by the Minitab software and the null hypothesis (H_0) that is the average repeat thickness was not significantly different. The test results accepted null hypothesis (H_0) based on a 95% confidence. As a result, the X-ray fluorescence instrument for coating thickness measurement model Q from A supplier is the most suitable for current functions.

Keywords : hypothesis test, x-ray fluorescence instrument for coating thickness measurement, tool selection method, x-ray fluorescence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณ คุณจักรกฤษณ์ ประกอบการ ผู้จัดการแผนกรับประกันคุณภาพฯ เข้า คุณอุสา อภิถัญญานุรักษ์ คุณณัฐธณี สุทยานันท์ คุณอภิชาติ นารถชัย คุณชัยณรงค์ ลี้มทอง และท่านอื่นๆ ในแผนกรับประกันคุณภาพ บริษัท ไมโครชิพ เทคโนโลยี (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อมอบความรู้ และคำแนะนำ อันมีผลให้สหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาที่ช่วยเหลือ ดูแล และให้คำปรึกษาในการทำสหกิจศึกษาครั้งนี้ อันมีผลให้สหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ดร.พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ ดร.พิศาล สุขวิสูตร คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สละเวลาอันมีค่าของพวกท่าน และให้เกียรติอย่างมากในการเป็นคณะกรรมการสอบสหกิจศึกษาแก่ผู้วิจัย

คณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ และเจ้าหน้าที่ธุรการ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้มอบวิชาความรู้ คำแนะนำ คอยช่วยเหลือ และดูแลผู้วิจัยตลอดระยะเวลา 4 ปีที่อยู่ในรั้วสถานศึกษาแห่งนี้

คุณกิตติศักดิ์ และคุณสุรชาติ ที่ได้มอบความรู้เรื่องเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement อันมีผลให้สหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

นางสาวปวีณสุดา จันทร นางสาวอาภาภรณ์ พวงประเสริฐศิลป์ นางสาวพัชราภรณ์ สุดสุวรรณ นายธนชัย แจงเจริญ นายปัญญา พรหมศักดิ์ และเพื่อนนักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ ที่คอยช่วยเหลือ รับฟังปัญหา และให้กำลังใจ

บิดา-มารดาที่คอยรับฟังปัญหา ดูแลเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษาเป็นอย่างดี

สถานประกอบการ บริษัท ไมโครชิพ เทคโนโลยี (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านสถานที่ให้ผู้วิจัยได้ทำสหกิจศึกษา

ธนากาญจน์ ชายเดช

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลีดเฟรม	4
2.2 กระบวนการเชื่อมลวด	4
2.2.1 Thermocompression	4
2.2.2 Ultrasonic Bonding	5
2.2.3 Theomsonic Ball Bonding	5
2.3 X-Ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy	6
2.3.1 ระบบสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer System)	7
2.3.2 รังสีเอ็กซ์	7
2.3.3 รังสีฟลูออเรสเซนซ์	8
2.3.4 การกระเจิงแบบเรย์ลีและคอมป์ตัน	9
2.4 ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานและหลักการทำงานของเครื่อง X-Ray Fluorescence Coating Thickness Measurement	11
2.4.1 หลอดรังสีเอ็กซ์	11
2.4.2 ฟิลเตอร์	12
2.4.3 ชัตเตอร์	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 อุปกรณ์รวมรังสีเอ็กซ์	12
2.4.4.1 คอลลิเมเตอร์	12
2.4.4.2 โพลีแคพิลลารี	12
2.4.5 อุปกรณ์ตรวจจับ	13
2.4.5.1 Solid-state detector	13
2.4.5.2 Gas-filled detector	14
2.4.5.3 Scintillation detector	14
2.2.6 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ	15
2.2.6.1 พีเอ็มพีไฟเออร์	15
2.2.6.2 แอมป์ไฟเออร์	15
2.2.7 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง	15
2.5 Evaluation of x-ray fluorescence spectra	15
2.5.1 การแก้ไขสเปกตรัม	16
2.5.2 การระบุธาตุ	16
2.5.3 การแก้ไขสัญญาณรบกวน	16
2.5.4 Deconvolution	16
2.5.5 ผลลัพธ์ขาออก	17
2.6 การวิเคราะห์ XRF เชิงคุณภาพ	17
2.7 การวิเคราะห์ XRF เชิงปริมาณ	17
2.7.1 ผลกระทบของเมทริกซ์ทางเคมี	17
2.7.1.1 ผลกระทบจากการดูดกลืน	17
2.7.1.2 ผลกระทบจากการเพิ่มพูน	19
2.8 การเปรียบเทียบระหว่างระบบ WDXRF และ EDXRF	19
2.9 การทดสอบสมมติฐาน	22
2.9.1 นิยาม	22
2.9.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ θ	22
2.9.3 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ	23
2.9.4 ประเภทของความผิดพลาด	23
2.9.5 อำนาจการทดสอบ	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9.6 การเลือกแบบทดสอบ	24
2.9.7 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร	24
2.9.8 ค่าพี	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
2.10.1 งานวิจัยต่างประเทศ	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	30
3.1 การรวบรวมคุณสมบัติและการเปรียบเทียบเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement	30
3.2 ขั้นตอนการวัดความหนา Ag/Cu Alloy ของเครื่องรุ่น Q จากผู้ผลิต A	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	34
4.1 การรวบรวมคุณสมบัติและการเปรียบเทียบเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement	34
4.2 การวัดค่าความหนา Ag/Cu Alloy	42
4.3 การทดสอบสมมติฐาน	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการวิจัย	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะหลักของเครื่องมือสำหรับระบบ WDXRF และ EDXRF	20
2.2 การวิเคราะห์ความสามารถหลักสำหรับระบบ WDXRF และ EDXRF	21
2.3 ผลของการตัดสินใจ	24
3.1 ตัวอย่างตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น	31
3.2 ตัวอย่างตารางค่าความหนา Ag ที่เคลือบอยู่บน Cu Alloy	33
4.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น	35
4.2 การให้คะแนนแก่เครื่องที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับฟังก์ชันการใช้งานในปัจจุบัน	40
4.3 ความหนาของ Ag/Cu Alloy	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลีดเฟรมแพ็คเกจต่าง ๆ	4
2.2 แสดงลำดับขั้นการเชื่อมโดยวิธีการ Ultrasonic wire Bonding	5
2.3 แสดงลำดับขั้นการเชื่อมโดยวิธี Thermosonic Ball Bond	6
2.4 (ก) แสดงลักษณะการเชื่อมต่อของเส้นลวดทองภายในตัวไอซี (ข) แสดงวิธีการทดสอบการเชื่อมโดยการดึง	6
2.5 แสดงช่วงความยาวคลื่นและพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	7
2.6 แสดงปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อ X-ray กระทบกับวัตถุ	8
2.7 การผลิตรังสีลักษณะเฉพาะ	9
2.8 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน	9
2.9 การกระเจิงแบบเรย์ลี	9
2.10 การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh scattering) ระหว่างธาตุหนัก (Heavy element) และธาตุเบา (Light element)	10
2.11 ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานและหลักการทำงานของเครื่อง X-Ray Fluorescence	11
2.12 ส่วนประกอบของหลอดรังสีเอ็กซ์	12
2.13 แสดงความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่ส่งผ่านคอลลิเมเตอร์ (ซ้าย) และโพลีแคปซิลารี (ขวา)	13
2.14 Solid-state detector	14
2.15 Gas-filled detector	14
2.16 Scintillation detector	15
2.17 การดูดกลืนของรังสีเอ็กซ์เข้าและรังสีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ขาออก (วงกลมสีแดง คือ อะตอมของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ วงกลมสีฟ้า คือ อะตอมของธาตุอื่นๆ ในตัวอย่าง (เมทริกซ์))	18
2.19 แสดงผลกระทบจากการเพิ่มพูน	19
2.20 มุมรองรับปลายกรวย (Solid angle)	20
2.21 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ	23
2.22 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 1 แบบที่ 1	25
2.23 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 1 แบบที่ 2	25
2.24 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 1 แบบที่ 3	26
2.25 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 2 แบบที่ 1	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 2 แบบที่ 2	27
2.27 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 2 แบบที่ 3	27
3.1 ตัวอย่างแค็ตตาล็อกของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น	30
3.2 ตำแหน่งแพดของสไลด์เฟรมที่ต้องการวัดความหนา	31
3.3 ลำดับขาของสไลด์เฟรมแต่ละแพดที่ต้องการวัด	32
3.4 X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement รุ่น Q จากผู้ผลิต A	32
3.5 ที่วางชิ้นงาน (Scan area) และเลเซอร์	32
3.6 ขั้นตอนในการใช้เครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement รุ่น Q จากผู้ผลิต A เพื่อวัดชิ้นงานตัวอย่าง	34
4.1 กราฟ Box plot ของการวัดค่า Ag/Cu Alloy ครั้งที่ 1 2 3 และ 4	51
4.2 วิธีการอ่านค่าจากกราฟ Box plot	51
4.3 ผลการทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ฟังก์ชัน One-Way ANOVA ของการวัดค่าความหนา Ag/Cu Alloy ทั้ง 4 ครั้ง	52

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Al	ธาตุอลูมิเนียม
Ar	ธาตุอาร์กอน
Be	ธาตุแบริลเลียม
cps	จำนวนของอิเล็กตรอนที่นับได้ในหนึ่งวินาที Counts per second
Cu	ธาตุทองแดง
d	ระยะความหนาของวัตถุที่ X-ray ไปกระทบกับอะตอม (Path length)
EDXRF	Energy dispersive x-ray fluorescence
Ge	ธาตุเจอร์เมเนียม
H ₀	สมมติฐานหลัก
H ₁	สมมติฐานรอง
He	ธาตุฮีเลียม
Kr	ธาตุคริปทอน
Na	ธาตุโซเดียม
Si	ธาตุซิลิกอน
U	ธาตุยูเรเนียม
μm	หน่วยวัดความยาว อ่านว่าไมโครเมตร หรือ ไมครอน
WDXRF	Wavelength dispersive x-ray fluorescence
Xe	ธาตุซีนอน
XRF	X-ray fluorescence
α	ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 (ปฏิเสธ H ₀ , H ₀ เป็นจริง)
β	ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดแบบที่ 2 (ยอมรับ H ₀ , H ₀ เป็นเท็จ)
ρ	ความหนาแน่นของตัวอย่าง
μ	ค่าเฉลี่ยของประชากร
μ"	หน่วยการวัดความยาว อ่านว่า Micro inch
σ ²	ความแปรปรวนของประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ลีดเฟรม (Lead frame)[1] ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการประกอบชิ้นส่วน (Assembly Process) ของอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor device) เช่น ไอซี (Integrated Circuit) โดยการนำแผ่นชิปซิลิกอน (Die) มาวางบนลีดเฟรม ซึ่งลีดเฟรมจะมีลักษณะเป็นโลหะชั้นบางๆ ที่ใช้เชื่อมต่อลวดจากปลายขั้วไฟฟ้าเล็กๆ บนพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำไปยังวงจรไฟฟ้าขนาดใหญ่บนอุปกรณ์ไฟฟ้า และแผงวงจรไฟฟ้า

ความหนาของโลหะที่ชุบบริเวณขาลีดเฟรมนั้นจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเชื่อมลวด (Wire Bonding Process) ระหว่างชิปซิลิกอนกับขาลีดเฟรม ถ้าหากว่าความหนาของโลหะที่ชุบขาลีดเฟรมนั้นบางเกินไปจะส่งผลให้ลวดเชื่อมติดกับขาลีดเฟรมไม่ได้ ทำให้วงจรเกิดความชำรุดเสียหาย

เครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement จึงได้เข้ามามีบทบาทในการวัดความหนาของโลหะที่ชุบบริเวณขาลีดเฟรม โดยการสร้างรังสีเอกซ์ (X-ray) ขึ้นมาจากหลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) ไปกระทบกับชิ้นงานที่ต้องการวัดความหนาแล้วเกิดการการปล่อยโฟตอน (Photon) ออกมาในรูปของเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence) เนื่องจากโฟตอนที่ถูกปล่อยออกมาจากธาตุต่างชนิดกันจะมีพลังงานเฉพาะสำหรับธาตุนั้นๆ จึงทำให้สามารถบ่งชี้ได้ว่ามีธาตุชนิดใดอยู่ในชิ้นงาน ทั้งนี้ความเข้ม (ปริมาณ) ของโฟตอนยังสามารถบอกได้ว่ามีธาตุชนิดนั้นในปริมาณ (ความหนา) มากน้อยเท่าใด

การเลือกเครื่องมือเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ พื้นฐานนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการใช้งานเป็นหลัก การเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับฟังก์ชันของงานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากการเลือกเครื่องมือที่ไม่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการผลิต อาจนำผลเสียมาสู่ประสิทธิภาพ ความแม่นยำ ความยืดหยุ่น และความสามารถในการตอบสนองต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ของบริษัท

แผนก QA (Quality Assurance) บริษัทไมโครชิพ เทคโนโลยี (ไทยแลนด์) จำกัด มีวัตถุประสงค์ที่จะสั่งซื้อเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement เพื่อมาใช้วัดความหนาของโลหะที่ชุบบริเวณขาลีดเฟรม และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในงานประเภทปลอดสารตะกั่ว ผู้ทำการศึกษาก็ได้รับหน้าที่ในการรวบรวมและเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ที่ทางผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่ายต่างๆ นำมาเสนอกับทางแผนก เพื่อคัดเลือกเครื่องมือที่มีความเหมาะสมสำหรับฟังก์ชันการใช้งานในปัจจุบันมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาหลักการและการทำงานของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement
- 2) เพื่อศึกษาวิธีการเลือกเครื่องมือที่เหมาะสม
- 3) เพื่อเลือกเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับฟังก์ชันงานของบริษัท ไมโครชิพ เทคโนโลยี (ไทยแลนด์) จำกัด ในปัจจุบัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาหลักการและการทำงานของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement
- 2) ศึกษาวิธีการเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมจากบทความและงานวิจัยต่างๆ แล้วนำมาประยุกต์ใช้
- 3) เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้งหมด 4 รุ่น เพื่อเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับฟังก์ชันในการใช้งานที่สุด
- 4) ทดสอบความเสถียรของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement รุ่น Q จากผู้ผลิต A โดยการวัดความหนา Ag/Cu Alloy ของชิ้นงานลีดเฟรม
- 5) นำผลที่ได้จากข้อที่ 4) มาทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ซึ่งสมมติฐานหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของการวัดความหนา Ag/Cu Alloy จำนวน 4 ครั้ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- 6) นำผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น และผลการทดสอบสมมติฐานของเครื่องรุ่น Q จากผู้ผลิต A ยื่นเสนอทางแผนก QA พิจารณาเพื่อทำการสั่งซื้อ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับความรู้เรื่องหลักการและการทำงานของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement
- 2) ได้รับความรู้เรื่องวิธีการเลือกเครื่องมือที่เหมาะสม
- 3) ได้รับความรู้เกี่ยวกับวิธีการใช้โปรแกรม Minitab
- 4) ได้รับความรู้เกี่ยวกับการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ
- 5) ได้รับประสบการณ์ในการทำงานจากสถานประกอบการจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาหลักการและการทำงานของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement
- ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาข้อมูลของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ของเครื่องทั้ง 4 รุ่น
- ขั้นตอนที่ 3 ประชุมกับผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่าย
- ขั้นตอนที่ 4 ทดลองใช้เครื่องสินค้าสาธิต และทำการวัดความหนา Ag/Cu Alloy
- ขั้นตอนที่ 5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องทั้ง 4 รุ่น
- ขั้นตอนที่ 6 สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมจากทางผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่าย
- ขั้นตอนที่ 7 นำผลการวัดความหนา Ag/Cu Alloy มาทดสอบสมมติฐานทางสถิติ
- ขั้นตอนที่ 8 สรุปผลและยื่นเสนอทางแผนก QA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

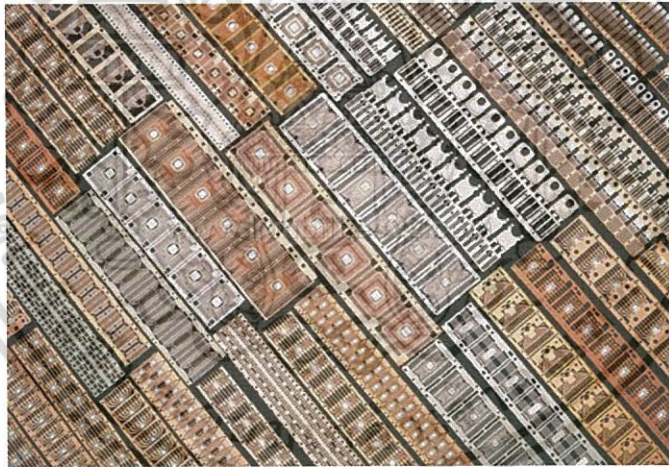
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลีดเฟรม (Lead frame) [1]

ลีดเฟรม (Lead frame) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการประกอบชิ้นส่วน (Assembly Process) ของอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor device) โดยการนำแผ่นชิปซิลิกอน (Die) มาวางบนลีดเฟรม ซึ่งลีดเฟรมจะมีลักษณะเป็นโลหะชั้นบางๆ ที่ใช้เชื่อมต่อลวดจากปลายขั้วไฟฟ้าเล็กๆ บนพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำไปยังวงจรไฟฟ้าขนาดใหญ่บนอุปกรณ์ไฟฟ้า และแผงวงจรไฟฟ้า

โดยปกติแล้ว ลีดเฟรมจะถูกผลิตขึ้นมาในลักษณะเป็นแผง (Strip) ยาว เพื่อความรวดเร็วในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของเครื่อง และมีกระบวนการผลิตอยู่ 2 แบบ คือ Photo etching (เหมาะสำหรับการผลิตในปริมาณน้อยถึงปานกลาง) และ Stamping (เหมาะสำหรับการผลิตในปริมาณมากๆ)



รูปที่ 2.1 ลีดเฟรมแพ็คเกจต่าง ๆ

2.2 กระบวนการเชื่อมลวด (Wire bonding) [3]

เป็นกระบวนการเชื่อมลวดทองระหว่างไดกับขาลีดเฟรม โดยการเชื่อมต่อลวดทองจะมีการต่อตามไดอะแกรมที่ทางโรงงานกำหนด (Bonding Diagram) วิธีการเชื่อมลวดทอง ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไอซีมี 3 วิธี ดังต่อไปนี้

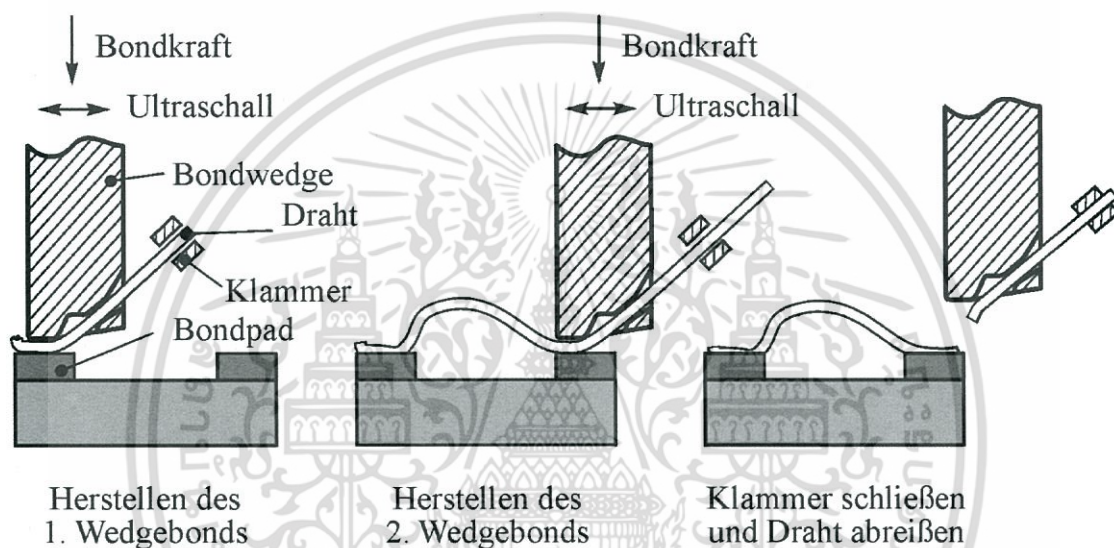
2.2.1 Thermocompression

เป็นวิธีการเชื่อมลวดทองระหว่างไดกับขาลีดเฟรมโดยใช้ความร้อนและแรงกดของหัวเชื่อมกดเอกสาร ลวดทอง ให้ติดกับแพด (Pad) หรือจุดต่อที่ไดและลีดเฟรม โดยสอดลวดทองผ่านด้านในของหัวเชื่อม แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีความร้อนแล้วกดหัวเชื่อมลงไปทีแพดที่อยู่บนได และโยงลวดทองไปหาขาของลีดเฟรมทำการกดและตัดลวดทอง และทำการเริ่มเชื่อมแพดจุดอื่นต่อไป

2.1.1 Ultrasonic Bonding

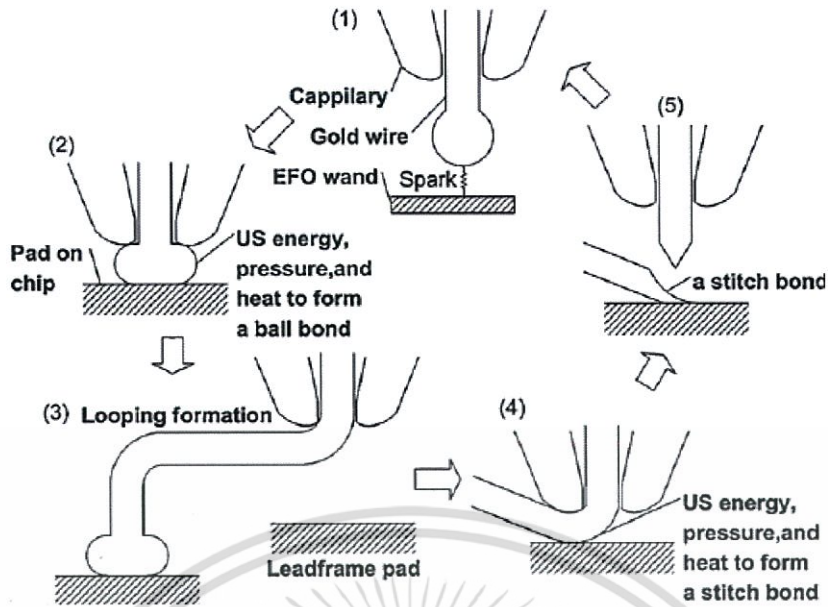
เป็นกระบวนการเชื่อมลวดทองโดยใช้พลังงานคลื่นอัลตราโซนิคส์และแรงกดของหัวเชื่อมเชื่อมลวดทองให้ติดกับแพดบนได และลีดเฟรม โดยจะมีการสอดลวดทองผ่านหัวเชื่อมเมื่อกดหัวเชื่อมลงที่ได พลังงานอัลตราโซนิคส์จะทำให้เกิดการสั่นที่ปลายหัวเชื่อมด้วยความถี่ 60 กิโลเฮิรซ์ (kHz) จะทำให้ลวดทองติดกับได เลื่อนหัวเชื่อมไปที่ขาของลีดเฟรม แล้วทำการเชื่อมโดยพลังงานอัลตราโซนิค เมื่อยกหัวเชื่อมขึ้นเส้นลวดทองจะขาดดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงลำดับขั้นตอนการเชื่อมโดยวิธีการ Ultrasonic wire Bonding

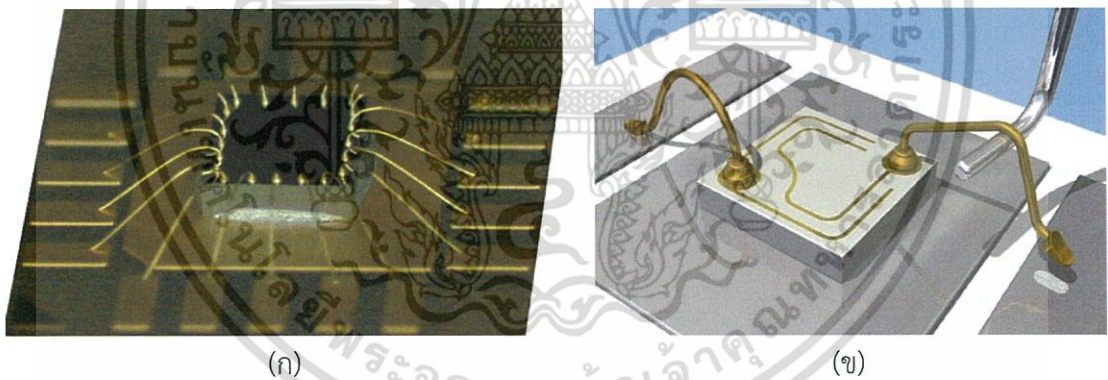
2.1.2 Theomasonic Ball Bonding

เป็นวิธีการเชื่อมลวดทองโดยใช้เทคนิคในการเชื่อมแบบ Ultrasonic Vibration เป็นการเชื่อมลวดทองโดยความร้อนเป่าให้ลวดทองหลอมละลายจนเป็นลูกบอลแล้วใช้แรงกด และการสั่นของคลื่นอัลตราโซนิคส์เพื่อให้ลวดทองติดกับแพดและลีดเฟรม การเชื่อมแบบนี้จะใช้ลวดทองสอดเข้าตรงกลางปลายหัวเชื่อม ในขณะที่ลวดทองเคลื่อนที่ออกมาจะมีความร้อนไปเป่าที่ลวดทอง ให้ลวดทองหลอมละลายเป็นลูกบอลที่มีขนาดเท่ากับ 20 ไมครอน (Micrometer, μm) หรือตามขนาดของแพด แล้วกดลงไปยังตำแหน่งจุดต่อสายที่แพด จะทำให้ลวดทองติดที่แพดเป็นแผ่นวงกลมแล้วเคลื่อนหัวเชื่อมไปที่ลีดเฟรม พร้อมกับตัดลวดทอง โดยการยกหัวเชื่อมขึ้นเพื่อที่จะเชื่อมที่แพดถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงลำดับขั้นตอนการเชื่อมโดยวิธี Thermosonic Ball Bond

เมื่อเราเชื่อมลวดทองที่ขาไดและลิตเฟรม แล้วจะมีการทดสอบแรงดึง (Wire Pull Test) เพื่อทดสอบความแข็งแรงของการเชื่อมการทดสอบแรงดึงแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 (ก) แสดงลักษณะการเชื่อมต่อของเส้นลวดทองภายในตัวไอซี

(ข) แสดงวิธีการทดสอบการเชื่อมโดยการดึง

2.2 X-Ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy [5]

XRF คือ วิธีการวิเคราะห์เพื่อกำหนดองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุต่างๆ เช่น เหล็ก ซีเมนต์ น้ำมัน โพลีเมอร์ พลาสติก การวิเคราะห์แร่ธาตุของแร่วิทยาและธรณีวิทยา การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของน้ำและสิ่งปฏิกูล รวมถึงวัสดุต่างๆ ที่อยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว ผง หรือรูปแบบอื่นๆ ซึ่งในบางครั้ง XRF ถูกนำมาใช้กำหนดความหนา และองค์ประกอบของเลเยอร์ เพราะวิธีการ XRF เป็นวิธีการที่รวดเร็ว แม่นยำ และไม่ทำลายตัวอย่าง

ในวิธีการ XRF นั้น รังสีเอ็กซ์เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดรังสีตัวอย่าง โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดจะเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดรังสีเอ็กซ์ (X-ray tube) หรืออีกทางเลือกหนึ่ง คือ ซินโครตรอน (Synchrotron) หรือวัสดุกัมมันตรังสี (Radioactive material) องค์ประกอบธาตุในวัสดุตัวอย่างจะปลดปล่อยเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence radiation) ด้วยพลังงานที่ไม่ต่อเนื่องที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะตัวของธาตุนั้นๆ การวัดพลังงานของรังสีที่ถูกปลดปล่อยโดยตัวอย่างที่สามารถระบุได้ว่ามีองค์ประกอบของธาตุอยู่ เรียกว่า “การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ” (Qualitative analysis)

2.2.1 ระบบสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer System)

ระบบสเปกโตรมิเตอร์สามารถแบ่งออกได้ 2 ระบบใหญ่ คือ

1) Energy Dispersive System (EDXRF)

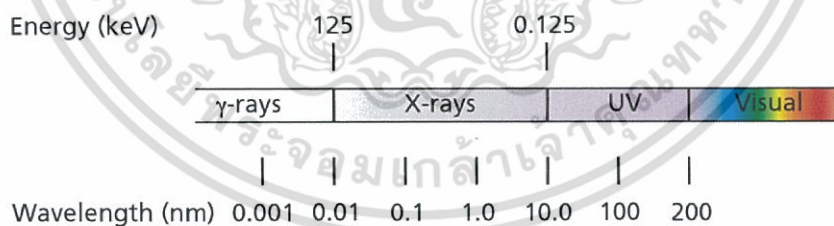
เป็นระบบที่วัดความแตกต่างของพลังงานของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากตัวอย่างโดยการนับ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพลังงานของรังสีเอ็กซ์กับสเปก-ตรัมของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์

2) Wavelength Dispersive System (WDXRF)

เป็นระบบที่วัดความยาวคลื่นรังสีเอ็กซ์ที่มาจากตัวอย่างด้วยความแตกต่างของทิศทาง การเลี้ยวเบน

2.2.2 รังสีเอ็กซ์ (X-ray)

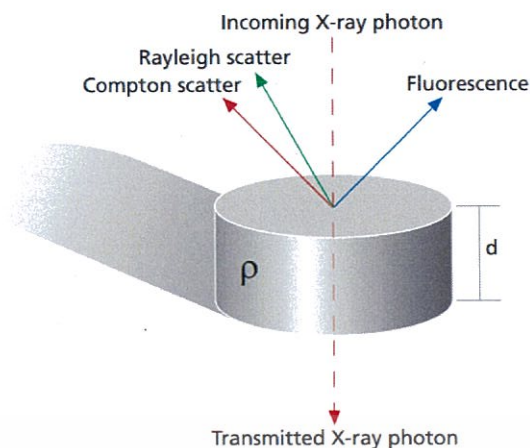
X-ray คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ที่มีความยาวคลื่นและพลังงานอยู่ระหว่างรังสีแกมมา (γ -ray) และแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet light) ซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วง 0.01 – 10 นาโนเมตร (nm) และมีพลังงานในช่วง 0.125 – 125 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV)



รูปที่ 2.5 แสดงช่วงความยาวคลื่นและพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อรังสีเอ็กซ์กระทบกับวัตถุจะมี 3 อันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้น คือ เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh scattering) ถ้าลำโฟตอนของ X-ray มีทิศทางพุ่งตรงไปยังแผ่นวัตถุ บางส่วนจะเกิดการทะลุผ่าน บางส่วนจะถูกดูดซับ (การผลิตเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์) และบางส่วนจะเกิดจากการกระเจิงกลับ การกระเจิงสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งการสูญเสียพลังงาน และไม่เกิดการสูญเสียพลังงาน เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ และกระเจิงขึ้นอยู่กับความหนา (Thickness, d) ความหนาแน่น (Density, ρ) องค์ประกอบของวัตถุ และพลังงานของรังสีเอ็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



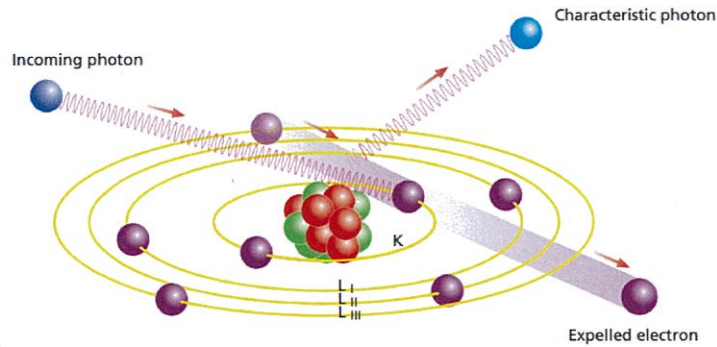
รูปที่ 2.6 แสดงปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อ X-ray กระทบกับวัสดุ

2.2.3 รังสีฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence radiation)

รูปแบบคลาสสิกของอะตอม คือ นิวเคลียสที่ประกอบด้วยประจุบวกของโปรตอน (Proton) และนิวตรอน (Neutron) ที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ซึ่งล้อมรอบไปด้วยกลุ่มของอิเล็กตรอน (Electron) ในเชลล์ (Shell) หรือออร์บิทัล (Orbital) เชลล์ชั้นในสุดเรียกว่า K-shell สามารถบรรจุได้ 2 อิเล็กตรอน ตามด้วย L-shell ที่มี 3 เชลล์ย่อย (Sub-shell) เรียกว่า L_I , L_{II} และ L_{III} สามารถบรรจุได้ 8 อิเล็กตรอน M-shell มี 5 เชลล์ย่อยเรียกว่า M_I , M_{II} , M_{III} , M_{IV} และ M_V สามารถบรรจุได้ 18 อิเล็กตรอน เป็นต้น พลังงานของอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับเชลล์ที่อิเล็กตรอนอยู่ และองค์ประกอบของธาตุ เมื่อทำการฉายรังสี อนุภาคที่มีพลังงานมากเพียงพอจะสามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม ทำให้เกิดที่ว่าง (Hole) ในเชลล์ ในตัวอย่างรูปที่ 2.3 ที่ว่างใน K-shell อะตอมที่ไม่เสถียรในสภาวะกระตุ้นด้วยพลังงานที่สูงกว่า ที่ว่างในเชลล์จะเรียกว่าที่ว่างขั้นต้น (Initial vacancy) โดยอะตอมนั้นต้องการกลับคืนสภาพดั้งเดิม ซึ่งทำได้โดยการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากเชลล์ที่อยู่วงนอกกว่า เช่น L-shell มายังที่ว่างใน K-shell อิเล็กตรอนใน L-shell นั้นมีพลังงานสูงกว่า K-shell และเมื่ออิเล็กตรอนใน L-shell ถ่ายโอนมายัง K-shell พลังงานส่วนเกินจะถูกปลดปล่อยในรูปของโฟตอน X-ray ซึ่งสเปกตรัม (Spectrum) จะเห็นรูปของเส้น

พลังงานของการปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพลังงานระหว่างเชลล์ที่เกิดที่ว่างขั้นต้น และพลังงานของอิเล็กตรอนที่มาเติมเต็มที่ว่าง ในตัวอย่างนั้น ความแตกต่างระหว่างพลังงานของอิเล็กตรอนใน K-shell และ L-shell แต่ละอะตอมจะมีระดับพลังงานเฉพาะของตัวเอง ซึ่งรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะมีลักษณะเฉพาะของอะตอมนั้น อะตอมที่ปลดปล่อยมากกว่าพลังงานเดียว (หรือเส้นสเปกตรัม) เพราะเกิดจากที่ว่างที่ต่างกัน และมีอิเล็กตรอนที่สามารถเติมเต็มที่ว่างเหล่านั้นได้หลากหลาย กลุ่มของเส้นสเปกตรัมที่ปลดปล่อยออกมานั้นเป็นลักษณะของธาตุ และถือได้ว่าเป็นเหมือนลายนิ้วมือของธาตุ การที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมนั้น รังสีเอ็กซ์ต้องมีระดับพลังงานสูงกว่าพลังงานยึดเหนี่ยว (Binding energy) ของอิเล็กตรอน

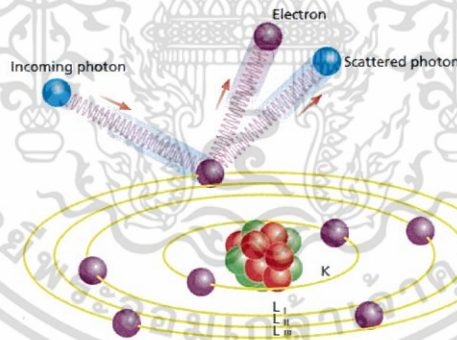
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



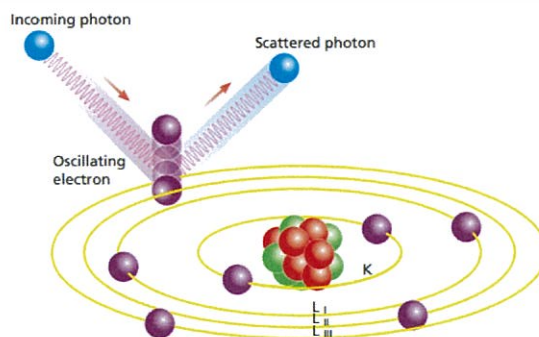
รูปที่ 2.7 การผลิตรังสีลักษณะเฉพาะ

2.2.4 การกระเจิงแบบเรย์ลีและคอมป์ตัน (Rayleigh and Compton scattering)

การกระเจิงเกิดขึ้นเมื่อโฟตอนกระทบกับอิเล็กตรอน และเกิดการตีกลับ โฟตอนจะสูญเสียพลังงานไปบางส่วนให้แก่อิเล็กตรอนดังที่แสดงในรูปที่ 2.6 สามารถเปรียบเทียบได้ด้วยทรงกลมตัน (Billiard ball) หนึ่งลูกไปปะทะกับลูกอื่นๆ หลังจากการชนกัน ลูกบอลลูกแรกสูญเสียพลังงานไปบางส่วนตอนเกิดการกระทบกัน การสูญเสียที่ขึ้นอยู่กับมุมที่อิเล็กตรอน (บอล) กระทบกัน การกระเจิงแบบนี้เรียกว่าการกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) หรือ Incoherent scattering ส่วนการกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh scattering) หรือ Coherent scattering เป็นการชนแบบยืดหยุ่น ซึ่งจะไม่สูญเสียพลังงานของโฟตอน



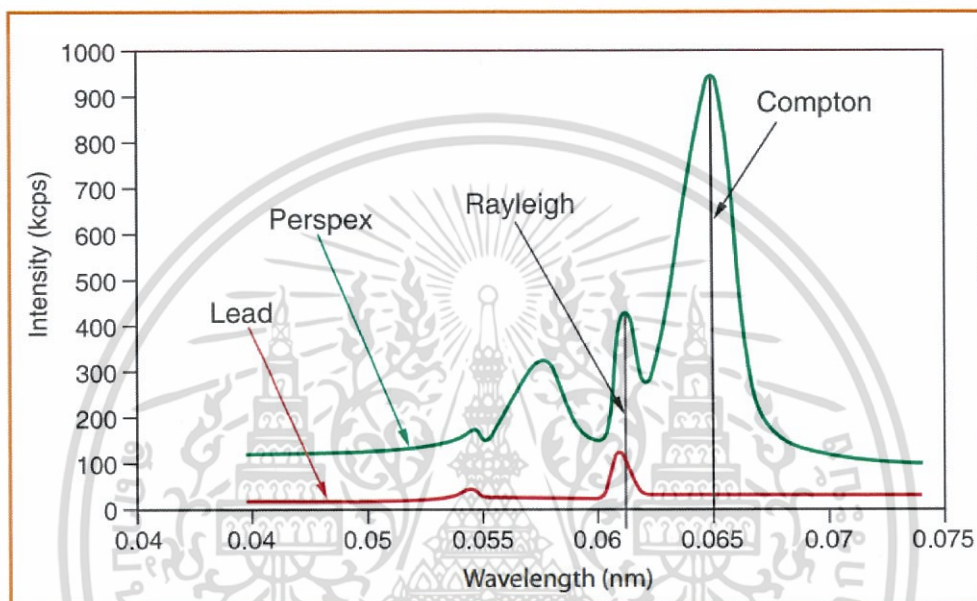
รูปที่ 2.8 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน



รูปที่ 2.9 การกระเจิงแบบเรย์ลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

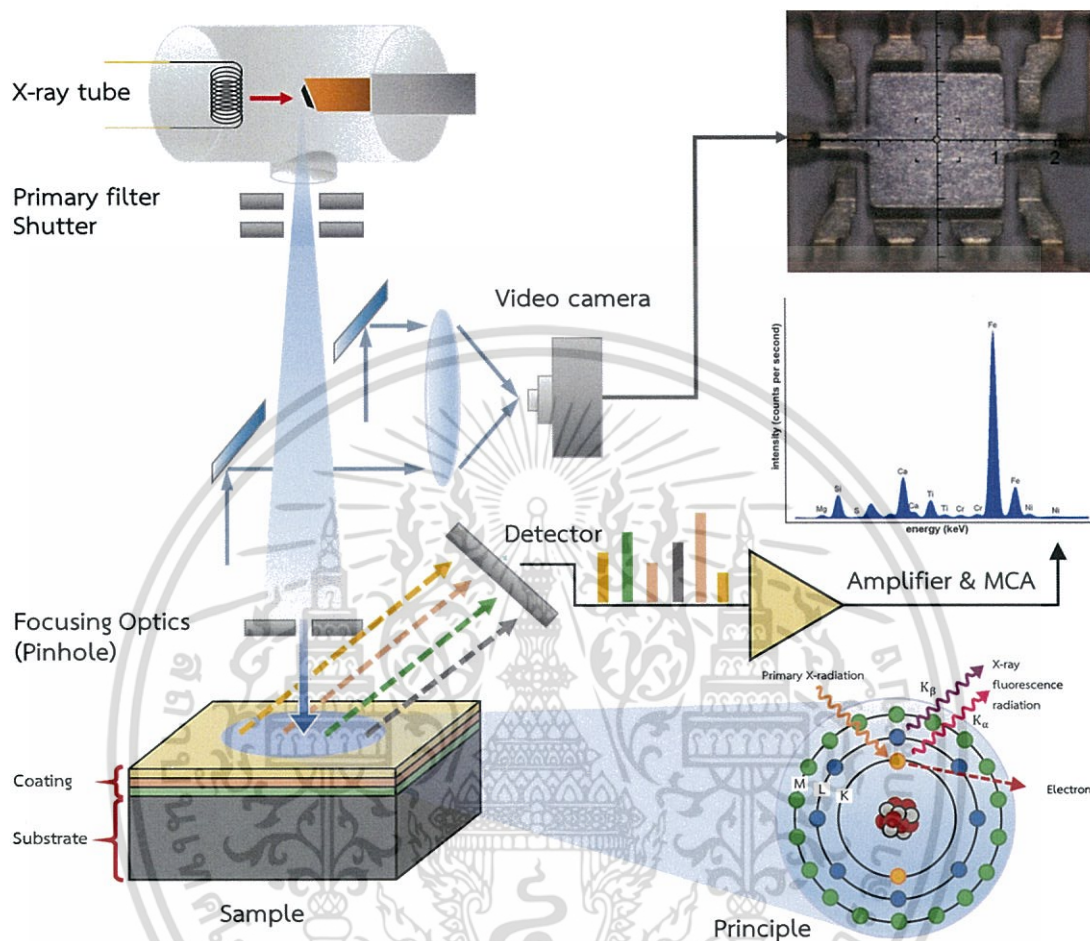
ตัวอย่างของธาตุเบา (เลขอะตอมน้อย) จะก่อให้เกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันสูง และการกระเจิงแบบเรย์ลีต่ำ เพราะมีอิเล็กตรอนอยู่อย่างเบาบาง เมื่อธาตุหนัก (เลขอะตอมมาก) มากขึ้น การกระเจิงจะน้อยลง สำหรับธาตุหนักการกระเจิงแบบคอมป์ตันจะไม่เกิดขึ้นเลย จะมีเพียงการกระเจิงแบบเรย์ลีเท่านั้น รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันและเรย์ลีระหว่างตะกั่ว (ธาตุหนัก) และอะคริลิก (ธาตุเบา) การกระจายของพลังงานในการกระเจิงแบบคอมป์ตันจะเห็นได้ชัดกว่าการกระเจิงแบบเรย์ลี ในสเปกตรัมจะสามารถสังเกตได้ว่าพีคของคอมป์ตันจะกว้างกว่าพีคของเรย์ลี



รูปที่ 2.10 การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh scattering) ระหว่างธาตุหนัก (Heavy element) และธาตุเบา (Light element)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานและหลักการทำงานของเครื่อง X-Ray Fluorescence Coating Thickness Measurement [4]

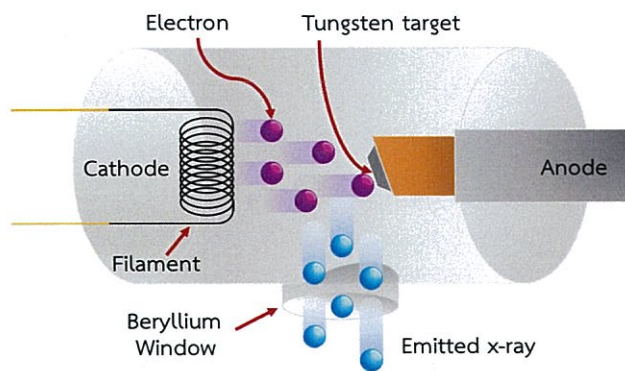


รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานและหลักการทำงานของเครื่อง X-Ray Fluorescence

2.3.1 หลอดรังสีเอ็กซ์ (X-ray tube)

การออกแบบขั้นพื้นฐานของหลอดรังสีเอ็กซ์ แสดงดังรูปที่ 2.9 ภายในหลอดรังสีเอ็กซ์ จะบรรจุเส้นลวด (Filament) และเป้าโลหะซึ่งจะอยู่ในสภาพสุญญากาศ กระแสไฟฟ้าจะให้ความร้อนแก่เส้นลวดทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอน ความต่างศักย์สูงจะถูกป้อนเข้าที่เส้นลวดและเป้าโลหะโดยความต่างศักย์สูงจะเร่งอิเล็กตรอนให้พุ่งตรงไปยังเป้าโลหะ เมื่ออิเล็กตรอนกระทบกับเป้าโลหะความเร็วจะลดลงทำให้เกิดรังสีเอ็กซ์ พลังงานและความเข้มของการปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์จะสม่ำเสมอ แต่สเปกตรัมของพลังงานจะมีความเข้มในการปลดปล่อยของตนเอง บางส่วนของอิเล็กตรอนที่กระทบกับอะตอมในเป้าโลหะส่งผลให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมนั้น พลังงานของรังสีจะขึ้นอยู่กับธาตุของเป้าโลหะ รังสีเอ็กซ์ที่ถูกปลดปล่อยโดยเป้าโลหะจะออกจากหลอดรังสีเอ็กซ์ ผ่านหน้าต่างแบริลเลียม (Beryllium window)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของหลอดรังสีเอ็กซ์

2.3.2 ฟิลเตอร์ (Filter)

ฟิลเตอร์ คือ วัสดุที่ใช้ในการลดความเข้มของความยาวคลื่นเฉพาะจากสเปกตรัม และเลือกการกระจายตัวของความยาวคลื่นรังสีเอ็กซ์ เมื่อรังสีเอ็กซ์กระทบกับวัสดุ บางส่วนของลำอิเล็กตรอนเข้าจะส่งผ่านวัสดุ และบางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยวัสดุเอง จำนวนการดูดกลืนนั้นขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (Mass absorption coefficient)

2.3.3 ชัตเตอร์ (Shutter)

วัตถุประสงค์ของอุปกรณ์ตัวนี้ คือ ช่วยลดปริมาณของรังสีเอ็กซ์ที่จะรั่วไหลออกมาสู่ภายนอก โดยอุปกรณ์จะทำงานเฉพาะเวลาที่มีการวัดชิ้นงานเท่านั้น

2.3.4 อุปกรณ์รวมรังสีเอ็กซ์(Focusing optics devices)

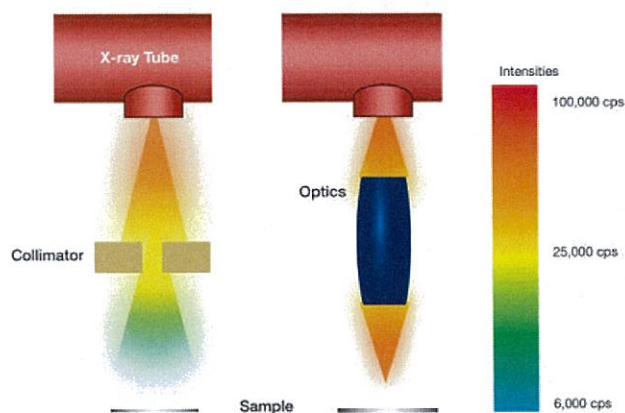
อุปกรณ์รวมรังสีเอ็กซ์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อรวมรังสีเอ็กซ์ไปยังจุดเล็กๆ ของตัวอย่าง (ถ้าวางอยู่ระหว่างหลอดรังสีกับตัวอย่าง) หรือรับเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์จากจุดเล็กๆ (ถ้าวางระหว่างตัวอย่างกับอุปกรณ์ตรวจจับ)

1) คอลลิเมเตอร์ (Collimator)

การใช้คอลลิเมเตอร์สำหรับทำให้รังสีเอ็กซ์แคบเพื่อไปตกกระทบบนตัวอย่างนั้นเป็นเรื่องง่าย แต่อาจประสบปัญหาการสูญเสียความเข้มของรังสีเอ็กซ์ การส่งผ่านรังสีเอ็กซ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ผ่านช่องรับแสงขนาดเล็ก ส่งผลให้รังสีเอ็กซ์ส่วนใหญ่ถูกกั้นโดยวัสดุรอบรูรับแสง ทำให้รังสีที่ผ่านรูรับแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใกล้เคียงกับรูรับแสง

2) โพลีแคพิลลารี (Polycapillary)

เลนส์โพลีแคพิลลารีเป็นหลอดโพรงแก้วเล็กๆ โดยรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบกับโพลีแคพิลลารีจะถูกส่งผ่านไปยังตัวอย่างโดยไม่สูญเสียความเข้มของรังสี



รูปที่ 2.13 แสดงความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่ส่งผ่านคอลลิเมเตอร์ (ซ้าย) และโพลีแคพิลลารี (ขวา)

2.4.5 อุปกรณ์ตรวจจับ (Detector)

อุปกรณ์ตรวจจับทุกชนิดจะผลิตพัลส์กระแสไฟฟ้าเมื่อโฟตอนรังสีเอ็กซ์ผ่านเข้ามาภายในอุปกรณ์ตรวจจับ และความสูงของพัลส์นั้นเป็นสัดส่วนพลังงานของโฟตอนที่เข้ามา ซึ่งพัลส์จะถูกขยายและนับจำนวนโดยสัญญาณชนิดหลายช่อง (Multi channel analyzer, MCA) คุณสมบัติที่สำคัญของระบบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ คือ

- 1) ความละเอียด (Resolution) คือ ความสามารถของอุปกรณ์ตรวจจับในการแยก ระดับพลังงานที่แตกต่างกัน
- 2) ความไว (Sensitivity) เป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพในการนับจำนวนของโฟตอนที่เข้ามา ในกรณีที่อุปกรณ์ตรวจจับบางมากๆ โฟตอนที่เข้ามาอาจจะผ่านอุปกรณ์ตรวจจับไปโดยที่ไม่ได้ผลิตพัลส์ ความไวจะสูงถ้าอัตราส่วนของจำนวนของพัลส์กับจำนวนของโฟตอนที่เข้ามามีค่าสูง
- 3) การแพร่กระจาย (Dispersion) เป็นตัวบ่งบอกความสามารถของอุปกรณ์ตรวจจับว่า สามารถแยกรังสีเอ็กซ์ด้วยความแตกต่างของพลังงาน การแพร่กระจายสูงหมายความว่าสามารถแยก ความแตกต่างของพลังงานได้ดี

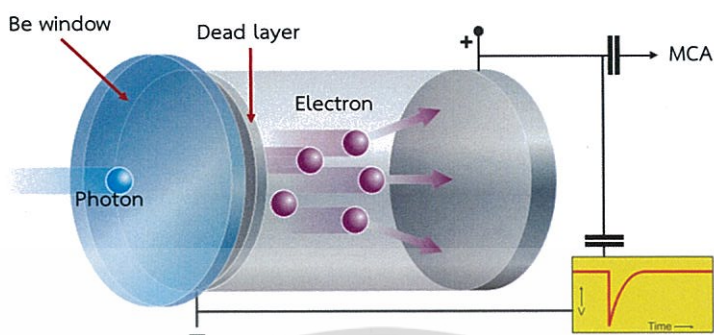
อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ใน XRF แบบ EDXRF นั้นจะใช้เป็นชนิด Solid-state detector แต่ XRF แบบ WDXRF นั้นจะใช้เป็นชนิด Gas-filled detector และ Scintillation detector

2.4.5.1 Solid-state detector

โครงสร้างของอุปกรณ์ทำมาจากซิลิกอน (Silicon, Si) เจอเมเนียม (Germanium, Ge) หรือวัสดุสารกึ่งตัวนำอื่นๆ หน้าต่างแบริลเลียมจะยอมให้โฟตอนรังสีเอ็กซ์ผ่านเข้ามาที่อุปกรณ์ตรวจจับ ด้านหน้าจะเป็น Dead layer (สารกึ่งตัวนำ) และด้านหลังจะเป็น Collecting plate (แผ่นดักจับ) เมื่อโฟตอนผ่านหน้าต่างแบริลเลียม และเข้าไปภายในอุปกรณ์ตรวจจับจะผลิตคู่อิเล็กตรอน-โฮล (electron-hole pairs) จำนวนของอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับพลังงานของโฟตอนที่เข้ามา คือ พลังงานมากขึ้น การสร้างอิเล็กตรอนก็จะมากขึ้น เมื่ออิเล็กตรอนกระทบกับ collecting plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

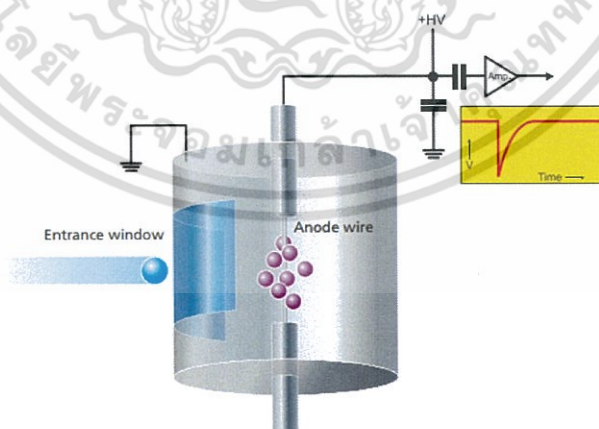
จะส่งผลให้ความต่างศักย์ลดลง เกิดเป็นพัลส์ลบ อุปกรณ์ตรวจจับชนิดนี้มีช่วงของธาตุที่สามารถตรวจจับได้กว้าง คือ ตั้งแต่ธาตุโซเดียม (Sodium, Na) จนถึงธาตุยูเรเนียม (Uranium, U)



รูปที่ 2.14 Solid-state detector

2.4.5.2 Gas-filled detector

โครงสร้างของอุปกรณ์ทำมาจากโลหะโดยส่วนมากจะเป็นอลูมิเนียม (Aluminium, Al) หน้าต่างทางเข้าที่ทำมาจากแบริลเลียมจะยอมให้โฟตอนเข้ามาภายในอุปกรณ์ตรวจจับที่บรรจุด้วยก๊าซเฉื่อย เช่น นีออน (Neon, Ne) อาร์กอน (Argon, Ar) คริปทอน (Krypton, Kr) หรือ ซีซอน (Xenon, Xe) และบางครั้งก็ใช้ฮีเลียม (Helium, He) เมื่อรังสีเอ็กซ์เข้ามาภายในอุปกรณ์ตรวจจับจะสร้างกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนรอบๆ ขดลวด เมื่ออิเล็กตรอนกระทบกับขดลวดจะส่งผลให้ความต่างศักย์ลดลง เกิดเป็นพัลส์ลบ อุปกรณ์ตรวจจับชนิดนี้มีช่วงของธาตุที่สามารถตรวจจับได้ตั้งแต่ธาตุแบริลเลียม (Beryllium, Be) จนถึงธาตุทองแดง (Copper, Cu)

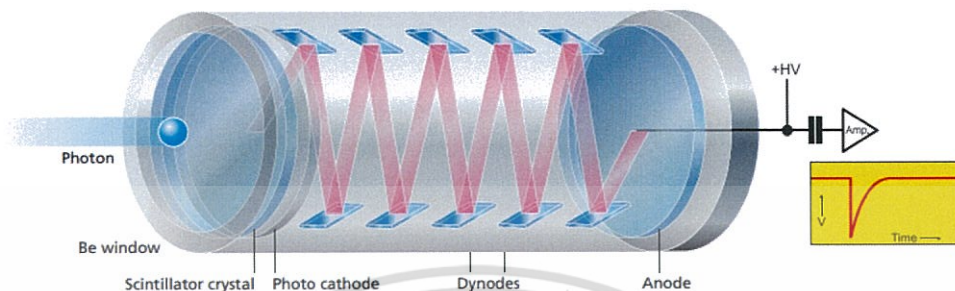


รูปที่ 2.15 Gas-filled detector

2.4.5.3 Scintillation detector

รังสีเอ็กซ์ผ่านเข้ามาจากหน้าต่างแบริลเลียม (Beryllium window) และเอกสารถูกกระทบกับ Scintillation crystal จะสร้างแสงสีชมพู แสงโฟตอนจะเดินทางไปยัง Photomultiplier ค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tube และส่งผลกระทบต่อ Photo cathode ซึ่งจะผลิตอิเล็กตรอนที่ระเบิดด้วยการเร่งความเร็วผ่านชุดของ Dynode ไปยังขั้วบวก (Anode) เมื่ออิเล็กตรอนกระทบกับขั้วบวกจะส่งผลให้ความต่างศักย์ลดลง ทำให้เกิดพัลส์ลบในตัวขยายสัญญาณ



รูปที่ 2.16 Scintillation detector

2.2.6 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier)

2.2.6.1 ปริแอมพลิไฟเออร์ (Preamplifier)

ข้อมูลของการดูดกลืนรังสีจากอุปกรณ์ตรวจจับจะแสดงเป็นการระเบิดของประจุ (พัลส์) ที่รวบรวมไว้ปลายอุปกรณ์ตรวจจับ ปริแอมพลิไฟเออร์มากที่ไวต่อประจุ ฟังก์ชันของมันคือการรวมประจุทั้งหมด (นั่นคืออุปกรณ์รวมกระแสไฟฟ้า) และแปลงเป็นสัญญาณความต่างศักย์ที่เก็บรักษาอัตราส่วนให้กับพลังงานที่สะสม และทำให้สัญญาณรบกวนต่ำ

2.2.6.2 แอมพลิไฟเออร์ (Amplifier)

ฟังก์ชันพื้นฐานของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ คือ ขยายสัญญาณจากอุปกรณ์ปริแอมพลิไฟเออร์ และเพื่อจัดรูปแบบให้เหมาะกับการอุปกรณ์บันทึกชนิดต่างๆ และอุปกรณ์จัดเก็บ

2.2.7 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (Multi channel analyzer, MCA)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บันทึก และเก็บพัลส์ที่ขึ้นอยู่กับขนาดความสูง ซึ่งหน่วยเก็บแต่ละหน่วยเรียกว่าช่อง โดยสามารถทราบความสัมพันธ์ในรูปภูมิภาคของพลังงานกับอนุภาคที่เข้าสู่หัววัดได้จากความสูงพัลส์ ซึ่งแต่ละพัลส์จะถูกเก็บในช่องเฉพาะที่สมนัยกับพลังงานนั้นๆ สำหรับการแจกแจงของพัลส์ในแต่ละช่องคือภาพของการแจกแจงพลังงานของอนุภาค และเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาการวัดสเปกตรัมที่ถูกบันทึกจะแสดงผลที่จอภาพของ MCA โดยแกนระนาบ คือ หมายเลขช่องหรือพลังงานของอนุภาค ส่วนแกนตั้ง คือ จำนวนอนุภาคที่ถูกบันทึกต่อช่อง

2.5 Evaluation of x-ray fluorescence spectra [5]

หลังจากที่ได้สเปกตรัมของ XRF มาแล้ว สเปกตรัมเหล่านั้นเป็นเพียงชุดข้อมูล มันเป็นเพียงกระบวนการซ้ำของการแก้ไขและประเมินผลสเปกตรัมที่นำไปสู่การวิเคราะห์ หากมุ่งเน้นไปทางข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่างจะเรียกว่า “การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ” (Qualitative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

analysis) หรือถ้ามุ่งเน้นไปทางการหาปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างจะเรียกว่า “การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” (Quantitative analysis)

2.5.1 การแก้ไขสเปกตรัม (Spectrum correction)

นอกจากเส้นสเปกตรัมของธาตุในตัวอย่างแล้ว พีกอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องก็สามารถเกิดขึ้นได้ในสเปกตรัมของ XRF เช่นกัน การรู้จุดกำเนิดและที่ตั้งของพีกที่ไม่เกี่ยวข้องนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ได้เป้าหมายและคุณภาพของการวิเคราะห์ ประเภทของพีกที่ไม่เกี่ยวข้องในที่นี่จะรวมถึง

- 1) พีกรังสีต่อเนื่อง (Continuum radiation) การกระเจิงแบบเรย์ลี และการกระเจิงแบบคอมป์ตันที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างรังสีปฐมภูมิกับตัวอย่าง
- 2) Escape peak และ sum peak ที่เกิดจากระบบอุปกรณ์ตรวจจับ
- 3) การกระทำอื่นๆ ของมนุษย์ รวมไปถึงเส้นสเปกตรัมเฉพาะของธาตุที่เพิ่มเข้ามาในตัวอย่าง เป็นผลเนื่องมาจากขั้นตอนการรักษาสภาพของตัวอย่าง เกิดจากสภาพแวดล้อมขณะที่ทำการวัด (เช่น ธาตุอาร์กอนจากอากาศในกรณีที่ไม่ได้ทำการวัดภายใต้สุญญากาศ) มาจากการสัมผัสตัวอย่าง และอื่นๆ

2.5.2 การระบุธาตุ (Element identification)

การระบุพีกของธาตุที่แสดงในสเปกตรัม โดยทั่วไปจะถูกแสดงโดยซอฟต์แวร์ของเครื่อง XRF โหมมดการทำงานประกอบไปด้วยการเปรียบเทียบระหว่างเส้นสเปกตรัมที่ปรากฏในสเปกตรัมและเส้นขององค์ประกอบที่จัดเก็บไว้ในซอฟต์แวร์ในรูปแบบของฐานข้อมูลอะตอม

2.5.3 การแก้ไขสัญญาณรบกวน (Background correction)

ทั้งในระบบของ EDXRF และ WDXRF ความเข้มข้นของการวิเคราะห์ คือ สัดส่วนจำนวนของการนับภายใต้พีกรังสีเอ็กซ์เฉพาะ (การวิเคราะห์สัญญาณ) ดังนั้น สัญญาณรบกวนต้องถูกลบออกจากสเปกตรัมก่อน โดยปกติแล้วระบบ EDXRF จะวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้พื้นที่ของพีก ในขณะที่ระบบ WDXRF จะวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้ความสูงของพีก

2.5.4 Deconvolution

สำหรับการวิเคราะห์ธาตุหลายองค์ประกอบ การทับซ้อนกันอย่างรุนแรงของพีคฟลูออเรสเซนซ์แต่ละพีกในสเปกตรัมเกิดขึ้นเพราะการจำกัดความละเอียดของระบบการตรวจจับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบ EDXRF สำหรับกำลังความละเอียดที่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ตรวจจับเท่านั้น เพราะระบบ EDXRF ส่วนใหญ่ การคัดเลือกความเข้มของแต่ละธาตุนั้นสเปกตรัมต้องแยกออกเป็นเส้นของแต่ละธาตุโดยกระบวนการที่ซับซ้อนเรียกว่า “Deconvolution” ผลลัพธ์คือสัญญาณวิเคราะห์สุทธิสำหรับแต่ละธาตุ ไม่มีพีคฟลูออเรสเซนซ์ที่ทับซ้อนกัน

มีขั้นตอนที่แตกต่างเพื่อจัดสรรสัญญาณวิเคราะห์สุดท้ายสำหรับแต่ละธาตุ ในบางซอฟต์แวร์ ขั้นตอนการ deconvolution ถูกใช้ในการวัดเพียงธาตุเดียวเพื่อการประเมินพีกของความเข้ม อีกทางเลือกหนึ่งพีคฟลูออเรสเซนซ์ยังสามารถได้มาจากฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian) ทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 ผลลัพธ์ขาออก (Result output)

หลังจากที่สเปกตรัมผ่านขั้นตอนการ deconvolution แล้ว ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ โดยทั่วไปจะไม่ปรากฏพื้นที่พีคสุทธิ (ระบบ EDXRF) หรือค่าความสูงสุทธิของพีค (ระบบ WDXRF) ค่าสุทธิที่ได้จากการวิเคราะห์จะถูกใช้ในการประมาณความสัมพันธ์ความเข้มข้น (Concentration) ของธาตุในตัวอย่าง

2.6 การวิเคราะห์ XRF เชิงคุณภาพ (Qualitative XRF analysis) [5]

ข้อมูลเชิงคุณภาพสามารถได้มาโดยตรงจากการบันทึกสเปกตรัม XRF อย่างไรก็ตาม เราก็ยังคงต้องระบุพีคอื่นๆ ที่ปรากฏในสเปกตรัมที่ไม่ได้มาจากตัวอย่างเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ตามเป้าหมาย

2.7 การวิเคราะห์ XRF เชิงปริมาณ (Quantitative XRF analysis) [5]

การวิเคราะห์ XRF เชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณวิเคราะห์สุทธิเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นโดยวิธีการใช้เส้นโค้งการสอบเทียบ (Calibration curve) ได้มาจากการวิเคราะห์ตัวอย่างมาตรฐานก่อนหน้านี้ ตามหลักการ ความเข้มของการวิเคราะห์เส้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของการวิเคราะห์ในตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์นั้นไม่ได้เป็นเชิงเส้นแต่ขึ้นอยู่กับผลกระทบของเมทริกซ์ทางกายภาพและทางเคมี (Physical and Chemical matrix effect)

2.7.1 ผลกระทบของเมทริกซ์ทางเคมี (Chemical matrix effect)

ผลกระทบของเมทริกซ์ทางเคมีเป็นผลมาจากความแตกต่างในความเข้มข้นของการแทรกแซงองค์ประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลมาจาก 2 ประเภทใหญ่ คือ

2.7.1.1 ผลกระทบจากการดูดกลืน (Absorption effect)

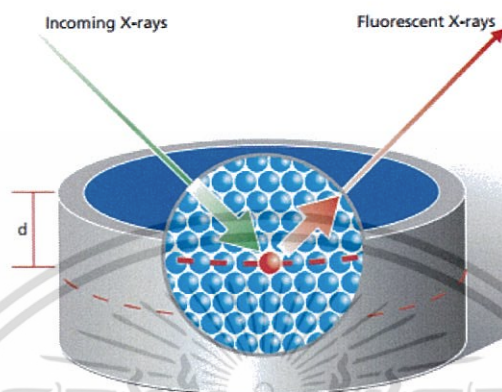
ทั้งรังสีที่ไปกระตุ้นและรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะถูกดูดกลืนขณะส่งผ่านตัวอย่าง การดูดกลืนปฐมภูมิ (Primary absorption) เกิดขึ้นเพราะอะตอมทั้งหมดของเมทริกซ์ตัวอย่างจะดูดกลืนหรือกระเจิงโฟตอนจากแหล่งกำเนิดปฐมภูมิ (Primary source) ดังนั้นสัดส่วนของสเปกตรัมจะมีค่ามากที่สุดในการกระตุ้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ (Analyte) ถูกปรับแต่งโดยขึ้นอยู่กับเมทริกซ์ธาตุอื่นๆ การดูดกลืนทุติยภูมิ (Secondary absorption) หมายถึง ผลที่เกิดจากการดูดกลืนรังสีของสารที่ต้องการวิเคราะห์โดยเมทริกซ์ตัวอย่าง รังสีเฉพาะที่ออกมาจากตัวอย่างที่มันถูกสร้างขึ้นจะถูกดูดกลืนโดยเมทริกซ์ธาตุทั้งหมดถึงขอบเขตที่เกี่ยวข้องกับสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของธาตุ

การเพิ่มเติมในส่วนขององค์ประกอบ ขนาดของการดูดกลืนนั้นขึ้นอยู่กับ

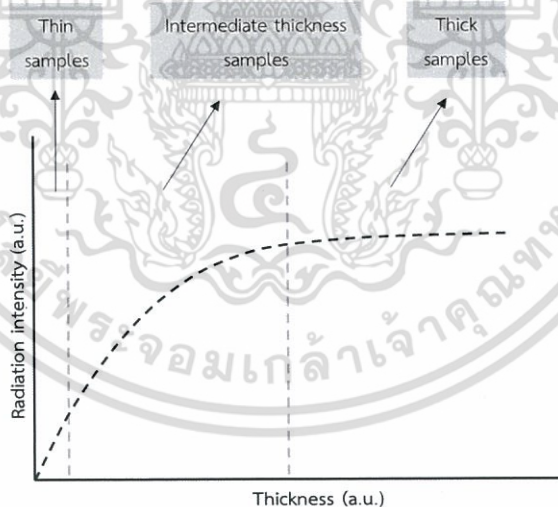
- 1) พลังงานของรังสี (Energy of the radiation)
- 2) ระยะความหนาของวัตถุที่ X-ray ไปกระทบกับอะตอม (Path length, d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

การดูดกลืนเพิ่มขึ้นที่ระยะความหนาของวัตถุที่ X-ray ไปกระทบกับอะตอม ความหนาแน่น และเลขอะตอมของธาตุในตัวอย่างเพิ่มขึ้น และที่พลังงานของรังสีลดลง การดูดกลืนอาจสูงมากจนทำให้รังสีที่เข้ามาไม่สามารถเข้าไปถึงธาตุที่อยู่ลึกเข้าไปในตัวอย่าง หรือรังสีเฉพาะไม่สามารถออกไปจากตัวอย่าง และส่งผ่านไปถึงอุปกรณ์ตรวจจับได้



รูปที่ 2.17 การดูดกลืนของรังสีเอ็กซ์เข้าและรังสีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ขาออก (วงกลมสีแดง คือ อะตอมของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ วงกลมสีฟ้า คือ อะตอมของธาตุอื่นๆ ในตัวอย่าง (เมทริกซ์))



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีและความหนาของวัตถุ

1) ตัวอย่างบาง (Thin sample)

เมื่อมวลต่อหน่วยพื้นที่มีขนาดเล็กมากๆ มันเป็นไปได้ที่จะพิจารณาว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลทั้งหมดของตัวอย่างนั้นเกือบจะไม่สำคัญ และเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างความเข้มของรังสีฟลูออเรสเซนซ์ และความเข้มที่สังเกตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ตัวอย่างหนาขนาดกลาง (Intermediate thickness sample)

ที่ความหนาในระดับนี้นั้นจะสามารถวัดองค์ประกอบของธาตุได้ดีกว่าตัวอย่างบาง และความสัมพันธ์ระหว่างการวัดฟลูออเรสเซนซ์และความเข้มข้นของธาตุไม่คงที่ เมื่อทำงานกับตัวอย่างประเภทนี้ การใช้เทคนิคเฉพาะนั้นมีประโยชน์อย่างยิ่งเพื่อหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดในการวัดเชิงคุณภาพ

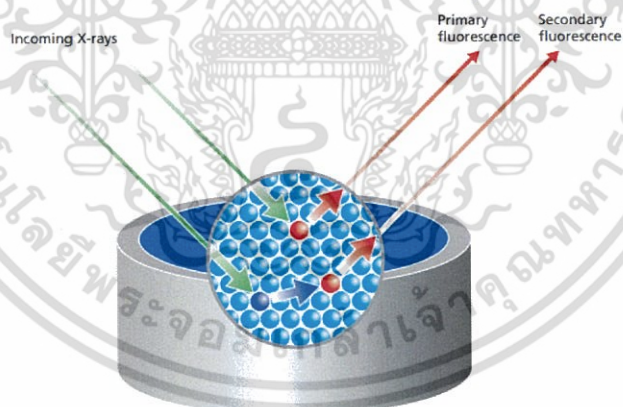
3) ตัวอย่างหนา (Thick sample)

ที่ความหนาวิกฤต รังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิถูกกระตุ้นจากความลึกที่ไม่สามารถเข้าถึงพื้นผิวได้ ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของความหนาเป็นผลลัพธ์ให้เกิดความเข้มข้นของรังสีเอ็กซ์เพิ่มขึ้น (ส่งผลให้ความหนาของตัวอย่างนั้นไม่มีผล)

2.7.1.2 ผลกระทบจากการเพิ่มพูน (Enhancement effect)

การเพิ่มพูนเกิดขึ้นเมื่อเมทริกซ์ของสารที่ไม่ต้องการวิเคราะห์ปลดปล่อยเส้นสเปกตรัมเฉพาะที่มีแค่งานส่วนเกินของขอบเขตการดูดกลืนของสารที่ต้องการวิเคราะห์ธาตุ นั้นหมายความว่า สารที่ไม่ต้องการวิเคราะห์ธาตุสามารถกระตุ้นสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้ การสร้างโฟตอนที่เข้าไปตามชั้นตอนข้างต้นโดยความต่อเนื่อง ทำให้เพิ่มขึ้น หรือเพิ่มพูนสัญญาณจากสารที่ต้องการวิเคราะห์

โดยเครื่องจะวัดผลรวมของทั้งฟลูออเรสเซนซ์ปฐมภูมิและทุติยภูมิ และเป็นไปไม่ได้ที่จะแยกแยะระหว่าง 2 ส่วนนี้ ในกรณีดังกล่าว วิธีการแก้ไขเพื่อให้ได้ผลของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ



รูปที่ 2.19 แสดงผลกระทบจากการเพิ่มพูน

2.8 การเปรียบเทียบระหว่างระบบ WDXRF และ EDXRF [5]

ความแตกต่างระหว่างระบบ WDXRF และ EDXRF ไม่ได้เป็นเพราะความแตกต่างของระบบการตรวจจับเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่รวมไปถึงปัจจัยอื่นๆ รวมถึงแผนผังของเครื่องมือ

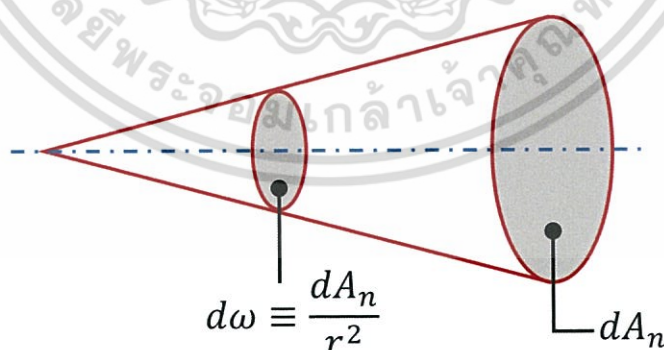
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะหลักของเครื่องมือสำหรับระบบ WDXRF และ EDXRF

Instrumental layout	WDXRF	EDXRF
Energy resolution	Good for light and middle atomic weight elements	Less optimal for light elements
Detecting efficiency	Low	High
Coat	Relatively expensive	Relatively inexpensive
Power consumption	50-1000 W	200-4000 W
Critical moving parts	Yes (crystal, goniometer)	No

1) Energy resolution: ในระบบ EDXRF มันเป็นเพียงความสัมพันธ์สัดส่วนเฉพาะของโฟตอนที่ใช้อุปกรณ์ตรวจจับในการแยกโฟตอนที่ออกมาจากตัวอย่าง และไม่สามารถตรวจจับได้ในธาตุเบา ในส่วนที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง WDXRF ใช้การเลี้ยวเบนโดยใช้อุปกรณ์การแพร่กระจายเพื่อแยกรังสีเฉพาะของตัวอย่าง เพราะฉะนั้นจึงใช้คริสตัลวิเคราะห์ หรือมัลติเลเยอร์ (Multilayer) กระจายธาตุ การแยกของเส้นสเปกตรัมที่อยู่ใกล้กันนั้นสามารถทำได้

2) Detection efficiency: ยังคงค้างอยู่ที่ความเรียบง่ายของการติดตั้ง EDXRF (มีเพียงอุปกรณ์ชั้นพื้นฐาน 2 อย่าง คือ แหล่งกำเนิดและระบบการตรวจจับ) มีความเป็นไปได้ที่ตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับจะอยู่ใกล้ๆ กับตัวอย่าง เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพมุมรองรับปลายกรวย (Solid angle) ของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์มีค่ามากกว่า ในส่วนที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ความซับซ้อนโครงสร้างภายนอกของระบบ WDXRF ส่งผลให้มุมรองรับปลายกรวย และประสิทธิภาพการตรวจจับนั้นมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับระบบ EDXRF



รูปที่ 2.20 มุมรองรับปลายกรวย (Solid angle)

3) Cost: โครงสร้างของเครื่องระบบ EDXRF จะมีราคาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบ WDXRF ที่ความซับซ้อนของระบบอุปกรณ์ทางแสง (คอลลิเมเตอร์ และอุปกรณ์กระจายแสง) นั้นไม่ใช่ปัจจัย เพราะฉะนั้น โดยทั่วไปแล้วเครื่องระบบ EDXRF จะราคาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบ WDXRF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Power consumption: ความสว่างของเครื่องระบบ WDXRF จะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบ EDXRF เนื่องจากความเข้มเกิดการสูญเสียในการวิเคราะห์ผลึก ในการเอาชนะปัญหานี้จึงใช้แหล่งกำเนิดรังสีที่มีความเข้ม 200-4000 W ในส่วนที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง โครงสร้างของระบบ EDXRF นั้นใช้เพียง 50 W ก็เพียงพอแล้ว

5) Critical moving parts: เท่าที่เห็น ในการออกแบบทางเรขาคณิตทั่วไปของเครื่องระบบ EDXRF จะเรียบง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ WDXRF ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ ที่พูดถึงส่วนประกอบแค่ 2 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดและอุปกรณ์ตรวจจับ รวมถึงความเกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์ ในส่วนที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ในเครื่องระบบ WDXRF มีบางชิ้นส่วนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น คริสตัลวิเคราะห์ คอลลิเมเตอร์ และเครื่องมือวัดวงศาของข้อต่อต่างๆ (Goniometer) ทำให้มีความแข็งแรงน้อย และสามารถโค้งงอได้โดยไม่แตกหัก

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ความสามารถหลักสำหรับระบบ WDXRF และ EDXRF

Analytical capability	WDXRF	EDXRF
Sensitivity and detection limits	Reasonable for light elements. Good for middle-heavy elements	Less optimal for light elements. Good for middle-heavy elements
Elemental range	Be to U	Na to U
Dynamic range	High	Moderate
Measurement	Sequential/simultaneous	Simultaneous

1) Sensitivity and detection limits: หนึ่งในปัญหาของเครื่องเอกซเรย์ คือ ค่าสัมบูรณ์ความไวมีค่าลดลงเมื่อพิจารณาที่เข้าใกล้ขอบเขตเลขอะตอมที่มีค่าน้อยๆ อย่างไรก็ตาม ใน WDXRF เนื่องจากใช้อุปกรณ์การแพร่กระจายที่เหมาะสม และบางมาก และการส่งผ่านหน้าต่างของอุปกรณ์นับการไหล (อุปกรณ์ตรวจจับ) ของแก๊สสูง ข้อจำกัดความไวและการตรวจจับสำหรับธาตุเบา นั้นสมเหตุสมผลเมื่อเทียบกับระบบ EDXRF ธรรมดา

ในทางกลับกัน สำหรับธาตุอื่นๆ วิธี EDXRF จะมีความไวมากกว่าที่ข้อจำกัดการตรวจจับในช่วงมิลลิกรัม (Milligram, mg) ต่อกิโลกรัม (Kilogram, kg) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระบบ EDXRF กับ WDXRF ค่าสัมบูรณ์ความไวของ WDXRF ส่วนใหญ่จะสูงกว่าค่าที่เท่ากันสำหรับระบบ EDXRF เนื่องจากอัตราความสามารถในการนับของระบบอุปกรณ์ตรวจจับสูงกว่า และความเป็นไปได้ที่จะเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาธาตุ

2) Elemental range: โดยคำนึงถึงการอธิบายความคิดเห็นข้างบน โดยทั่วไปเมื่อใช้ระบบ WDXRF การวิเคราะห์หาธาตุเบา เช่น แบริลเลียม (Be) เลขอะตอมเท่ากับ 4 นั้นเป็นไปได้ ขณะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องระบบ EDXRF ธรรมดา ธาตุที่เบาที่สุดที่สามารถวิเคราะห์หาได้ คือ โซเดียม (Na) เลขอะตอมเท่ากับ 11

3) Dynamic range: โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการเก็บรายละเอียดของภาพในระบบ WDXRF จะสูงกว่า เนื่องจากอัตราความสามารถในการนับของอุปกรณ์ตรวจจับแบบ Gas-filled และ Scintillation (1,000,000-2,000,000 cps) เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ตรวจจับแบบ Solid-state ในระบบ EDXRF (50,000 cps) อย่างไรก็ตาม วิวัฒนาการของอุปกรณ์ยุคใหม่ของอุปกรณ์ตรวจจับแบบ Si drift detector (SDDs) มันมีความเป็นไปได้ที่จะบันทึกอัตราการนับได้มากถึง 300,000 cps โดยปราศจากการเสื่อมสภาพอย่างมีนัยสำคัญในความละเอียดพลังงาน

4) Measurement: ในระบบ EDXRF ทั้งหมดของการตรวจจับรังสีลงบนอุปกรณ์ตรวจจับที่เวลาเดียวกัน และข้อมูลหลายธาตุพร้อมๆ กันของตัวอย่างจะถูกบันทึก เราได้รับข้อมูลหลายธาตุที่เวลาเดียวกันเมื่อใช้ระบบ WDXRF แต่จำนวนของช่องนั้นถูกจำกัด และดังที่กล่าวไปข้างต้นว่าสามารถคำนวณหาธาตุได้เพียง 12-14 ธาตุที่เวลาเดียวกันได้

2.9 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) [6]

2.9.1 นิยาม

สมมติฐานเชิงสถิติ (Statistical hypothesis) หมายถึง ข้อความเกี่ยวกับประชากรที่ต้องการศึกษา ซึ่งอาจเป็นข้อความที่เกี่ยวกับ

- พารามิเตอร์หรือคุณลักษณะของประชากร
- การแจกแจงของประชากร
- ทั้งการแจกแจงของประชากร และพารามิเตอร์

ข้อความเกี่ยวกับประชากรนี้ อาจจะเป็นจริงหรือเท็จก็ได้ ซึ่งจะต้องทำการประเมินผลโดยอาศัยข้อมูลจากตัวอย่างสุ่ม และจะได้ศึกษาในหัวข้อต่อ ๆ ไป นิยาม : “สมมติฐาน” เขียนแทนด้วย “H” มี 2 อย่าง ดังนี้

2.9.1.1 สมมติฐานที่จะทดสอบ เรียกว่า สมมติฐานเพื่อการทดสอบ หรือสมมติฐานหลัก (Null hypothesis) เขียนแทนด้วย “ H_0 ”

2.9.1.2 สมมติฐานที่แย้งกับสมมติฐานหลัก เรียกว่า สมมติฐานแย้ง หรือสมมติฐานรอง (Alternative hypothesis) เขียนแทนด้วย “ H_1 ” หรือ “ H_a ”

2.9.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ θ

ถ้าให้ θ_0 เป็นค่าของพารามิเตอร์ θ ที่จะพิจารณาใน H_0 และ H_1 ซึ่งขัดแย้งกันเสมอ นั่นคือ ถ้า H_0 เป็นจริงแล้ว H_1 จะไม่จริง และในทางกลับกัน ถ้า H_0 ไม่จริงแล้ว H_1 จะเป็นจริงเสมอ ดังนั้นการขัดแย้งกันของสมมติฐานมี 3 แบบ ดังนี้

- แบบที่ 1 $H_0 : \theta = \theta_0$ VS $H_1 : \theta > \theta_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบที่ 2 $H_0 : \theta = \theta_0$ VS $H_1 : \theta < \theta_0$
- แบบที่ 3 $H_0 : \theta = \theta_0$ VS $H_1 : \theta \neq \theta_0$

สรุปว่า สมมติฐานหลัก มีแบบเดียว คือ $H_0 : \theta = \theta_0$

สมมติฐานรอง มี 3 แบบ คือ $H_1 : \theta > \theta_0$, $H_1 : \theta < \theta_0$ และ $H_1 : \theta \neq \theta_0$

2.9.3 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Statistical hypothesis testing)

หมายถึง กฎเกณฑ์อย่างหนึ่ง ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจว่า จะยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 โดยอาศัยข้อมูลจากตัวอย่างสุ่ม (หรือตัวสถิติ)

- ตัวสถิติที่คำนวณได้จากตัวอย่างสุ่ม ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจว่า ควรจะยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 เรียกว่า “ตัวสถิติทดสอบ (Test statistic)” ซึ่งอาจเป็นตัวสถิติ Z, T, χ^2 และ F ขึ้นอยู่กับสิ่งที่สนใจศึกษา

- ในเซตของค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของตัวสถิติทดสอบ มีบางค่าในเซตนี้เกือบจะไม่มีโอกาสเกิดขึ้นเลยถ้า H_0 เป็นจริง และเซตย่อยของค่าเหล่านี้จะนำไปสู่การตัดสินใจที่จะปฏิเสธ H_0 เราเรียกเซตย่อยนี้ว่า “บริเวณปฏิเสธ (Rejection region) หรือบริเวณวิกฤต (Critical region)” ดังนั้น สมมติฐาน H_0 จะได้รับยอมรับ ถ้าค่าของตัวสถิติทดสอบไม่อยู่ในเซตย่อยนี้เรียกส่วนนี้ว่า “บริเวณยอมรับ (Acceptance region)” ดังในรูป



รูปที่ 2.21 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

2.9.4 ประเภทของความผิดพลาด

ในการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างสุ่ม ซึ่งมีความไม่แน่นอน จึงมีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจได้ นั่นคือ เกิดความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากตัวอย่างสุ่ม ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมี 2 ประเภท คือ

2.9.4.1 ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I error)

เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธ H_0 ทั้งที่ถูกต้อง และความน่าจะเป็นที่ความผิดพลาดชนิดนี้จะเกิดขึ้น เรียกว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of significance) หรือขนาดของการทดสอบ หรือการเสี่ยงแบบ 1 (Alpha risk) แทนด้วย α

$$\alpha = \text{ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดแบบที่ 1}$$

$$= P(\text{Type I error})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (ปฏิเสธ H_0 , H_0 เป็นจริง) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.4.2 ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II error)

เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับ H_0 ทั้งที่ผิด และความน่าจะเป็นที่ความผิดพลาดชนิดนี้จะเกิดขึ้น เรียกว่า การเสี่ยงแบบ 2 (Beta risk) แทนด้วย β

$$\begin{aligned}\beta &= \text{ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดชนิดที่ 2} \\ &= P(\text{Type II error}) \\ &= P(\text{ยอมรับ } H_0, H_0 \text{ เป็นเท็จ})\end{aligned}$$

ตารางที่ 2.3 ผลของการตัดสินใจ

การตัดสินใจ	สถานการณ์ที่แท้จริง	
	H_0 เป็นจริง	H_0 เป็นเท็จ
ปฏิเสธ H_0	Type I error $\alpha = P(\text{Type I error})$ Level of significance	No error $1 - \beta$ Power of the test
ยอมรับ H_0	No error $1 - \alpha$ Level of confidence	Type II error $\beta = P(\text{Type II error})$

2.9.5 อำนาจการทดสอบ (Power of the test)

คือ ความน่าจะเป็นที่วิธีการทดสอบจะควบคุม H_0 ที่เป็นเท็จ หรือ ความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 เป็นเท็จ มีค่าเท่ากับ $1 - \beta$

2.9.6 การเลือกแบบทดสอบ

แบบทดสอบที่ดีที่สุดในการทดสอบสมมติฐาน คือ แบบที่ให้ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดทั้ง α และ β มีค่าต่ำๆ แต่เมื่อเรากำหนดขนาดของตัวอย่างสุ่ม n แล้ว การที่จะทำให้ทั้ง α และ β มีค่าต่ำพร้อมกันนั้น อาจทำไม่ได้ เพราะถ้าให้ α มีค่าต่ำแล้ว β จะมีค่าสูง หรือให้ β มีค่าต่ำแล้ว α จะมีค่าสูง (ยกเว้นถ้าตัวอย่างสุ่ม n มีขนาดใหญ่มากๆ แล้วทั้ง α และ β จะมีค่าต่ำพร้อมกันได้)

ดังนั้นในการทดสอบสมมติฐาน เราจะต้องกำหนด α ไว้ล่วงหน้าก่อนที่จะเก็บข้อมูล โดยปกติจะกำหนด α เป็น 0.01 0.05 และ 0.10 แล้วพยายามหาเกณฑ์การทดสอบโดยให้อำนาจการทดสอบ $1 - \beta$ มีค่าสูงๆ หรือให้ β มีค่าต่ำๆ

2.9.7 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร (Tests for population means)

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร และ μ_0 คือค่าของ μ ดังนั้นต้องการทดสอบว่าประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติจะมีค่าเฉลี่ย μ เท่ากับ μ_0 หรือไม่ นั่นคือทดสอบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ © $H_0: \mu = \mu_0$ VS $H_1: \mu > \mu_0$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $H_0: \mu = \mu_0$ VS $H_1: \mu < \mu_0$

- $H_0: \mu = \mu_0$ VS $H_1: \mu \neq \mu_0$

2.9.7.1 มี 1 ประชากร

ต้องการทดสอบว่า ค่าเฉลี่ย μ เท่ากับ μ_0 หรือไม่ การเลือกตัวสถิติทดสอบจะขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของประชากร σ^2 และขนาดตัวอย่างสุ่ม n มี 3 กรณีดังนี้

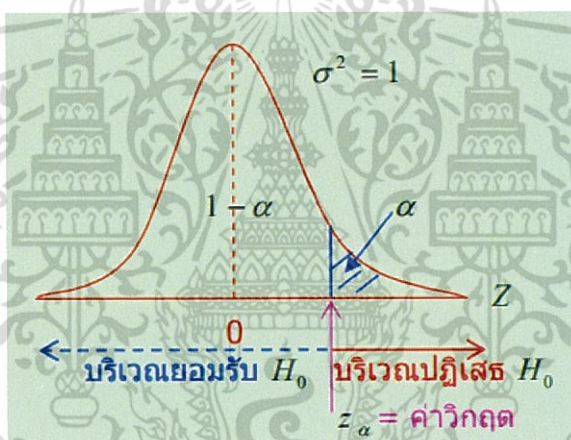
- กรณีที่ 1 ทราบค่า σ^2 และ n เป็นเท่าใดก็ได้

กำหนดสมมติฐานหลัก $H_0: \mu = \mu_0$

ตัวสถิติทดสอบ คือ $Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0,1)$

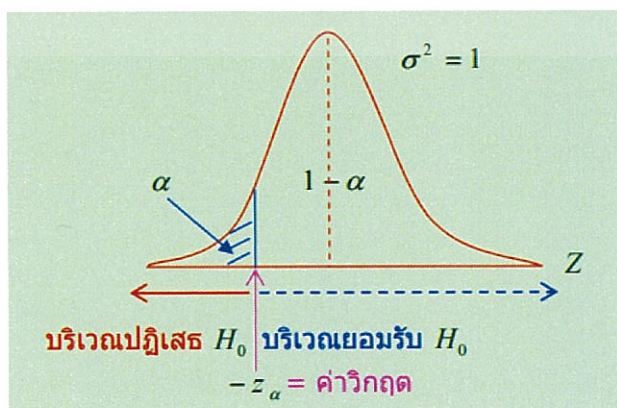
บริเวณปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ α พิจารณาจากสมมติฐานรอง ดังนี้

- 1) ถ้า $H_1: \mu > \mu_0$ บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $Z \geq z_\alpha$



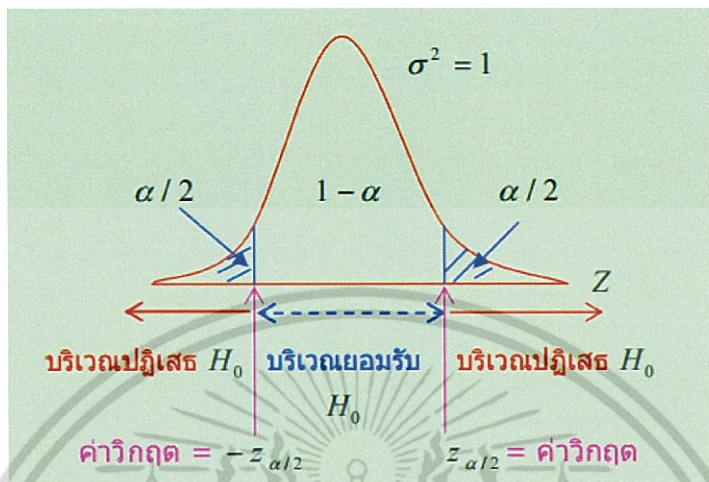
รูปที่ 2.22 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 1 แบบที่ 1

- 2) ถ้า $H_1: \mu < \mu_0$ บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $Z \leq -z_\alpha$



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.23 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 1 แบบที่ 2 โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ถ้า $H_1 : \mu \neq \mu_0$ บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $\left\{ \begin{array}{l} Z \leq -z_{\alpha/2} \text{ หรือ } Z \geq z_{\alpha/2} \\ |Z| \geq z_{\alpha/2} \end{array} \right.$



รูปที่ 2.24 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 1 แบบที่ 3

การทดสอบสมมติฐานที่ใช้ Z เป็นตัวสถิติทดสอบ เรียกว่า “Z test”

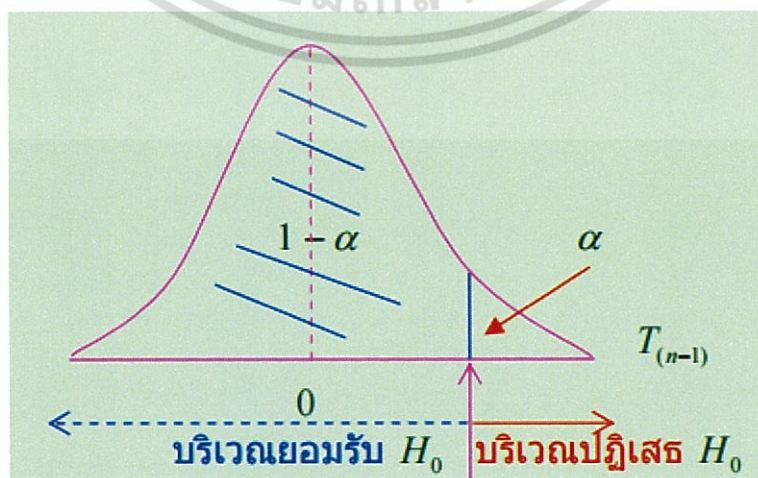
- กรณีที่ 2 ไม่ทราบค่า σ^2 และ $n < 30$

กำหนดสมมติฐานหลัก $H_0 : \mu = \mu_0$

ตัวสถิติทดสอบ คือ $T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \sim T_{(v)} ; v = n - 1$

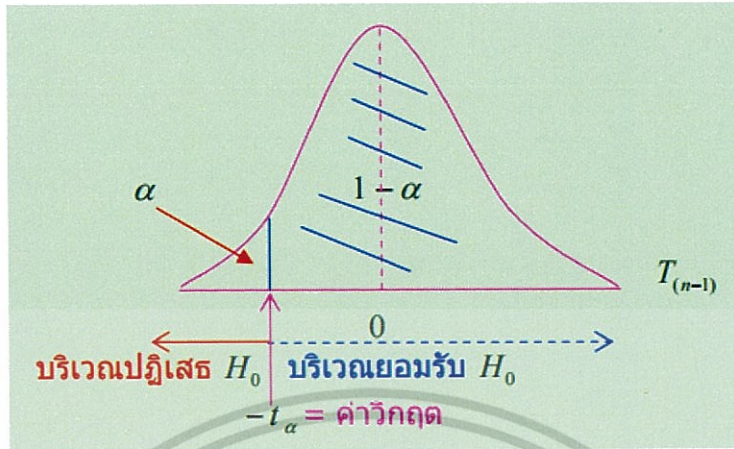
บริเวณปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ α พิจารณาจากสมมติฐานรอง ดังนี้

- 1) ถ้า $H_1 : \mu > \mu_0$ บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $T \geq t_{\alpha, (n-1)}$



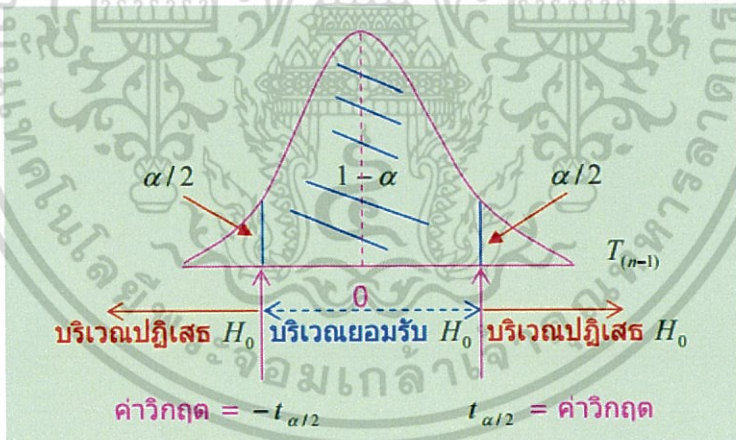
รูป 2.25 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 2 แบบที่ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง ซึ่งเป็นการนำเอกสารต้นฉบับมาจัดทำเป็นเอกสารเผยแพร่โดยไม่มีการแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ถ้า $H_1 : \mu < \mu_0$ บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $T \leq -t_{\alpha, (n-1)}$



รูป 2.26 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 2 แบบที่ 2

3) ถ้า $H_1 : \mu \neq \mu_0$ บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $\left\{ \begin{array}{l} T \leq -t_{\alpha/2, (n-1)} \text{ หรือ } T \geq t_{\alpha/2, (n-1)} \\ |T| \geq t_{\alpha/2, (n-1)} \end{array} \right.$



รูป 2.27 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของประชากร กรณีที่ 2 แบบที่ 3

การทดสอบสมมติฐานที่ใช้ T เป็นตัวสถิติทดสอบ เรียกว่า “T test”

- กรณีที่ 3 ไม่ทราบ σ^2 และ $n \geq 30$

โดยทฤษฎีลิมิตสู่ส่วนกลาง จะได้ $\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$ นั่นคือใช้ S^2 ประมาณ σ^2

ต้องการทดสอบสมมติฐาน คือ $H_0 : \mu = \mu_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวสถิติทดสอบ คือ $Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \sim N(0,1)$

บริเวณปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ α พิจารณาจากสมมติฐานรองดังนี้

ถ้า $H_1 : \mu > \mu_0$ บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $Z \geq z_\alpha$

ถ้า $H_1 : \mu < \mu_0$ บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $Z \leq -z_\alpha$

ถ้า $H_1 : \mu \neq \mu_0$ บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $\left\{ \begin{array}{l} Z \leq -z_{\alpha/2} \text{ หรือ } Z \geq z_{\alpha/2} \\ |Z| \geq z_{\alpha/2} \end{array} \right.$

2.9.8 ค่าพี (Probability value)

เขียนแทนด้วย p-value หรือ P คือ ระดับนัยสำคัญ α ที่น้อยที่สุดที่จะปฏิเสธ H_0 หรือค่าความน่าจะเป็นที่เล็กที่สุดที่จะทำให้ปฏิเสธ H_0

- ถ้า p-value มีค่าน้อย แสดงว่า มีข้อมูลหรือหลักฐานที่แย้งกับ H_0 มาก
- ถ้า p-value มีค่ามาก แสดงว่า มีข้อมูลหรือหลักฐานที่แย้งกับ H_0 น้อย

ดังนั้นเมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ α แล้ว เราสามารถใช้ p-value เป็นเกณฑ์ตัดสินใจปฏิเสธหรือยอมรับ H_0 ก็ได้ โดยไม่ต้องหาบริเวณปฏิเสธ H_0 กล่าวคือ

ถ้า p-value $\leq \alpha$ ปฏิเสธ H_0

ถ้า p-value $> \alpha$ ไม่ปฏิเสธ H_0

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 งานวิจัยต่างประเทศ

M. Çağdaş Arslan, Bülent Çatay and Erhan Budak, (2004 : บทคัดย่อ) [7] โลกาภิวัตน์ของธุรกิจ การแข่งขันของภาวะเศรษฐกิจแผ่ขยายไปทั่วโลก และการลดกำลังการผลิตภัณฑ์ของบริษัทลงโดยอุปกรณ์ใหม่ที่นำมาใช้อย่างต่อเนื่อง เพื่อก้าวให้ทันตลาดที่มีความก้าวหน้า เทคโนโลยี การเลือกเครื่องมือที่ไม่ถูกต้องอาจนำผลเสียมาสู่ประสิทธิภาพ ความแม่นยำ ความยืดหยุ่น และความสามารถในการตอบสนองของการผลิตผลิตภัณฑ์ของบริษัท ดังนั้น การเลือกเครื่องมือที่มีความเหมาะสมที่สุดจากจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นของเครื่องมือที่มีความสามารถสูง มีการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการเลือกใช้เครื่องมือ มันจะเป็นแนวทางสำหรับกระบวนการคัดเลือก และช่วยผู้ตัดสินใจแก้ไขปัญหาในการเลือก ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักหลายเกณฑ์จะในกระบวนการของผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดสินใจเพื่อจัดอันดับเครื่องมือด้วยการประเมินหลายเกณฑ์ วิธีการจะถูกสาธิตด้วยตัวอย่างการลดกำลังการผลิตภัณฑ์ของบริษัทลงโดยอุปกรณ์ใหม่

Arwa Gaddal Falih, (1996 : บทคัดย่อ) [8] ชิ้นงานในงานวิจัยเหล่านี้มีส่วนผสมของ Cr Fe และ Ni ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ถูกจัดเตรียมเพื่อให้เป็นตัวแทนของการประมาณความเข้มข้นของธาตุในการเกิดแร่ธรรมชาติ ตัวอย่างเหล่านี้ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ EDXRF และผลกระทบระหว่างองค์ประกอบของธาตุ (การดูดกลืนและการเพิ่มพูน) ได้รับการประเมินโดยค่าเฉลี่ยของ 2 วิธี คือ โดยการใช้ซอฟต์แวร์ AXIL-QXAS เพื่อคำนวณหาผลกระทบ และโดยวิธีการปลดปล่อยและการส่งผ่าน เพื่อศึกษาผลทดลองเดียวกัน ผลการทดลองที่ได้จะถูกเปรียบเทียบ และหาความคลาดเคลื่อนในผลของการดูดกลืน ความคลาดเคลื่อนนี้เป็นจริงที่การดูดกลืนใน 2 วิธีถูกคำนวณลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ในวิธีการปลดปล่อยและการส่งผ่าน ปัจจัยการดูดกลืนถูกคำนวณโดยการเพิ่มเงื่อนไขการดูดกลืนที่แตกต่างเรียกว่ากฎการบวก แต่ในส่วนของโปรแกรมซอฟต์แวร์ถูกคำนวณจากพีควิธีการกระเจิง ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎ โดยสรุปได้ว่าโปรแกรมควรจะแก้ไขโดยใช้วิธีการปลดปล่อยและการส่งผ่านในโปรแกรมซอฟต์แวร์เพื่อคำนวณการดูดกลืน การรับประกันคุณภาพของข้อมูลได้ปฏิบัติโดยการวิเคราะห์ของโลหะผสมมาตรฐานที่ได้รับมาจากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการรวบรวมคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น และขั้นตอนการวัดความหนา Ag/Cu Alloy ของเครื่องรุ่น Q จากผู้ผลิต A

3.1 การรวบรวมคุณสมบัติและการเปรียบเทียบเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement

การรวบรวมคุณสมบัติของเครื่องนั้นได้ข้อมูลมาจาก 2 แหล่ง คือ การเข้าประชุมกับผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่าย เพื่อสอบถามถึงคุณสมบัติและการใช้งานฟังก์ชันต่างๆ ของเครื่อง และจากเอกสารเกี่ยวกับรายละเอียดของเครื่อง เช่น PowerPoint ที่ทางผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่ายนำมาเสนอ และแค็ตตาล็อกของเครื่อง เป็นต้น







รูปที่ 3.1 ตัวอย่างแค็ตตาล็อกของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น

เมื่อได้ข้อมูลของทั้ง 4 เครื่องครบแล้ว ผู้ทำการศึกษาจึงได้จัดทำตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องทั้ง 4 รุ่น เพื่อให้เห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ตัวอย่างดังตารางที่ 3.1

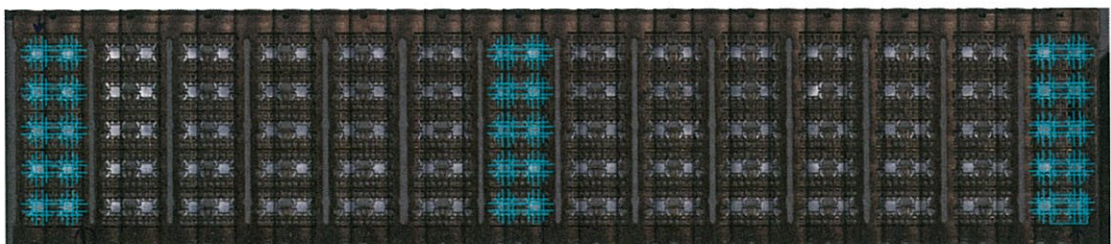
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น

แบรนด์	A	A	B	C
รุ่น	Q	R	S	T
รูปภาพ				
ผลิตที่ประเทศ	เยอรมัน	เยอรมัน	เกาหลี	ญี่ปุ่น
การวัดความหนาของสารที่ซึบบนชิ้นงาน	ได้	ได้	ได้	ได้
การหาค่าประกอบของธาตุในชิ้นงาน	ได้	ได้	ได้ (ไม่แนะนำ)	ได้
การวัดหาชิ้นงานที่มีขนาดเล็กที่สุด (235 μm)	ได้	ได้	ได้	ได้
บันทึกรายงานการวัดเป็นไฟล์ .docx และ .xlsx	ได้	ได้	ได้	ได้
การกำหนดรูปแบบของรายงานผลการวัด	ได้	ได้	ได้	ได้

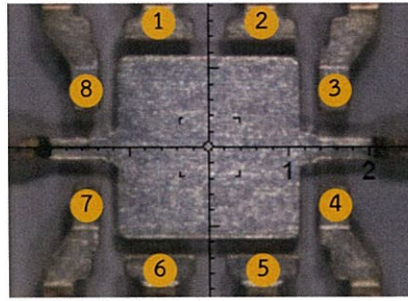
3.2 ขั้นตอนการวัดความหนา Ag/Cu Alloy ของเครื่องรุ่น Q จากผู้ผลิต A

ในขั้นตอนผู้ทำการศึกษาได้ใช้ลิตเฟรม Ag/Cu Alloy มาเป็นชิ้นงานตัวอย่าง โดยทำการวัดความหนาของ Ag ที่เคลือบอยู่บน Cu Alloy จำนวน 30 แพด แพดละ 8 ขา ซึ่งวัดซ้ำทั้งหมด 4 ครั้ง โดยใช้ลิตเฟรมแผงเดิม โดยใช้ตำแหน่งแพดและขางานจุดเดิม แต่วัดที่เวลาแตกต่างกัน คือ ครั้งที่ 1 และ 2 ในเวลาตอนเช้าและบ่ายของวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2560 ครั้งที่ 3 และ 4 ในเวลาตอนเช้าและบ่ายของวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2560



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งแพดของลิตเฟรมที่ต้องการวัดความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

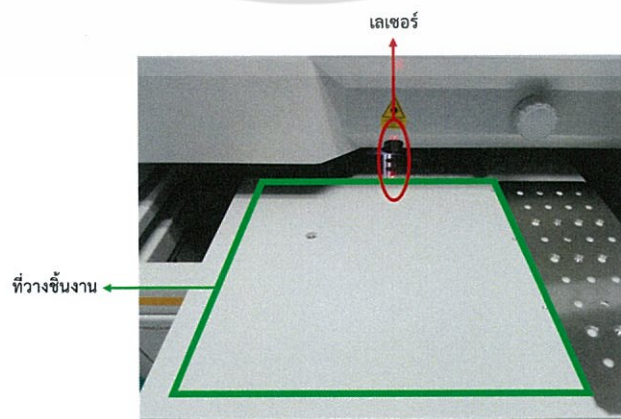


รูปที่ 3.3 ลำดับขาของลิตเฟรมแต่ละแพดที่ต้องการวัด

ขั้นตอนในการใช้เครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement รุ่น Q จากผู้ผลิต A เพื่อวัดชิ้นงานตัวอย่างเริ่มจากการเปิดส่วนฝาครอบของเครื่อง จากนั้นส่วนของที่วางชิ้นงาน (Scan area) จะยื่นออกมาจากตัวเครื่อง นำชิ้นงานที่ต้องการวัด (ลิตเฟรม) วางลงบนที่วางชิ้นงาน ปรับจอยน์สติ๊ก (Joystick) เพื่อขยับที่วางให้ชิ้นงานที่ต้องการวัดไปอยู่ที่เลเซอร์ จากนั้นปิดฝาครอบเครื่อง และเปิดโปรแกรมเพื่อวัดชิ้นงาน

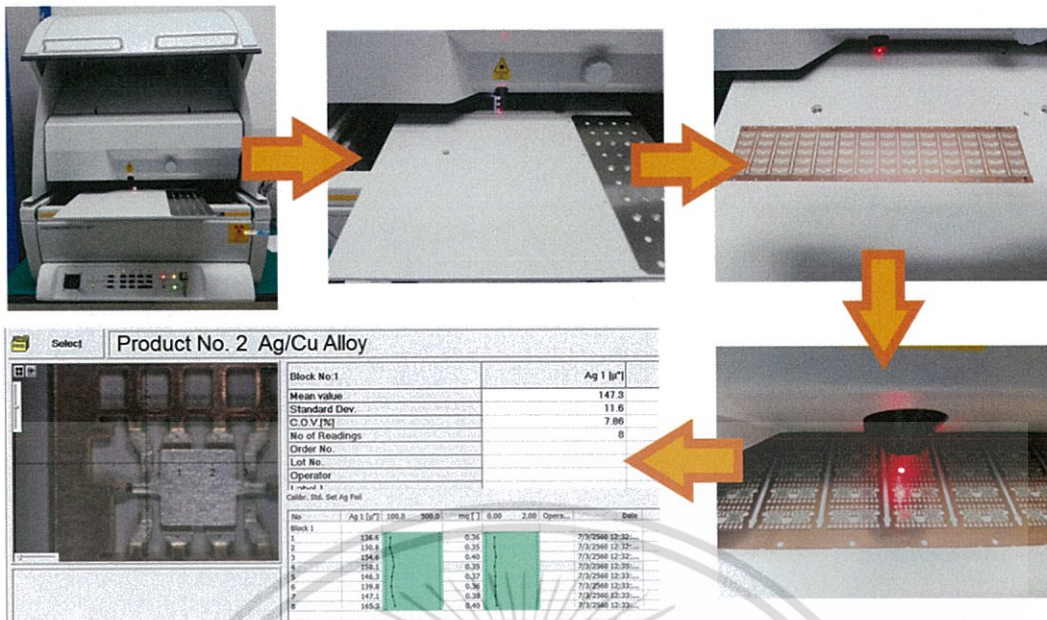


รูปที่ 3.4 X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement รุ่น Q จากผู้ผลิต A



รูปที่ 3.5 ที่วางชิ้นงาน (Scan area) และเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนในการใช้เครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement รุ่น Q จากผู้ผลิต A เพื่อวัดชั้นงานตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างค่าความหนา Ag ที่เคลือบอยู่บน Cu Alloy

ลำดับของ แพ็คบรอนซ์ ลิตเฟรม	ลำดับของ ชาลิตเฟรม บนแพ็ค	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ ")			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		27 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
1	1	184.5	176.8	181.7	177.0
	2	144.1	137.3	155.5	161.8
	3	143.3	144.0	143.2	142.8
	4	159.4	186.6	158.6	164.8
	5	159.9	181.7	176.8	164.5
	6	148.8	155.5	137.3	141.6
	7	149.6	143.2	144.0	155.1
	8	182.3	158.6	186.6	163.7
•	•	•	•	•	•
30	5	141.7	163.3	148.1	148.7
	6	140.9	135.6	143.5	140.1
	7	137.0	145.6	151.7	140.3
	8	151.7	164.4	149.5	153.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4


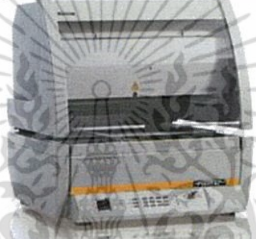


ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ คือ สามารถเลือกเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ที่มีความเหมาะสมสำหรับฟังก์ชันการใช้งานในปัจจุบันมากที่สุดจากเครื่องทั้งหมด 4 รุ่น จาก 3 ผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่าย โดยขั้นตอนในการตัดสินใจครั้งนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ส่วน คือ


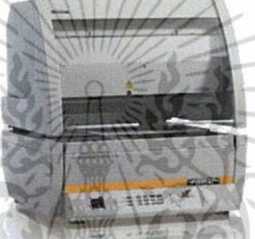


4.1 การรวบรวมคุณสมบัติและการเปรียบเทียบเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement

เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลของคุณสมบัติต่างๆ ได้ครบแล้ว เพื่อให้เห็นความแตกต่างกันของคุณสมบัตินั้นๆ ได้อย่างชัดเจน ผู้ทำการศึกษาจึงได้สร้างตารางการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น จาก 3 ผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่ายขึ้นมาดังตารางที่ 4.1 และให้คะแนนแก่เครื่องที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดในด้านนั้นๆ พร้อมเหตุผลประกอบ รวมถึงการรวมคะแนนที่ท้ายตาราง ดังตารางที่ 4.2





ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น

แบรนด์	A	A	B	C
รุ่น	Q	R	S	T
รูปภาพ				
ผลิตที่ประเทศ	เยอรมัน	เยอรมัน	เกาหลี	ญี่ปุ่น
การวัดความหนาของสารที่ซึบบนชิ้นงาน	ได้	ได้	ได้	ได้
การหาค่าประกอบของธาตุในชิ้นงาน	ได้	ได้	ได้ (ไม่แนะนำ)	ได้
การวัดชิ้นงานที่มีขนาดเล็กที่สุด (235 μm)	ได้	ได้	ได้	ได้
บันทึกรายงานการวัดเป็นไฟล์ .docx และ .xlsx	ได้	ได้	ได้	ได้
การกำหนดรูปแบบของรายงานผลการวัด	ได้	ได้	ได้	ได้





ตารางที่ 4.1 (ต่อ) เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น

แบรนด์	A	A	B	C
รุ่น	Q	R	S	T
รูปภาพ				
อุปกรณ์รวมรังสีเอ็กซ์	Pinhole (Collimator)	Polycapillary	Polycapillary	Polycapillary
พื้นที่ที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบ กับชิ้นงาน (Spot size)	100, 300, 1000, 3000 μm	20 μm	15 μm	30 μm
พื้นที่ของถาดวางชิ้นงาน (กว้าง×ยาว×สูง)	250×250×140 mm	250×250×135 mm	160×160×100 mm	400×300×100 mm
ระยะเวลาในการวอร์ม เครื่อง (กรณีปิดเครื่อง)	15 นาที	อย่างน้อย 30 นาที	10 นาที	30 นาที
ระยะเวลาในการวอร์ม เครื่อง (กรณีพักเครื่อง)	5 นาที	30 นาที	3 นาที	ไม่ระบุ
บริษัทที่สามารถติดต่อได้	บริษัท A (ผู้ผลิต)	บริษัท A (ผู้ผลิต)	บริษัท B (ตัวแทนจำหน่าย)	บริษัท C (ตัวแทนจำหน่าย)


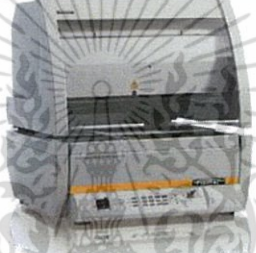


ตารางที่ 4.1 (ต่อ) เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น

แบรนด์	A	A	B	C
รุ่น	Q	R	S	T
รูปภาพ				
จำนวนช่างที่สามารถซ่อมเครื่องได้ในประเทศไทย	9 คน	9 คน	2 คน	4 คน
สินค้าสาธิตให้ทดลองใช้	มี (3 สัปดาห์)	มี (1 สัปดาห์)	ไม่มี	ไม่มี
การอบรมพนักงานใหม่	ภายใน 2 ปี (เทรนเนอร์เป็นคนไทย)	ภายใน 2 ปี (เทรนเนอร์เป็นคนไทย)	ไม่จำกัด (เทรนเนอร์เป็นคนเกาหลี)	ไม่ระบุ
ระยะเวลาการรับประกัน	หลอดรังสีเอกซ์ 2 ปี อุปกรณ์ตรวจจับ 1 ปี ตัวเครื่องส่วนอื่นๆ 1 ปี	หลอดรังสีเอกซ์ 2 ปี อุปกรณ์ตรวจจับ 1 ปี ตัวเครื่องส่วนอื่นๆ 1 ปี	หลอดรังสีเอกซ์ 1 ปี อุปกรณ์ตรวจจับ 2 ปี ตัวเครื่องส่วนอื่นๆ 1 ปี	หลอดรังสีเอกซ์ 1 ปี อุปกรณ์ตรวจจับ 1 ปี ตัวเครื่องส่วนอื่นๆ 1 ปี
ค่าซ่อมบำรุงต่อปี	1,500 USD (ซ่อมบำรุง 2 ครั้ง และ การสอบเทียบ 1 ครั้ง)	1,500 USD (ซ่อมบำรุง 2 ครั้ง และ การสอบเทียบ 1 ครั้ง)	3,000 USD (ซ่อมบำรุง 2 ครั้ง และ การสอบเทียบ 1 ครั้ง)	900 USD (ซ่อมบำรุง 2 ครั้ง และ การสอบเทียบ 1 ครั้ง)

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น

แบรนด์	A	A	B	C
รุ่น	Q	R	S	T
รูปภาพ				
จำนวนเครื่องที่สามารถติดตั้งได้ในประเทศไทย	45 เครื่อง	1 เครื่อง	ไม่มี	4 เครื่อง
เครื่องสำรองให้ใช้ (กรณีที่ซ่อมนานเกิน 7 วัน)	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี
อะไหล่สำรอง (กรณีชิ้นส่วนชำรุดเสียหาย)	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี
ราคาหลอดรังสีเอกซ์	13,000 USD	13,000 USD	13,000 USD	ไม่ระบุ
ราคาอุปกรณ์ตรวจจับ	20,000 USD	35,000 USD	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
ราคาพอยล์สอบเทียบสำหรับความหนาของชั้นเคลือบ (22 ชั้น)	ไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม (รวมอยู่ในราคาเครื่อง)	ไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม (รวมอยู่ในราคาเครื่อง)	8,000 USD (400 USD ต่อชั้น แต่ไม่เสียค่าใช้จ่าย 2 ชั้น)	ไม่ระบุ

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น

	แบรนด์	A	A	B	C
	รุ่น	Q	R	S	T
คุณสมบัติ	รูปภาพ				
	ราคารวมสุทธิ (ราคาค่าพอยล์สอบเทียบ สำหรับความหนาของชั้น เคลือบ (22 ชั้น) และราคา เครื่อง XRF)	116,000 USD	158,000 USD	136,000 USD	143,000 USD +
	ระยะเวลาในการจัดส่ง	ภายใน 45 วัน	ภายใน 45 วัน	ภายใน 45 วัน	ภายใน 90 วัน

ตารางที่ 4.2 การให้คะแนนแก่เครื่องที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับฟังก์ชันการใช้งานในปัจจุบัน

	แบรนด์	A	A	B	C	เหตุผล
	รุ่น	Q	R	S	T	
คุณสมบัติ	การวัดความหนาของสารที่ ชุบบนชิ้นงาน	✓	✓	✓	✓	ทุกเครื่องมีคุณสมบัติ เหมือนกัน
	การหาค่าประกอบของธาตุ ในชิ้นงาน	✓	✓	✓	✓	
	การวัดหาชิ้นงานที่มีขนาด เล็กที่สุด (235 μm)	✓	✓	✓	✓	
	บันทึกรายงานการวัดเป็น ไฟล์ .docx และ .xlsx	✓	✓	✓	✓	
	การกำหนดรูปแบบของ รายงานผลการวัด	✓	✓	✓	✓	
	อุปกรณ์รวมรังสีเอ็กซ์		✓	✓	✓	Polycillary จะไม่ทำให้ ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่ตก กระทบชิ้นงานลดลง และไม่ ทำให้เกิดค่าความคลาด เคลื่อนของ spot size
	พื้นที่ที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบ กับชิ้นงาน (Spot size)			✓		มีขนาดเล็กที่สุด
	พื้นที่ของถาดวางชิ้นงาน (กว้าง×ยาว×สูง)				✓	มีขนาดใหญ่ที่สุด ทำให้ สามารถวัดงานได้ปริมาณ มากต่อการวัดหนึ่งครั้ง
	ระยะเวลาในการวอร์ม เครื่อง (กรณีปิดเครื่อง)			✓		ใช้เวลาที่สั้นในการทำ ให้พลังงานหลอดรังสี เอ็กซ์เสถียร
	ระยะเวลาในการวอร์ม เครื่อง (กรณีพักเครื่อง)			✓		
	บริษัทที่สามารถติดต่อได้	✓	✓			เป็นบริษัทที่ผลิตเครื่องนี้ โดยตรง
	จำนวนช่างที่สามารถซ่อม เครื่องได้ในประเทศไทย	✓	✓			มีจำนวนช่างมากที่สุด
	การอบรมพนักงานใหม่	✓	✓			เทรนเนอร์เป็นคนไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การให้คะแนนแก่เครื่องที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับฟังก์ชันการใช้งานในปัจจุบัน

	แบรนด์	A	A	B	C	เหตุผล
	รุ่น	Q	R	S	T	
คุณสมบัติ	สินค้าสาธิตให้ทดลองใช้	✓				ระยะเวลาที่มีสินค้าให้ทดลองใช้นานที่สุด
	การอบรมพนักงานใหม่	✓	✓			เทรนเนอร์เป็นคนไทย
	ระยะเวลาการรับประกัน	✓	✓			เนื่องจากหลอดรังสีเอ็กซ์เป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุด และมีราคาที่สูง และมีอายุการใช้งานที่จำกัด ซึ่งผู้ผลิต A ให้ระยะเวลาประกันที่นานกว่าตัวแทนจำหน่าย B และ C
	ค่าซ่อมบำรุงต่อปี				✓	มีราคาที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน
	จำนวนเครื่องที่สามารถติดตั้งได้ในประเทศไทย	✓				มีจำนวนเครื่องที่สามารถติดตั้งได้ในประเทศไทยมากที่สุด
	ราคาหลอดรังสีเอ็กซ์	✓	✓	✓		ตัวแทนจำหน่าย C ไม่ได้ให้รายละเอียดตรงส่วนนี้มา
	ราคาอุปกรณ์ตรวจจับ	✓				ราคาที่เหมาะสมที่สุด
	ราคาพอยล์สอบเทียบสำหรับความหนาของชั้นเคลือบ (22 ชั้น)	✓	✓			ไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม
	ราคารวมสุทธิ (ราคาพอยล์สอบเทียบสำหรับความหนาของชั้นเคลือบ (22 ชั้น) และราคาเครื่อง XRF)	✓				ราคาเหมาะสมที่สุดสำหรับฟังก์ชันสำหรับการใช้งานในปัจจุบัน
	ระยะเวลาในการจัดส่ง	✓	✓			ระยะเวลาในการจัดส่งสั้นที่สุด
	คะแนนรวม	16	13	10	8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดค่าความหนา Ag/Cu Alloy

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเครื่องที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับฟังก์ชันการใช้งานในปัจจุบันมากที่สุดคือเครื่องรุ่น Q จากผู้ผลิต A ประกอบกับมีสินค้าสาธิตให้ทดลองใช้ ผู้ทำการศึกษาจึงต้องการทดสอบความเสถียรของเครื่อง รุ่น Q จากผู้ผลิต A โดยการวัดค่าความหนาของ Ag/Cu Alloy จำนวน 4 ครั้ง โดยใช้ลิตเฟรมแผงเดิมและวัดตำแหน่งเดิม แต่วัดที่เวลาแตกต่างกัน โดยวัดค่าได้ทั้งหมด 240 จุดต่อการวัดหนึ่งครั้ง ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความหนาของ Ag/Cu Alloy

ลำดับของ แพ็คเกจแผง ลิตเฟรม	ลำดับของ ขาลิตเฟรม บนแพ็คเกจ	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		27 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
1	1	184.5	176.8	181.7	177.0
	2	144.1	137.3	155.5	161.8
	3	143.3	144.0	143.2	142.8
	4	159.4	186.6	158.6	164.8
	5	159.9	181.7	176.8	164.5
	6	148.8	155.5	137.3	141.6
	7	149.6	143.2	144.0	155.1
	8	182.3	158.6	186.6	163.7
2	1	184.5	167.7	187.9	186
	2	139.8	141.8	144.5	149.8
	3	140.4	137.1	135.5	141.6
	4	146.8	188.7	153.4	156.1
	5	162.7	187.9	167.7	164.6
	6	137.9	144.5	141.8	137.3
	7	143.4	135.5	137.1	142.1
	8	184.5	153.4	188.7	180.9
3	1	183.0	174.8	187.7	188.4
	2	161.9	143.9	161.4	148.6
	3	144.7	137.0	140.5	150.6
	4	161.4	191.8	162.5	167.5
	5	164.5	187.7	174.8	161.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความหนาของ Ag/Cu Alloy

ลำดับของ แพ็คบนแผง ลิตเฟรม	ลำดับของ ชาลิตเฟรม บนแพ็ค	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		27 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
3	6	142.4	161.4	143.9	145.7
	7	148.3	140.5	137.0	145.6
	8	197.3	162.5	191.8	189.4
4	1	181.3	163.7	185.7	185.7
	2	145.3	144.7	162.0	151.1
	3	136.2	129.8	143.3	145.5
	4	155.4	187.7	152.4	157.6
	5	164.4	185.7	163.7	160.4
	6	134.0	162.0	144.7	140.2
	7	137.5	143.3	129.8	138.8
	8	189.4	152.4	187.7	162.2
5	1	180.0	154.5	175.3	169.9
	2	137.6	149.1	154.1	146.5
	3	140.3	142.6	147.8	143.6
	4	154.8	182.8	156.7	163.8
	5	154.2	175.3	154.5	160.0
	6	148.2	154.1	149.1	148.5
	7	147.0	147.8	142.6	142.1
	8	179.7	156.7	182.8	173.6
6	1	190.3	166.7	187.8	190.2
	2	150.2	152.9	159.5	152.4
	3	146.2	156.9	154.7	151.1
	4	167.1	180.4	182.2	167.0
	5	160.2	187.8	166.7	166.4
	6	144.0	159.5	152.9	142.8
	7	153.7	154.7	156.9	150.2
	8	185.4	182.2	180.4	189.7
7	1	183.1	167.8	183.5	180.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความหนาของ Ag/Cu Alloy

ลำดับของ แพ็คบนแผง ลิตเฟรม	ลำดับของ ชาลิตเฟรม บนแพ็ค	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		24 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
7	2	149.2	142.7	151.4	151.6
	3	135.6	149.8	146.0	145.9
	4	169.8	169	156.5	165.6
	5	159.2	183.5	167.8	155.9
	6	152.6	151.4	142.7	144.2
	7	149.4	146.0	149.8	141.9
	8	182.8	156.5	169	180.6
8	1	179.6	155.2	185.9	188.8
	3	139.9	158.6	149.1	145.8
	4	156.4	170.2	157.9	164.8
	5	158.0	185.9	155.2	157.2
	6	146.8	152.6	153.2	150.3
	7	152.7	149.1	158.6	157.7
	8	178.6	157.9	170.2	163.4
9	1	178.7	142.7	178.3	171.7
	2	142.4	146.5	147.5	144.7
	3	130.7	145.3	144.9	136.3
	4	151.8	174.5	158.6	155.7
	5	153.1	178.3	142.7	156.4
	6	150.2	147.5	146.5	143.5
	7	139.1	144.9	145.3	143.6
	8	166.1	158.6	174.5	172.7
10	1	175.6	142.7	168.0	166.8
	2	149.5	146.5	147.4	146.6
	3	145.2	145.3	156.7	142.2
	4	176.0	174.5	170.5	177.1
	5	159.8	178.3	162.1	152.4
	6	144.5	147.5	145.0	151.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความหนาของ Ag/Cu Alloy

ลำดับของ แพ็คบนแผง ลิตเฟรม	ลำดับของ ชาลิตเฟรม บนแพ็ค	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		24 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
10	7	151.8	144.9	160.7	158.7
	8	156.9	158.6	160.7	166.0
11	1	169.7	175.3	177.2	168.8
	2	138.6	150.3	144.5	138.2
	3	152.7	141.1	150.8	159.4
	4	153.7	176.7	156.7	165.1
	5	176.8	177.2	175.3	170.2
	6	148.2	144.5	150.3	163.5
	7	144.0	150.8	141.1	140.3
	8	168.1	156.7	176.7	172.2
12	1	176.3	165.7	170.5	165.7
	2	145.5	151.7	152.0	145.0
	3	142.0	163.6	144.1	144.1
	4	144.0	182.2	143.6	149.8
	5	168.2	170.5	165.7	157.9
	6	170.5	152	151.7	157.2
	7	166.0	144.1	163.6	154.8
	8	194.1	143.6	182.2	163.1
13	1	154.6	173.6	157.9	162.8
	2	139.2	136.6	150.6	148.5
	3	149.3	146.8	151.0.0	153.7
	4	150.5	179.0	152.2	142.1
	5	169.1	157.9	173.6	171.4
	6	149.6	150.6	136.6	140.5
	7	154.2	151.0	146.8.0	152.3
	8	181.9	152.2	179.0	186.8
13	1	154.6	173.6	157.9	162.8
	2	139.2	136.6	150.6	148.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความหนาของ Ag/Cu Alloy

ลำดับของ แพ็คบรณแผง ลิตเฟรม	ลำดับของ ขาลิตเฟรม บรณแพ็ค	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		24 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
13	3	149.3	146.8	151.0.0	153.7
	4	150.5	179.0	152.2	142.1
	5	169.1	157.9	173.6	171.4
	6	149.6	150.6	136.6	140.5
	7	154.2	151.0	146.8.0	152.3
	8	181.9	152.2	179.0	186.8
14	1	158.3	172.4	158.4	154.4
	2	141.4	139.7	146.6	146.7
	3	133.7	149.2	139.2	135.6
	4	159.8	177.1	162.8	163.4
	5	165.0	158.4	172.4	177.3
	6	149.7	146.6	139.7	142.3
	7	146.6	139.2	149.2	140.4
	8	182.2	162.8	177.1	180.2
15	1	175.3	152.5	178.2	173.8
	2	125.0	145.3	127.0	130.1
	3	136.4	128.4	135.9	136.2
	4	148.3	171.5	154.4	144.1
	5	162.5	178.2	152.5	160
	6	151.8	127	145.3	148.6
	7	135.6	135.9	128.4	135.9
	8	173.9	154.4	171.5	168.8
16	1	171.7	154.8	167.4	169.8
	2	137.6	144.2	129.1	131.1
	3	133.9	139.3	135.4	137.7
	4	143.5	178.4	149.3	145.9
	5	151.0	167.4	154.8	152.5
	6	143.6	129.1	144.2	145.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้กันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความหนาของ Ag/Cu Alloy

ลำดับของ แพ็คบนแผง ลีดเฟรม	ลำดับของ ชาลิตเฟรม บนแพ็ค	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		24 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
16	7	141.6	135.4	139.3	143.0
	8	182.1	149.3	178.4	183.4
17	1	166.4	160.7	167.6	169.0
	2	121.4	149.7	129.5	131.1
	3	121.4	142.9	137.8	121.9
	4	150.5	157.8	151.5	162.1
	5	158.5	167.6	160.7	151.5
	6	151.2	129.5	149.7	143.6
	7	141.0	137.8	142.9	147.1
	8	157.0	151.5	157.8	164.5
18	1	170.2	151.4	164.5	168.1
	2	124.7	142.6	131.0	132.5
	3	131.8	134.4	129.2	124.9
	4	163.2	170.4	166.1	164.2
	5	157.3	164.5	151.4	160.6
	6	160.5	131.0	142.6	139.1
	7	142.3	129.2	134.4	137.2
	8	172.8	166.1	170.4	182.4
19	1	160.5	143.1	164.6	175.1
	2	123.8	140.4	131.4	129.9
	3	122.3	134.2	124.0	124.8
	4	152.1	154.1	157.8	159.9
	5	142.8	164.6	143.1	139.1
	6	135.4	131.4	140.4	141.9
	7	149.9	124.0	134.2	142.8
	8	159.3	157.8	154.1	168.6
20	1	155.6	155.2	155.9	170.4
	2	127.0	131.4	123.9	126.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ นเพื่อการศึกษา เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความหนาของ Ag/Cu Alloy

ลำดับของ แพ็คบนแผง ลิตเฟรม	ลำดับของ ชาลิตเฟรม บนแพ็ค	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		24 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
20	3	130.4	135.2	130.7	126.1
	4	168.8	148.5	168.4	169.7
	5	146.2	155.9	155.2	148.7
	6	125.2	123.9	131.4	146.5
	7	133	130.7	135.2	131.3
	8	150.5	168.4	148.5	159.7
21	1	171.4	177.6	170.9	176.6
	2	154.4	138.6	151.8	147.5
	3	151.6	161.7	144.2	144.4
	4	156.9	186.6	158.1	158.4
	5	178.4	170.9	177.6	173.5
	6	147.1	151.8	138.6	137.9
	7	156.0	144.2	161.7	159.4
	8	189.7	158.1	186.6	184.6
22	1	173.5	162.0	166.9	167.6
	2	154.4	138.5	151.5	148.7
	3	153.4	155.8	147	151.2
	4	162.5	184.3	152.4	153.1
	5	163.0	166.9	162.0	161.3
	6	144.4	151.5	138.5	143.4
	7	161.1	147.0	155.8	159.9
	8	195.1	152.4	184.3	178.9
23	1	181.9	155.3	185.0	175.4
	2	158.3	132.6	146.7	140.8
	3	146.2	142.0	144.6	144.8
	4	151.1	182.4	147.7	153.2
	5	152.6	185.0	155.3	155.4
	6	135.8	146.7	132.6	140.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความหนาของ Ag/Cu Alloy

ลำดับของ แผ่นบนแผง ลิตเฟรม	ลำดับของ ขาลิตเฟรม บนแผ่น	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		24 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
23	7	138.9	144.6	142	144.2
	8	180.4	147.7	182.4	178.7
24	1	181.8	162.3	183.1	180.4
	2	147.3	141.3	144.9	140.8
	3	152.5	139.4	148.9	147.3
	4	159.0	177.4	162.9	155.5
	5	162.6	183.1	162.3	160.3
	6	140.1	144.9	141.3	138.9
	7	148.6	148.9	139.4	140.2
	8	186.4	162.9	177.4	192.8
25	1	180.2	154.8	173.3	180.3
	2	143.4	153.5	146.6	141.0
	3	137.4	150.0	140.2	145.9
	4	159.6	182.1	149.8	161.0
	5	151.7	165.3	153.1	155.7
	6	136.7	143.6	135.4	139.6
	7	150.5	135.3	139.5	154.8
	8	183.6	159.1	161.5	185.0
26	1	182.6	153.1	165.3	175.5
	2	143.4	135.4	143.6	145.1
	3	130.5	139.5	135.3	139.0
	4	160.7	161.5	159.1	156.4
	5	151.7	165.3	153.1	155.7
	6	136.7	143.6	135.4	139.6
	7	150.5	135.3	139.5	154.8
	8	183.6	159.1	161.5	185.0
27	1	177.7	143.1	166.4	180.7
	2	128	153.4	128.4	130.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความหนาของ Ag/Cu Alloy

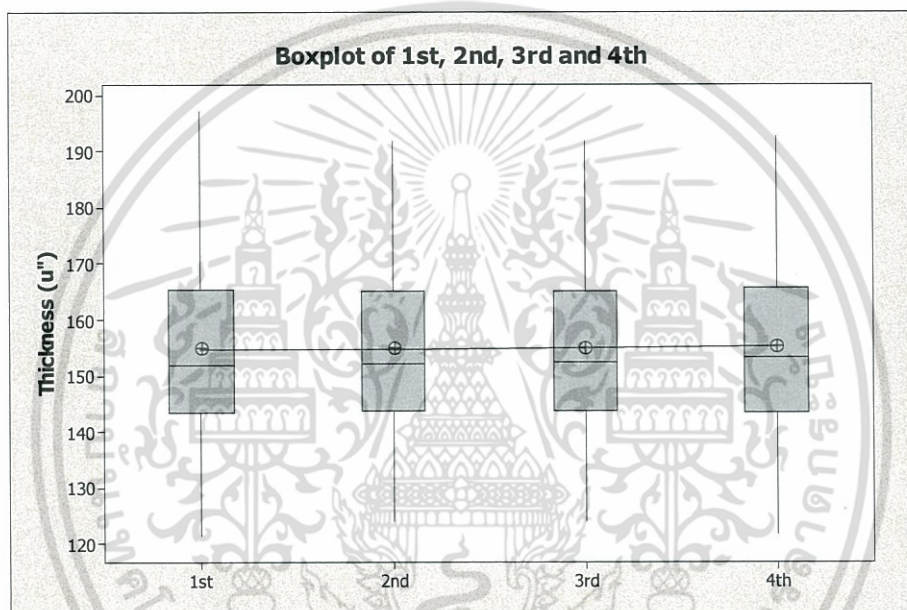
ลำดับของ แพ็คบนแผง ลิตเฟรม	ลำดับของ ชาลิตเฟรม บนแพ็ค	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		24 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
27	3	124.6	133.8	132.8	130.8
	4	148.2	171.5	154.6	158.7
	5	140.7	166.4	143.1	133.4
	6	156.0	128.4	153.4	149.8
	7	139.0	132.8	133.8	140.3
	8	176.6	154.6	171.5	172.9
28	1	193.5	151.1	185.2	191.5
	2	143.5	145.5	146.2	144.5
	3	134.0	149.8	140.2	137.0
	4	158.7	163.3	154.3	154.7
	5	149.3	185.2	151.1	154.1
	6	139.6	146.2	145.5	155.4
	7	148.8	140.2	149.8	145.7
	8	168.9	154.3	163.3	166.8
29	1	170.5	145.3	171.0	177.3
	2	140.4	147.4	140.4	139.2
	3	137.4	137.3	130.2	127.0
	4	154.4	162.2	160.3	160.9
	5	148.3	171.0	145.3	148.0
	6	147.7	140.4	147.4	154.3
	7	136.8	130.2	137.3	149.0
	8	165.4	160.3	162.2	168.3
30	1	161.4	148.1	163.3	163.7
	2	138.3	143.5	135.6	144.0
	3	132.8	151.7	145.6	137.4
	4	159.6	149.5	164.4	166.0
	5	141.7	163.3	148.1	148.7
	6	140.9	135.6	143.5	140.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

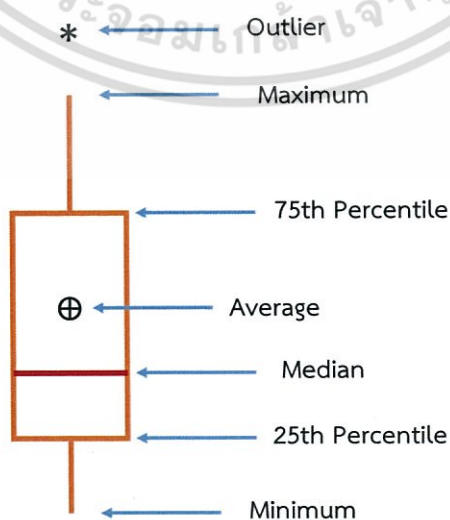
ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ความหนาของ Ag/Cu Alloy

ลำดับของ แพ็คบนแผง ลิตเฟรม	ลำดับของ ขาลิตเฟรม บนแพ็ค	ความหนาของเงินบนโลหะทองแดงผสม (micro inch, μ'')			
		24 กุมภาพันธ์ 2560		24 กุมภาพันธ์ 2560	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
30	7	137.0	145.6	151.7	140.3
	8	151.7	164.4	149.5	153.2

จากตารางที่ 4.2 สามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟ Boxplot ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟ Box plot ของการวัดค่า Ag/Cu Alloy ครั้งที่ 1 2 3 และ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่ให้บุคคลภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการรวบรวมคุณสมบัติของเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement ทั้ง 4 รุ่น อีกทั้งขั้นตอนการวัดความหนา Ag/Cu Alloy โดยใช้เครื่องรุ่น Q จากผู้ผลิต A ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งสมมติฐานหลัก (H_0) คือ ค่าเฉลี่ยของความหนา Ag/Cu Alloy สำหรับการวัดซ้ำทั้ง 4 ครั้ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

พบว่าเครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement รุ่น Q จากผู้ผลิต A เป็นเครื่องที่ได้คะแนนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 3 รุ่นที่เหลือ อีกทั้งยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่งผลให้เครื่อง X-ray Fluorescence Coating Thickness Measurement รุ่น Q จากผู้ผลิต A เป็นเครื่องที่มีความเหมาะสมสำหรับฟังก์ชันการใช้งานในปัจจุบันมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ผู้ทำการศึกษาควรเพิ่มเติมในส่วนของการทดลองให้มากขึ้น เช่น การนำชิ้นงานที่รู้ความหนาของสารเคลือบผิวชิ้นงานมาวัด เพื่อดูค่าของความหนาที่เครื่องสามารถวัดได้ ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดขึ้น และนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Precision Micro. 2016. **Article: The Economic Manufacture of Lead Frames- A Technical Comparison.** [Online]. Available : <http://www.precisionmicro.com/post/106/article:-the-economic-manufacture-of-lead-frames---a-technical-comparison>
- [2] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2017. **เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRD / XRF Techniques, X-ray).** [Online]. แหล่งที่มา : <https://www.mtec.or.th/mcu/phcl/index.php/th/2014-09-04-06-23-37/14-uncategorised/28-x-ray>
- [3] คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาเขตเทคนิคสิงห์บุรีแห่งที่ 1. 2017. **IC ASSEMBLY AND PACKAGING.** [Online]. แหล่งที่มา : <http://sanong2003.tripod.com/icm1-04.htm>
- [4] Peter Brouwer. 2010. **THEORY OF XRF Getting acquainted with the principles.** Netherland : PANalytical B.V.
- [5] Eva Marguá and René Van Grieken. 2013. **X-Ray Fluorescence Spectrometry and Related Techniques: An Introduction.** United States of America : MOMENTUM PRESS
- [6] วิชดา ไชยศิริมงคล. 2553. **การทดสอบสมมติฐาน.** [Online]. แหล่งที่มา : <http://www.bestsci.com/index.php?lay=show&ac=article&id=538907996&Ntype=17>
- [7] M. Çağdaş Arslan, Bülent Çatay and Erhan Budak. 2004. "A decision support system for machine tool selection." *Journal of Manufacturing Technology Management.* 15(1) : 101-109.
- [8] Arwa Gaddal Falih. 1996. "Absorption and Enhancement Correction Using XRF Analysis of Some Chemical Samples" Master's Science Degree.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

