



รายงานสหกิจศึกษาระดับสมบูรณ

เครื่องจำลองการวัดความหนางานชุบโดยเครื่องเอ็กซ์เรย์
Coating Thickness X-Ray fluorescence Emulator Station

นาย ธนวิษณุ คชฉวีวงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

เครื่องจำลองการวัดความหนางานชุบโดยเครื่องเอ็กซ์เรย์

Coating Thickness X-Ray fluorescence Emulator Station

นาย ธนวิษณุ คชฉวีวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา เครื่องจำลองการวัดความหนางานซูปโดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นาย ธนวิษณุ คชนวิวงศ์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.สมภพ ผลไม้

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นาย วัชร สังกพิทักษ์

สถานประกอบการ บริษัท เฮลมุท ฟิสเซอร์(ไทยแลนด์) จำกัด

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้ได้อธิบายถึงการสร้างแบบจำลองเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometry) เพื่อใช้ในการอธิบายหลักการและการทำงานในการวัดความหนาของผิวเคลือบในวัสดุต่างๆ รวมไปถึงการแยกองค์ประกอบของธาตุในชิ้นงานที่เป็น Alloy หรือใน Electrolyte ที่ใช้เคลือบผิวชิ้นงาน โดยแบบจำลองเครื่อง X-Ray fluorescence ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการอธิบายหลักการการทำงานเพื่อให้เข้าใจขั้นตอนการทำงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงสามารถใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์แต่ละส่วนว่ายังสามารถใช้งานได้ปกติหรือไม่ โดยการนำอุปกรณ์ที่เราคาดการณ์ได้ว่าจะเสียหายมาเปลี่ยนแทนในแบบจำลอง หากเปลี่ยนแล้วระบบยังสามารถใช้งานได้ปกติ นั่นคืออุปกรณ์นั้นยังสามารถใช้งานได้ปกติ นั่นเอง

คำสำคัญ : X-Ray fluorescence , Electrolyte , Alloy

Cooperative Title : Coating Thickness X-Ray fluorescence Emulator Station

Student intern name : Mr. Thanawit Kachachaveevong

Faculty : Engineering

Department : Electrical Engineering

Advisor name : Dr. Sompob Polmai

Mentor name : Mr. Watchara Sungkapitak

Company : Helmut-Fischer (Thailand) Co.,LTD.

ABSTRACT

This complete cooperative education report presents the construction of the XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometry) machine model used for education and training on the principle of coating thickness measurement, composition element analysis and machine operation. The XRF machine model can be used for training the user for effective understanding of the machine and its working principle. In addition, the model can also be used to investigate the failure parts in the actual machine by substitute the suspected parts from the actual machine to the model machine for examining.

Keywords : XRF , Electrolyte , Alloy

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ดี เนื่องด้วยการสนับสนุนจากบริษัท เอลมูท ฟิสเซอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด ซึ่งได้ให้โอกาสแก่นักศึกษาสหกิจในการเข้าไปปฏิบัติงานในองค์กร รวมทั้งให้ความรู้และการดูแลที่อบอุ่นตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา จึงขอขอบพระคุณบริษัท เอลมูท ฟิสเซอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด และ คุณ วัชร สักขพิทักษ์ ผู้นิเทศงาน รวมถึงพนักงานทุกท่านที่ได้มอบประสบการณ์อันมีค่าในครั้งนี้

ทั้งนี้ ขอขอบพระคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ และ คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ในการปฏิบัติงานและการจัดทำรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้ด้วยดีเสมอมา

นาย ธนวิษณุ คชฉวีวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 วิธีดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีการทำงานของ X-Ray Fluorescence.....	4
2.2 รังสีเอ็กซ์.....	7
2.3 หลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆภายในเครื่อง.....	8
2.3.1 หลักการทำงานของแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์เรย์.....	8
2.3.2 หลักการทำงานของ Detector.....	10
2.3.2.1 Ionization chambers.....	11

2.3.2.2 Proportional counter.....	12
2.3.2.3 Geiger-Muller (GM) tubes.....	12
2.3.2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องวัดรังสี.....	13
2.4 ค่าความถูกต้องของการวัด.....	14
2.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของการวัด.....	14
2.6 การคำนวณ Coating Thickness.....	17
2.7 ตัวอย่างผลการวัดที่ได้.....	17
2.8 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
3.1 ศึกษาข้อมูลต่างๆจากคู่มือ.....	19
3.2 เขียนบล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อเพื่อความเข้าใจภาพรวมการทำงานของแต่ละส่วน.....	20
3.3 กำหนดจุดที่จะติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชิ้นลงบนบอร์ดเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมของแต่ละอุปกรณ์.....	20
3.4 ทำการแยกส่วนอุปกรณ์ภายในเครื่องโดยศึกษาจากคู่มือการถอดชิ้นส่วนแต่ละชิ้น และถามจากผู้รู้.....	20
3.5 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับเป็นบอร์ดนำเสนอ โดยนำไม้ที่จัดเตรียมไว้มาทำตามขั้นตอนดังนี้.....	21
3.6 ทำการยึดอุปกรณ์ลงบนบอร์ดที่จัดเตรียมไว้.....	22
3.7 การจัดเรียงสายไฟให้เป็นระเบียบพร้อมติดชื่ออุปกรณ์.....	23
3.8 ทำการทดสอบการใช้งาน.....	23

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	25
4.1 แบบจำลองเครื่อง X-Ray fluorescence.....	25
4.2 ใ้ความรู้ประกอบการบรรยาย.....	28
4.3 ผลตอบรับจากผู้ทดลองใช้.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	30
5.1 สรุปผล.....	30
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	30
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	30
เอกสารอ้างอิง.....	31
ประวัติผู้เขียน.....	32

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนดำเนินการ.....	3

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1.1 ที่มาของการวัดความหนาผิวดเคลือบ.....	4
2.1.2 ที่มาของสเปกตรัม.....	5
2.1.3 สเปกตรัมที่ปรากฏต่างกันในแต่ละธาตุ.....	5
2.1.4 ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้กระบวนการวัด.....	6
2.2.1 Wilhelm Conrad Röntgen.....	8
2.3.1.1 Stationary Anode.....	9
2.3.1.2 Rotating Anode.....	9
2.3.1.3 Housing.....	10
2.3.1.4 Stationary Anode.....	10
2.3.1.5 Rotating Anode.....	10
2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและย่านการใช้งาน.....	12
2.3.2.1 Ionization chambers.....	12
2.3.2.2 ย่านการใช้งาน Proportional counter.....	13
2.3.2.3 ภาพแสดงกลุ่มก้อน Avalanche.....	13
2.3.2.4 ขั้นตอนการทำงานของหัววัดรังสี.....	14
2.5.1 ผลกระทบจากระยะห่างในการวัด.....	15
2.5.2 ผลกระทบเมื่อขนาด Collimator ไม่เหมาะกับชิ้นงาน.....	16
2.5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนา และ Uncertainty.....	17
2.5.5 เปรียบเทียบก่อนและหลังทำการโฟกัส.....	17

ภาพที่	หน้า
2.5.6.1 ผลกระทบของตำแหน่งในการวัด.....	18
2.5.6.2 ผลกระทบของรูปแบบในการวางชิ้นงาน.....	18
2.5.6.3 ผลกระทบของผิวชิ้นงานต่างระดับ.....	19
2.6 สูตรการคำนวณความหนา.....	19
2.7 ภาพตัวอย่างผลการวัดความหนา.....	20
2.8 ตัวอย่างซอฟต์แวร์ WinFTM.....	21
3.1.1 ตัวอย่างคู่มือการใช้งาน.....	22
3.1.2 ตัวอย่างคู่มือซ่อมบำรุง.....	23
3.2 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในเครื่อง.....	23
3.4 คู่มือและขั้นตอนการแยกส่วน.....	24
3.5.1 ทำการขัดไม้เพื่อกำจัดเสี้ยน.....	24
3.5.2 ทำการพ่นสีและติดแผ่นพลาสติกเพื่อความสวยงาม.....	25
3.6 ทำการยัดอุปกรณ์ลงบนบอร์ดที่จัดเตรียมไว้.....	25
3.7 ทำการจัดเรียงสายไฟให้เป็นระเบียบพร้อมติดชื่ออุปกรณ์.....	26
3.8 ทำการทดสอบการใช้งาน.....	26
3.9 ประเมินผลจากผู้ทดสอบการใช้งาน.....	27
4.1.1 แบบจำลองส่วนจ่ายพลังงาน.....	28
4.1.2 แบบจำลองส่วนควบคุม.....	29
4.2 ตัวอย่างใบความรู้ประกอบการบรรยาย.....	31
4.3 ตัวอย่างใบประเมินผล.....	32

บทที่ 1

บทนำ

1.ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท เฮลมุท ฟิชเชอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับเครื่องมือการวัดความหนาผิวซุบ การทดสอบวัสดุ การตรวจสอบพื้นผิว โดยเป็นการตรวจสอบชิ้นงานว่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งจะสร้างความน่าเชื่อถือให้กับชิ้นงานเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในงานวัดสอบอ้างอิงจากมาตรฐานสากล แต่เนื่องจากปัจจุบันมีผู้ใช้งานจำนวนมากไม่เข้าใจถึงหลักการและการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF : X-Ray fluorescence) ซึ่งส่งผลให้ผลลัพธ์ในการวัดเกิดความผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนได้

ทั้งนี้บริษัท เฮลมุท ฟิชเชอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด ได้สังเกตเห็นถึงปัญหาดังกล่าวจึงจัดทำโครงการนี้ขึ้น เพื่อให้พนักงานหรือลูกค้าที่มีความสนใจมีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานและสิ่งที่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์มากขึ้น เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนแก่พนักงานเพื่อความเข้าใจในระบบการทำงานของแต่ละส่วนมากยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ที่คาดว่าจะเสียหายและเพื่อประหยัดเวลาในการปฏิบัติงานเนื่องจากสามารถหาสาเหตุของปัญหาได้ตรงจุดและแม่นยำ โดยทดสอบผ่านแบบจำลองได้นั่นเอง

โดยปกติการแก้ไขปัญหาการขัดข้องของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์เราสามารถป้องกันได้จากการซอฟต์แวร์บางส่วน ซึ่งทำให้สามารถสันนิษฐานอุปกรณ์ที่เสียหายภายในเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ได้บางส่วน จากนั้นจึงทำการทดสอบเปลี่ยนอุปกรณ์ที่คาดว่าจะชำรุด โดยในกระบวนการนี้จำเป็นต้องใช้เวลาและอาจเกิดความเสียหายที่ไม่ควรเกิดได้คือ การจะนำอุปกรณ์ไปทดสอบต้องใช้อุปกรณ์ใหม่ที่ต้องเบิกจากคลังสินค้าไปทดสอบซึ่งหากมีอุปกรณ์ตัวอื่นที่ชำรุดอยู่แล้วอาจส่งผลให้อุปกรณ์ใหม่นำไปทดสอบชำรุดตามไปด้วยได้และในบางกรณีอุปกรณ์บางชิ้นต้องใช้เวลาในการสั่งจากต่างประเทศทำให้เกิดผลเสียทั้งด้านเวลาและค่าใช้จ่าย ทางบริษัท เฮลมุท ฟิชเชอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด มีแนวคิดให้ทำแบบจำลองการวัดความหนาผิวซุบโดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ซึ่งสามารถประหยัดเวลาในการปฏิบัติงานและป้องกันความเสียหายที่ไม่ควรเกิด

โครงการนี้จึงได้ศึกษาและจัดทำแบบจำลองเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์เพื่อลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานและป้องกันความเสียหายที่ไม่ควรเกิดรวมไปถึงใช้เป็นสื่อการสอนหลักการและวิธีแก้ปัญหาแก่พนักงานรุ่นใหม่ในอนาคต ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานและความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อใช้เป็นโมเดลเรียนรู้และเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์
2. เพื่อสามารถตรวจวิเคราะห์อุปกรณ์ที่เสียหายและสามารถแก้ปัญหาได้ตรงจุด
3. เพื่อเป็นสถานที่ใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ที่เสี่ยงจะชำรุด
4. เพื่อประหยัดเวลาในการปฏิบัติงานและค่าใช้จ่ายที่ไม่ควรเสีย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาหลักทำงานและใช้อุปกรณ์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์รุ่น XDLM-C4 ยี่ห้อ Fischer ในการจัดทำแบบจำลอง
2. สามารถใช้ในการทดสอบเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ยี่ห้อ Fischer ผ่านซอฟต์แวร์ **WinFTM®**

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีการทำงานของเครื่อง X-Ray fluorescence และ ข้อมูลฮาร์ดแวร์
2. เขียนบล็อกไดอะแกรมการทำงานภายในตัวเครื่อง
3. ร่างโครงสร้างการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆและการ
4. ทำการแยกส่วนประกอบภายในเครื่อง X-Ray fluorescence
5. จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับเป็นบอร์ดนำเสนอ
6. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆบนบอร์ดตามที่ร่างไว้
7. ทดสอบการใช้งาน

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินงาน

หัวข้องาน	เดือนที่ 1				เดือนที่ 2				เดือนที่ 3				เดือนที่ 4			
ศึกษาทฤษฎีการทำงานของเครื่อง X-Ray fluorescence และ ข้อมูลฮาร์ดแวร์																
เขียนบล็อกไดอะแกรมการทำงานภายในตัวเครื่อง																
ร่างโครงสร้างการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆและการ																
ทำการแยกส่วนประกอบภายในเครื่อง X-Ray fluorescence																
จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับเป็นบอร์ดนำเสนอ																
ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆบนบอร์ดตามที่ร่างไว้																
ทดสอบการใช้งาน																
ทำรูปเล่มรายงาน																

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไปใช้ในการสอนหลักการการทำงานของเครื่อง X-Ray fluorescence เพื่อให้เห็นภาพรวมและหลักการทำงานของแต่ละอุปกรณ์
2. สามารถใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ว่ามีการชำรุดหรือไม่
3. ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน

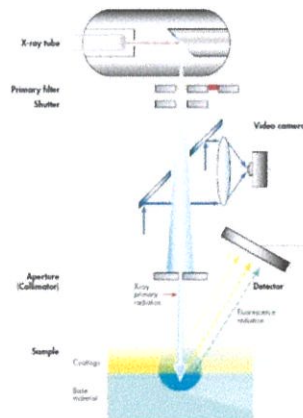
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการทำงานของ X-Ray Fluorescence

X-Ray Fluorescence อาศัยหลักการการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในรูปแบบของลำแสงในย่านรังสีเอ็กซ์ที่กำเนิดจาก X-Ray Tube ในย่านรังสีเอ็กซ์เรย์โดยผ่านอุปกรณ์ก่อนตกกระทบที่ชิ้นงาน 4 ชิ้น ดังนี้

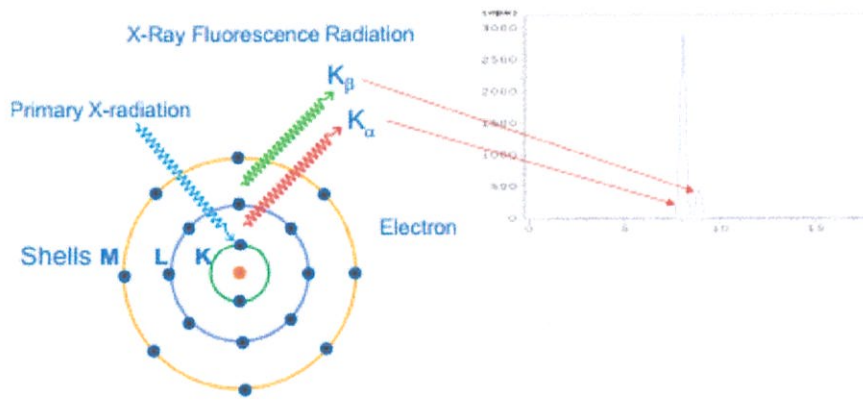
1. Shutter ทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้รังสีรั่วไหลขณะที่ไม่ใช้งาน โดยจะยอมให้รังสีผ่านออกมาได้เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม Start และ Sensor ทุกตัวตรวจพบว่าฝาครอบได้ปิดสนิทแล้ว
2. Mirror ทำหน้าที่ในการสะท้อนภาพจากชิ้นงานเข้าสู่กล้องวิดีโอ
3. Collimator ทำหน้าที่ในการบีบลำแสงของรังสีเอ็กซ์เรย์ให้มีความเข้มและขอบเขตที่เหมาะสม
4. Primary filter ทำหน้าที่ในการกรองรังสีเอ็กซ์เพื่อให้ได้ ค่ารังสีที่เหมาะสมกับชิ้นงาน



ภาพที่ 2.1.1 ที่มาของการวัดความหนาผิวดเคลือบ

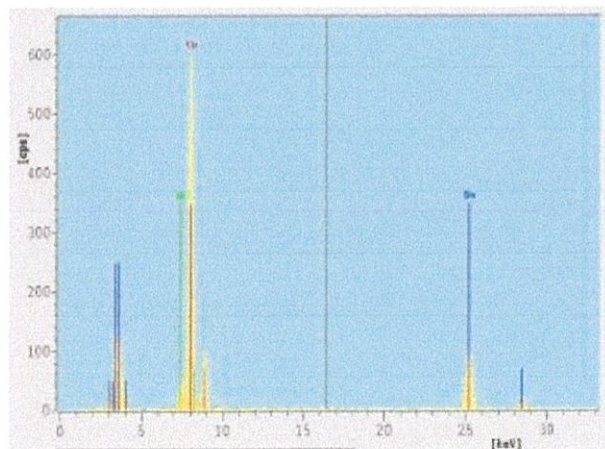
เมื่อผ่านอุปกรณ์ทั้ง 4 ชิ้นแล้วรังสีตกกระทบกับชิ้นงานทำให้อิเล็กตรอนในธาตุต่างๆ ถูกพลังงานจากรังสีเอ็กซ์เรย์กระแทกจนหลุดออกจากระดับชั้นพลังงาน เกิดเป็นอิเล็กตรอนอิสระเรียกกระบวนการนี้ว่าเกิดการ Ionization หลังจากอิเล็กตรอน (K-Shell) ได้หลุดออกไปจากธาตุนั้นๆแล้ว โดยธรรมชาติของอะตอมจะต้องมีการรักษาสมดุลภายในอะตอมเอง โดยอิเล็กตรอนที่ระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่าจะ

เคลื่อนที่มาแทนที่อิเล็กตรอนในชั้น (Shell) ที่หลุดไปเพื่อรักษาความเสถียรจำนวนเท่ากับปริมาณของอิเล็กตรอนที่ได้สูญเสียไป จากพฤติกรรมดังกล่าวทำให้เกิดการเปล่งรังสี (Emission) ในระหว่างการเคลื่อนที่ข้ามชั้นทำให้เกิดการเปล่งพลังงานในรูปโฟตอนหรือสนามแม่เหล็กย่านรังสีเอ็กซ์ที่มีลักษณะเฉพาะตัว ดังภาพที่ 2.1



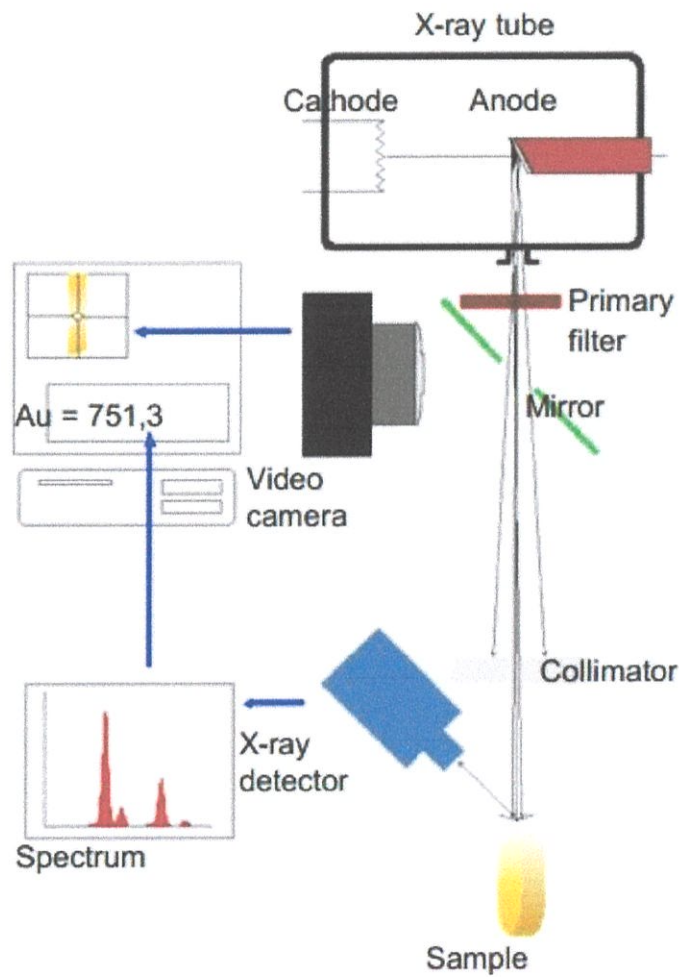
ภาพที่ 2.1.2 ที่มาของสเปกตรัม

โดยหน่วยของพลังงานเรียกว่าอิเล็กตรอนโวลต์(eV) สัมพันธ์กับพลังงานในแต่ละธาตุซึ่งธาตุแต่ละตัวมีพลังงานเกิดขึ้นไม่เท่ากันเช่น Au มีพลังงาน K alpha 68.79, K beta 77.97, M alpha 2.12 ซึ่งในแต่ละระดับพลังงานใกล้เคียงกันแต่จะไม่ทับซ้อนกันของแต่ละธาตุออกมา โดยเรียกการแผ่พลังงานดังกล่าวว่า X-Ray Fluorescence



ภาพที่ 2.1.3 สเปกตรัมที่ปรากฏต่างกันในแต่ละธาตุ

โดยรังสีที่แพร่ออกมานั้นจะแสดงคุณสมบัติของธาตุนั้นๆ ออกมารวมถึงปริมาณของโลหะที่อ้างอิง จากความเข้มของรังสี ซึ่งสามารถตรวจจับได้ด้วยตัวตรวจจับพลังงาน(Detector)แล้วจะแสดงออกมาใน รูปกราฟพลังงานหรือเรียกว่า Spectrum และความละเอียดของ Spectrum นี้จะขึ้นอยู่กับตัว Detector หลังจากนั้น Software จะประมวลผล Spectrum ด้วย Program เมื่อเปรียบเทียบ Spectrum โดยสามารถดูภาพรวมได้จากภาพที่ 2.1.4



ภาพที่ 2.1.4 ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้กระบวนการวัด

ส่วนประกอบสำคัญภายในเครื่อง

1. Chamber เครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์เรย์
2. Primary filter ตัวปรับแต่งรังสีให้ได้ค่าที่เหมาะสมตามต้องการ
3. Shutter ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีจาก Chamber เมื่อไม่ได้ทำการวัด
4. Mirror ทำหน้าที่สะท้อนภาพวัตถุไปหากล้องวิดีโอโดยผ่านเลนส์
5. Lens ทำหน้าที่ขยายภาพให้สามารถเห็นได้ชัดเจน
6. Video camera ทำหน้าที่ส่งภาพไปยังจอแสดงผล
7. Aperture (Collimator) ทำหน้าที่บีบลำแสงเอ็กซ์เรย์ให้ตกในพื้นที่ๆกำหนด
8. Absorber ทำหน้าที่กรองส่วนประกอบสเปกตรัมที่ไม่ต้องการออกก่อนเข้าสู่ Detector
9. Detector ทำหน้าที่ในการตรวจจับพลังงานฟลูออเรสเซนซ์ที่ถูกปลดปล่อยจากธาตุทดลอง

2.2 รังสีเอ็กซ์

รังสีเอกซ์ (X-Ray) ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1895 โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ วิลเฮล์ม คอนราท เรินต์เกน ได้พบรังสีนี้โดยบังเอิญ ในขณะที่เขาทำการทดลองเกี่ยวกับรังสีแคโทดในห้องมืดสนิท เขาสังเกตว่า แร่แบเรียมแพลทินอไซยาไนด์เกิดเรืองแสงขึ้น ทำให้คิดว่าจะต้องมีรังสีบางอย่างเกิดขึ้นจากหลอดรังสีแคโทดและมีอำนาจทะลุผ่านสูงจนสามารถผ่านผนังหลอดแคโทดไปยังก้อนแร่ได้ เขาเรียกรังสีนี้ว่า รังสีเอ็กซ์ ซึ่งภายหลังกวีวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับรังสีชนิดนี้มากขึ้นและสรุปคุณสมบัติของรังสีเอ็กซ์ได้ดังนี้

1. รังสีเอ็กซ์เป็นทั้งคลื่นและอนุภาค การที่มีสมบัติเป็นคลื่นเพราะมีการสะท้อน การหักเห การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน และเป็นอนุภาคเพราะมีโมเมนตัมเหมือนอนุภาคทั่วไป
2. รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่สามารถที่จะถูกเบี่ยงเบนโดยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 1.3×10^{-11} ถึง 4.8×10^{-11} เมตร จึงไม่สามารถมองเห็นได้
3. รังสีเอ็กซ์ประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันมาก เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสงคือมีค่า 3×10^8 m/s ในสุญญากาศ
4. รังสีเอ็กซ์สามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่หนาจนเกินไปและมีความหนาแน่นน้อยๆได้ เช่น กระดาษ ไม้ เนื้อเยื่อของคนและสัตว์ แต่ถ้าผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นมาก ๆ เช่น แพลตตินัม ตะกั่ว กระจุก อังนาจทะลุผ่านก็จะลดลง

5. รังสีเอ็กซ์สามารถทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้
6. รังสีเอ็กซ์สามารถทำให้ผลึกบางชนิดเรืองแสงและแสงที่เรืองออกมาสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้
7. รังสีเอ็กซ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ เช่นเมื่อรังสีเอ็กซ์ไปถูกฟิล์มถ่ายรูปจะทำให้ฟิล์มดำ จึงนำผลอันนี้มาใช้ในการถ่ายภาพบนฟิล์มเอ็กซ์เรย์



ภาพที่ 2.2.1 *Wilhelm Conrad Röntgen*

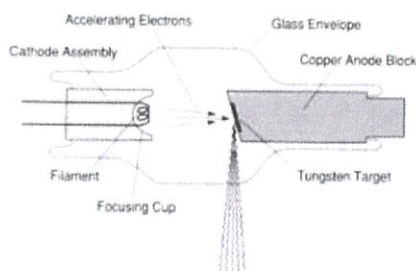
2.3 หลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆภายในเครื่อง

2.3.1 หลักการทำงานของแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์เรย์

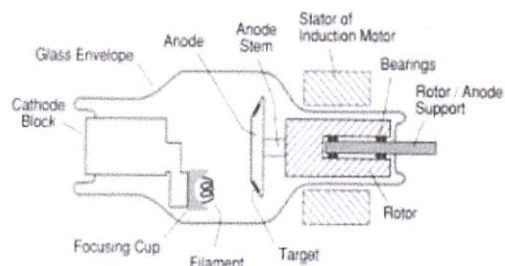
รังสีเอ็กซ์กำเนิดจาก X-Ray Tube ซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิดตามลักษณะของจาน Anode คือ

1. Stationary Anode เป็นหลอดเอกซเรย์ชนิดขั้ว Anode อยู่กับที่ ใช้กับเครื่องที่มีกำลังไม่สูงมากนัก เช่น เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ (Mobile หรือ Portable unit) ที่มีขนาดประมาณ 50 mA หรือหลอดเอกซเรย์ที่ใช้กับเครื่องเอกซเรย์ฟัน ซึ่งมีกำลังเครื่องไม่มากนัก (15-30 mA)
2. Rotating Anode เป็นหลอดเอกซเรย์ชนิดขั้ว Anode เป็นจานหมุน เพื่อช่วยในการระบายความร้อนทำให้สามารถทนกระแส (mA.) ที่ใช้ผ่านหลอดเอกซเรย์ได้สูงกว่าแบบ Stationary anodeเหมาะสำหรับใช้กับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป (General purpose x-ray machine) รวมทั้งเครื่องเอกซเรย์ชนิดพิเศษแบบต่างๆ

ภายในจะประกอบด้วยไส้หลอดที่เป็นโลหะที่มีเลขอะตอมสูงและทนความร้อนได้ดี เช่น W , Mo หรือ Rh แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แคโทด(Cathode)ซึ่งเป็นขั้วลบในที่นี้มีลักษณะเป็นขดลวด และแอโนด(Anode)ซึ่งเป็นขั้วบวก ซึ่งปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์เรย์โดยอาศัยความต่างศักย์ของแรงดันไฟฟ้าสูงและต่ำ ดังภาพที่ 2.3.1 และ 2.3.2



ภาพที่ 2.3.1.1 Stationary Anode



ภาพที่ 2.3.1.2 Rotating Anode

โดยจ่ายกระแสไฟในหน่วยไมโครแอมป์เข้าที่ขั้วแคโทดทำให้ขดลวดร้อนจนมีอิเล็กตรอนหลุดออกมา ด้วยอำนาจของความต่างศักย์ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแรงดันต่ำไปหาแรงดันไฟสูง หากอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าชนอะตอมของขั้วแอโนดมีพลังงานมากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนในระดับพลังงานของอะตอมโลหะขั้วแอโนดหลุดออก เมื่อมีหลุดออกส่งผลให้อะตอมไม่เสถียรอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่าจะลงมาแทนที่อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปเพื่อรักษาความเสถียรไว้พร้อมกับปลดปล่อยพลังงานในรูปโฟตอนหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านรังสีเอ็กซ์เรย์ออกมา โดยส่วนประกอบในหลอดเอ็กซ์เรย์

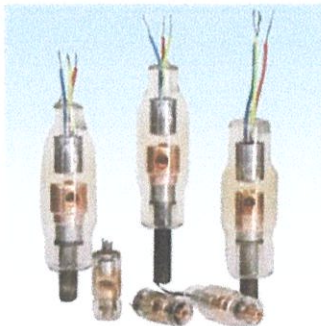
Housing (Case) เป็นตัวถังสำหรับบรรจุหลอดเอกซเรย์และส่วนประกอบอื่นๆ ลักษณะของ Tube housing ทำด้วยอลูมิเนียมทรงกระบอก ภายในบุด้วยแผ่นตะกั่ว มีช่องเปิดเพื่อให้เป็นที่ให้รังสีเอกซ์ออกมาจากหลอดเรียกว่า Tube port ช่อง Tube port จะมีแผ่นพลาสติกทนที่ความร้อนได้ดี ปิดช่องนี้ไว้เพื่อไม่ให้น้ำมันที่อยู่ภายในหลอดเอกซเรย์ไหลออก



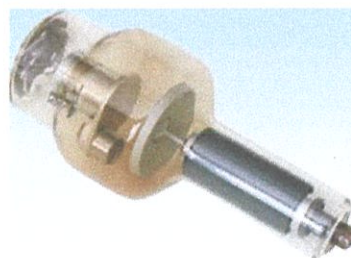
ภาพที่ 2.3.1.3 Housing

น้ำมัน (Oil) ที่หล่อเลี้ยงภายใน Tube Housing ของหลอดเอกซเรย์ ทำหน้าที่ ช่วยระบายความร้อนโดยการพาความร้อนจากหลอดเอกซเรย์มายังบริเวณที่เป็น Tube housing และยังช่วยป้องกันมิให้ระหว่างขั้ว High voltage เกิด Ionization (ถ้าหากไม่มีน้ำมันบรรจุอยู่เต็มแล้วจะมีอากาศระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะทำให้อากาศเกิดการแตกตัว) ก่อให้เกิดความเสียหายแก่หลอดเอกซเรย์ได้ น้ำมันที่ใช้ต้องเป็นน้ำมันที่มีความบริสุทธิ์สูง ไม่ระเหยหรือเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิสูง และเป็นฉนวนที่ดี

Anode ทำหน้าที่เป็นขั้วบวกของหลอดเอกซเรย์และบริเวณปลายขั้วยังออกแบบให้เป็นบริเวณที่เป็นเป้าสำหรับให้อิเล็กตรอนวิ่งชนเพื่อทำให้เกิดรังสีเอกซ์ บริเวณที่เป็นเป้าจะทำด้วยโลหะทังสเตน



ภาพที่ 2.3.1.4 Stationary Anode



ภาพที่ 2.3.1.5 Rotating Anode

Cathode & Filament Cathode ทำหน้าที่เป็นขั้วลบของหลอดเอกซเรย์ บริเวณปลายขั้ว Cathode จะมี Focusing cup (ทำหน้าที่ให้รวบรวมให้อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเป็นลำอิเล็กตรอนที่มีทิศทางตรงกับเป้า Anode) ซึ่งภายในจะมีไส้หลอดเอกซเรย์ (Filament) ไส้หลอดจะได้รับกระแสไฟฟ้า ทำให้ไส้หลอดเอกซเรย์ร้อนและมีอิเล็กตรอนมาออรอบๆ ไส้หลอด เรียกว่า Electron cloud

และเมื่อทำให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วหลอดเอ็กซ์เรย์ Anode กับ Cathode สูงมากเพียงพอ กลุ่มอิเล็กตรอนจะถูกเร่งจากขั้ว Cathode วิ่งไปชนเป้า (Target) ซึ่งอยู่ที่บริเวณ Anode ก่อให้เกิดรังสีเอ็กซ์ออกมา

Glass envelope (Vacuum tube) เป็นหลอดสุญญากาศที่ทำหน้าที่ห่อหุ้ม Anode ,Cathode และ Filament ทั้งนี้เพื่อให้อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นที่ขั้วหลอดด้าน Cathode วิ่งไปยัง Anode ได้ง่าย หากมี อากาศภายในหลอดเอกซเรย์ (อาจเกิดจากการรั่วของหลอดแก้วที่ใช้ทำหลอดเอกซเรย์ ทำให้อากาศรั่ว เข้าไปข้างในได้ เรียกว่า Gassy tube) แล้วจะทำให้อิเล็กตรอนที่สร้างขึ้นวิ่งชนไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของอากาศภายในหลอดเอ็กซ์เรย์ (Ionization) ส่งผลให้ความเร็วของอิเล็กตรอนช้าลงและปริมาณอิเล็กตรอนที่ไปยัง Anode ลดลงด้วยส่งผลให้ปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นมีน้อยลงด้วยและมีพลังงานต่ำ

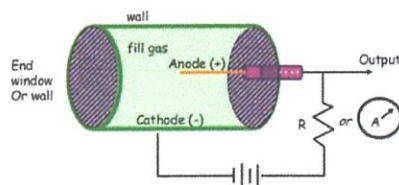
Filament เป็นส่วนที่มีหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอน จะอยู่บริเวณด้าน Cathode มีลักษณะเป็นขดลวดสปริงทำด้วยโลหะทั้งสแตน โดยทั่วไปแล้วจะมี 2 ขนาดคือ Large filament ใช้สำหรับการตั้งค่ากระแสผ่านหลอดเอกซเรย์(mA) ประมาณ 200-500 mA.และจะให้Focal spot size ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนไส้หลอดอีกอัน คือ Small filament จะทำให้เกิดขนาดของ Focal spot size ที่เล็กกว่า ใช้สำหรับการตั้งค่ากระแสผ่านหลอดเอกซเรย์ประมาณ 50-150 mA.

***** การระบายความร้อนในหลอดเอกซเรย์ ***** หลอดเอกซเรย์ขณะทำงานจะให้ความร้อนออกมามากถึง 99 %ของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดเอ็กซ์เรย์ มีเพียง 1 % หรือน้อยกว่าที่เปลี่ยนเป็นพลังงานรังสี โดยทั่วไปแล้วหลอดเอกซเรย์จะมีน้ำมันภายในหลอดเป็นตัวระบายความร้อนเพื่อมิให้หลอดเอ็กซ์เรย์เสียหาย

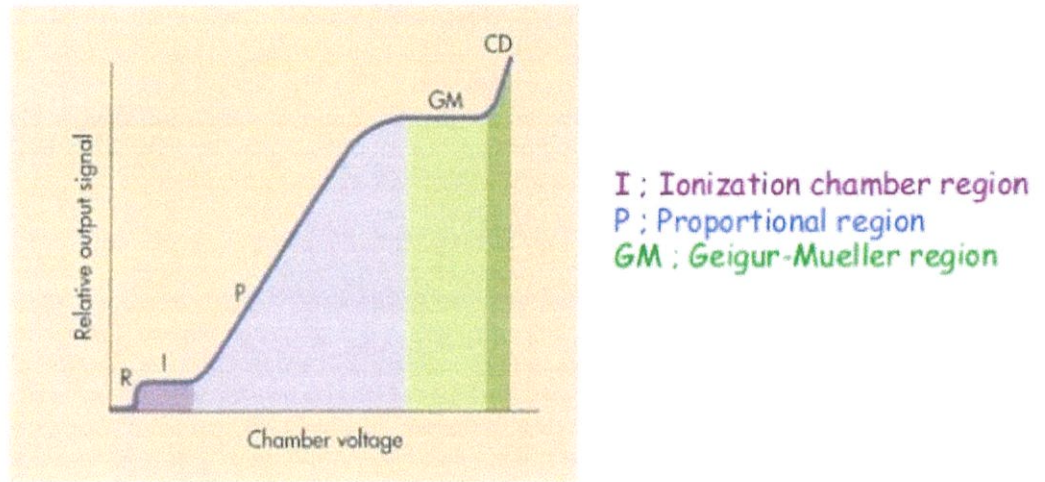
2.3.2 หลักการทำงานของ Detector

Detector ในที่นี้เราใช้เป็นหัววัดรังสีประเภทบรรจุก๊าซโดยใช้หลักการที่ว่า เมื่อก๊าซที่บรรจุในภายในหัววัดทำอันตรกิริยากับรังสี จะทำให้เกิดการตัวออกเป็นคู่อิออน (hole และ electron)โดยคู่อิออนจะเคลื่อนที่ไปที่ขั้วแอโนดและแคโทดเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าหรือสัญญาณพัลส์ (Pulse)ของซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

- Ionization chambers
- Proportional counter
- Geiger-Muller (GM) tubes



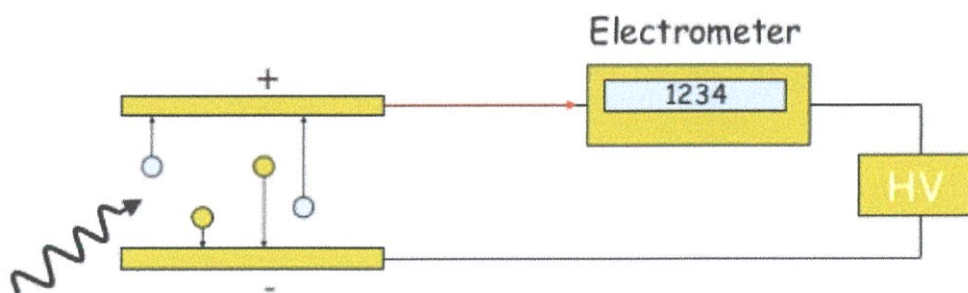
โดยทั้ง 3 ประเภทใช้หลักการที่คล้ายกันเพียงแต่ใช้ระดับความต่างศักย์ที่ต่างกันส่งผลให้ได้คุณสมบัติที่ต่างกันดังภาพที่ 2.3.2



ภาพที่ 2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและย่านการใช้งาน

2.3.2.1 Ionization chambers

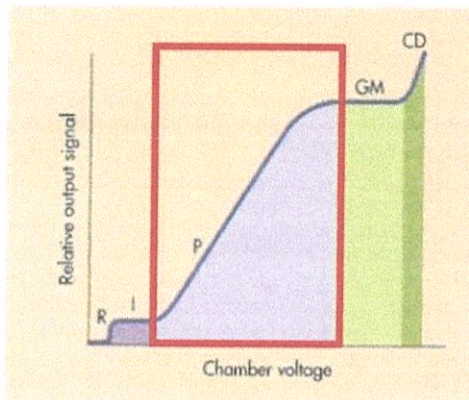
เป็นหัววัดรังสีที่อยู่ในบรรยากาศไว้โดยเมื่ออากาศอันตรกิริยาจะเกิดเป็นคู่อิออน (Hole และ Electron) ขึ้นหากสนามไฟฟ้าไม่เข้มพอ คู่อิออนจะกลับไปรวมตัวเหมือนเดิม แต่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ให้มากขึ้นจะส่งผลให้คู่อิออนวิ่งแยกออกไปหาขั้วแอโนดและแคโทดพฤติกรรมนี้เรียกว่าเกิด Ion Saturation ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าหรือสัญญาณพัลส์ขึ้นโดยกระแสที่วัดได้จะมีค่าสูงที่สุดไม่ว่าความต่างศักย์จะมากขึ้นก็ตาม โดยหัววัดชนิดนี้ถูกออกแบบมาเพื่อ Exposure rate หรือ ความแรงของสนามรังสี ในหน่วย เรินต์เกิน (roentgen : R) โดยหัววัดชนิดนี้มีค่าความต่างศักย์ที่จ่ายแก่หัววัดรังสีต่ำเพียงพอที่จะทำให้ตรวจจับหรือวัดจำนวนคู่อิออนโดยไม่มีการคูณขยาย ทำให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าเรินต์เกินโดยตรง ดังแสดงในภาพที่ 2.3.2.1



ภาพที่ 2.3.2.1 Ionization chambers

2.3.2.2 Proportional counter

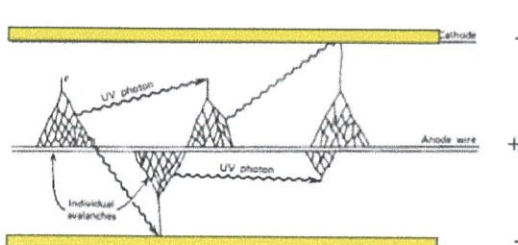
หัววัดชนิดนี้ใช้หลักการการแตกตัวเป็นคู่อิออนเหมือนกับชนิด Ionization chambers เพียงแต่มีการจ่ายค่าความต่างศักย์ที่สูงกว่า ทำให้ไอออนภายในหัววัดถูกเร่งให้เร็วขึ้น จากการถูกเพิ่มความเร็วนี้ ทำให้ไอออนที่กำลังเคลื่อนที่มีโอกาสในการชนอะตอมมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการแตกตัวอีกครั้งเป็น secondary ionization เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า gas multiplication ซึ่งทำให้ได้กระแสหรือสัญญาณที่มากขึ้น โดยหัววัดชนิดนี้นิยมใช้วัดนิวตรอนในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูเนื่องจาก proportional chambers ให้สัญญาณ Output ที่มีขนาดใหญ่ทำให้มีประสิทธิภาพในการวัดสูง ส่งผลให้สามารถแยกชนิดของรังสีหรืออนุภาคได้ โดยจำนวนคู่อิออนที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับค่าความต่างศักย์ภาพที่ 2.3.2.2 โดยภายในบรรจุก๊าซ Argon 90% methane 10%



ภาพที่ 2.3.2.2 ย่านการใช้งาน Proportional counter

2.3.2.3 Geiger-Muller (GM) tubes

หัววัดชนิดนี้เป็นหัววัดรังสีแบบเคลื่อนที่นิยมใช้กันมาก ซึ่งภายในประกอบด้วย Helium 98% และ Butane 1.3 % โดยใช้หลักการวัดรังสีคล้ายกับ Ionization chambers เพียงแต่ความต่างศักย์ที่จ่ายเข้าหัววัดมีค่าสูงกว่ามาก ทำให้ไอออนในหัววัดเคลื่อนที่เร็วมาก เกิดการชนอย่างต่อเนื่อง จนเกิดเป็นกลุ่มก้อนเรียกว่า Avalanche ส่งผลให้กระแส หรือ พัลส์ที่วัดได้มีค่าเกือบเท่ากันหมด จนไม่สามารถแยกชนิดของอนุภาคหรืออนุภาคได้ เพียงแค่สามารถตรวจวัดได้ว่ามีรังสีอยู่เท่านั้น



ภาพที่ 2.3.2.3 ภาพแสดงกลุ่มก้อน Avalanche

2.3.2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องวัดรังสี

เครื่องวัดรังสีประกอบด้วยส่วนที่เป็นหัววัด และส่วนที่เป็นชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ทำหน้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้า รับสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัด ตกแต่งและขยายสัญญาณ แสดงผลการวัด



ภาพที่ 2.3.2.4 ขั้นตอนการทำงานของหัววัดรังสี

แหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

แหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (high voltage supply, HV) ทำหน้าที่ ให้ศักย์ไฟฟ้าแก่

หัววัดรังสี สามารถปรับค่าให้เหมาะสมสำหรับหัววัดแต่ละหัววัด สำหรับหัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊สและหัววัดรังสีชนิดแสงวับ แหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าควรปรับค่าระหว่าง 0 – 3,000 โวลต์ และให้กระแสได้อยู่ในช่วง 0.10 มิลลิแอมแปร์

Data Transformation Section

ทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ วงจรขยายส่วนหน้า และ วงจรขยาย ดังนี้

- วงจรขยายส่วนหน้า (preamplifier) เป็นอุปกรณ์ที่ต่อกับหัววัด ประจุไฟฟ้าของคู่อิออนที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีกระทบหัววัดจะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ (pulse) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงขนาดของปริมาณอย่างใดอย่างหนึ่งในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งโดยทั่วไปสัญญาณพัลส์จากหัววัด มักจะอยู่ในรูปของความต่างศักย์ (voltage) ที่มีขนาดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จากนั้นส่งต่อไปยังวงจรขยายส่วนหน้า ที่ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณพัลส์ให้เคลื่อนที่ต่อไปได้ สะดวกโดยไม่เกิดการเพี้ยนหรือสูญหาย วงจรขยายส่วนหน้ามักถูกติดตั้งไว้ใกล้หัววัดมากที่สุด
- วงจรขยาย (amplifier) เป็นส่วนที่รองรับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายส่วนหน้าแล้วนำมาปรับแต่งรูปสัญญาณ เพื่อป้องกันการทับซ้อนกันของสัญญาณ พร้อมทั้งขยายขนาดของสัญญาณพัลส์ให้ใหญ่ขึ้น ให้เหมาะสำหรับการคัดเลือกและการวิเคราะห์ ความสูงของสัญญาณต่อไปวงจรขยายจะมีกำลังขยายค่อนข้างสูง แตกต่างกันในแต่ละเครื่องและสามารถปรับค่าได้

2.4 ค่าความถูกต้องของการวัด

ความถูกต้อง (Accuracy) ของการวัดหาได้จาก 2 ส่วน คือ

1. Accuracy systematic หาได้จากค่าของใบ Certificate จาก Standard ที่อ้างอิงจากผู้ผลิตที่ได้มาตรฐานเช่น ISO 17025 ซึ่งจะระบุค่า Uncertainty ที่ Factor k 1 เท่ากับ 68%, Factor k 2 เท่ากับ 95%, Factor k 3 เท่ากับ 99.7%

2. Precision Accidental หาได้จาก 2 ส่วนคือ

2.1 Repeatability เกิดจากตัวเครื่อง คือการวัดซ้ำหลายๆ ครั้งโดยประมาณ 10 ครั้งขึ้นไป

เพื่อหา accuracy ที่ดีที่สุด

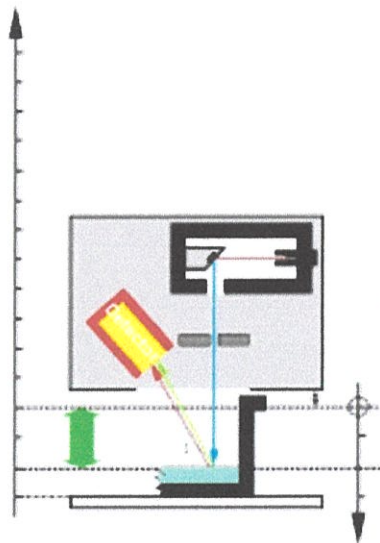
2.2 Reproducibility เกิดจากตัวผู้ใช้งานเอง

2.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของการวัด

2.5.1 ระยะทางของการวัด

เนื่องจาก

$$\text{Repeatability precision} \propto \frac{1}{\sqrt{(\text{Measuring distant})^2}}$$



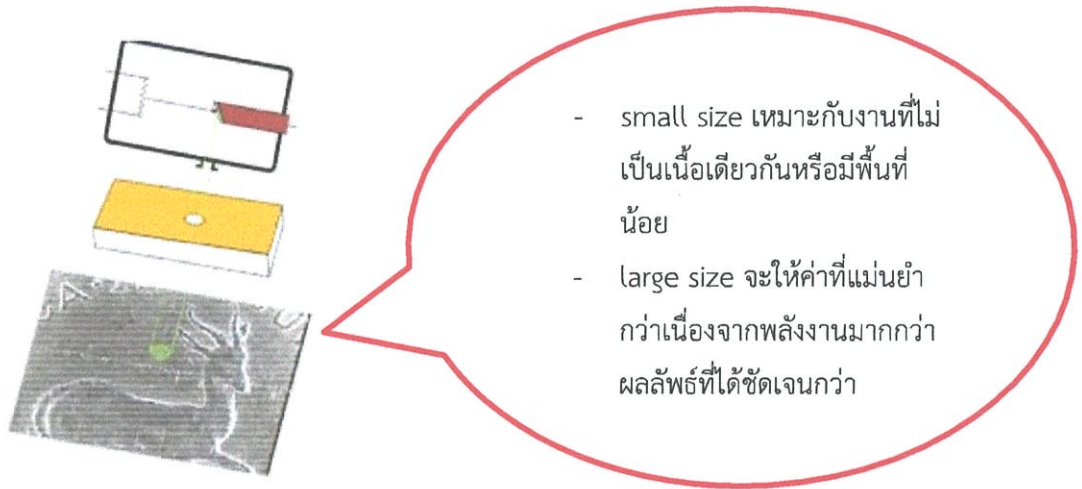
ดังนั้นเราจึงควรปรับ
Measuring distant ให้
น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ภาพที่ 2.5.1 ผลกระทบจากระยะห่างในการวัด

2.5.2 Collimator size

เนื่องจาก

$$\text{Repeatability precision} \propto (\text{Diameter measuring spot})^2$$



ภาพที่ 2.5.2 ผลกระทบเมื่อขนาด Collimator ไม่เหมาะกับชิ้นงาน

2.5.3 เวลาที่ใช้ในการวัด

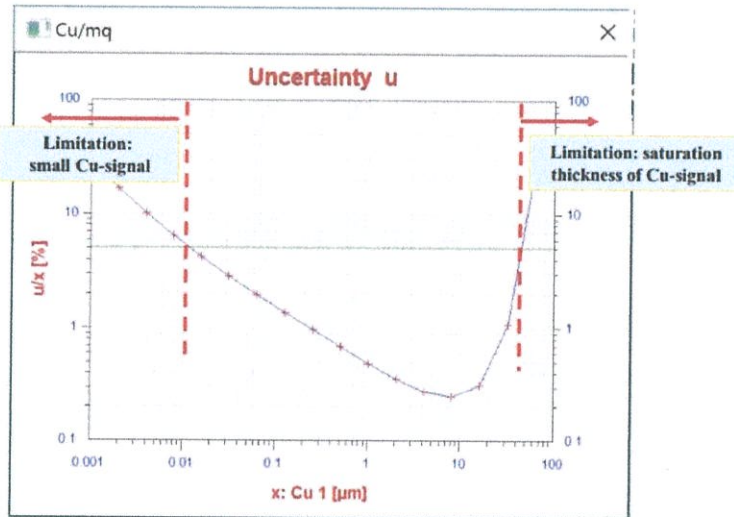
บ่อยครั้งการใช้เวลาในการวัดนานเกินไปไม่ได้ช่วยให้ผลลัพธ์แม่นยำขึ้น แต่ในทางกลับกันหากใช้เวลาน้อยไป ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นควรใช้เวลาในการวัดที่พอเหมาะและเพิ่มจำนวนครั้งในการวัดเพื่อหาค่าเฉลี่ยจะมีประสิทธิภาพมากกว่า

เนื่องจาก

$$\text{Repeatability precision} \propto \sqrt{\text{Measuring time}}$$

2.5.4 ความหนาของผิวเคลือบ

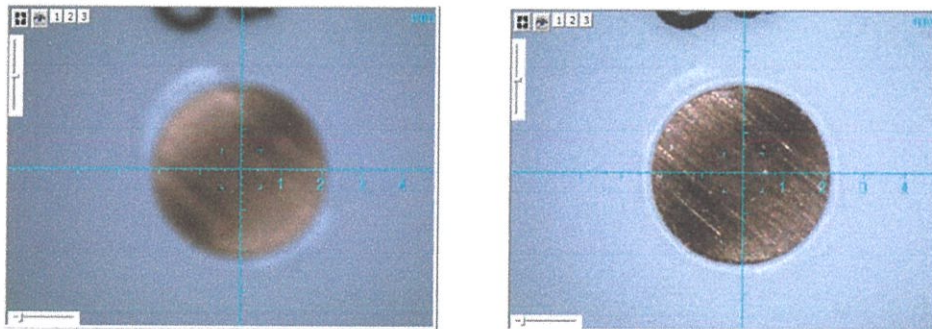
จากกราฟความสัมพันธ์ด้านล่างจะเห็นว่าจากการวัด Cu ที่ความหนา 0.01 - 40 μm ค่า Uncertainty มีค่าน้อยกว่า 5 % ซึ่งสามารถยอมรับได้ตามมาตรฐาน IEC 17025



ภาพที่ 2.5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนา และ Uncertainty

2.5.5 Focusing

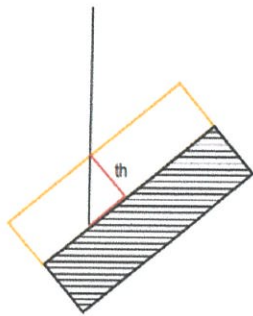
การโฟกัสที่ดีจะทำให้ซอฟต์แวร์สามารถประมวลผลได้ค่าที่ถูกต้อง เนื่องจากซอฟต์แวร์จะทำการประมวลผลจากข้อมูล Spectrum อ้างอิงที่ได้จากการ Calibration และ Initial ดังนั้นหากจุดโฟกัสที่ทำการวัดไม่ตรงกับที่ได้ Calibration ไว้จะทำให้ซอฟต์แวร์ประมวลผลคลาดเคลื่อนนั่นเอง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งการปรับแบบ Manually หรือ Auto-focus ก็ได้



ภาพที่ 2.5.5 เปรียบเทียบก่อนและหลังทำการโฟกัส

2.5.6. ตำแหน่งของชิ้นงาน

2.5.6.1 ผิวชิ้นงานไม่อยู่ในแนวระนาบ

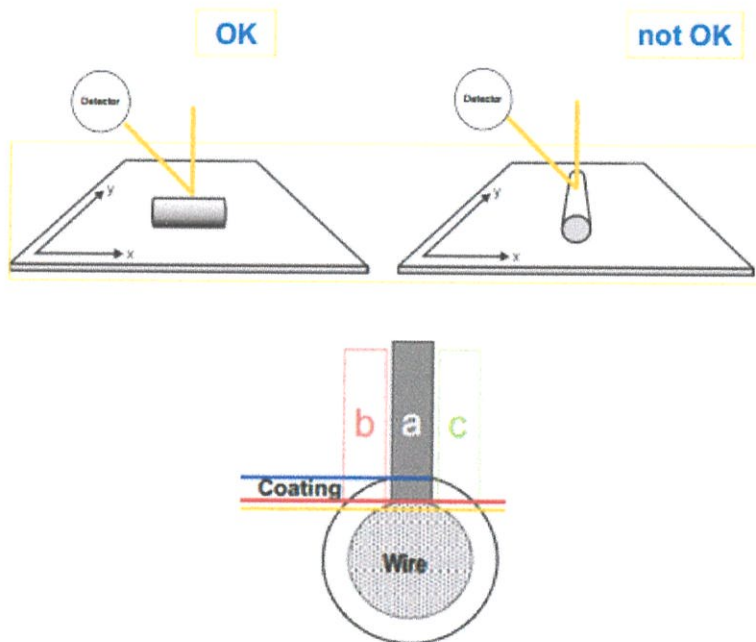


จากรูปจะเห็นได้ว่าความ
หนาที่วัดได้มีค่ามากกว่า
ความหนาจริง

ภาพที่ 2.5.6.1 ผลกระทบของตำแหน่งในการวัด

2.5.6.2 หากชิ้นงานมีลักษณะเป็นทรงกระบอก

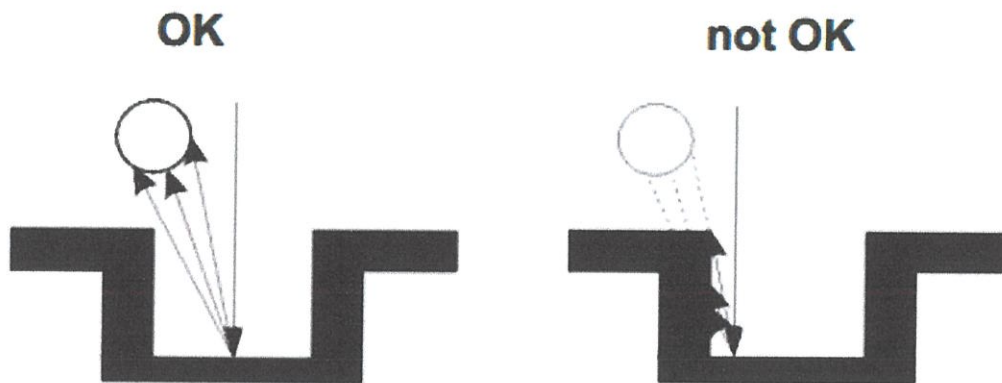
ควรวางในแนวระนาบเดียวกับ Detector เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนในการวัดเนื่องจาก
ชิ้นงานไม่อยู่ในแนวระนาบ



ภาพที่ 2.5.6.2 ผลกระทบของรูปแบบในการวางชิ้นงาน

2.5.6.3 ควรระวังชิ้นงานที่มีร่องลึก

เนื่องจากบางส่วนของชิ้นงานจะดูดซับรังสีทำให้ Detector ไม่สามารถตรวจจับได้ ดังนั้นควรจัดชิ้นงานตามรูปแบบดังนี้



ภาพที่ 2.5.6.3 ผลกระทบของผิวชิ้นงานต่างระดับ

2.6 การคำนวณ Coating Thickness

มีสูตรการคำนวณดังนี้ Mass per unit area / density, 10 เป็น Factor ที่ใช้ในการปรับหน่วย

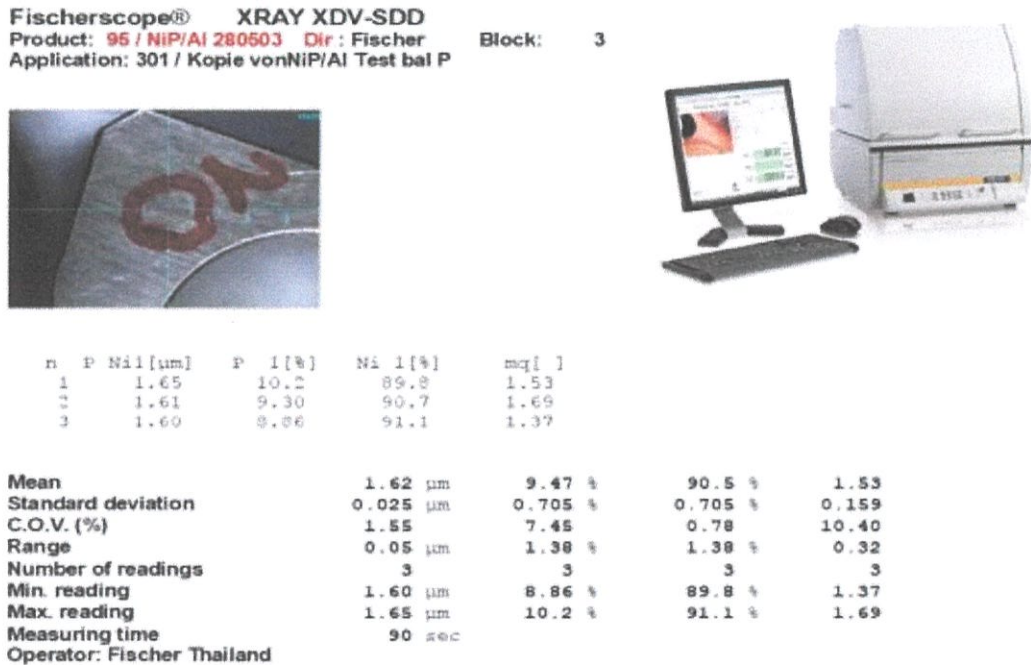
$$\text{Thickness (um)} = \frac{10 \times \text{mass per unit area (mg/cm}^2\text{)}}{\text{Density (g/cm}^3\text{)}}$$

ภาพที่ 2.6 สูตรการคำนวณความหนา

ซึ่งค่าความหนาแน่นขององค์ประกอบบริสุทธิ์จะถูกเก็บไว้ในซอฟต์แวร์ ซึ่งจะถูกนำมาประมวลผลทันทีเมื่อซอฟต์แวร์ถูกใช้งาน

2.7 ตัวอย่างผลการวัดที่ได้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถบอกค่าที่วัดได้รวมไปถึงค่าอื่นๆที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการวัดด้วย



ภาพที่ 2.7 ภาพตัวอย่างผลการวัดความหนา

โดยความถูกต้อง (Accuracy) ของการวัดหาได้จาก 2 ส่วน คือ

1. Accuracy systematic หาได้จากค่าของใบ Certificate จาก Standard ที่อ้างอิงจากผู้ผลิตที่ได้มาตรฐานเช่น ISO 17025 ซึ่งจะระบุค่า Uncertainty ที่ Factor k 1 เท่ากับ 68%, Factor k 2 เท่ากับ 95%, Factor k 3 เท่ากับ 99.7%

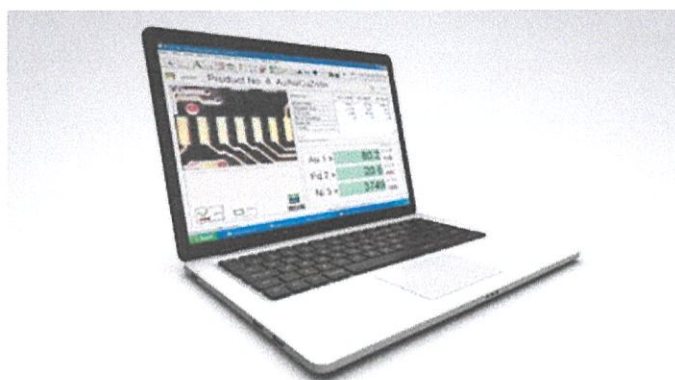
2. Precision Accidental หาได้จาก 2 ส่วนคือ

2.1 Repeatability เกิดจากตัวเครื่อง คือการวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้งโดยประมาณ 10 ครั้งขึ้นไปเพื่อหา accuracy ที่ดีที่สุด

2.2 Reproducibility เกิดจากตัวผู้ใช้งานเอง

2.8 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง

เป็นหัวใจการคำนวณของเครื่อง X-RAY ทั้งหมด ซอฟต์แวร์ประสิทธิภาพสูงนี้ช่วยให้สามารถใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ได้อย่างง่ายดายและเข้าใจการใช้งานได้ทันที นอกจากนี้ยังให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ใช้ โดยแสดงขั้นตอนสำหรับงานงานวัดแต่ละอย่าง ไม่ว่าจะมีความซับซ้อนเพียงใด จึงช่วยลดความเสี่ยงความผิดพลาดในการปฏิบัติงานได้อย่างง่ายดาย



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างซอฟต์แวร์ WinFTM

คุณลักษณะ

- ฟังก์ชันทั้งหมดสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ในซอฟต์แวร์ชุดเดียว: การวัดความหนาของชั้นเคลือบ การวิเคราะห์หิวสด การตั้งโปรแกรมการวัด การใช้งานและการกำหนดค่าของเครื่องเอ็กซ์เรย์ทั้งหมด ไม่จำเป็นต้องสลับไปมาระหว่างโปรดักส์
- ภาพวิดีโอความละเอียดสูงสำหรับการควบคุมจุดวัดได้อย่างแม่นยำ
- Software สามารถระบุงค์ประกอบในตัวอย่างได้อย่างอิสระ จึงช่วยให้ทำการวัดได้โดยไม่ต้องพึ่งมาตรฐานต่างๆ
- การตรวจจับภาพอัตโนมัติ เหมาะอย่างยิ่งสำหรับระบบการตรวจวัดอัตโนมัติ เช่น การทดสอบส่วนต่อเนื่อง: ซอฟต์แวร์นี้จะตรวจจับและตรวจวัดจุดตรวจวัดที่ได้รับรู้ และกำหนดค่าไว้อย่างเป็นอิสระ โดยไม่จำเป็นต้องตั้งโปรแกรมแต่ละส่วนไว้ล่วงหน้า
- ง่ายต่อการควบคุม ตั้งค่าได้อย่างง่ายดายผ่าน Software
- เหมาะสำหรับการใช้งานทั้งในอุตสาหกรรมและงานด้านการวิจัยและพัฒนา

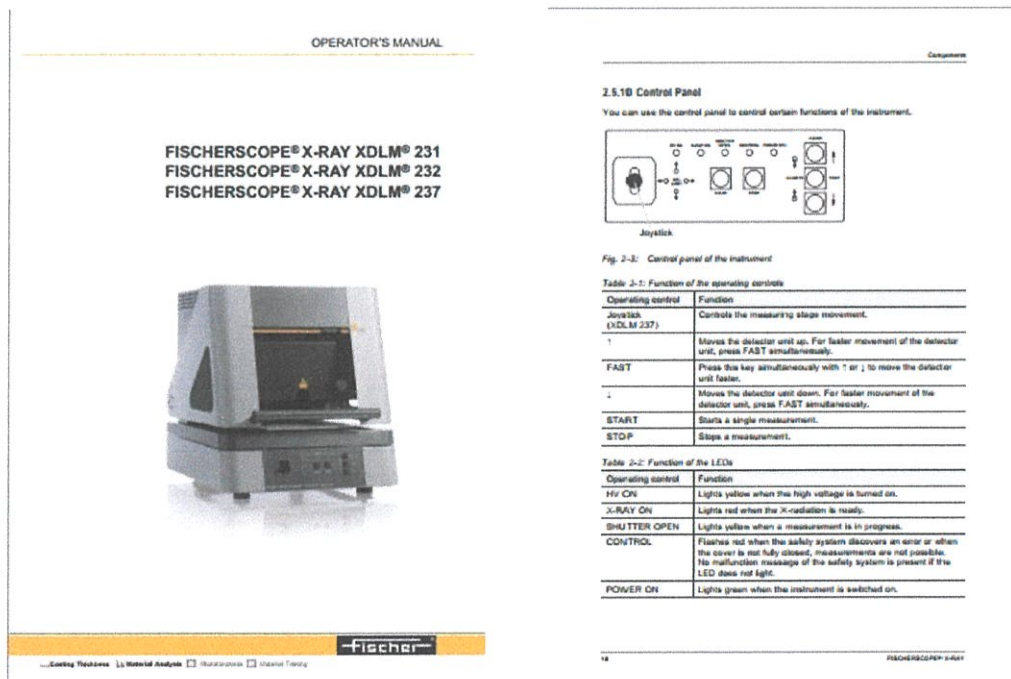
บทที่ 3

การจำลองการทำงานของเครื่อง X-Ray Fluorescence

ในการสร้างแบบจำลองการทำงานของเครื่อง X-Ray Fluorescence จำเป็นต้องศึกษาหลักการการทำงานโดยรวมและหน้าที่ของอุปกรณ์แต่ละส่วนภายในเครื่อง อุปกรณ์แต่ละชิ้นมีข้อจำกัดอย่างไรบ้าง เพื่อให้เราสามารถจำลองการใช้งานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยจะมีการทดสอบการทำงาน ตรวจสอบและแก้ไขเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ซึ่งแบ่งวิธีการดำเนินการไว้ดังนี้

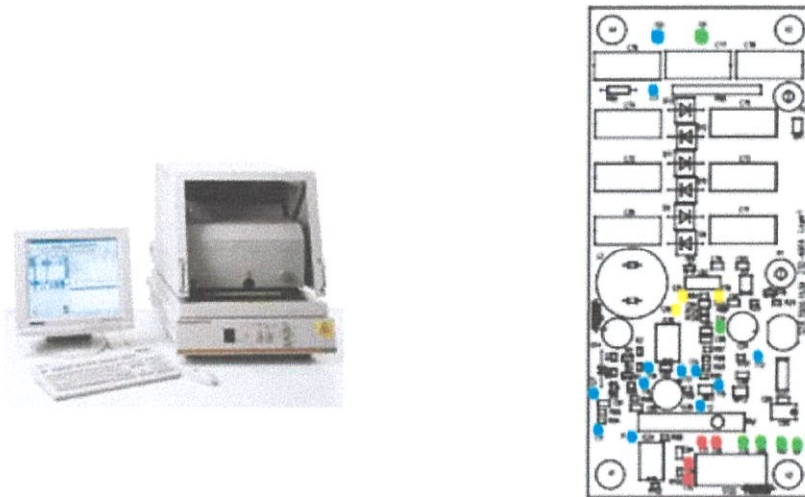
3.1 ศึกษาข้อมูลต่างๆจากคู่มือ

3.1.1 ศึกษาภาพรวมการทำงาน และ ข้อควรระวังในการดูแลรักษา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด



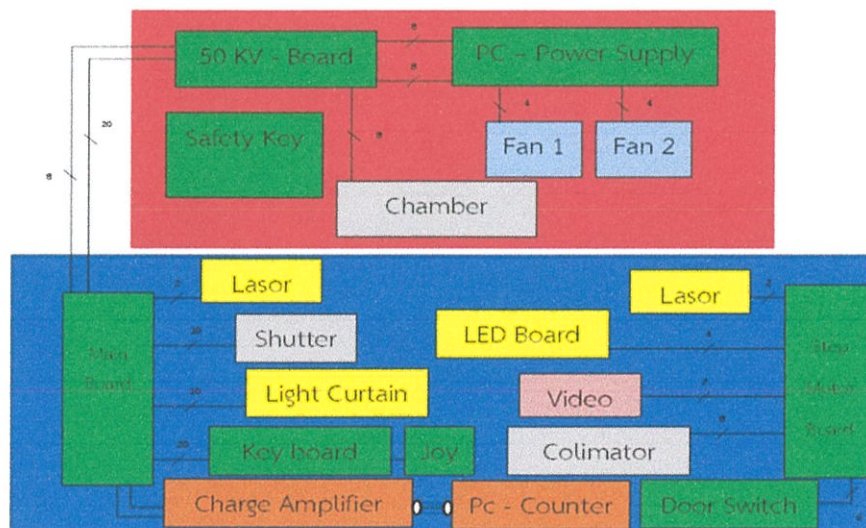
ภาพที่ 3.1.1 ตัวอย่างคู่มือการใช้งาน

3.1.2 ศึกษาการทำงานของบอร์ดควบคุมต่างๆภายในเครื่อง เพื่อให้เข้าใจลำดับขั้นตอนการทำงานในแต่ละขั้นตอนและสามารถวิเคราะห์จุดเสียหายได้เมื่อมีเหตุขัดข้อง



ภาพที่ 3.1.2 ตัวอย่างคู่มือซ่อมบำรุง

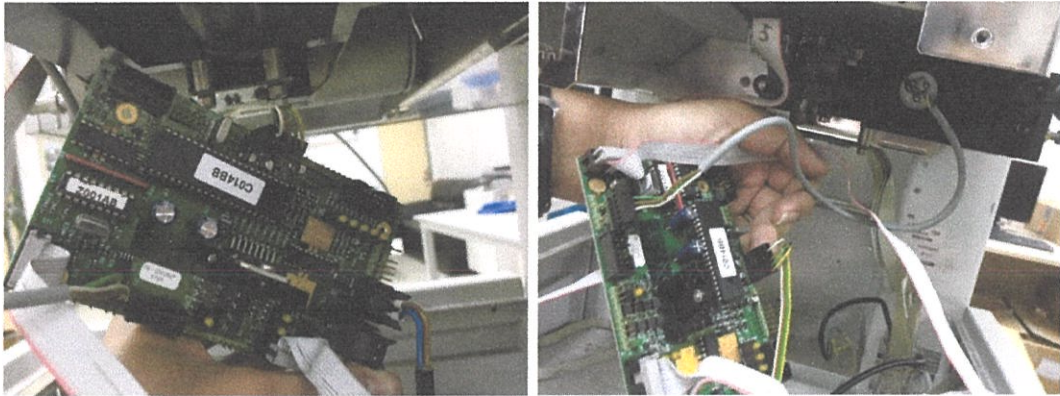
เขียนบล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อเพื่อเข้าใจภาพรวมการทำงานของแต่ละส่วน



ภาพที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในเครื่อง

3.2 กำหนดจุดที่จะติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชิ้นลงบนบอร์ดเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมของแต่ละอุปกรณ์

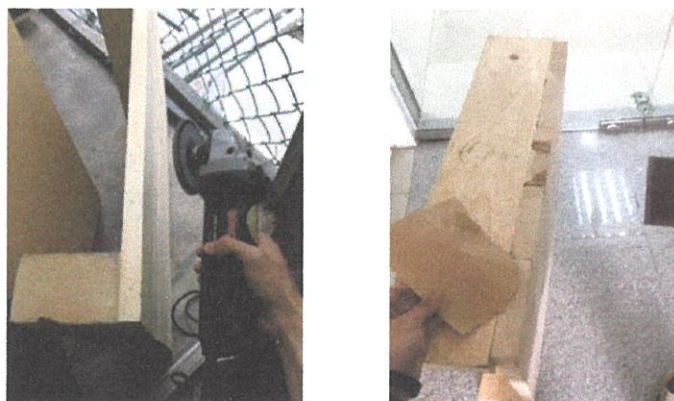
3.3 ทำการแยกส่วนอุปกรณ์ภายในเครื่องโดยศึกษาจากคู่มือการถอดชิ้นส่วนแต่ละชิ้น และถามจากผู้รู้



ภาพที่ 3.4 คู่มือและขั้นตอนการแยกส่วน

3.5 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับเป็นบอร์ดนำเสนอ โดยนำไม้ที่จัดเตรียมไว้มาทำตามขั้นตอนดังนี้

3.5.1 ทำการขีดไม้เพื่อกำจัดเสี้ยน



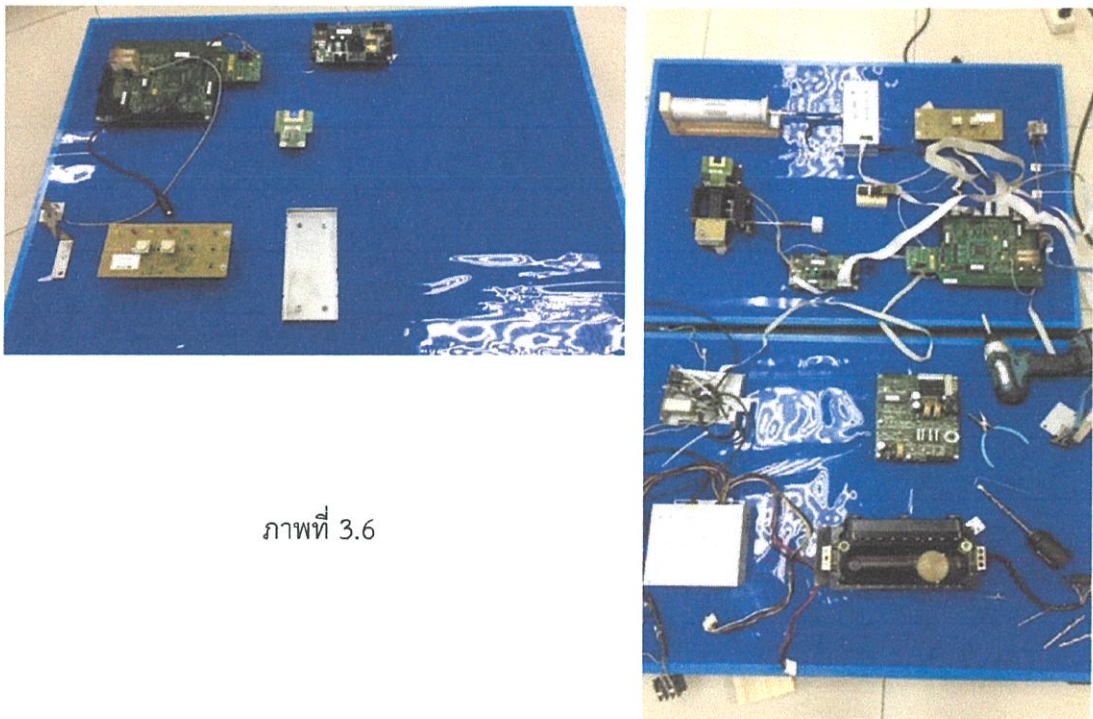
ภาพที่ 3.5.1

3.5.2 ทำการพ่นสีและติดแผ่นพลาสติกเพื่อความสวยงาม



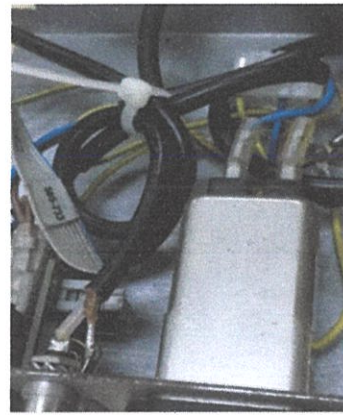
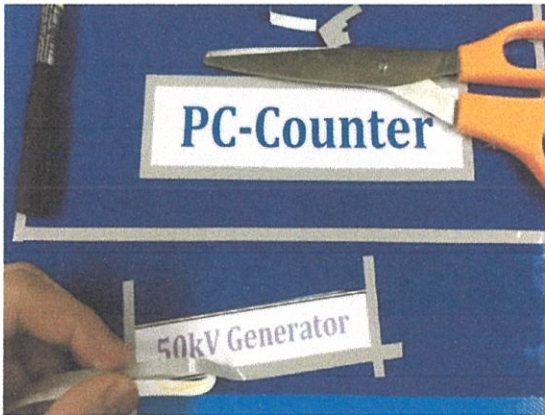
ภาพที่ 3.5.2

3.6 ทำการยึดอุปกรณ์ลงบนบอร์ดที่จัดเตรียมไว้



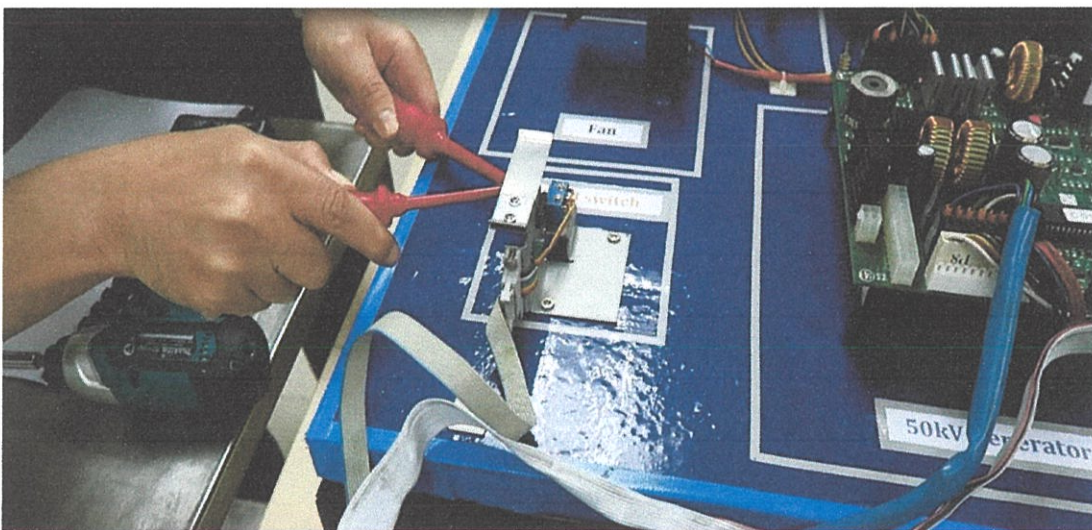
ภาพที่ 3.6

3.7 ทำการจัดเรียงสายไฟให้เป็นระเบียบพร้อมติดชื่ออุปกรณ์



ภาพที่ 3.7

3.8 ทำการทดสอบการใช้งาน



ภาพที่ 3.8

3.9 ประเมินผลจากผู้ทดสอบการใช้งาน

โดยการประเมินจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ ได้การเรียนรู้ และ ด้านการวิเคราะห์และซ่อมแซม โดยเกณฑ์การประเมินจะแบ่งได้ 4 ระดับคือ 1 = ไม่ผ่าน , 2 = ต้องปรับปรุง , 3 = พอใช้ , 4 = ดี ซึ่งหัวข้อการประเมินจะถูกแบ่งเป็นข้อย่อยดังนี้

ด้านการเรียนรู้

- สามารถศึกษาเรียนรู้และจดจำได้สะดวกรวดเร็ว
- สามารถประยุกต์การเรียนรู้และนำไปใช้งานได้
- สามารถเข้าใจการทำงานภายในเครื่องได้
- สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาปัญหาได้
- มีความสนใจเรียนรู้การทำงานภายในเครื่อง

ด้านการวิเคราะห์และซ่อมแซม

- มีความรู้ความชำนาญด้านปฏิบัติการ
- ง่ายต่อการวิเคราะห์ระบบต่างๆที่ทำงานร่วมกัน
- ประหยัดเวลาในการวิเคราะห์และแก้ปัญหา
- สะดวกต่อการทดสอบอุปกรณ์บางรายการ

ซึ่งผลการประเมินดังกล่าวสามารถนำไปปรับปรุงในส่วนของ การนำเสนอ , รูปแบบของแบบจำลอง รวมถึงผู้ทำการนำเสนอด้วย

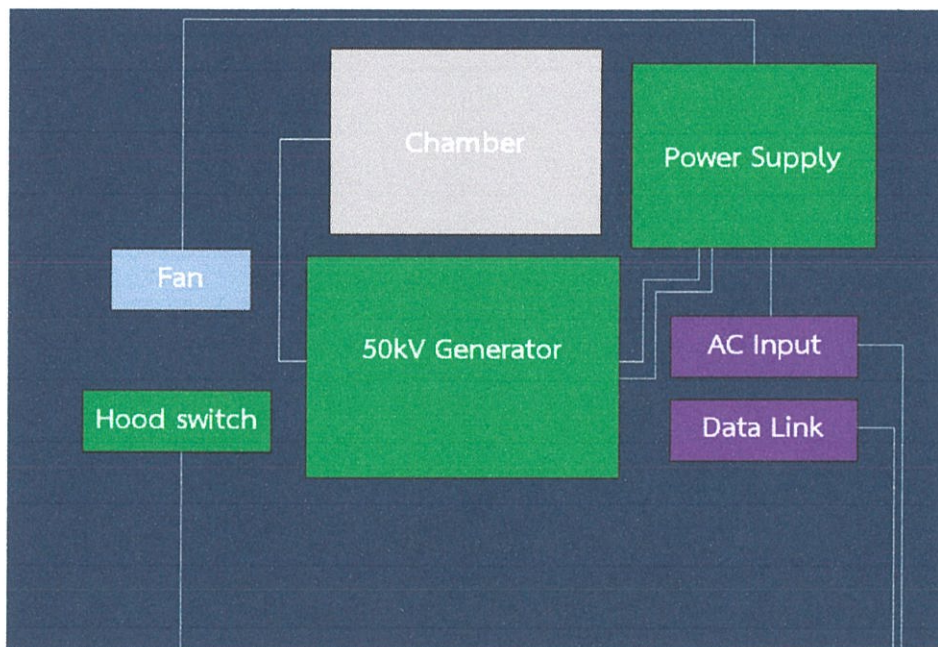
บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

4.1 แบบจำลองเครื่อง X-Ray fluorescence

แบบจำลองถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนจ่ายพลังงาน และ ส่วนควบคุม

4.1.1 ส่วนจ่ายพลังงาน



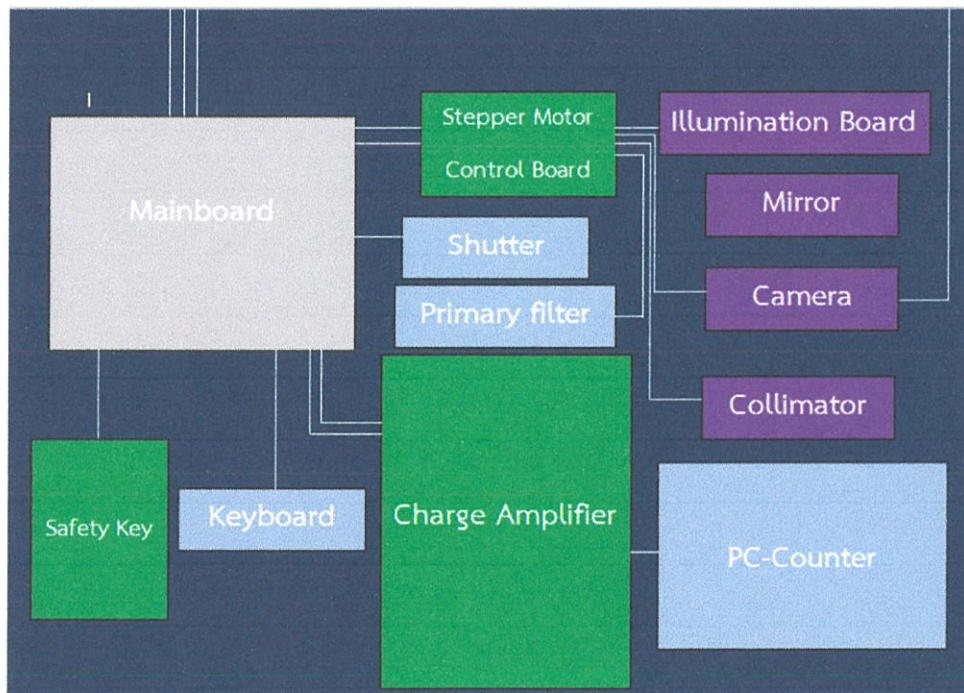
ภาพที่ 4.1.1 แบบจำลองส่วนจ่ายพลังงาน

ส่วนจ่ายพลังงานจะประกอบไปด้วย

- Chamber หรือ X-Ray tube ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์เรย์
- Power Supply ทำหน้าที่แปลงไฟจาก 100 – 240 VAC เป็น 33 , 12 , 5 VDC
- 50 kV Generator ทำหน้าที่ปรับแรงดันและกระแสก่อนเข้าสู่ X-Ray tube เพื่อกำเนิดรังสี X-Ray ตามความเหมาะสมของ Application โดยมีให้เลือกแรงดันคือ 30, 40 และ 50kV

- Hood switch ทำหน้าที่เป็นSensor safety เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน โดยการปิดของฝาครอบเครื่อง ซึ่งถ้าหากฝายังไม่ถูกปิดก็จะทำให้ไม่สามารถปล่อยรังสีเอ็กซ์เรย์ได้
- Fan ทำหน้าที่ในการช่วยระบายความร้อนให้ Thermometer ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับความร้อนที่เกิดจาก X-Ray tube และอุปกรณ์ภายในเครื่องหากมีความร้อนเกินที่กำหนดจะทำการหยุดการทำงานทันที โดยพัดลมจะมีพัดลมสำหรับดูดอากาศเข้า และ ถ่ายอากาศออกเพื่อการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ
- AC input จุดต่อไฟ AC เข้าเครื่อง
- Data Link จุดเชื่อมต่อสัญญาณภาพและคำสั่ง

4.1.2 ส่วนควบคุม



ภาพที่ 4.1.2 แบบจำลองส่วนควบคุม

ส่วนควบคุมประกอบด้วย

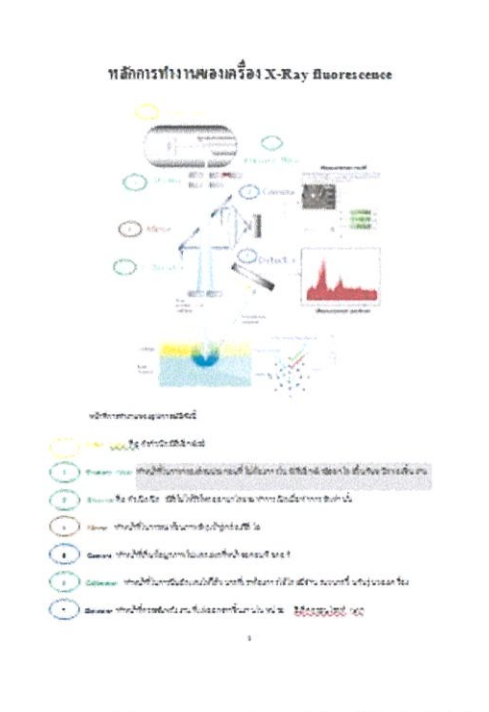
- Mainboard ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมและสั่งการหลักของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งจะควบคุมทั้งระบบความปลอดภัย ระบบจ่ายรังสีเอ็กซ์เรย์ ระบบตรวจจับพลังงาน รวมถึงควบคุมกลไกการเคลื่อนไหวภายในเครื่องโดยรับคำสั่งจาก

คอมพิวเตอร์ผ่านทางสาย RS 232 โดยในปัจจุบันใช้เป็นสาย USB ซึ่งทำการรวมทั้ง ข้อมูลภาพและคำสั่งในสายเดียว

- Stepper Motor Control Board ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของภาคชิ้นงาน ในแนวระดับ และ การเคลื่อนที่ของหัวจ่ายรังสี X-Ray ในแนวตั้ง
- Shutter ทำหน้าที่ เปิด/ปิด รังสีไม่ให้รั่วไหลออกมาโดยจะทำการเปิดเมื่อทำการ วัดเท่านั้น
- Primary Filter ทำหน้าที่ในการกรองส่วนประกอบที่ไม่ต้องการในรังสีเอ็กซ์เรย์ ออกโดยขึ้นกับชนิดของชิ้นงาน เพื่อให้สเปกตรัมที่เราสนใจชัดเจนขึ้น
- Illumination ทำหน้าที่ให้แสงสว่างแก่ชิ้นงานที่เราทำการวัด
- Mirror ทำหน้าที่สะท้อนภาพชิ้นงานเข้าสู่กล้องวิดีโอ เนื่องจากการยิงรังสี เอ็กซ์เรย์เกิดขึ้นในแนวตั้งแต่การเก็บข้อมูลภาพอยู่ในแนวระดับ
- Camera ทำหน้าที่เก็บข้อมูลภาพเพื่อไปแสดงผลบนหน้าจอ เมื่อเราใช้งาน ซอฟต์แวร์
- Collimator ทำหน้าที่บีบอัดรังสีเอ็กซ์เรย์ให้อยู่ในตำแหน่งและพื้นที่ที่กำหนด
- Safety Key ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ปิด/เปิดการทำงานของ X-Ray tube
- KeyBoard ใช้ควบคุมคำสั่งพื้นฐานในการใช้งานเครื่อง ตัวอย่างเช่น Start , Stop , ON/Off เป็นต้น
- Charge Amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ถูกตรวจจับโดยอุปกรณ์ตรวจจับ พลังงาน
- PC – Counter ทำหน้าที่ตรวจจับพลังงานมีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลท์ (keV)

4.2 ใบความรู้ประกอบการบรรยาย

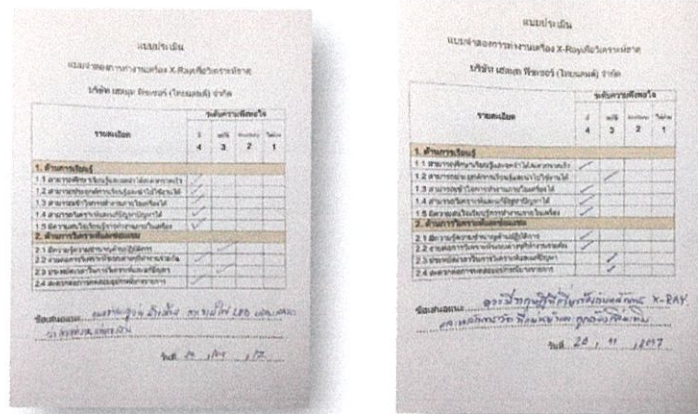
ใช้ในการบรรยายเมื่อมีผู้สนใจหลักการทำงานของเครื่อง X-Ray fluorescence เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่อง เนื่องจากการใช้งานจริงไม่สามารถเห็นอุปกรณ์และการเชื่อมโยงแต่ละระบบได้ เพราะอุปกรณ์ทุกส่วนถูกปกปิดไว้ในกรอบเครื่องเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน และ อุปกรณ์ภายในเครื่อง ซึ่งความรู้ดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดรวมถึงผู้ดูแลและผู้ซ่อมแซม



ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างใบความรู้ประกอบการบรรยาย

4.3 ผลตอบรับจากผู้ทดลองใช้

การทดสอบถูกทดสอบใช้งานจากตัวแทนจาก 2 ฝ่ายคือ Service Engineer และ Sale Engineer โดยได้ผลการประเมินดังภาพ



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างใบประเมินผล

โดยมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

- “ ควรมีไฟ LED แสดงสถานการณ์ทำงานของแต่ละส่วน เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบการทำงานของแต่ละส่วน ” จาก Service Engineer
- “ ควรอธิบายและทฤษฎีการทำงานของแต่ละส่วนให้ละเอียดมากขึ้น สำหรับผู้ต้องการรู้อย่างลึกซึ้ง ” จาก Sale Engineer

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการดำเนินการสร้างแบบจำลองการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ ได้ผลลัพธ์เป็นบอร์ดความรู้ซึ่งอุปกรณ์ที่อยู่ในแบบจำลองเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานจริง โดยได้จากการแยกชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในเครื่องซึ่งทำให้สามารถทดสอบความเสียหายของอุปกรณ์บางชนิดได้ ยกตัวอย่างเช่น หลอด X-Ray tube , บอร์ด 50KV , Hoodswitch และ Shutter เป็นต้น โดยแบบจำลองจะพัฒนาและประหยัดเวลาในการเรียนรู้ระบบการทำงานของแต่ละส่วนภายในเครื่อง รวมถึงเข้าใจข้อจำกัดในการใช้งานได้เนื่องจากได้เห็นภาพจริงซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีข้อขัดข้องน้อยที่สุด อีกทั้งผู้ซ่อมแซมจะสามารถประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ความเสียหายได้ด้วยการทดสอบและวิเคราะห์จากแบบจำลอง

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ปัญหาที่พบระหว่างการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาคือ ความรู้ที่ใช้ในการทำงานค่อนข้างกว้างและใช้ทักษะช่างมากพอสมควร ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำความเข้าใจมากขึ้น อีกทั้งการปฏิบัติงานส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้ประสบการณ์ความรู้ในด้านต่างๆในการแก้ปัญหาซึ่งทำให้การแก้ปัญหาส่วนมากต้องมีผู้นิเทศงานดูอย่างใกล้ชิด เนื่องจากอุปกรณ์ทุกชิ้นมีราคาสูง ดังนั้นแนวทางการแก้ไขคือ ตั้งใจฝึกฝนขณะผู้นิเทศงานทำการสอนและสาธิตการปฏิบัติงานรวมถึงถามปัญหาที่สงสัย ซึ่งจะประหยัดเวลาและเข้าใจได้ลึกซึ้งกว่าอ่านจากในตำรา

5.3 ข้อเสนอแนะ

ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ไม่มีพื้นฐานด้านวงจรหรือระบบจึงควรมีไฟแสดงการทำงานในแต่ละส่วนเพื่อให้ง่ายต่อการเรียนรู้และสังเกตและควรมีการอธิบายทฤษฎีการทำงานควบคู่ไปกับการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] การวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

แหล่งที่มา: <http://www.nst.or.th/article/article494/article49418.htm>

[2] หลอดรังสีเอกซ์

แหล่งที่มา: <https://sites.google.com/site/nuclearremotelaboratoryth/kar-khn-phb-rangsi-xeks/kar-thahi-keid-rangsi-xeks>

[3] Proportional counter

แหล่งที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Proportional_counter

[4] คุณสมบัติของรังสีเอกซ์

แหล่งที่มา: http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/quantum/quantum2/quantum_19.htm คุณสมบัติ

[5] เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

แหล่งที่มา: [http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55\[1\].pdf](http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55[1].pdf)

[6] ทฤษฎีรังสี

แหล่งที่มา: http://soreda.oas.psu.ac.th/files/721_file_Chapter2.pdf

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นาย ธนวิษณุ คชฉวีวงศ์

วัน เดือน ปีเกิด 16 กรกฎาคม 2538

ที่อยู่ 224 ถ.ท่าแฉลบ อำเภอเมือง ต.ตลาด จ.จันทบุรี

E-mail Thanawit_bew@hotmail.com

โทรศัพท์ 086-3517092

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ.2557 – ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พ.ศ.2552 – 2556 โรงเรียนสตรีวิทยา ๒

ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงาน แผนก Maintenance Engineering
บริษัท เฮลมท ฟิชเชอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด
- นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา
บริษัท เฮลมท ฟิชเชอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด