

การพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ



นายเกษมะ ดุรงค์ศักดิ์

## ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A TRANSMITTED X-RAY MEASURING DEVICE FOR  
DETERMINATION OF THE OPTIMUM EXPOSURE TIME



Mr. Kasama Durongsak

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้หา  
เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

โดย

นายเกษมะ ดุรงค์ศักดิ์

สาขาวิชา

นิเวศวิทยาระบบเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว

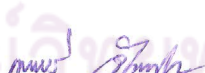
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ เดชา ทองอร่าม)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ประสิทธิ์ สิริทิพย์รัศมี)

กษมะ ดุรงค์ศักดิ์ : การพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ. (DEVELOPMENT OF A TRANSMITTED X-RAY MEASURING DEVICE FOR DETERMINATION OF THE OPTIMUM EXPOSURE TIME) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว , 98 หน้า.

ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์วัดรังสีเอกซ์ทะลุผ่านโดยใช้ฉากเรืองรังสีชนิดแกโดลิเนียมออกไซด์ฟิล์มประกบกับไดโอดไวแสงเพื่อหาค่าเอกโพเซอร์ที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรม อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยหัววัดรังสีเอกซ์ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และส่วนประมวลผล ได้ทดสอบอุปกรณ์นี้กับรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ 80 – 160 กิโลโวลต์ และกระแสหลอดสูงถึง 3 มิลลิแอมแปร์ โดยใช้ชิ้นงานโลหะอะลูมิเนียมที่มีความหนาต่าง ๆ กัน ซึ่งพบว่าที่แต่ละค่าเอกโพเซอร์ ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์นี้แปรผันตรงกับความดำบนฟิล์ม และไม่ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในขั้นสุดท้ายได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่าเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพชิ้นงานบางชนิด ซึ่งก็พบว่าความแตกต่างของความดำบนฟิล์มตรงตำแหน่งเดียวกันของชิ้นงาน เมื่อใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเมื่อใช้กราฟเอกซ์โพเซอร์มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.1 ดังนั้นอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นจึงสามารถใช้กำหนดเวลาถ่ายภาพที่เหมาะสมของชิ้นงานใด ๆ ได้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับความหนา และชนิดของวัสดุของชิ้นงาน รวมทั้งระยะระหว่างจุดโฟกัสถึงฟิล์ม

ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี.....  
สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี.....  
ปีการศึกษา 2553.....

ลายมือชื่อนิติ..... นว. อรรถสุมันต์.....  
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

ศูนย์วิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 5070212621 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : EXPOSURE TIME / X-RAY RADIOGRAPHY / X-RAY MEASURING DEVICE

KASAMA DURONGSAK : DEVELOPMENT OF A TRANSMITTED X-RAY MEASURING DEVICE FOR DETERMINATION OF THE OPTIMUM EXPOSURE TIME. ADVISOR : ASST.PROF. ATTAPORN PATTARASUMUNT, CO-ADVISOR : ASSOC.PROF.NARES CHANKOW, 98 pp.

A transmitted x-ray measuring device was developed by using a gadolinium oxysulfide (GOS) fluorescent screen coupled with photosensitive diodes to determine the optimum exposure time in industrial x-ray radiography. The developed device consisted of x-ray measuring head, analog-to-digital (A/D) converter circuit and data processing unit. The device was tested with x-rays from an x-ray machine operating at 80 – 160 kV and tube current up to 3 mA using aluminum specimens of various thicknesses. It was found that, at each exposure setting, the device reading was directly proportional to the optical film density and was independent on the x-ray energy. Finally, the device was tested in determining the exposure time for some specimens. The differences of optical film density in the same specimen positions obtained from using the developed device and the x-ray exposure curve were found to be less than 0.1. The device could be used to determine the optimum exposure time of any specimen which was independent on its thickness, kind of material and the focus-to-film distance.

Department : Nuclear Technology.....

Student's Signature *Kasama Durongsak*

Field of Study : Nuclear Technology.....

Advisor's Signature *Attaporn Pattarasumunt*

Academic Year : 2010.....

Co-advisor's Signature *Nares Chankow*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งคอยแนะนำขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและการเขียนเล่ม วิทยานิพนธ์ ตลอดจนแนะนำแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณศิริพัฒน์ สว่างโกศล คุณบัญชา อุณพานิช คุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ดี และคุณสุรกิจ ชาวแผ้ว ที่คอยช่วยในเรื่องเทคนิคการเชื่อมต่อสัญญาณเข้าระบบคอมพิวเตอร์ การ ออกแบบวงจร และอำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ งานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบัน เทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ตลอดจน คุณสมาน อิงไธสง และ คุณทศพร พัสดุ เจ้าหน้าทำงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย สำหรับความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ และ คอยดูแลการใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

ขอขอบคุณ สำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวง สาธารณสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวัดความดำฟิล์ม

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนอุดหนุน งานวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่สละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบ

ขอขอบคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน สำหรับความรู้ และคำแนะนำที่มอบให้ ตลอดจนความช่วยเหลือต่าง ๆ

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และอาจารย์ ทั้งทางภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี และทางหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือกันตลอดมา

ถ้าปราศจากบิดามารดาผู้ให้กำเนิด คือ นายวิเชียร ดุรงค์ศักดิ์ และนางเสวก ดุรงค์ศักดิ์ ผู้ซึ่งคอยสนับสนุนดูแลและเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้าน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วง ไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2. เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ หลักการถ่ายภาพและวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ .....	4
2.1 รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา .....	4
2.2 การทะลุผ่านวัสดุของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา .....	5
2.3 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ .....	8
2.4 หลักการเกิดภาพถ่ายด้วยรังสี .....	11
2.5 ชนิดของฟิล์ม .....	13
2.6 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม .....	15
2.7 ฉากเรื่องรังสีเอกซ์ .....	19
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย .....	23
2.9 วิธีการปฏิบัติในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ .....	25
2.10 โฟโตไดโอด .....	29
3. การพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ .....	31

บทที่	ช หน้า
3.1 หลักการทำงานของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่ เหมาะสมในการถ่ายภาพที่พัฒนาขึ้น .....	31
3.2 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหา เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ .....	32
3.2.1 ส่วนวัดรังสีเอกซ์ .....	32
3.2.1.1 หัววัดรังสีเอกซ์ .....	32
3.2.1.2 วงจรขยายสัญญาณ .....	34
3.2.1.3 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า .....	35
3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข .....	35
3.2.3 ส่วนประมวลผล .....	36
4. การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ .....	42
4.1 การทดสอบการตอบสนองของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ .....	42
4.2 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของความค่าดำฟิล์ม ค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ ที่พัฒนาขึ้น และเวลาในการถ่ายภาพ เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการ ถ่ายภาพ .....	44
4.3 การทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหา เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ .....	49
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	56
รายการอ้างอิง .....	58
บรรณานุกรม .....	59
ภาคผนวก .....	60
ภาคผนวก ก ค่าใช้จ่ายในการสร้างอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้หา เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ .....	61
ภาคผนวก ข ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโฟโตไดโอดที่ใช้ในงานวิจัย .....	62
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัย .....	64
ภาคผนวก ง เครื่องมือสำคัญที่ใช้ในงานวิจัย .....	65



บทที่	ณ	หน้า
ภาคผนวก จ โปรแกรมการทำงานหาค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ .....		66
ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น .....		93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....		98



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของธาตุและวัสดุบางชนิด (ในหน่วย $\text{cm}^2/\text{g}$ ) ....	7
2.2 ฟิล์มถ่ายภาพในงานอุตสาหกรรมของโกดัก (Kodak Industrex) .....	15
2.3 ฟิล์มถ่ายภาพในงานอุตสาหกรรมของอิก้า (Agfa Structurix) .....	15
2.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นแสงของสารเรืองรังสีชนิด แคลเซียมทังสเตทกับสารเรืองรังสีชนิดแกโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ .....	20
2.5 สรุปปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย .....	23
2.6 ค่าความหนาแน่นของโลหะชนิดต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเหล็ก .....	26
4.1 ผลการทดสอบการตอบสนองของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ที่แต่ละศักดาไฟฟ้าสูงสุด (กระแส ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 2 มิลลิแอมแปร์) .....	42
4.2 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ (วินาที) ที่ค่าที่วัด ได้กับค่าความดำต่าง ๆ ของฟิล์ม .....	48
4.3 ผลการทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ ใช้ในการทดสอบ .....	50

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงหลักการถ่ายภาพด้วยรังสี .....	4
2.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า .....	5
2.3 แผนภาพและกราฟแสดงการลดความเข้มของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเมื่อผ่านวัสดุ .....	6
2.4 แผนภาพแสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ .....	8
2.5 แผนภาพแสดงหลักการผลิตรังสีเอกซ์ของหลอดรังสีเอกซ์ .....	8
2.6 แผนภาพแสดงหลักการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง .....	9
2.7 ลักษณะของหลอดรังสีเอกซ์บางแบบ .....	10
2.8 แสดงการเกิดภาพของโพรงอากาศบนฟิล์มซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งของโพรงอากาศในชิ้นงานและทิศทางของลำรังสี .....	11
2.9 แผนภาพเปรียบเทียบความแตกต่างของความดำ (film density, D) ที่เกิดขึ้นจากการที่รังสีผ่านบริเวณที่ไม่มีโพรงอากาศขนาดต่างกัน .....	11
2.10 ความเปรียบเทียบของบริเวณที่มีกับไม่มีโพรงอากาศเมื่อใช้ฟิล์มที่มี $G_0$ ต่างกัน .....	13
2.11 ฟิล์มเม็ดหยาบและเม็ดละเอียดเมื่อถูกรังสี (สีดำ) และก่อนถูกรังสี (สีขาว).	14
2.12 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม .....	16
2.13 แสดงหลักการวัดความดำของฟิล์ม .....	16
2.14 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มโกดัก .....	18
2.15 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มอี๊กฟ้าบางชนิด .....	18
2.16 แสดงหลักการทำงานของสารเรืองรังสีเอกซ์ Organic(a) กับ Inorganic(b).	19
2.17 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำงานของสารเรืองรังสีแต่ละชนิดที่พลังงานต่าง ๆ กัน .....	21
2.18 กราฟแสดงการตอบสนองที่พลังงานต่าง ๆ ของฉากเรืองรังสีประกบกับฟิล์มชนิดต่าง ๆ .....	21
2.19 กราฟแสดงความยาวคลื่นของแสงที่ได้จากสารเรืองรังสีแต่ละชนิดและช่วงความยาวคลื่นที่ตอบสนองของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด .....	22
2.20 ตัวอย่างกราฟเอกซ์โพเซอร์ของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ .....	26

ภาพที่	หน้า
2.21 ค่าพลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์ที่ให้ความไวในการหารอยบกพร่องไม่เกิน 2 % ของความหนาชิ้นงาน .....	26
2.22 (ก) เหล็กชั้นบันได (ข) ภาพถ่ายของเหล็กชั้นบันไดที่ค่าเอกซ์โพเซอร์ต่างกัน .....	28
2.23 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดำกับความหนาของเหล็กที่ค่าเอกซ์โพเซอร์และพลังงานรังสีเอกซ์ต่าง ๆ .....	28
2.24 ตัวอย่างการสร้างกราฟเอกซ์โพเซอร์ของรังสีเอกซ์ .....	29
2.25 แสดงสัญลักษณ์ และการไปอัสใช้งาน .....	30
3.1 แผนภาพของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับวัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ .....	31
3.2 กราฟแสดงค่าตอบสนองต่อความยาวคลื่นของฉากเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแกโดลิเนียมออกไซด์ไฟต์และโฟโตไดโอดของ Sharp รุ่น BS500B0F.....	33
3.3 แผนภาพส่วนประกอบในหัววัดรังสีเอกซ์ .....	33
3.4 (ก) แกโดลิเนียมออกไซด์ไฟต์ (ข) โฟโตไดโอด .....	33
3.5 หัววัดรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น .....	34
3.6 วงจรขยายสัญญาณ .....	34
3.7 วงจรของแหล่งจ่ายตัดดาไฟฟ้าที่ให้กับวงจรขยายสัญญาณ .....	35
3.8 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข .....	36
3.9 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ .....	39
3.10 แสดงหน้าจอโปรแกรมหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์....	40
3.11 แสดงการจัดอุปกรณ์ให้อยู่ในลักษณะพร้อมใช้ .....	40
3.12 ชุดอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้หาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ .....	41
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของอะลูมิเนียมกับค่าที่วัดได้ ที่ตัดดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ กัน สำหรับกระแสของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 2 มิลลิแอมแปร์ .....	44
4.2 ลักษณะของอะลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นชั้นบันได .....	45
4.3 ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของอะลูมิเนียมที่มีลักษณะที่เป็นชั้นบันได .....	45

ภาพที่	หน้า
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ ตัดดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซ์โพเซอร์ 12 มิลลิแอมแปร์-วินาที .....	45
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ ตัดดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซ์โพเซอร์ 24 มิลลิแอมแปร์-วินาที .....	46
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ ตัดดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซ์โพเซอร์ 36 มิลลิแอมแปร์-วินาที .....	46
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ ตัดดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซ์โพเซอร์ 60 มิลลิแอมแปร์-วินาที .....	46
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ ตัดดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซ์โพเซอร์ 72 มิลลิแอมแปร์-วินาที .....	47
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ ตัดดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซ์โพเซอร์ 120 มิลลิแอมแปร์-วินาที ...	47
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้ กับ ค่าความดำฟิล์ม ที่ ตัดดาไฟฟ้าสูงสุดและเอกซ์โพเซอร์ต่าง ๆ .....	47
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับเวลาในการถ่ายภาพ .....	48
4.12 ชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดสอบ .....	49
4.13 ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดสอบ.....	50
4.14 ภาพของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ .....	52
4.15 ภาพของฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ .....	52
4.16 ภาพของ Connector DB 25 PIN และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ .....	53
4.17 ภาพของแกนเหล็กปั่นด้าย และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ .....	53
4.18 ภาพของใบพัดในเครื่องยนต์เครื่องบิน และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์.....	54
4.19 ภาพของฐานหม้อหุงข้าว และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ .....	54

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์นิยมใช้งานกันแพร่หลายมากทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการแพทย์ เพราะสามารถตรวจสอบโครงสร้างหรือลักษณะภายในของชิ้นงานได้ โดยที่ไม่ต้องทำลายชิ้นงาน อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบชิ้นงานได้นานาชนิดไม่ว่าจะเป็นโลหะหรืออโลหะก็ตาม ซึ่งจากคุณประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมนิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบหาความผิดปกติในแผงวงจร หารอยต่อของชิ้นงาน หรือหารอยแตกร้าวในชิ้นงาน เป็นต้น แต่ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ทุกครั้งจะต้องหาค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ โดยขึ้นอยู่กับศักดาไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ กระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ชนิดของฟิล์มชนิดของฉากเปลี่ยนรังสี และชิ้นงาน เพื่อที่จะให้ได้ภาพที่เหมาะสมในการตรวจสอบชิ้นงาน ดังนั้นการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จะต้องทราบชนิด ความหนา และลักษณะของชิ้นงานนั้นด้วย เพื่อที่จะคำนวณหาเวลาที่เหมาะในการถ่ายภาพได้ แต่ถ้าไม่ทราบชนิด ความหนา และลักษณะของชิ้นงานนั้นหรือเป็นชิ้นงานที่ไม่เคยทำการถ่ายภาพมาก่อน ก็จะไม่สามารถคำนวณหาเวลาที่เหมาะในการถ่ายภาพได้ จึงจะต้องทดลองปรับค่าเอกซ์โพซิเจอร์ในการถ่ายภาพเพื่อที่จะให้ได้ภาพถ่ายที่เหมาะสมในการตรวจสอบชิ้นงาน ซึ่งจะต้องเสียเวลาและฟิล์มที่ใช้ถ่ายภาพเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะสร้างอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาเทคนิคและอุปกรณ์ในการหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ โดยออกแบบหัววัดรังสีที่ใช้ฉากเรืองรังสีชนิดแกโดลิเนียมออกไซด์ไฟต์ประกบกับโฟโตไดโอด เพื่อวัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน โดยเชื่อมโยงสัญญาณจากหัววัดเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถหาค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แล้วนำค่าและเงื่อนไขที่ได้ไปถ่ายภาพของชิ้นทดสอบ ซึ่งจะได้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ได้มีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านสำหรับใช้หาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาจากเรื่องรังสีชนิดต่าง ๆ ได้แก่  $Gd_2O_2S:Tb$  ,  $CaWO_4$  เป็นต้น เพื่อเลือกหาจากเรื่องรังสีที่เหมาะสมในการพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์
2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดความเข้มรังสีเอกซ์
3. พัฒนาเทคนิคการวัดความเข้มรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านชิ้นงานโดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อกำหนดค่าเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีและหลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์
2. ศึกษาจากเรื่องรังสีและเลือกจากเรื่องรังสีที่เหมาะสมในการพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์
3. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการวัดความเข้มรังสีเอกซ์
4. พัฒนาเทคนิคการตรวจวัดความเข้มรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านชิ้นงาน เพื่อกำหนดค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ
5. ทดลองใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในการกำหนดค่าเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์
6. สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้อุปกรณ์ในการช่วยกำหนดค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และสามารถถ่ายภาพได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

## 1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี 2540 สาโรช ปริยะวาทิ ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องวัดค่าเวลาในการฉายรังสีเอกซ์วินิจฉัยแบบอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยนี้วิจัยนี้เกี่ยวกับเรื่องการพัฒนาเครื่องวัดค่าเวลาในการฉายรังสีเอกซ์โดยใช้ไดโอดเรียงกระแสจำนวน 10 ตัว ต่อแบบขนานเรียงกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับรังสีเอกซ์ สัญญาณที่ได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถวัดค่าเวลาในการฉายรังสีเอกซ์ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับเครื่องมือที่ซื้อจากต่างประเทศที่ใช้ในงานตรวจสอบเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

2. ปี 2541 D CAVOURAS, I KANDARAI, A BAKAS, D TRAITIS.C D NOMICOS และ G S PANAYIOTAKIS แห่ง University of Patras ทำวิจัยเรื่อง An experimental method to determine the effective luminescence efficiency of scintillator-photodetector combination used in X-ray medical imaging systems. ได้ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของสารเรืองรังสีกับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วง 50-140 กิโลโวลต์ มีสารเรืองรังสีเอกซ์ 4 อย่างด้วยกัน คือ  $Gd_2O_2S:Tb$ ,  $Y_2O_2$ ,  $S:Tb$ ,  $ZnSCdS:Ag$  และ  $CsI:Na$  จากงานวิจัยทำให้ทราบถึงการทำงานของสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิดว่ามีประสิทธิภาพการทำงานเป็นอย่างไรที่พลังงานของรังสีเอกซ์ค่าต่าง ๆ และความยาวของคลื่นแสงที่ได้จากสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิด

3. ปี 2542 ศุภโชค ไทยน้อย (1999) ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาหัววัดแบบ GaAs p-i-n สำหรับหัววัดรังสีเอกซ์ โดยพัฒนา GaAs p-i-n diode ให้สามารถวัดรังสีเอกซ์ได้ โดยใช้เทคนิคเอพิแทกซีเฟสของเหลวและเทคนิคการแพร์ซึม

4. ปี 2547 เอกรัฐ ฤทธิเนียม (2004) ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนากล้องถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ FOS ประกับกับ CCD โดยพัฒนาการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ ไฟเบอร์ออปติกประกับติดกับกล้อง CCD แล้วอ่านภาพได้แบบเป็นรีลไทม์

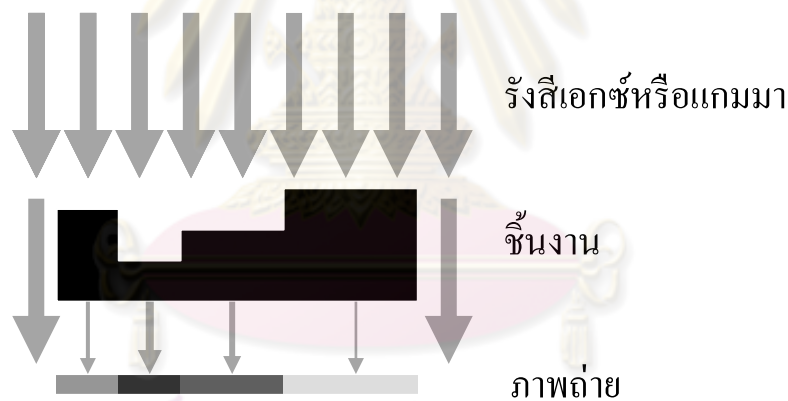
5. ปี 2549 อธิธญา อุตบัววงศ์ (2006) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาอุปกรณ์วัดค่าฮาร์ดพแวลูเลเยอร์ของรังสีเอกซ์สำหรับการฉายรังสีเดี่ยว โดยใช้หัววัดรังสีแบบโฟโตไดโอดที่เคลือบด้วยสารซินทิลเลเตอร์ที่มีความไวต่อรังสีเอกซ์และเชื่อมโยงระบบวัดรังสีเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล



## บทที่ 2

### เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ หลักการถ่ายภาพและวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา อาศัยความสามารถในการทะลุทะลวงผ่านวัสดุในการการถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบและตรวจหารอยบกพร่องหรือสิ่งผิดปกติในชิ้นงาน รังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานไปได้จะทำปฏิกิริยากับฟิล์ม ความดำที่ปรากฏให้เห็นบนฟิล์ม ภายหลังจากการล้างฟิล์มจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานไปทำปฏิกิริยากับฟิล์ม สำหรับชิ้นงานที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน บริเวณที่หนากว่ารังสีจะทะลุผ่านได้น้อยกว่า ฟิล์มจึงดำน้อยกว่า ในทางกลับกันบริเวณที่บางกว่ารังสีจะทะลุผ่านได้มากกว่า ฟิล์มจึงดำมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้นภาพที่ได้บนฟิล์มจึงเป็นภาพถ่าย (projection) ของชิ้นงาน ที่สอดคล้องกับรูปร่างลักษณะตามปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานมาได้ ซึ่งง่ายต่อการแปลผล

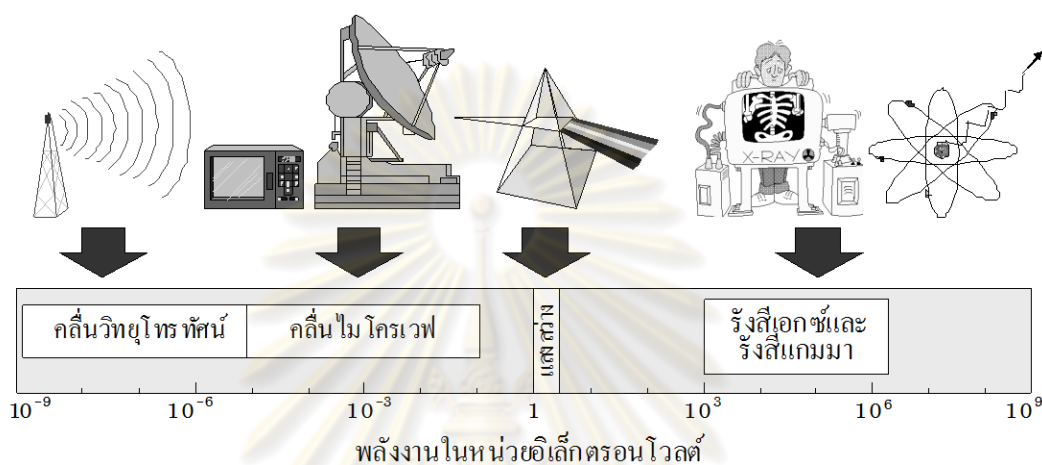


รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงหลักการถ่ายภาพด้วยรังสี

#### 2.1 รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับแสงสว่าง แต่ความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นแสงมาก รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาที่ใช้ในการถ่ายภาพในงานอุตสาหกรรมมีความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นแสงที่ตามองเห็นประมาณ 100,000 ถึง 1,000,000 เท่า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ามีพลังงานมากกว่าคลื่นแสงประมาณ 100,000 ถึง 1,000,000 เท่า นั่นเอง คลื่นแสงที่ตามองเห็นมีพลังงานอยู่ในช่วงอิเล็กตรอนโวลต์ (electron volt ; eV) เท่านั้น ส่วนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมามีพลังงานอยู่ในช่วงพันอิเล็กตรอนโวลต์ (kiloelectron volt ; keV) ถึง ล้านอิเล็กตรอนโวลต์

(megaelectron volt ; MeV) ดังนั้นรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาจึงมีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถทะลุผ่านวัสดุได้ ข้อแตกต่างระหว่างรังสีเอกซ์กับรังสีแกมมาก็คือ รังสีเอกซ์กำเนิดจากบริเวณชั้นของอิเล็กตรอนในอะตอม ส่วนรังสีแกมมากำเนิดจากนิวเคลียส (nucleus) หรือแก่นของอะตอม



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [1]

คุณสมบัติที่สำคัญของรังสีทั้งสองมีดังต่อไปนี้

- เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น ไม่มีมวล วิ่งด้วยความเร็วเท่ากับแสง คือ  $3 \times 10^{10}$  เซนติเมตรต่อวินาที หรือ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาทีในสุญญากาศ
- มีอำนาจการทะลุทะลวงสูง สามารถทะลุผ่านวัสดุได้ ความสามารถในการทะลุทะลวงขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสี และชนิดของวัสดุที่เป็นตัวกลาง
- เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง สามารถทำให้อะตอมของตัวกลางแตกตัวเป็นประจุได้จากการชนกับอิเล็กตรอนของอะตอมแล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา
- สามารถทำปฏิกิริยากับฟิล์มถ่ายรูป แล้วทำให้ฟิล์มดำ
- หากได้รับรังสีในปริมาณมากอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

## 2.2 การทะลุผ่านวัสดุของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา [2]

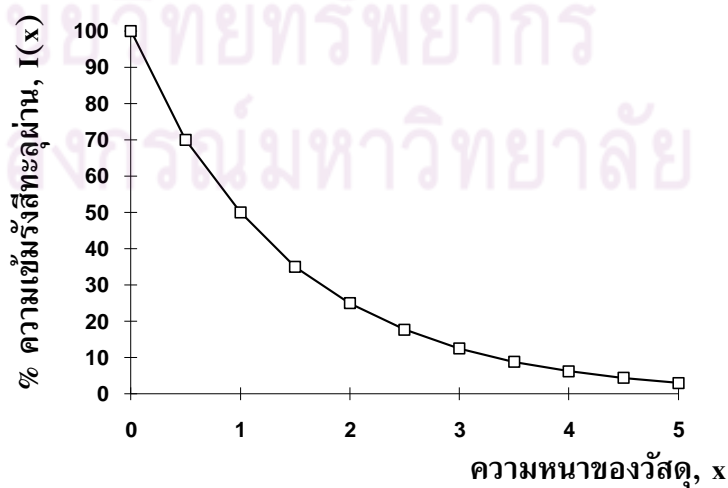
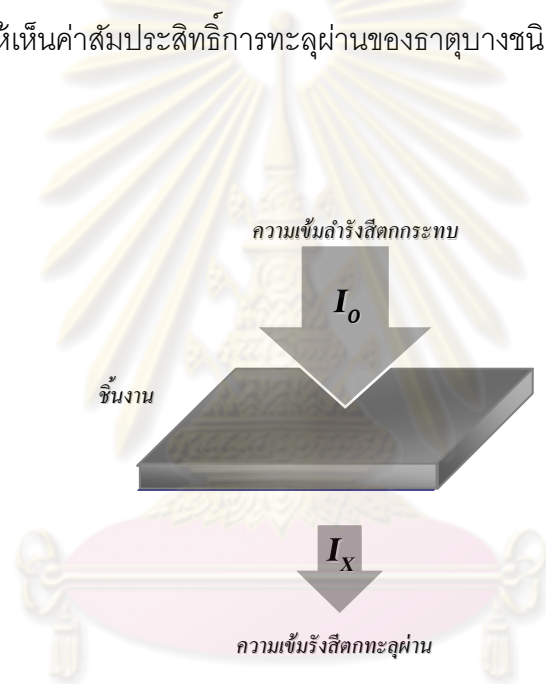
เมื่อรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา มาตกกระทบวัสดุ ความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านวัสดุไปได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

- ก. พลังงานของรังสีและความเข้มของรังสีที่ตกกระทบ
- ข. ชนิดและความหนาของวัสดุ

ที่พลังงานรังสีหนึ่ง ความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านวัสดุโดยไม่เกิดอันตรกิริยาใด ๆ เลย ( $I_x$ ) มีความสัมพันธ์กับความเข้มรังสีที่ตกกระทบวัสดุ ( $I_0$ ) ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$I_x = I_0 \text{EXP}[-\mu x] \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ  $\mu$  คือ สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของวัสดุ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและพลังงานของรังสี และ  $x$  คือ ความหนาของวัสดุ การถ่ายภาพด้วยรังสีเพื่อตรวจสอบวัสดุในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะใช้รังสีแกมมาในช่วงประมาณ 100 ถึง 1,000 keV กราฟในรูปที่ 2.3 และตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของธาตุบางชนิดที่พลังงานต่าง ๆ



รูปที่ 2.3 แผนภาพและกราฟแสดงการลดความเข้มของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเมื่อผ่านวัสดุ

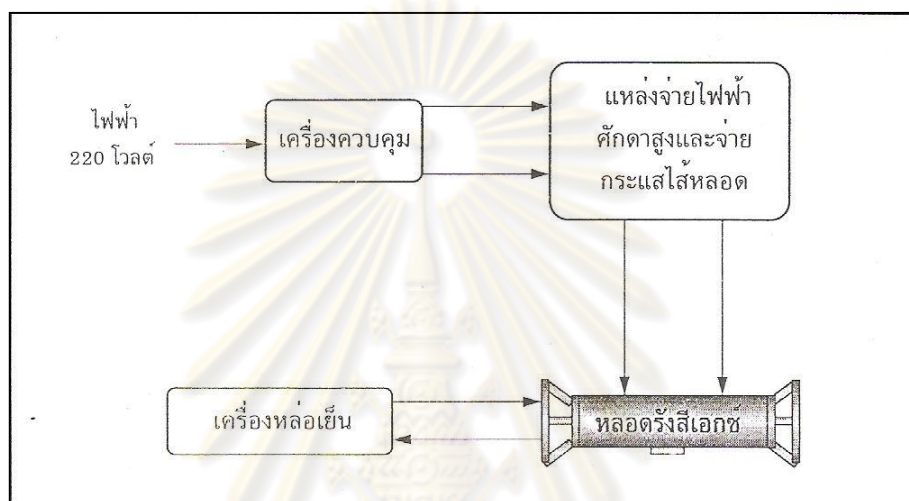
ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของธาตุและวัสดุบางชนิด (ในหน่วย  $\text{cm}^2/\text{g}$ ) [3]

Material	Gamma-ray energy, MeV																	
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2	3	4	5	6	8	10
H	.295	.265	.243	.212	.189	.173	.160	.140	.126	.113	.103	.0691	.0691	.0579	.0502	.0446	.0371	.0321
Be	.132	.119	.109	.0945	.0847	.0773	.0715	.0628	.0565	.0504	.0459	.0313	.0313	.0266	.0234	.0211	.0180	.0161
C	.149	.134	.122	.106	.0953	.0870	.0805	.0707	.0636	.0568	.0518	.0356	.0356	.0304	.0270	.0245	.0213	.0194
N	.150	.134	.123	.106	.0955	.0869	.0805	.0707	.0636	.0568	.0517	.0357	.0357	.0306	.0273	.0249	.0218	.0200
O	.151	.134	.123	.107	.0953	.0870	.0806	.0708	.0636	.0568	.0518	.0359	.0359	.0309	.0276	.0254	.0224	.0206
Na	.151	.130	.118	.102	.0912	.0833	.0770	.0676	.0608	.0546	.0496	.0348	.0348	.0303	.0274	.0254	.0229	.0215
Mg	.160	.135	.122	.106	.0944	.0860	.0795	.0699	.0627	.0560	.0512	.0360	.0360	.0315	.0286	.0266	.0242	.0228
Al	.161	.134	.120	.103	.0922	.0840	.0777	.0683	.0614	.0548	.0500	.0353	.0353	.0310	.0282	.0264	.0241	.0229
Si	.172	.139	.125	.107	.0954	.0869	.0802	.0706	.0635	.0567	.0517	.0367	.0367	.0323	.0296	.0277	.0254	.0243
P	.174	.137	.122	.104	.0928	.0846	.0780	.0685	.0617	.0551	.0502	.0358	.0358	.0316	.0290	.0273	.0252	.0242
S	.188	.144	.127	.108	.0958	.0874	.0806	.0707	.0635	.0568	.0519	.0371	.0371	.0328	.0302	.0284	.0266	.0255
Ar	.188	.135	.117	.0977	.0867	.0790	.7030	.0638	.0573	.0512	.0468	.0338	.0338	.0301	.0279	.0266	.0248	.0241
K	.215	.149	.127	.106	.0938	.0852	.0786	.0689	.0618	.0552	.0505	.0365	.0365	.0327	.0305	.0289	.0274	.0267
Ca	.238	.158	.132	.109	.0965	.0876	.0809	.0708	.0634	.0566	.0518	.0376	.0376	.0338	.0316	.0302	.0285	.0280
Fe	.344	.183	.138	.106	.0919	.0828	.0762	.0664	.0595	.0531	.0485	.0361	.0361	.0330	.0313	.0304	.0295	.0294
Cu	.427	.206	.147	.108	.0916	.0820	.0751	.0651	.0585	.0521	.0476	.0357	.0357	.0330	.0316	.0309	.0303	.0305
Mo	1.03	.389	.225	.130	.0998	.0851	.0761	.0648	.0575	.0510	.0467	.0365	.0365	.0349	.0344	.0344	.0349	.0359
Sn	1.58	.563	.303	.153	.109	.0886	.0776	.0647	.0568	.0510	.0459	.0367	.0367	.0355	.0355	.0358	.0368	.0383
I	1.83	.648	.339	.165	.114	.0913	.0792	.0653	.0571	.0502	.0460	.0370	.0370	.0360	.0361	.0365	.0377	.0394
W	4.21	1.44	.708	.293	.174	.125	.101	.0763	.0640	.0544	.0492	.0405	.0405	.0402	.0409	.0418	.0438	.0465
Pt	4.75	1.64	.795	.324	.191	.135	.107	.0800	.0659	.0554	.0501	.0414	.0414	.0411	.0418	.0427	.0448	.0477
Tl	5.16	1.80	.866	.346	.204	.143	.112	.0824	.0675	.0563	.0508	.0420	.0420	.0416	.0423	.0433	.0454	.0484
Pb	5.29	1.84	.896	.356	.208	.145	.114	.0836	.0684	.0569	.0512	.0421	.0421	.0420	.0426	.0436	.0459	.0489
U	10.60	2.42	1.17	.452	.259	.176	.136	.0952	.0757	.0615	.0548	.0445	.0445	.0440	.0446	.0455	.0479	.0511
Air	.151	.134	.123	.106	.0953	.0868	.0804	.0706	.0636	.0567	.0517	.0357	.0357	.0307	.0274	.0250	.0220	.0202
NaI	1.57	.568	.305	.155	.111	.0901	.0789	.0657	.0577	.0508	.0465	.0367	.0367	.0351	.0347	.0347	.0354	.0366
H <sub>2</sub> O	.167	.149	.136	.118	.106	.0966	.0896	.0786	.0706	.0630	.0575	.0396	.0396	.0339	.0301	.0275	.0240	.0219
Concrete	.169	.139	.124	.107	.0954	.0870	.0804	.0706	.0635	.0567	.0517	.0363	.0363	.0317	.0287	.0268	.0243	.0229
Tissue	.163	.144	.132	.115	.100	.0936	.0867	.0761	.0683	.0600	.0556	.0384	.0384	.0329	.0292	.0267	.0233	.0212

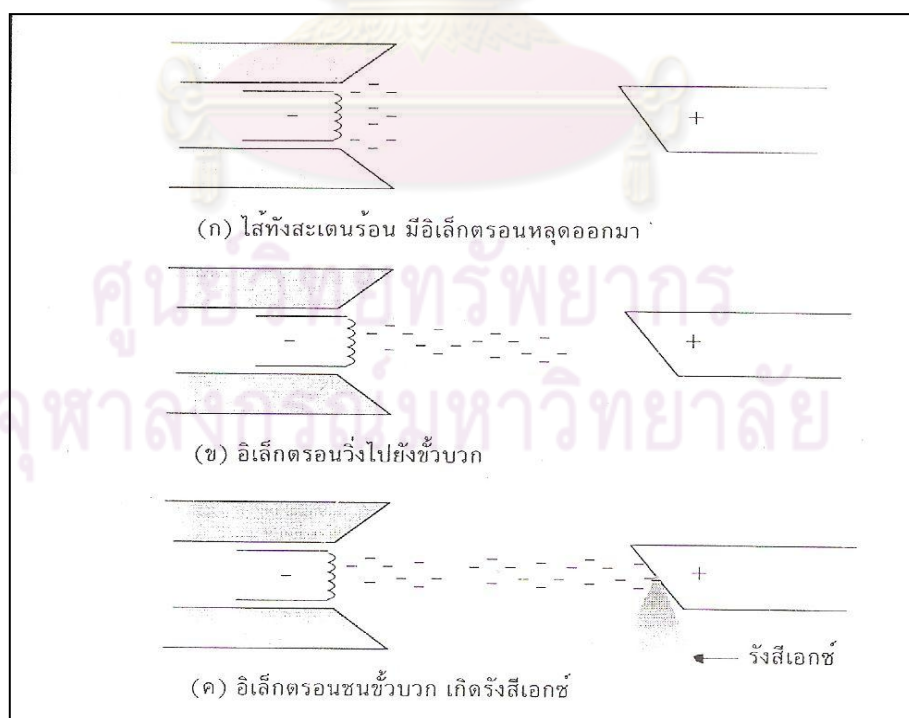
จาก...J.R. Lamarsh. *Introduction to Nuclear Engineering*. 2nd ed. Addison-Wesley, Massachusetts, 1983.

### 2.3 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ [2]

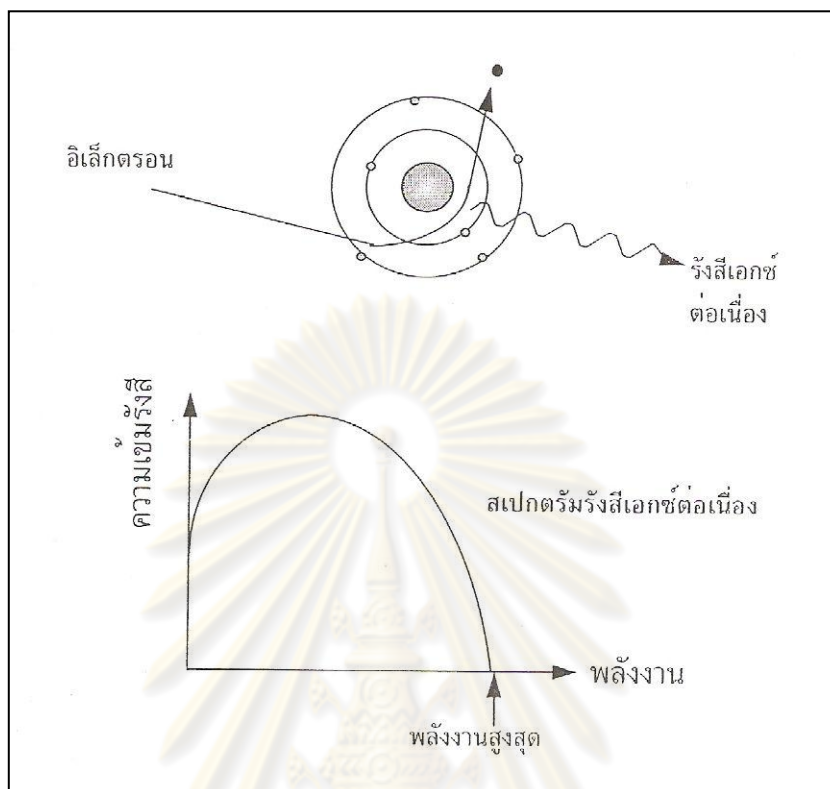
รังสีเอกซ์ที่ใช้งานถ่ายภาพด้วยรังสี ผลิตมาจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ส่วนประกอบหลักของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์มี 4 ส่วนได้แก่ หลอดรังสีเอกซ์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง เครื่องหล่อเย็น และเครื่องควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงหลักการผลิตรังสีเอกซ์ของหลอดรังสีเอกซ์



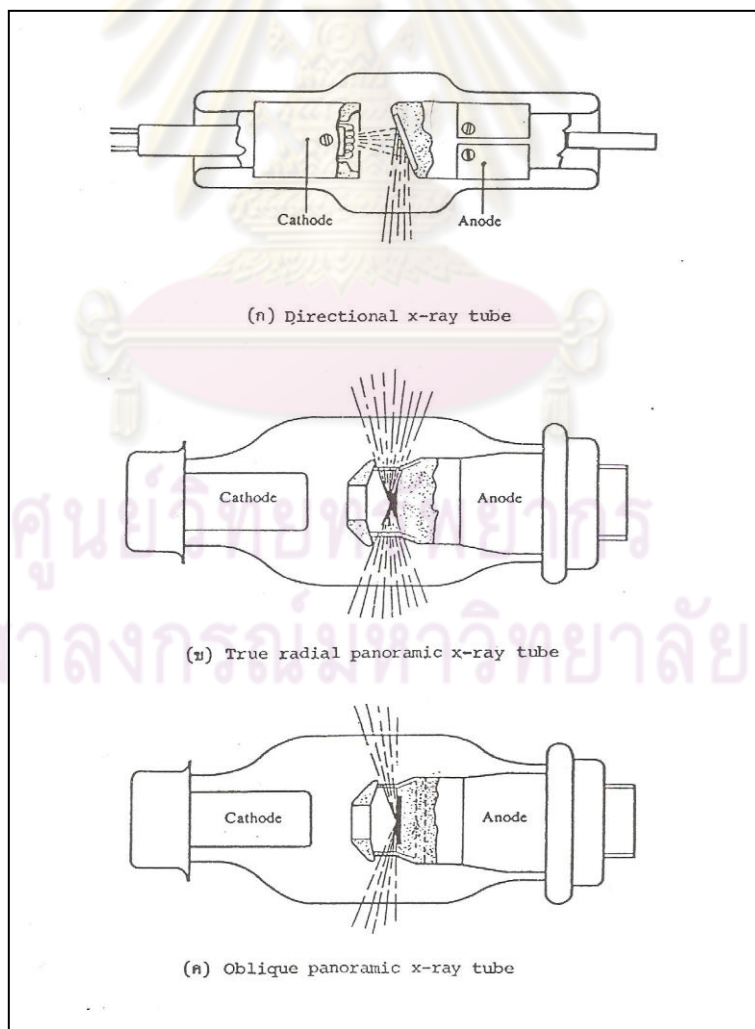
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงหลักการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง

ภายในหลอดรังสีเอกซ์เป็นสุญญากาศ มีขั้วลบ (cathode) เป็นไส้โลหะทังสเตน (tungsten filament) มีลักษณะคล้ายไส้หลอดไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลผ่านจะเกิดความร้อนขึ้น ทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้ทังสเตน ขั้วบวกทำด้วยโลหะบางชนิด เช่น ทองแดง ทังสเตน โรเดียม ฯลฯ ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบมีความต่างศักย์สูงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากขั้วลบจะวิ่งไปยังขั้วบวก เมื่ออิเล็กตรอนชนขั้วบวกอิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ การสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอนในลักษณะนี้ไม่เท่ากันทุกครั้งไป แต่มีพลังงานสูงสุดได้เท่ากับพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน ดังนั้นรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นมีพลังงานต่อเนื่องตั้งแต่ต่ำสุดจนถึงสูงสุด ซึ่งเท่ากับพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน จึงเรียกรังสีเอกซ์ชนิดนี้ว่า “รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (continuous X-ray)” หรือนิยมเรียกตามภาษาเยอรมันว่า “เบรมส์สตราห์ลุง (Bremsstrahlung)” ซึ่งตรงกับภาษาอังกฤษว่า “Braking radiation”

การปรับกระแสที่จ่ายให้กับไส้ทังสเตนเพิ่มขึ้นจะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้ความเข้มรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับกระแส ส่วนการปรับค่าศักดาไฟฟ้าสูงเพิ่มขึ้น

จะทำให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบสูงขึ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นตามไปด้วย พลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องจึงเพิ่มขึ้นตามพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน เช่น เมื่อปรับค่าศักดาไฟฟ้าสูงเท่ากับ 100 กิโลโวลต์ (kilovolt, kV) พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนเท่ากับ 100 keV พลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องจะมีค่าเท่ากับ 100 keV ด้วยการเพิ่มศักดาไฟฟ้านอกจากจะทำให้พลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ในทุกช่วงพลังงานเพิ่มขึ้นด้วย

เนื่องจากการชนของอิเล็กตรอนกับขั้วบวก พลังงานส่วนใหญ่สูญเสียไปในรูปของความร้อนดังนั้นจึงจำเป็นต้องระบายความร้อนจากขั้วบวกของหลอดรังสีเอกซ์ หลอดรังสีเอกซ์กำลังต่ำอาจระบายความร้อนด้วยอากาศได้ แต่สำหรับหลอดรังสีเอกซ์กำลังสูงที่ใช้ถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้น้ำและน้ำมันระบายความร้อน

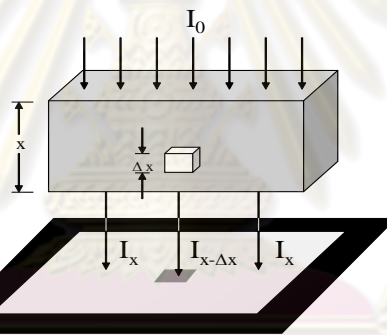


รูปที่ 2.7 ลักษณะของหลอดรังสีเอกซ์บางแบบ

## 2.4 หลักการเกิดภาพถ่ายด้วยรังสี [2]

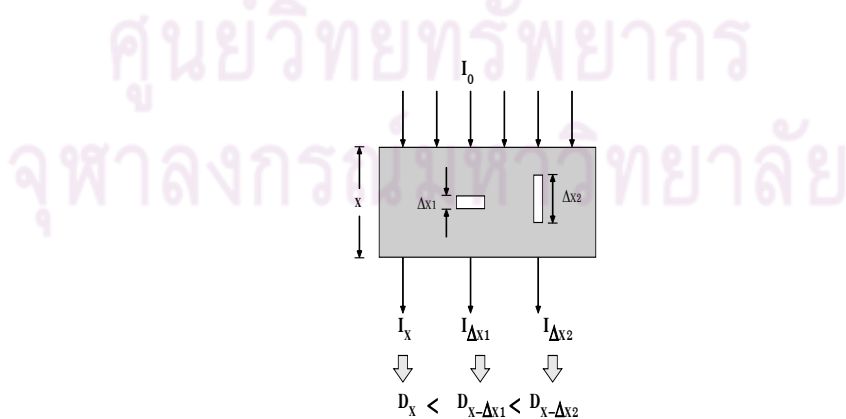
เมื่อพิจารณารูปที่ 2.8 เป็นกรณีที่ชิ้นงานมีโพรงอากาศรูปลูกบาศก์ขนาดความกว้างความยาวและความสูงด้านละ  $\Delta x$  อยู่ภายใน จะเห็นได้ว่าในแนวที่มีโพรงอากาศอยู่มีเนื้อวัสดุน้อยกว่า ดังนั้นปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านจึงมากกว่า ทำให้เห็นภาพของโพรงอากาศเป็นสีเหลี่ยมสีดำบนฟิล์ม สอดคล้องกับตำแหน่งของโพรงอากาศในชิ้นงาน ภาพของโพรงอากาศนี้จะเห็นได้ก็ต่อเมื่อความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านในตำแหน่งที่มีโพรงอากาศ ( $I_{x-\Delta x}$ ) มากกว่าที่ทะลุผ่านในบริเวณที่ไม่มีโพรงอากาศ ( $I_x$ ) พอที่จะทำให้เกิดความแตกต่างของความดำที่มองเห็นได้บนฟิล์ม

จากสมการ (1) ความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านบริเวณที่ไม่มีโพรงอากาศ  $I_x = I_0 \text{ EXP}[-\mu x]$  และ ความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านบริเวณที่มีโพรงอากาศ  $I_{x-\Delta x} = I_0 \text{ EXP}[-\mu(x-\Delta x)]$



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดภาพของโพรงอากาศบนฟิล์ม

ซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งของโพรงอากาศในชิ้นงานและทิศทางของลำรังสี



รูปที่ 2.9 แผนภาพเปรียบเทียบความแตกต่างของความดำ (film density, D)

ที่เกิดขึ้นจากการที่รังสีผ่านบริเวณที่ไม่มีและโพรงอากาศขนาดต่างกัน



$$\text{ดังนั้น } \frac{I_{x-\Delta x}}{I_x} = \frac{\text{EXP}[\mu (x-\Delta x)]}{\text{EXP}[\mu x]} = \text{EXP}[\mu\Delta x]$$

$$\ln \left[ \frac{I_{x-\Delta x}}{I_x} \right] = \mu\Delta x$$

$$2.303 (\log I_{x-\Delta x} - \log I_x) = \mu\Delta x$$

$$\log I_{x-\Delta x} - \log I_x = 0.434 \mu\Delta x$$

ถ้า  $G_D$  คือ เกรเดียนต์ของฟิล์ม (film gradient) หรือความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำของฟิล์มกับลอการิทึม (logarithm) ของค่าเอกซ์โพสิเจอร์สัมพัทธ์ (relative exposure) จะได้

$$G_D [\log I_{x-\Delta x} - \log I_x] = 0.434 \mu\Delta x G_D$$

$$D_{x-\Delta x} - D_x = 0.434 \mu\Delta x G_D$$

$$\Delta D = 0.434 \mu\Delta x G_D \dots\dots\dots (2)$$

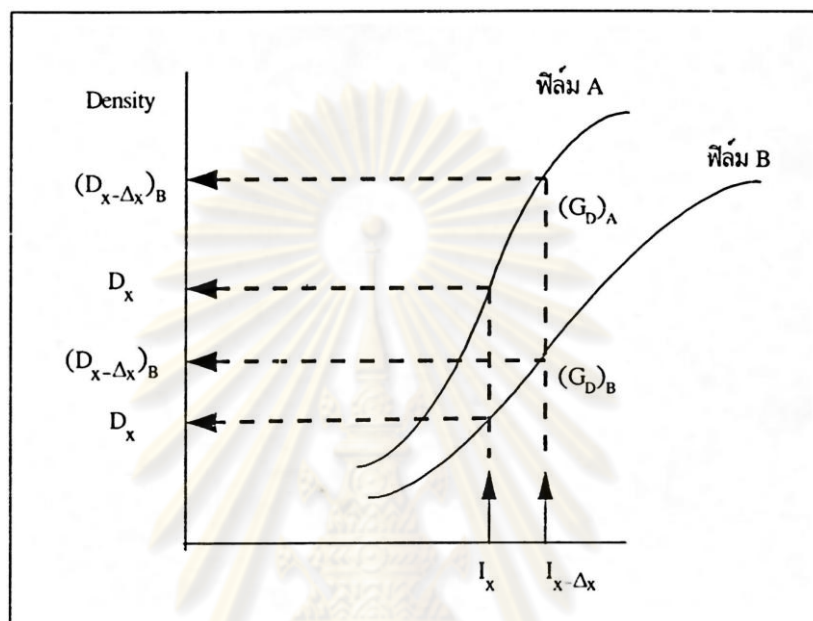
เมื่อ  $\Delta D$  คือ ความแตกต่างของความดำระหว่างบริเวณที่มีและไม่มีโพรงอากาศ ความแตกต่างของความดำระหว่างสองบริเวณนี้ เรียกว่า “ความเปรียบต่าง (contrast)”

จากสมการ (2) สรุปได้ว่า ความแตกต่างของความดำระหว่างบริเวณที่มีและไม่มีโพรงอากาศขึ้นอยู่กับ

(ก)  $\mu$  ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและพลังงานของรังสี ถ้า  $\mu$  มีค่าสูง ค่า  $\Delta D$  จะสูงตาม อนึ่งค่า  $\mu$  มีหน่วยเป็นส่วนกลับของความหนา การแปลงหน่วยระหว่าง  $\mu$  กับ  $x$  สามารถทำได้โดยการคูณหรือหารด้วยความหนาแน่นของวัสดุในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{g/cm}^3$ )

(ข)  $\Delta x$  ความหนาของโพรงอากาศหรือรอยบกพร่องชนิดอื่น ๆ ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของรังสี ถ้า  $\Delta x$  มีค่ามาก  $\Delta D$  จะมีค่าสูง ในรูปที่ 2.9  $D_{x-\Delta x2}$  มากกว่า  $D_{x-\Delta x1}$

(ค)  $G_D$  ได้จากกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์ม (film characteristic curve) ซึ่งขึ้นอยู่กักับชนิดของฟิล์มและช่วงความดำที่ใช้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.10 เมื่อใช้ค่าเอกซโพเชอร์เท่ากันฟิล์ม A จะมีความเปรียบต่างสูงกว่าฟิล์ม B



รูปที่ 2.10 ความเปรียบต่างของบริเวณที่มีกับไม่มีโพรงอากาศเมื่อใช้ฟิล์มที่มี  $G_D$  ต่างกัน

จากตัวอย่างข้างต้นเป็นกรณีที่รอยบกพร่องเป็นโพรงอากาศ ทำให้ความเข้มรังสีบริเวณที่ผ่านโพรงอากาศมีค่ามากกว่าบริเวณที่ไม่มีโพรงอากาศ ในบางกรณีมีธาตุหนักปะปนอยู่ในธาตุเบา ความเข้มรังสีที่ผ่านบริเวณธาตุหนักจะน้อยกว่าที่ผ่านบริเวณธาตุเบา (เทียบได้จากตารางที่ 1) อย่างไรก็ตามหลักการเกิดภาพและความเปรียบต่างเหมือนกันทุกประการ

นอกจาก  $\mu$ ,  $\Delta x$  และ  $G_D$  มีผลต่อความเปรียบต่างที่จะได้ในการถ่ายภาพเพื่อตรวจหารอยบกพร่องตามสมการ (2) แล้ว ในทางปฏิบัติยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความเปรียบต่างที่จะได้ นั่นคือ ขนาดของต้นกำเนิดรังสี การจัดต้นกำเนิดรังสี/ชิ้นงาน/ฟิล์ม ชนิดของฟิล์ม การกระเจิงของรังสี และการใช้ฉากเพิ่มความเข้ม (intensifying screen)

## 2.5 ชนิดของฟิล์ม

ฟิล์มที่ใช้งานทางด้านถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกได้ 4 กลุ่ม ตามขนาดแผ่นเงินโบรไมด์และความเร็วของฟิล์ม (film speed) ได้ดังนี้

ก. फिल्मเม็ดละเอียดมาก (Ultra Fine Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของเงินโบรไมด์ละเอียดมาก จึงให้ภาพที่มีรายละเอียดดีมาก มีความเร็วช้ามาก (very slow speed) จึงต้องใช้เวลากำหนดภาพนาน

ข. फिल्मเม็ดละเอียด (Fine Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของเงินโบรไมด์ละเอียดให้รายละเอียดได้ดี มีความเร็วช้า (slow speed)

ค. फिल्मเม็ดปานกลาง (Medium Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของเงินโบรไมด์ขนาดปานกลาง มีความเร็วปานกลาง (medium speed)

ง. फिल्मเม็ดหยาบ (Coarse Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของเงินโบรไมด์หยาบ มีความเร็วสูง (high speed) จึงใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อย แต่ให้รายละเอียดไม่ดีเท่าฟิล์มทั้งสามชนิดที่กล่าวมา



รูปที่ 2.11 फिल्मเม็ดหยาบและเม็ดละเอียดเมื่อถูกรังสี (สีดำ) และก่อนถูกรังสี (สีขาว)

การแบ่งฟิล์มออกเป็นกลุ่ม ๆ ข้างต้น เป็นเพียงการแบ่งเพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงความแตกต่างของฟิล์มคร่าว ๆ ที่จริงแล้วผู้ที่ผลิตฟิล์มก็มีการแบ่งกลุ่มของฟิล์มออกตามแบบคล้าย ๆ กัน แต่อาจมีการแบ่งย่อยออกไปมากกว่านี้อีก

การเลือกใช้ฟิล์มในงานทั่ว ๆ ไป ถ้าเป็นงานที่ไม่ต้องการรายละเอียดที่มากมายนัก เราก็มักจะเลือกใช้ฟิล์มที่มีความเร็วสูงไว้ก่อนเพื่อประหยัดเวลา แต่สำหรับงานที่ต้องการรายละเอียดมาก อย่างเช่น การตรวจดูรอยแตกที่เล็กมาก จึงจำเป็นต้องใช้ฟิล์มที่มีเม็ดละเอียดมาก ซึ่งต้องใช้เวลาในการถ่ายภาพนานกว่ามาก เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบความแตกต่างเกี่ยวกับ

ความเร็วของฟิล์มแต่ละชนิดในการถ่ายภาพ จึงขอยกตัวอย่างฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรมของผู้ผลิตบางราย ในตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.2 ฟิล์มถ่ายภาพในงานอุตสาหกรรมของโกดัก (Kodak Industrex)

ชนิดของฟิล์ม	ความเร็วเปรียบเทียบ (Relative Speed)		
	ที่พลังงาน 80 keV (ไม่ใช้ฉาก)	ที่พลังงาน 200 keV (ใช้ฉากตะกั่ว)	ที่พลังงานสูงกว่า 1 MeV (ใช้ฉากตะกั่ว)
Type R (Single-Coated)	7	6	3
Type R	10	9	6
Type M	35	30	20
Type T	60	50	40
Type AA	100	100	100
*Royal Blue Medical Films	150	170	240
*No-Screen Medical Films	560	440	520

\*เป็นฟิล์มที่ใช้ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ทางการแพทย์

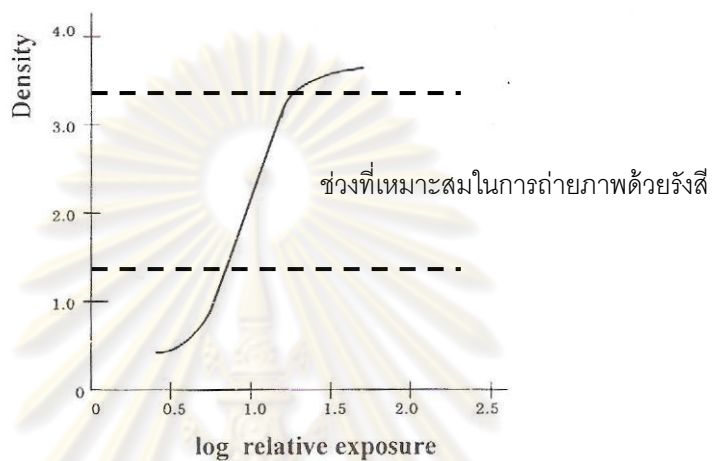
ตารางที่ 2.3 ฟิล์มถ่ายภาพในงานอุตสาหกรรมของอิก้า (Agfa Structurix)

ชนิดของฟิล์ม	ค่าเอกซโพเชอร์แฟกเตอร์เปรียบเทียบ (Relative Exposure Factor)			
	ที่พลังงาน 100 keV (ไม่ใช้ฉาก)	ที่พลังงาน 200 keV (ใช้ฉากตะกั่ว)	สำหรับ Ir-192 (ใช้ฉากตะกั่ว)	สำหรับ Co-60 (ใช้ฉากตะกั่ว)
D2	10.60	8.70	9.70	10.00
D3	4.10	4.20	4.25	5.00
D4	3.15	2.60	2.65	2.85
D5	1.80	1.60	1.60	1.60
D7	1.00	1.00	1.00	1.00
D8	0.70	0.70	0.65	0.60
RCF	0.08 – 0.20 (ใช้กับ Fluorometallic Intensifying Screen)			

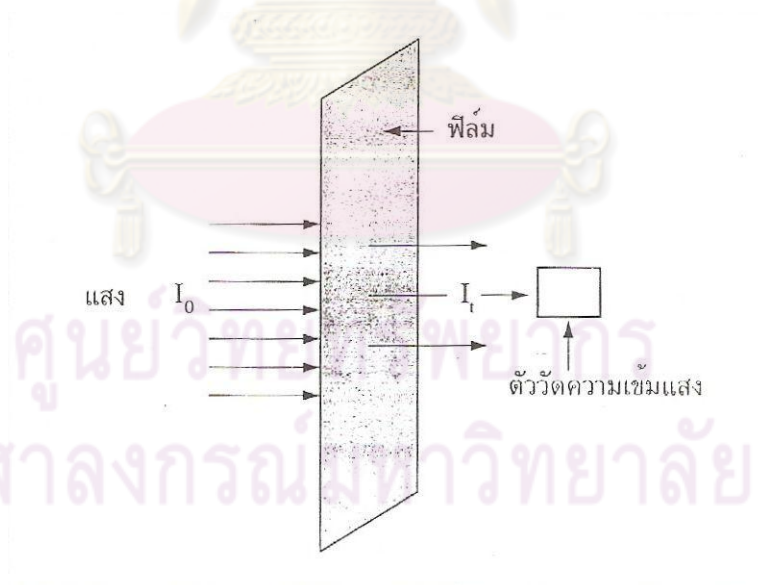
## 2.6 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม (Film Characteristic Curve)

กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม มักเรียกว่า “H & D curve” ซึ่งย่อมาจาก “Hurter & Driffeld curve” เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์ม (film density) กับลอการิทึม (logarithm) ของค่า “รีเลทีฟ เอกซโพเชอร์ (relative exposure)” ความดำ

ของฟิล์มเป็นค่าที่วัดได้โดยการส่องแสงผ่านฟิล์ม แล้วหาอัตราส่วนของความเข้มแสงก่อนผ่านฟิล์ม แต่ความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านฟิล์ม ในเทอมของค่าลอการิทึม เครื่องวัดความดำของฟิล์ม เรียกว่า “เดนซิโตมิเตอร์ (densitometer)”



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม



รูปที่ 2.13 แสดงหลักการวัดความดำของฟิล์ม

ถ้าให้  $I_0$  เป็นความเข้มของแสงเมื่อไม่มีฟิล์ม  
 $I_t$  เป็นความเข้มของแสงเมื่อมีฟิล์ม  
 $D$  เป็นค่าความดำของฟิล์ม

$$\text{จะได้ว่า } D = \log \frac{I_0}{I_t} \dots\dots\dots (3)$$

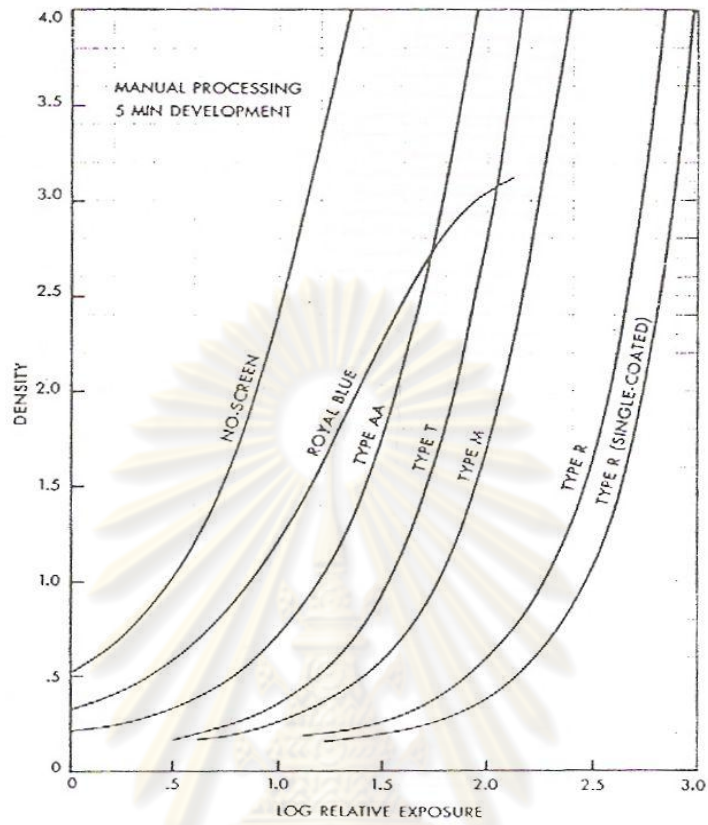
ในแกนนอนของกราฟในรูปที่ 2.12 เป็นค่าล็อกของรีเลทีฟเอกซ์โพเซอ์ คำว่า “เอกซ์โพเซอ์” หมายถึง ค่าผลคูณของ “ค่าที่ควบคุมความเข้มรังสี” กับ “เวลาในการถ่ายภาพ (exposure time)” ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ค่ากระแส (ในเทอมของมิลลิแอมแปร์, mA) เป็นค่าที่ควบคุมความเข้มรังสีเอกซ์ ดังนั้น ค่าเอกซ์โพเซอ์ จึงมีหน่วยเป็น “มิลลิแอมแปร์-นาที (milliamperere-minute, mA-min)” หรือ “มิลลิแอมแปร์-วินาที (milliamperere-second, mA-sec)” เป็นต้น สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา ค่าความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีแกมมาเป็นตัวควบคุมความเข้มรังสี ดังนั้น ค่าเอกซ์โพเซอ์จึงมีหน่วยเป็น “คูรี-นาที (curie-minute, Ci-min)” หรือ “คูรี-วินาที (curie-second, Ci-sec)”

ถ้า  $E$  เป็นค่าเอกซ์โพเซอ์  
 $I$  เป็นค่ากระแสของหลอดรังสีเอกซ์หรือความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีแกมมา  
 $t$  เป็นเวลาในการถ่ายภาพ

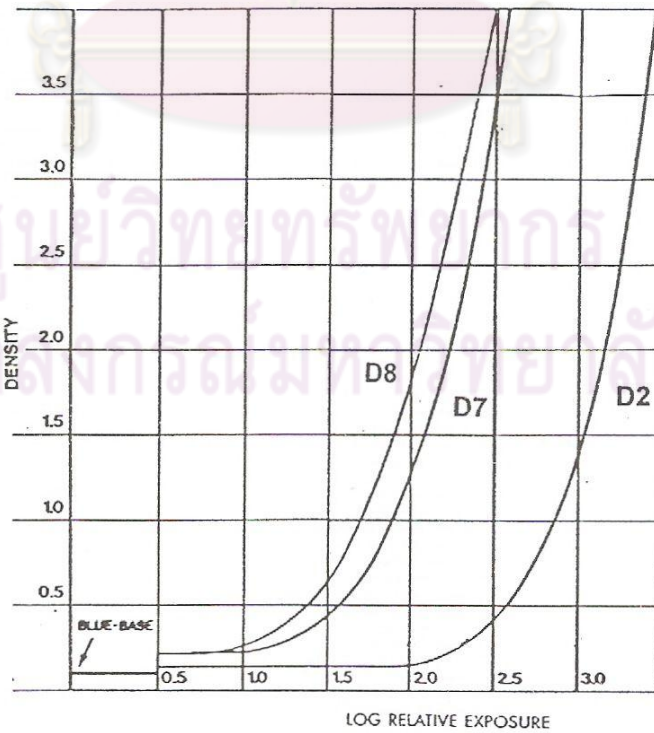
$$\text{จะได้ } E = It \dots\dots\dots (4)$$

สังเกตในการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมานั้น ความเข้มรังสีขึ้นอยู่กับความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสี ซึ่งไม่สามารถปรับได้

เนื่องจากค่าเอกซ์โพเซอ์ของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์กับรังสีแกมมา มีหน่วยต่างกัน ดังนั้นในแกนนอนของกราฟ คุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม ตามรูปที่ 2.12 จึงใช้ค่า “รีเลทีฟเอกซ์โพเซอ์” ซึ่งเป็นค่าเปรียบเทียบของค่าเอกซ์โพเซอ์ ทั้งนี้ก็เพื่อตัดปัญหาเรื่องหน่วยไม่เหมือนกันออกไปได้



รูปที่ 2.14 กราฟคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มโกดัก



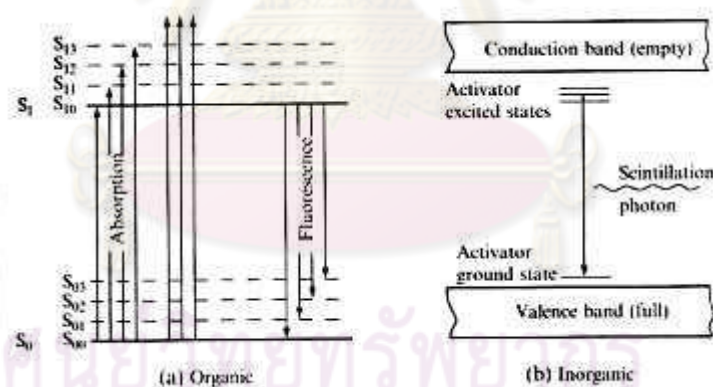
รูปที่ 2.15 กราฟคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มอีกฟ้างชนิด

## 2.7 ฉากรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescent Screen) [4]

สารเรืองรังสีเอกซ์ ทำหน้าที่เปลี่ยนความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ไปเป็นความยาวคลื่นอื่น ๆ ตามชนิดของสารเรืองรังสีเอกซ์ โดยทั่วไปคุณสมบัติของสารเรืองรังสีที่ดีนั้นจำเป็นที่จะต้องมีความยาวคลื่นดังนี้

- ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์ไปเป็นพลังงานอีกค่าหนึ่งที่อุปกรณ์วัดสามารถที่จะวัดได้อย่างครอบคลุมและเหมาะสม
- ความสามารถของสารเรืองรังสีจะต้องตอบสนองต่อพลังงานของรังสีในช่วงพลังงานที่กว้าง
- เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นนั้นจะต้องสั้น

สารเรืองรังสีสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ สารเรืองรังสีประเภทอินทรีย์ (Organic Fluorescent Screen) กับ สารเรืองรังสีประเภทอนินทรีย์ (Inorganic Fluorescent Screen) ซึ่งมีคุณสมบัติและหลักการทำงานของสารเรืองรังสีแต่ละประเภทดังต่อไปนี้ [5]



รูปที่ 2.16 แสดงหลักการทำงานของสารเรืองรังสีเอกซ์

(a) Organic กับ (b) Inorganic

(1) สารเรืองรังสีประเภทอินทรีย์ สารเรืองรังสีประเภทนี้จะประกอบด้วยโมเลกุลของสารอินทรีย์ เมื่อโฟตอนของรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับ โมเลกุลของสารเรืองรังสีก็จะถูกกระตุ้นจากสถานะพื้น (Ground state) ไปสู่สถานะกระตุ้น (Excited state) เพราะฉะนั้นเมื่อโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นได้กลับลงมายังสถานะพื้นก็จะต้องปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมา โดยพลังงานที่ปล่อยออกมาอยู่ในรูปโฟตอนของแสง แสดงตามรูปที่ 2.16 (a)



(2) สารเรืองรังสีประเภทอนินทรีย์ สารเรืองรังสีประเภทนี้จะอาศัยการกระตุ้นอิเล็กตรอนที่ขึ้นวาเลนซ์แบน (Valence band) ไปยังชั้นคอนดักชันแบน (Conduction band) โดยโฟตอนของรังสีเอกซ์ และเมื่ออิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นนั้นกลับลงมายังชั้นวาเลนซ์แบน ก็จะต้องปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนของแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (b)

ในช่วงตอนกลางของทศวรรษที่ 70 ได้ใช้สารเรืองรังสีชนิดแคลเซียมทังสเตท (Calcium tungstate,  $\text{CaWO}_4$ ) ซึ่งสารเรืองรังสีชนิดแคลเซียมทังสเตทเมื่อถูกกระตุ้นรังสีเอกซ์แล้วจะปลดปล่อยแสงในช่วงระหว่างสีน้ำเงินออกมา แต่ในปัจจุบันได้ใช้สารเรืองรังสีชนิดที่มีส่วนประกอบเป็นธาตุหายาก จำพวกแกโดลิเนียม (Gd) และแลนทานัม (La) เป็นต้น ซึ่งเหตุผลหนึ่งที่ใช้สารเรืองรังสีชนิดที่ทำจากธาตุหายากเข้ามาทดแทนสารเรืองรังสีชนิดแคลเซียมทังสเตท เพราะสารเรืองรังสีชนิดที่ทำจากธาตุหายากมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นแสง (high conversion efficiency) สูงกว่า

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นแสงของฉากรังสีชนิดแคลเซียมทังสเตทและธาตุหายาก เมื่อให้ปริมาณรังสีเอกซ์ที่เท่ากัน ฉากรังสีชนิดที่ทำจากธาตุหายากจะให้แสงเปล่งออกมามากกว่าฉากรังสีชนิดแคลเซียมทังสเตท เพราะรังสีเอกซ์ที่ถูกดูดกลืนไว้สามารถเปลี่ยนไปเป็นแสงได้มากกว่า ยิ่งกว่านั้นสารเรืองรังสีชนิดที่ทำจากธาตุหายากยังสามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์ไว้ได้มากกว่าสารเรืองรังสีชนิดแคลเซียมทังสเตท ดังในตารางที่ 2.4

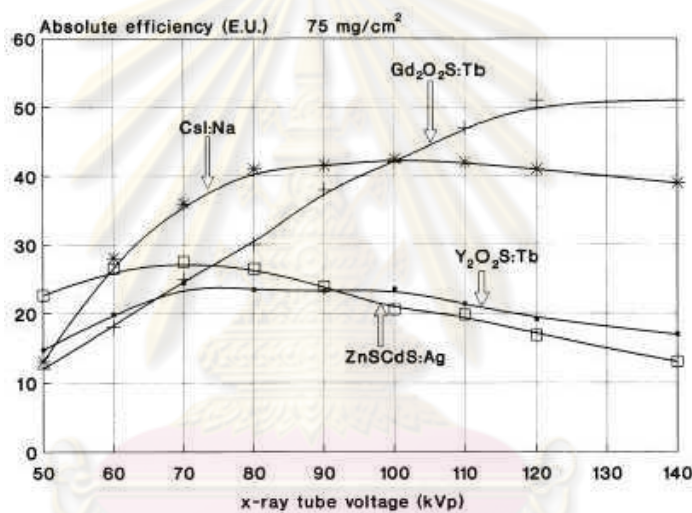
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นแสงของสารเรืองรังสีชนิด แคลเซียมทังสเตทกับสารเรืองรังสีชนิดแกโดลิเนียมออกซีสัลไฟด์ [6]

	Calcium tungstate	Gadolinium oxysulfide
Absorption (%)	40	60
Conversion (%)	5	20
Spectral emission peak (nm)	420	545

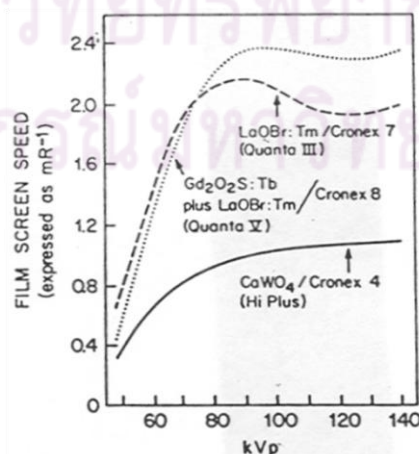
สำหรับสารเรืองรังสีจากธาตุหายากนั้น ในการประยุกต์ใช้งานของสารเรืองรังสีในงานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของสารเรืองรังสีแต่ละประเภท สำหรับตัวอย่างสารเรืองรังสีเอกซ์ที่ใช้งานในปัจจุบัน เช่น  $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{:Tb}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{:Tb}$ ,  $\text{ZnSCdS:Ag}$ ,

$\text{La}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ ,  $\text{CaI:Na}$  เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานั้นมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ในทางปฏิบัติการเลือกใช้สารเรืองรังสีจะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ช่วงพลังงานของรังสีที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพ ซึ่งพลังงานของรังสีเอกซ์เป็นตัวแปรสำคัญของข้อจำกัดสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ เพราะพลังงานของรังสีเอกซ์จะเป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการทะลุผ่านวัตถุแต่ละชนิด โดยความหนาของวัตถุที่รังสีเอกซ์ทะลุผ่านได้นั้นจะขึ้นอยู่กับธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการเลือกสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิดจะต้องเลือกที่ตอบสนองต่อช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ เนื่องจากว่าสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิดจะตอบสนองต่อพลังงานของรังสีเอกซ์ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.17

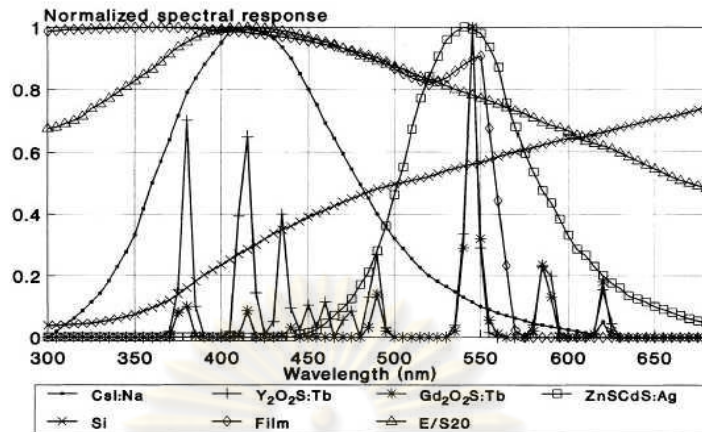


รูปที่ 2.17 กราฟแสดงประสิทธิภาพการเกิดแสงจากรังสีเอกซ์ของสารเรืองรังสีแต่ละชนิดที่พลังงานรังสีเอกซ์ต่าง ๆ กัน [7]



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงการตอบสนองที่พลังงานต่าง ๆ ของฉากเรืองรังสีประกบกับฟิล์มชนิดต่าง ๆ

(ข้อมูลจาก E.I. du Pont de Nemours & Company, Inc.)



รูป 2.19 กราฟแสดงความยาวคลื่นของแสงที่ได้จากสารเรืองรังสีแต่ละชนิด และช่วงความยาวคลื่นที่ตอบสนองของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด [7]

กราฟจากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่าสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแกโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ที่กระตุ้นด้วยเทอเบียม หรือเรียกว่าฉากรังสีชนิดแกโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (Gadolinium oxysulfide ;  $Gd_2O_2S:Tb$ ) ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิดอื่น ๆ ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 100 กิโลโวลต์ขึ้นไป แต่ถ้าศักดาไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วง 58 - 100 กิโลโวลต์ ประสิทธิภาพการตอบสนองของสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิด CsI:Na จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิดอื่น ๆ และที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดต่ำกว่า 58 กิโลโวลต์ สารเรืองรังสีชนิด ZnSCdS:Ag ให้ประสิทธิภาพดีกว่าสารเรืองรังสีชนิดอื่น ๆ และจากกราฟที่ 2.18 ได้แสดงให้เห็นว่าฉากรังสีแกโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์มีการตอบสนองที่พลังงานต่าง ๆ ได้ดีกว่าสารเรืองรังสีชนิดแคลเซียมทังสเตทและแลนทานัมออกซีโบรไมด์

(2) ความยาวคลื่นของแสงที่ได้จากสารเรืองรังสีเอกซ์ โดยสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิดจะให้แสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ดังนั้นในการเลือกใช้สารเรืองรังสีจำเป็นจะต้องพิจารณาเลือกความยาวคลื่นให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ตรวจจับแสงที่นำมาใช้

(3) ขนาดของอนุภาคของสารเรืองรังสีเอกซ์ (Particle size of x-rays scintillator) โดยขนาดของอนุภาคภายในของสารเรืองรังสีเอกซ์จะส่งผลถึงความคมชัดของภาพที่ได้จากระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ กล่าวคือถ้าเลือกสารเรืองรังสีชนิดที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ จะได้ภาพที่มีความละเอียดของภาพน้อยกว่าการใช้สารเรืองรังสีที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่า

## 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย

การถ่ายภาพด้วยรังสีมีจุดประสงค์ที่จะตรวจสอบลักษณะภายในของวัสดุโดยการดูจาก “ภาพถ่ายด้วยรังสี (radiograph)” ที่ได้ ภาพถ่ายที่ดีจะทำให้ความไว (sensitivity) สูงในการตรวจหารอยบกพร่องขนาดเล็ก ภาพถ่ายที่ดีควรมีคุณสมบัติ 4 ประการเช่นเดียวกับการถ่ายภาพทั่วไป คือ

ก. มีความคมชัด (sharpness definition) หมายความว่า ภาพต้องมีส่วนของขอบภาพที่มืดหรือไม่คมชัด (penumbra) น้อยที่สุด

ข. มีความเปรียบต่าง หรือ คอนทราสต์สูง (high contrast) หมายความว่า มีความแตกต่างของระดับความดำบนพื้นที่ต่าง ๆ ของฟิล์มสูง

ค. มีความดำพอเหมาะ (adequate density) หมายความว่า ภาพต้องไม่ดำหรือจางเกินไป ความดำเฉลี่ยของภาพถ่ายทั่วไปอยู่ในช่วงประมาณ 1.0 ถึง 2.5

ง. มีความบิดเบือนน้อยที่สุด (minimum distortion) หมายความว่า ภาพที่ได้จะต้องมีรูปร่างลักษณะที่เหมือนชิ้นงานจริงหรือใกล้เคียงที่สุด ไม่บิดเบือนไปจากรูปร่างที่แท้จริง

ปัจจัย (factor) ที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา สามารถแยกเป็นข้อ ๆ และสรุปได้ดังตารางที่ 2.5 ดังนี้

ตารางที่ 2.5 สรุปปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย [2]

ปัจจัย	ผลที่มีต่อภาพถ่าย/การถ่ายภาพ
1. การจัดต้นกำเนิดรังสี ชิ้นงาน และฟิล์ม - ระยะต้นกำเนิดถึงชิ้นงาน - ระยะชิ้นงานถึงฟิล์ม - แนวกึ่งกลางลำรังสีตั้งฉากกับชิ้นงานและฟิล์ม	ความคมชัดและเวลาในการถ่ายภาพ ความคมชัดและเวลาในการถ่ายภาพ ความบิดเบือน
2. ต้นกำเนิดรังสี - พลังงานของรังสี - ค่ากระแสของหลอดรังสีเอกซ์ - ขนาดของต้นกำเนิดรังสี	ความเปรียบต่างและความคมชัด เวลาในการถ่ายภาพ ความคมชัด

ปัจจัย	ผลที่มีต่อภาพถ่าย/การถ่ายภาพ
<p>3. ชีงงาน</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความหนา</li> <li>- ความกว้าง</li> <li>- ความแตกต่างของความหนาและความหนาแน่น</li> <li>- ส่วนประกอบ</li> <li>- ความซับซ้อนของโครงสร้าง</li> </ul>	<p>ความคมชัดและเวลาในการถ่ายภาพ</p> <p>ความสม่ำเสมอของความดำ</p> <p>ความเปรียบเทียบ</p> <p>ความคมชัด เวลาในการถ่ายภาพ และความเปรียบเทียบ</p> <p>ความคมชัด ความเปรียบเทียบ และความยากง่ายในการแปรผล</p>
<p>4. फिल्म</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเร็ว</li> <li>- ความเปรียบเทียบของฟิล์ม</li> <li>- กระบวนการล้างฟิล์ม</li> </ul>	<p>ความคมชัด และเวลาในการถ่ายภาพ</p> <p>ความเปรียบเทียบ</p> <p>ความเปรียบเทียบ</p>
<p>5. การกระเจิงของรังสี</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- กระเจิงภายใน</li> <li>- กระเจิงด้านข้าง</li> <li>- กระเจิงกลับ</li> </ul>	<p>ความคมชัด และความเปรียบเทียบ</p> <p>ความคมชัด และความเปรียบเทียบ</p> <p>ความคมชัด และความเปรียบเทียบ</p>
<p>6. ฉากเรื่องรังสี</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ชนิดของฉาก</li> <li>- ความหนาของฉาก</li> <li>- ความสะอาดของผิว</li> <li>- ความแนบสนิทระหว่างฉากกับฟิล์ม</li> </ul>	<p>ความคมชัด ความเปรียบเทียบ และเวลาในการถ่ายภาพ</p> <p>ความคมชัด</p> <p>ความสม่ำเสมอของความดำ</p> <p>ความคมชัด ความสม่ำเสมอของความดำ และความบิดเบือน</p>

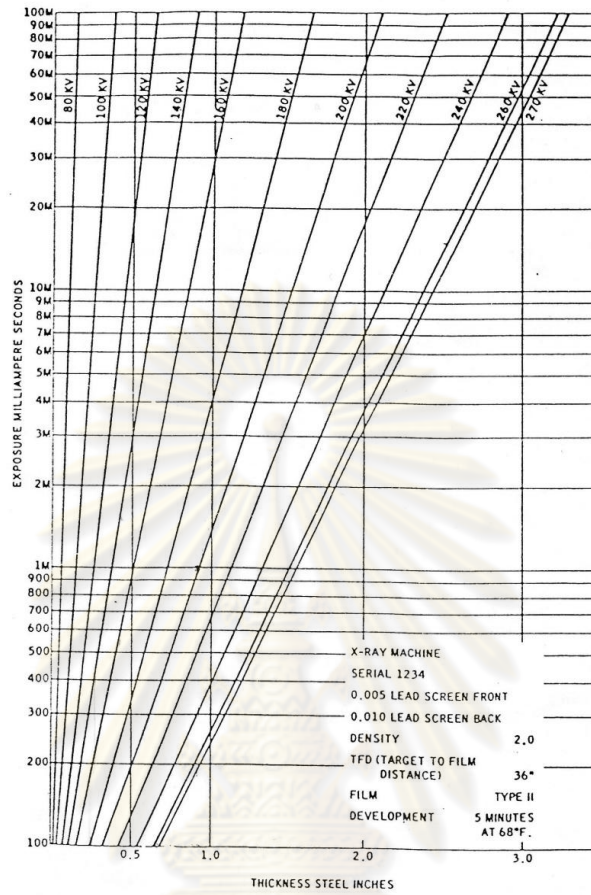
## 2.9 วิธีการปฏิบัติในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ [2]

วิธีปฏิบัติในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ผู้ปฏิบัติจะต้องคำนวณหาค่าเอกซ์โพเซออร์ที่เหมาะสมสำหรับชนิดของวัสดุและความหนาของชิ้นงาน ระยะระหว่างจุดโฟกัสถึงฟิล์ม (focus-to-film distance ; FFD) ชนิดของฟิล์มที่ใช้ และพลังงานของรังสีเอกซ์ โดยทั่วไปสามารถหาค่าเอกซ์โพเซออร์ได้จากกราฟเอกซ์โพเซออร์ (exposure curve) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.20 ซึ่งเป็นกราฟเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาของชิ้นงาน เมื่อเทียบกับเหล็ก (steel equivalent thickness ; SET) ในแกนนอนกับค่าเอกซ์โพเซออร์ ในหน่วย มิลลิแอมแปร์-วินาที หรือ มิลลิแอมแปร์-วินาที ในแกนตั้ง (สเกลลอการิทึม) เนื่องจากกราฟเอกซ์โพเซออร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะระหว่างจุดโฟกัสถึงฟิล์ม ชนิดของฟิล์มที่ใช้ กระบวนการล้างฟิล์ม ชนิดของฉากเพิ่มความเข้มรังสี พลังงานของรังสีเอกซ์และความดำที่ต้องการ ดังนั้นในกราฟเอกซ์โพเซออร์จะระบุเงื่อนไขต่าง ๆ ไว้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถคำนวณปรับเปลี่ยนไปตามที่ใช้งานจริง โดยไม่ต้องทำการปรับเทียบใหม่

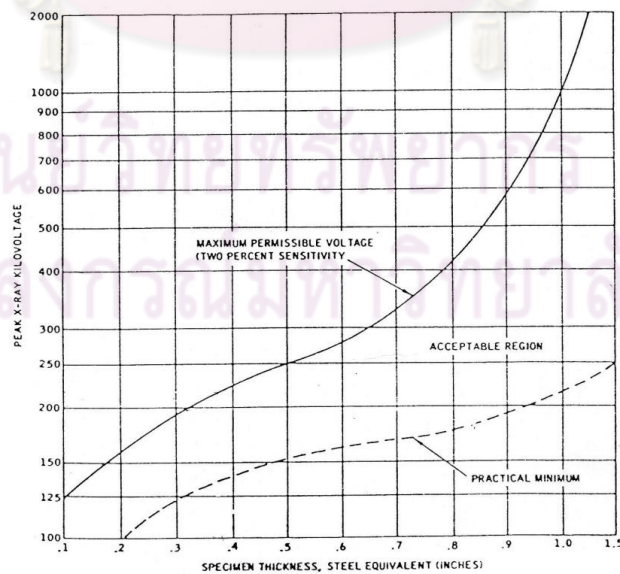
กราฟเอกซ์โพเซออร์ของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จะมีหลายเส้นเนื่องจากเราสามารถปรับเปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์ได้โดยการปรับค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดแต่ละเส้นใช้สำหรับการถ่ายภาพที่พลังงานค่าหนึ่งเท่านั้น เช่น ถ้าต้องการถ่ายภาพเหล็กหนา 1 นิ้ว จากกราฟรูปที่ 2.20 จะได้ค่าเอกซ์โพเซออร์หลายค่า ดังนี้

- ที่ 270 kVp	ค่าเอกซ์โพเซออร์ =	220 mA-sec.
- ที่ 260 kVp	ค่าเอกซ์โพเซออร์ =	250 mA-sec.
- ที่ 240 kVp	ค่าเอกซ์โพเซออร์ =	400 mA-sec.
- ที่ 220 kVp	ค่าเอกซ์โพเซออร์ =	670 mA-sec.
- ที่ 200 kVp	ค่าเอกซ์โพเซออร์ =	1,200 mA-sec.
- ที่ 180 kVp	ค่าเอกซ์โพเซออร์ =	4,000 mA-sec.
- ที่ 160 kVp	ค่าเอกซ์โพเซออร์ =	30,000 mA-sec.

จะเห็นว่าที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดสูงกว่าจะใช้ค่าเอกซ์โพเซออร์น้อยกว่า แต่ต้องระลึกเสมอว่า การใช้ค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุด ต่ำย่อมจะให้ค่าเปรียบต่างที่ดีกว่า อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ด้วย แต่เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 2.21 แล้ว จะเห็นว่า ถ้าใช้ค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 1,000 กิโลโวลต์ สำหรับเหล็กหนา 1 นิ้ว สามารถให้ความไวอยู่ในช่วงไม่เกิน 2 %



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างกราฟเอกซโพเชอร์โพเซอรัของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.21 ค่าพลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์ที่ให้ความไวในการหารอยบกพร่องไม่เกิน 2% ของความหนาชิ้นงาน

ในกรณีที่ชิ้นงานที่เป็นโลหะชนิดอื่น สามารถเทียบไปเป็นความหนาของเหล็กได้ โดยใช้ค่าจากตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าความหนาแน่นของโลหะชนิดต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเหล็ก (radiographic equivalent factor)

	X-RAYS kV							GAMMA RAYS		
	50	100	150	220	400	1000	2000	Ir-192	Cs-137	Co-60
MAGNESIUM	0.6	0.6	0.05	0.08				0.22	0.22	0.22
ALUMINUM	1.0	1.0	0.12	0.18				0.34	0.34	0.34
TITANIUM		8.0	0.63	0.71	0.71	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
STEEL		12.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
COPPER		18.0	1.6	1.4	1.4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
ZINC			1.4	1.3	1.3	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0
BRASS			1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
LEAD			14.0	12.0		5.0	2.5	4.0	3.2	2.3

การสร้างกราฟเอกซโพเชอร์ของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์นั้น สามารถทำได้ ทำนองเดียวกันกับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาที่กล่าวมาแล้วตามขั้นตอนต่อไปนี้ คือ

ก. ถ่ายภาพเหล็กขั้นบันได (Step wedge) ที่ค่าเอกซโพเชอร์และความต่างศักย์ต่าง ๆ กันอย่างน้อย 3 ค่า เช่น เลือกถ่ายที่ศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 120 , 140 , 160 และ 180 กิโลโวลต์ โดยใช้ค่าเอกซโพเชอร์ 3 ค่า คือ 5, 20 และ 100 มิลลิแอมแปร์-นาที่

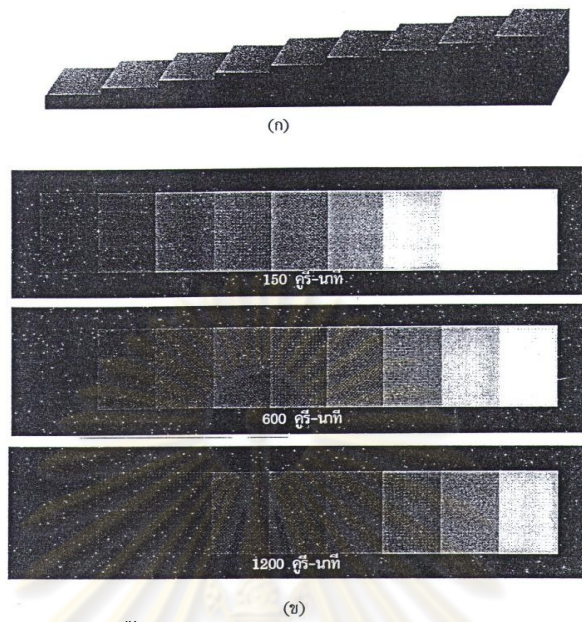
ข. วัดความดำของฟิล์มทุกค่าความหนาของเหล็กขั้นบันได (ดังรูปที่ 2.22)

ค. เขียนกราฟระหว่างความดำกับความหนาของเหล็ก (ดังแสดงในรูปที่ 2.23)

ง. ลากเส้นจากค่าความดำมาตรฐานที่ใช้ (ในที่นี้ใช้ 2.0) ไปตัดเส้นกราฟ แล้วอ่านค่าความหนาของเหล็กในแกนนอน

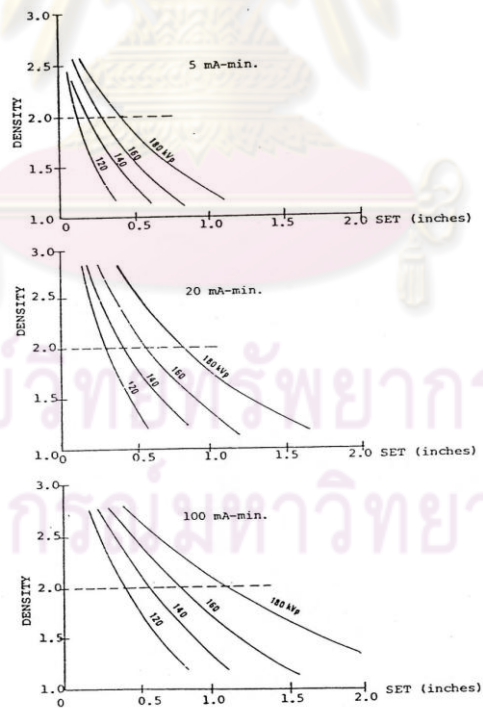
จ. เขียนกราฟเอกซโพเชอร์ของแต่ละพลังงาน จากความหนาที่ได้จากข้อ ง. กับค่าเอกซโพเชอร์โดยให้ค่าเอกซโพเชอร์อยู่ในแกนตั้ง ซึ่งเป็นสเกลลอการิทึม และค่าความหนาอยู่ในแกนนอน ซึ่งเป็นสเกลธรรมดา ดังในรูปที่ 2.24



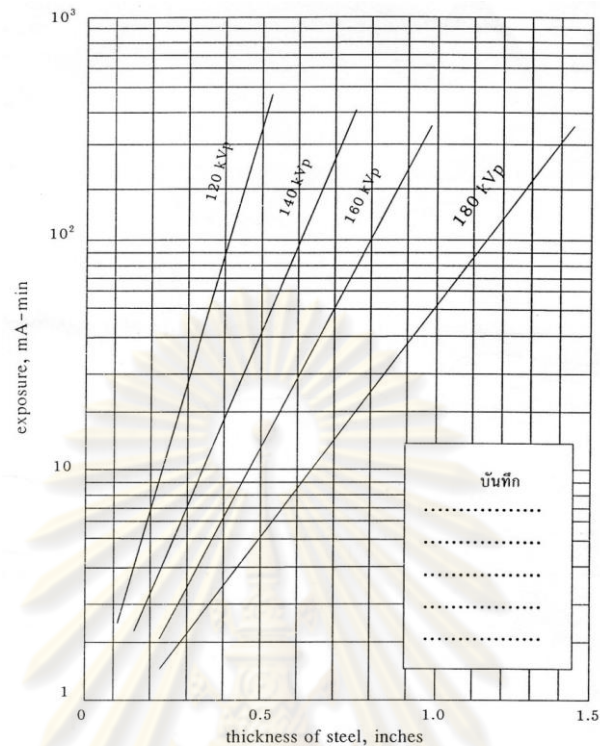


รูปที่ 2.22 (ก) เหล็กชั้นบันได

(ข) ภาพถ่ายของเหล็กชั้นบันไดที่ค่าเอกซโพเชอร์ต่างกัน ๆ กัน



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดำกับความหนาของเหล็กที่ค่าเอกซโพเชอร์และพลังงานรังสีเอกซ์ต่าง ๆ



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างการสร้างกราฟเอกซโพเชอร์ของรังสีเอกซ์

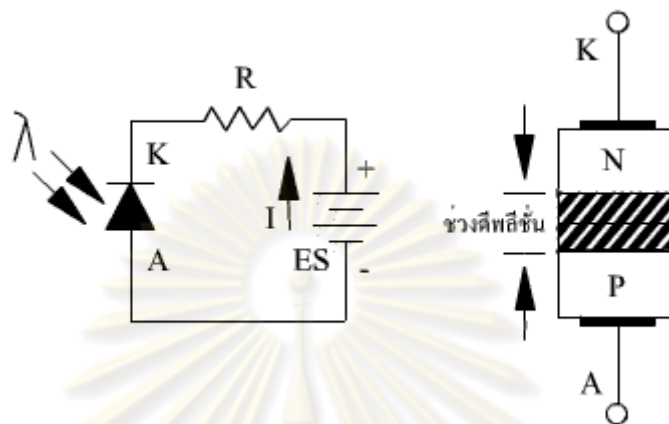
นอกจากการคำนวณและการใช้กราฟเอกซโพเชอร์แล้ว ยังสามารถใช้อุปกรณ์สำเร็จรูป ที่ทางผู้ผลิตทำขึ้นได้ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน อย่างไรก็ตาม เมื่ออายุการใช้งานของเครื่องมือมากขึ้น อุปกรณ์สำเร็จรูปนั้นอาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

## 2.10 โฟโตไดโอด (Photodiode) [8][9]

โฟโตไดโอด เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระดาษ โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด ในการใช้งานจะต้องต่อโฟโตไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ (Reverse Bias)

โฟโตไดโอด จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตไดโอดได้รับไบอัสกลับ ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อจะมีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจร จะ

แปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ ลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดาคือยอมให้กระแสไหลผ่านได้



รูปที่ 2.25 แสดงสัญลักษณ์ และการไบอัสใช้งาน

โฟโตไดโอดเมื่อเทียบกับตัวต้านทานที่แปรค่าตามแสง (Light dependent resistor : LDR) แล้วโฟโตไดโอดมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเร็วกว่าตัวต้านทานที่แปรค่าตามแสงมาก จึงนิยมนำไปประยุกต์งานในวงจรที่ต้องการความเร็วสูง เช่น เครื่องนับสิ่งของ, ตัวรับรีโมทคอนโทรล, วงจรกันขโมยอินฟราเรด เป็นต้น

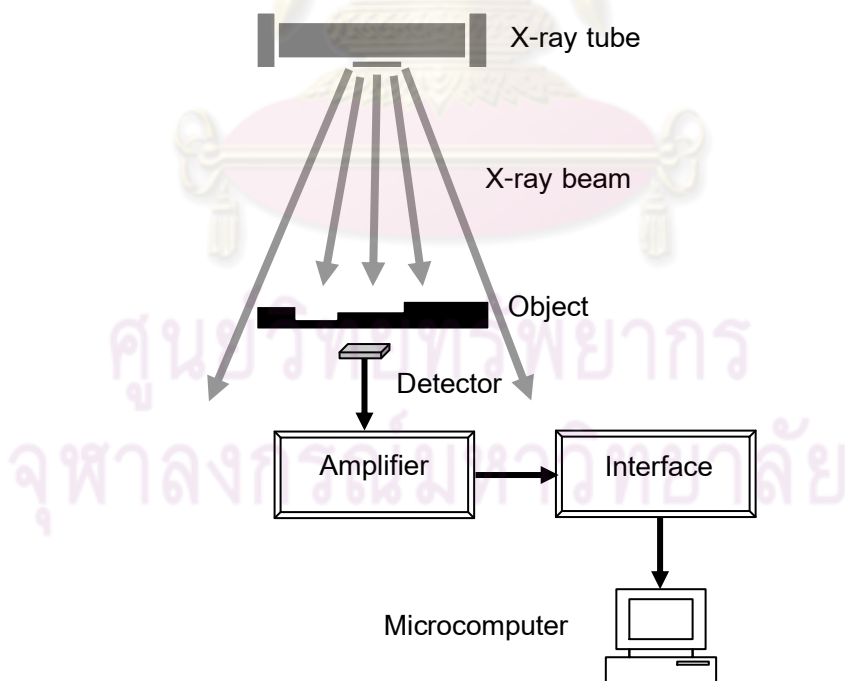
วงจรโฟโตไดโอดเบื้องต้นต่อกับเป็นวงจรความต้านทานโหลดและแหล่งจ่ายไฟดังรูปที่ 2.25 โดยปกติไดโอดจะถูกไบอัสกลับแต่ในขณะที่ไบอัสกลับนี้ จำนวนอิเล็กตรอนและโฮล (Hole) ที่ในเนื้อสารมีจำนวนไม่มากนัก ดังนั้นกระแสที่ไหลในวงจรจึงเป็นส่วนน้อย เมื่อส่วนของสารกึ่งตัวนำมีแสงส่องตกกระทบ จะทำให้เนื้อสารเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก จำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นจะแปรตรงกับความเข้มของแสงแต่เมื่อเพิ่มความเข้มของแสงจนถึงค่าหนึ่งจะไม่มี的增加ของอิเล็กตรอนอิสระอีกแล้วในช่วงนี้เราจะเรียกว่า ช่วงอิ่มตัว (Saturation region) และในกรณีที่ไม่มีแสงตกกระทบจำนวนกระแสที่ไหลผ่านตัวไดโอดนี้เรียกว่า กระแสมืด (dark current)

### บทที่ 3

## การพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

### 3.1 หลักการทำงานของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพที่พัฒนาขึ้น

อุปกรณ์วัดค่าความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ มีหลักการทำงานโดยเมื่อฉายรังสีเอกซ์แล้ว หัววัดรังสีเอกซ์จะทำการวัดค่าความเข้มรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านชิ้นงานออกมาไว้ในรูปของสัญญาณแอนะล็อก และสัญญาณที่ได้จะถูกขยายด้วย วงจรขยายสัญญาณ จากนั้นจะแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข(สัญญาณดิจิทัล) และส่งต่อไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ทยูเอสบี แล้วทำการประมวลผลหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ Visual basic 6.0 ดังการทำงานในรูปที่ 3.1 ซึ่งรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านชิ้นงานออกมาจะไปทำปฏิกิริยากับฟิล์ม ทำให้ฟิล์มเกิดความดำภายหลังกระบวนการล้างฟิล์ม ถ้าความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านมากจะทำให้ฟิล์มบริเวณนั้น ๆ มีความดำมาก การวัดรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านชิ้นงานจึงใช้ในการกำหนดความดำของภาพได้



รูปที่ 3.1 แผนภาพของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับวัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน  
เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

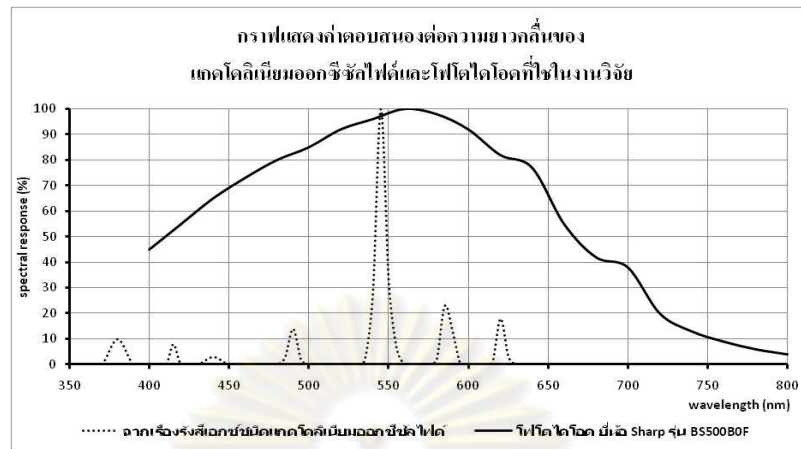
## 3.2 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

อุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะในการถ่ายภาพ จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าความเข้มรังสีเอกซ์ได้ และต้องสามารถประมวลผลหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นจึงสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนวัดรังสีเอกซ์ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข และส่วนประมวลผล

### 3.2.1 ส่วนวัดรังสีเอกซ์

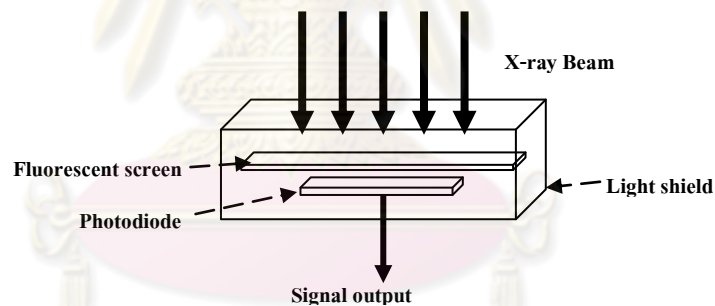
ส่วนวัดรังสีเอกซ์เป็นส่วนที่มีหน้าที่ในการวัดค่าความเข้มรังสีเอกซ์เพื่อนำค่าความเข้มรังสีเอกซ์ที่ได้ไปประมวลผลเพื่อหาค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ แต่โดยปกติทั่วไปแล้วค่าสัญญาณที่ได้จากโฟโตไดโอดมักจะมีสัญญาณที่ต่ำ ดังนั้นในส่วนนี้จึงต้องมีการออกแบบให้มีส่วนขยายสัญญาณด้วย ส่วนวัดรังสีเอกซ์แบ่ง ออกเป็น 3 ส่วน คือ หัววัดรังสีเอกซ์ วงจรขยายสัญญาณ และแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า

**3.2.1.1 หัววัดรังสีเอกซ์** ในส่วนนี้ได้เลือกใช้ฉากเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแกโดลิเนียมออกไซด์ซีลไฟด์ประกบกับโฟโตไดโอด สาเหตุที่เลือกใช้แกโดลิเนียมออกไซด์ซีลไฟด์ประกบกับโฟโตไดโอดเนื่องจากต้องการให้หัววัดรังสีเอกซ์มีขนาดเล็กและบางเพื่อสะดวกในการใช้งานและพกพาได้ ส่วนฉากเรืองรังสีเอกซ์เลือกใช้แกโดลิเนียมออกไซด์ซีลไฟด์เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพในงานอุตสาหกรรมและสามารถให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นแสงได้สูงกว่าฉากเรืองรังสีชนิดแคลเซียมทังสเตท แล้วได้เลือกใช้โฟโตไดโอดที่มีการตอบสนองในช่วงย่านความยาวคลื่นเดียวกันกับที่ฉากเรืองรังสีปล่อยออกมา ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โฟโตไดโอดของ Sharp รุ่น BS500B0F จำนวน 2 ตัว ต่อขนานกันเพื่อเพิ่มกระแสที่ได้ให้มากขึ้น



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงค่าตอบสนองต่อความยาวคลื่นของฉากเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแกดโดลิเนียมออกไซด์ฟิล์มและโฟโตไดโอดของ Sharp รุ่น BS500B0F

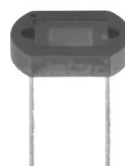
เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบบนหัววัดรังสีเอกซ์ ฉากเรืองรังสีจะทำการเปลี่ยนรังสีเอกซ์ที่ได้รับเป็นโฟตอนหรือแสงที่มีความเข้มแปรผันตามความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบบนฉากนั้น โฟโตไดโอดที่ประกบกับฉากเรืองรังสีจะเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพส่วนประกอบในหัววัดรังสีเอกซ์



(ก)



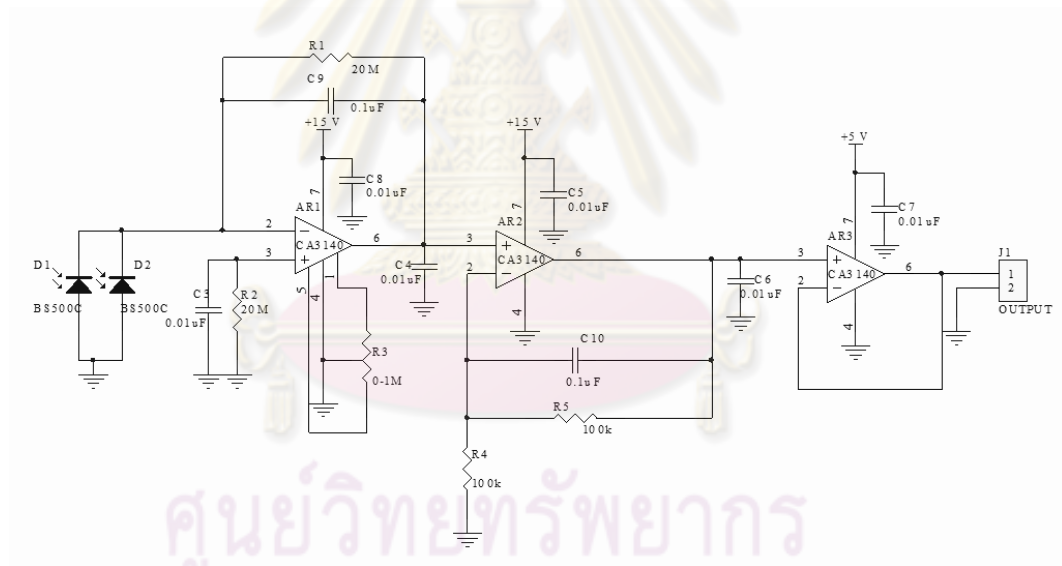
(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) แกดโดลิเนียมออกไซด์ฟิล์ม (ข) โฟโตไดโอด



รูปที่ 3.5 หัววัดรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น

3.2.1.2 วงจรขยายสัญญาณ ในส่วนนี้มีหน้าที่ในการขยายสัญญาณที่ได้มาจากหัววัดรังสีเอกซ์ เนื่องจากโฟโตไดโอดในหัววัดรังสีเอกซ์ จะให้สัญญาณทางไฟฟ้าต่ำมาก จึงจำเป็นต้องมีวงจขยายสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณที่มีขนาดเพียงพอในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลขได้ ดังวงจรในรูปที่ 3.6

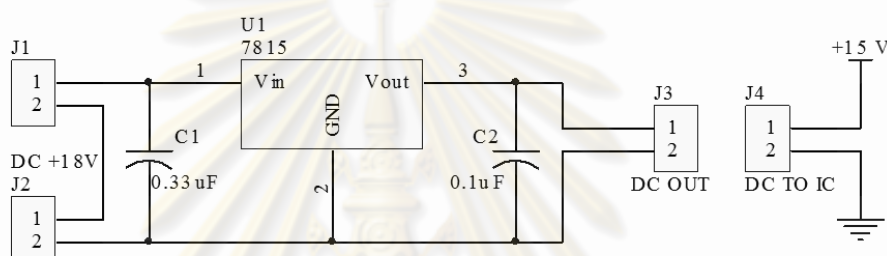


รูปที่ 3.6 วงจรขยายสัญญาณ

การทำงานของวงจรในรูปที่ 3.6 เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบหัววัดรังสีเอกซ์ โฟโตไดโอดในหัววัดรังสีเอกซ์ซึ่งต่อแบบไบอัสกลับ จะให้สัญญาณออกมาเป็นกระแสถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันโดย AR1 (CA3140) โดย  $e_p = I_p R_f$  เมื่อ  $e_p$  คือแรงดันที่ออกจาก AR1,  $I_p$  คือกระแสที่ได้จากโฟโตไดโอด และ  $R_f$  คือตัวต้านทาน R1 (20 เมกะโอห์ม) และแรงดันขาออกของ AR1 จะถูก AR2 ปรับแต่งสัญญาณให้มีความเหมาะสมโดยขยายเป็น 2 เท่า จากนั้นแรงดันที่ออกจากขา AR2 จะเข้าขาบวกของ AR3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ส่วนของวงจรมีการปรับออฟเซต (Offset) ที่ AR1 เนื่องจาก เมื่อสัญญาณขาเข้าเท่ากับกระแสมีแต่สัญญาณทางขาออกไม่

เท่ากับกระแสมีด การปรับออฟเซตทำได้โดยต่อความต้านทานปรับค่าได้เข้าที่ขา 1 และขา 5 แล้ว ต่อลงกราวด์ของ AR1 ที่ขา 4 เมื่อตรวจสอบสัญญาณขาเข้าเท่ากับกระแสมีดจะต้องปรับความต้านทานให้สัญญาณขาออกเท่ากับกระแสมีด จึงจะได้ค่าที่ทำให้การตรวจวัดถูกต้อง [10]

**3.2.1.3 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า** เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่าย ศักดาไฟฟ้าที่ให้วงจรขยายสัญญาณ โดยต้องให้ค่าศักดาไฟฟ้าเหมาะสมกับวงจรขยายสัญญาณ มีวงจรดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรของแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าให้กับวงจรขยายสัญญาณ

การทำงานของวงจรในรูปที่ 3.7 เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่วงจรจะมี C1 ทำหน้าที่กรองแรงดัน และมี C2 ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่สูงออก ทำให้สัญญาณรบกวนลดลง และในส่วนของ U1 (7815) ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ (Regulator) +15 โวลต์

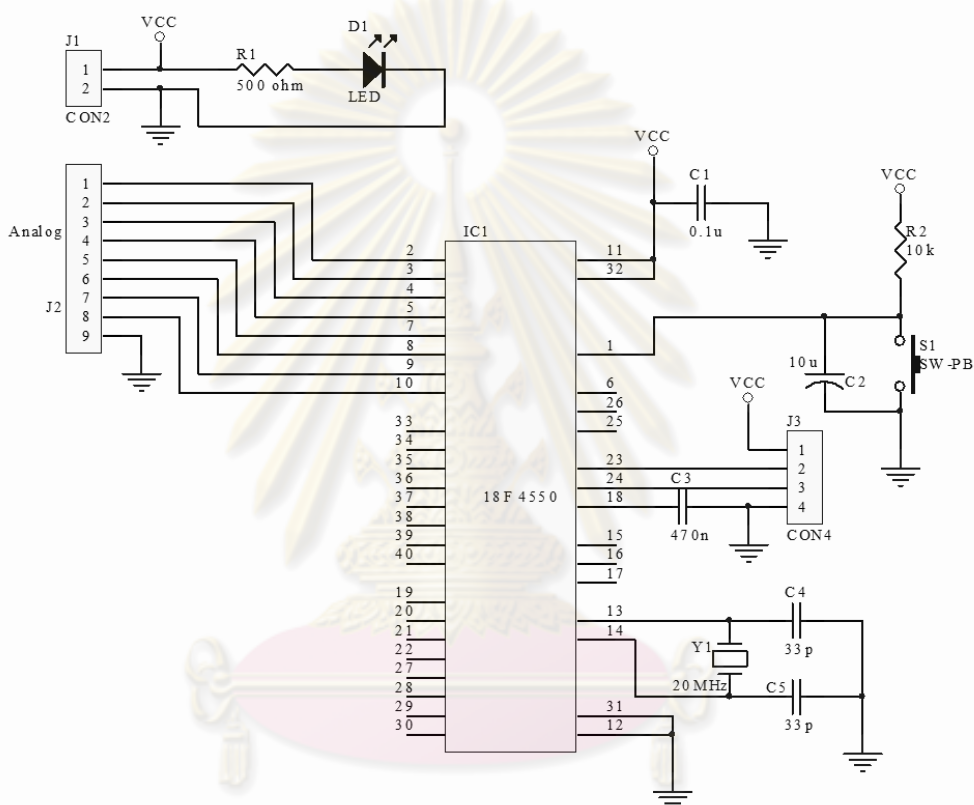
### 3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข

เพื่อให้โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลจากสัญญาณที่ได้จากส่วนวัดรังสีเอกซ์จะต้องแปลงสัญญาณที่ได้จากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลขก่อน จึงจะสามารถนำสัญญาณเข้าไปใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยใช้พอร์ทแบบยูเอสบี เพื่อสะดวกในการใช้งาน ซึ่งได้ออกแบบตามวงจรในรูปที่ 3.8

จากวงจรในรูปที่ 3.8 หัวใจในการทำงานของการแปลงสัญญาณทั้งหมด อยู่ที่ IC1 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบมีวงจรเชื่อมต่อขาออกเป็นพอร์ทแบบยูเอสบี โดยในที่นี้เลือกใช้ PIC18F4550 โดยภายในได้ทำการบรรจุโปรแกรมควบคุมการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการติดต่อกับพอร์ทยูเอสบีที่ได้พัฒนาขึ้นไว้แล้ว โดยในวงจรนี้ได้ออกแบบให้รับศักดาไฟฟ้าจากภายนอกหรือจากไฟเลี้ยงของยูเอสบี ซึ่งการที่จะเลือกว่าจะใช้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้านั้นต้อง



พิจารณาจากอุปกรณ์ต่อพ่วงกับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข หากนำวงจรแปลงสัญญาณนี้ไปขับโหลดที่กระแสรวมไม่มากกว่า 100 มิลลิแอมแปร์ ก็สามารถใช้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าได้จากพอร์ทยูเอสบีได้เลย แต่ถ้ามากกว่านั้นควรใช้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าจากภายนอก โดยในการใช้งานปกติสามารถใช้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าจากพอร์ทยูเอสบีได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าจากภายนอก



รูปที่ 3.8 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข

สำหรับทางด้านสัญญาณขาเข้า ที่ IC1 จะมีขา 2 ถึงขา 10 ทำหน้าที่รับสัญญาณแอนะล็อกเพื่อแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขขนาดไม่เกิน 10 บิต จำนวน 8 ช่อง ซึ่งสามารถใช้งานโดยรับสัญญาณได้พร้อมกัน 8 ช่องสัญญาณ ส่วนสัญญาณขาออกจะเป็นการเชื่อมต่อกับพอร์ทยูเอสบี โดยที่ IC1 จะมีขาที่ 23 และ 24 เป็นขาส่งสัญญาณและต่อออกที่ในพอร์ทยูเอสบีเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ต่อไป

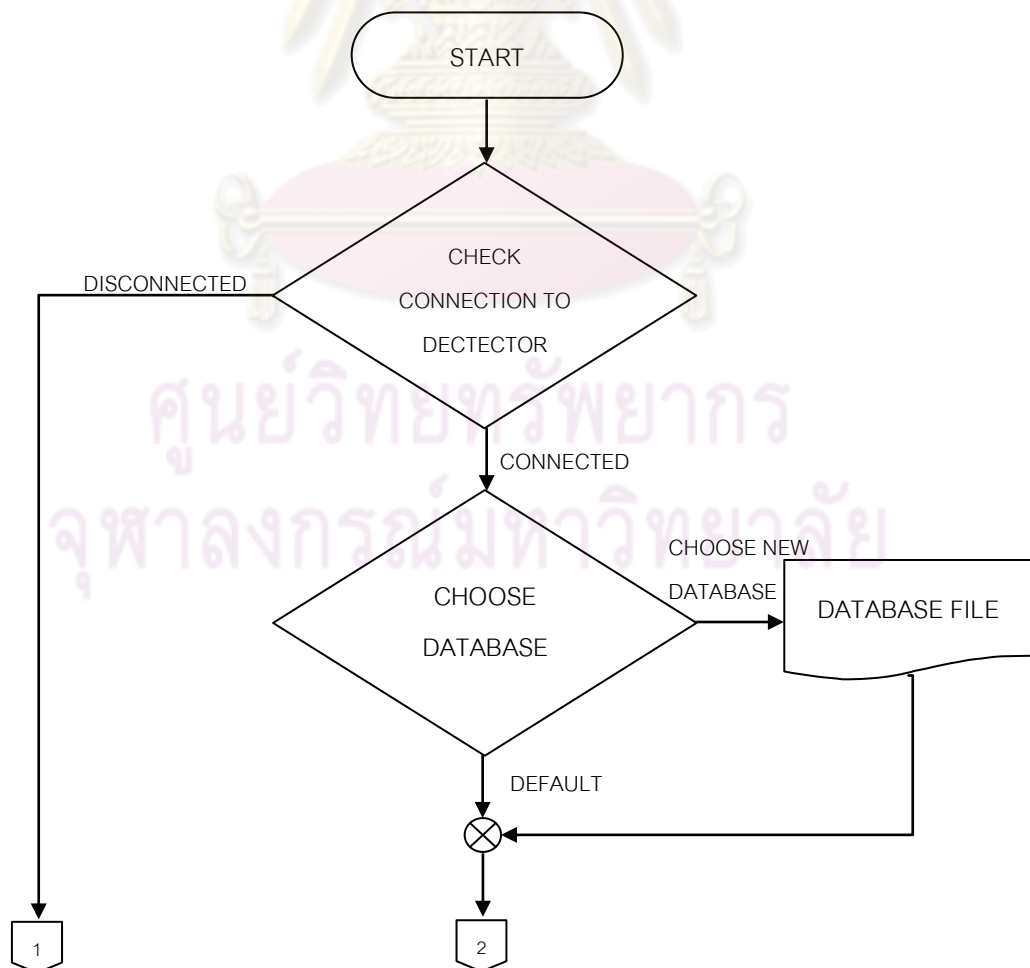
### 3.2.2 ส่วนประมวลผล

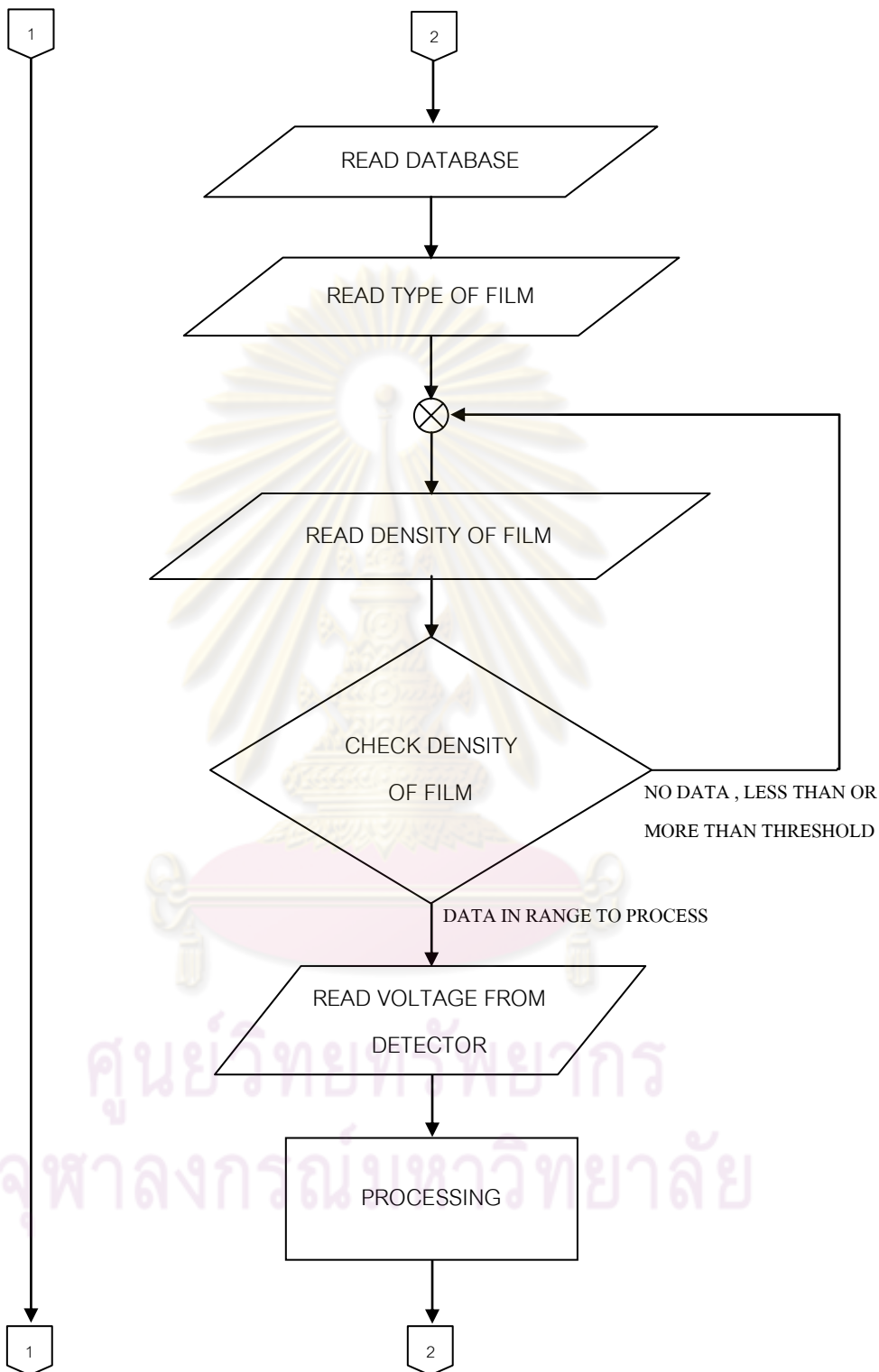
ในการพัฒนาส่วนนี้จะต้องสามารถเชื่อมต่อการทำงานกับส่วนวัดความเข้มรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นได้ และจะสามารถประมวลผลเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

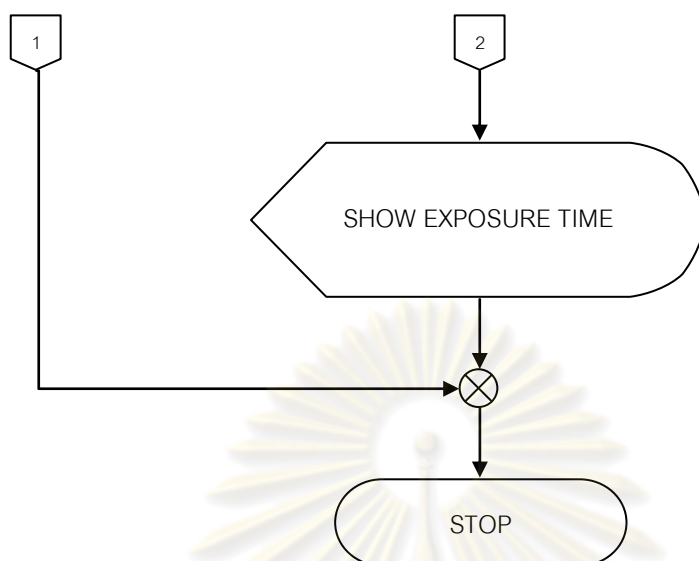
ด้วยรังสีจากข้อมูลที่ได้รับมาได้อีกด้วย ดังนั้นในการพัฒนาส่วนนี้จะต้องพัฒนาโปรแกรมให้มีส่วนของการเชื่อมต่อสัญญาณและส่วนประมวลผล โดยจะใช้ Visual basic 6.0 ในการเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อและประมวลผล และใช้ PIC-C ในการเขียนโปรแกรมควบคุมและคอมไพล์และบรรจุลงในไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการเชื่อมต่อสัญญาณจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมให้สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับไมโครคอมพิวเตอร์ได้ โดยจะต้องเขียนโปรแกรมบันทึกลงในไมโครคอนโทรลเลอร์และเขียนโปรแกรมรับส่งข้อมูลในไมโครคอมพิวเตอร์ด้วย ซึ่งรายละเอียดโปรแกรมจะอยู่ในภาคผนวก จ

ส่วนในการประมวลผลเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพนั้นจะต้องเขียนโปรแกรมต่อจากส่วนที่เชื่อมต่อและรับข้อมูลมาแล้ว โดยซึ่งมีแผนภาพการทำงานดังรูปที่ 3.9 ส่วนในรายละเอียดของโปรแกรมได้แสดงอยู่ในภาคผนวก จ และมีรูปแบบโปรแกรมในลักษณะดังรูปที่ 3.10



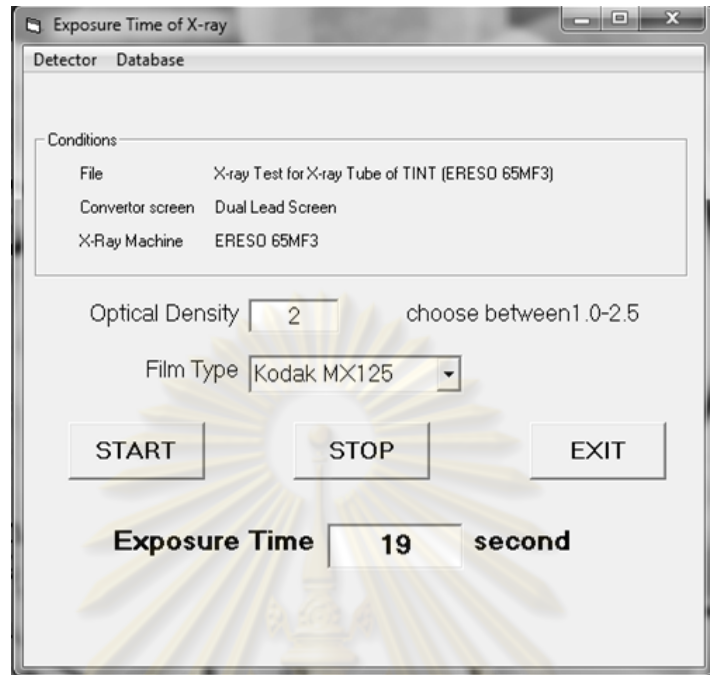




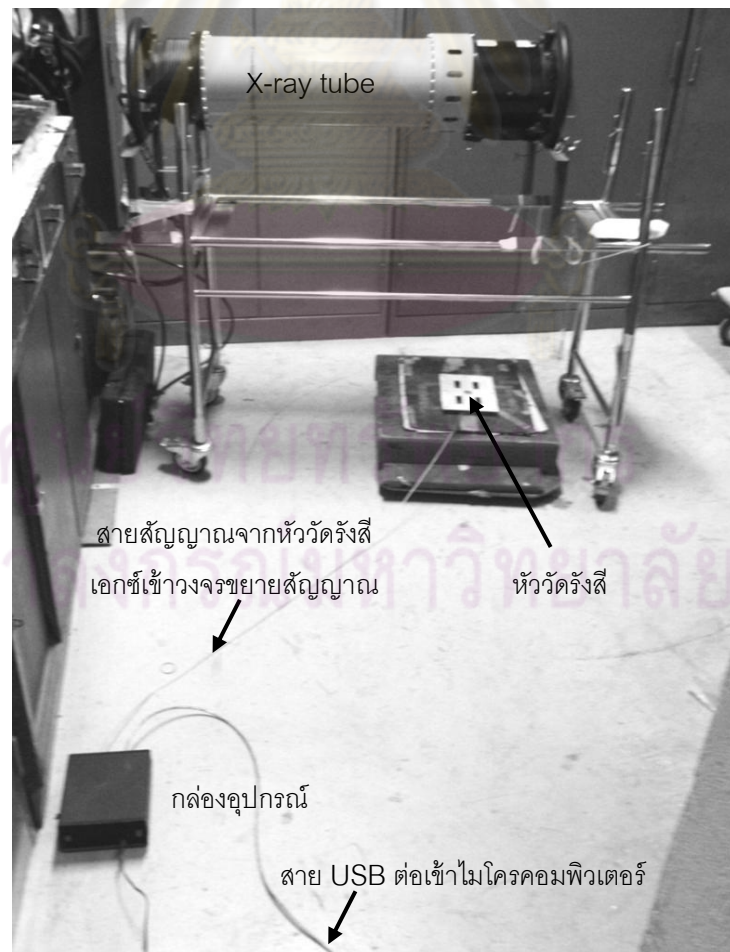
รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมหาค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

การทำงานตามแผนภาพดังรูปที่ 3.9 มีหลักการทำงานคือ เมื่อเริ่มต้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบการเชื่อมต่อกับส่วนวัดรังสีเอกซ์โดยถ้าไม่มีการเชื่อมต่อก็จะจบการทำงานทันทีเพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่ออีกครั้ง แต่ถ้าเชื่อมต่อได้แล้ว ในขั้นต่อไปเป็นการเลือกฐานข้อมูลของการฉายรังสีเอกซ์โดยเลือกจากไฟล์ที่ได้ทำการบันทึกไว้แล้ว หรือถ้าไม่เลือกก็จะใช้ฐานข้อมูลจากฐานข้อมูลเริ่มต้น แล้วอ่านค่าทั้งหมดจากฐานข้อมูลและเก็บไว้ในตัวแปรของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น จากนั้นโปรแกรมก็จะเก็บค่าประเภทของฟิล์มโดยสามารถเลือกได้จากข้อมูลที่มีเพื่อจะได้ทำการแก้ค่าความไวของฟิล์ม และเก็บข้อมูลความดำของฟิล์มที่ต้องการด้วย ซึ่งจะต้องเลือกค่าที่อยู่ในช่วง 1.0 ถึง 2.5 เท่านั้น ถ้าหากไม่ใส่ค่าความดำของฟิล์มที่ต้องการหรือใส่ค่าได้ไม่ตรงกับช่วงที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะทำการเตือนและให้ใส่ข้อมูลอีกครั้ง จากนั้นโปรแกรมก็จะเก็บค่าที่วัดได้จากส่วนวัดรังสีเอกซ์มาเป็นตัวแปรต้นในการหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ จากนั้นก็จะทำการประมวลผลจากข้อมูลทั้งหมด แล้วแสดงผลเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพออกทางหน้าจอ

ในการฉายรังสีเอกซ์ให้กับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นและฉายรังสีเอกซ์ในการถ่ายภาพ จะต้องอยู่ในเงื่อนไขเดียวกัน อาทิเช่น ค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดและค่ากระแสของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ระยะจากจุดโฟกัสของลำรังสีเอกซ์กับฟิล์ม เป็นต้น เพื่อให้ได้เวลาในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์มีความถูกต้อง



รูปที่ 3.10 แสดงหน้าจอโปรแกรมหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์



รูปที่ 3.11 แสดงการจัดอุปกรณ์ให้อยู่ในลักษณะพร้อมใช้



รูปที่ 3.12 ชุดอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้หาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ

#### 4.1 การทดสอบการตอบสนองของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

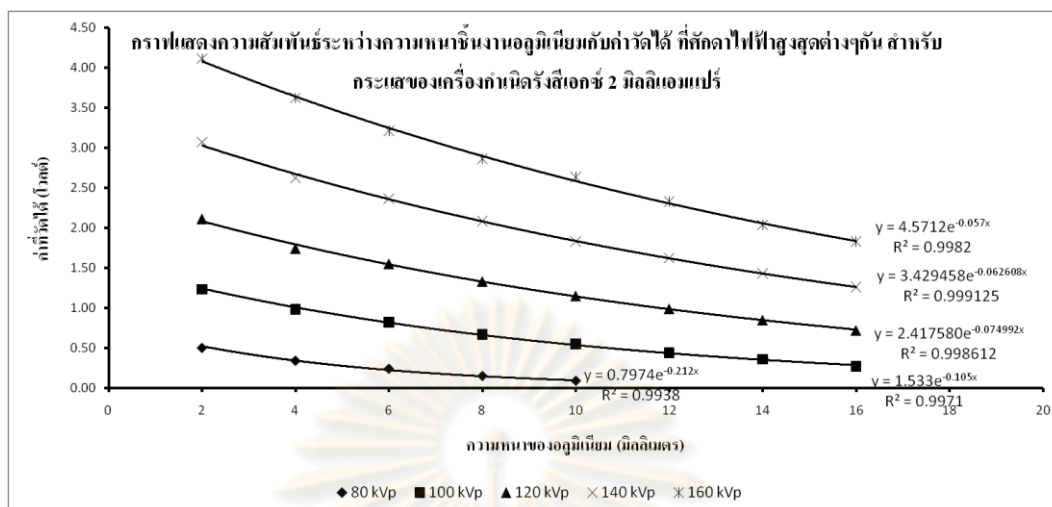
ในการทดสอบการทำงานนั้นจำเป็นต้องทดสอบเพื่อให้ผลที่ออกมามีความถูกต้องและแม่นยำ จึงมีการทดสอบหาความสัมพันธ์กับความหนาของอะลูมิเนียม ซึ่งมีผลการทดสอบที่ออกมาดังตารางที่ 4.1 และแสดงผลออกมาเป็นกราฟในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการตอบสนองของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ที่แต่ละศักดาไฟฟ้าสูงสุด (กระแสของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 2 มิลลิแอมแปร์)

ศักดาไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ (กิโลโวลต์)	ความหนาของอะลูมิเนียม (มิลลิเมตร)	ค่าที่วัดได้ (โวลต์)
80	2	0.50
80	4	0.34
80	6	0.24
80	8	0.15
80	10	0.09
100	2	1.23
100	4	0.98
100	6	0.82
100	8	0.67
100	10	0.55
100	12	0.44
100	14	0.36
100	16	0.27

ศักดาไฟฟ้าสูงสุดของเครื่อง กำเนิดรังสีเอกซ์ (กิโลโวลต์)	ความหนาของ อะลูมิเนียม (มิลลิเมตร)	ค่าที่วัดได้ (โวลต์)
120	2	2.11
120	4	1.74
120	6	1.55
120	8	1.33
120	10	1.15
120	12	0.99
120	14	0.85
120	16	0.72
140	2	3.07
140	4	2.62
140	6	2.36
140	8	2.08
140	10	1.83
140	12	1.62
140	14	1.43
140	16	1.26
160	2	4.11
160	4	3.62
160	6	3.21
160	8	2.86
160	10	2.64
160	12	2.33
160	14	2.04
160	16	1.83





รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของอะลูมิเนียมกับค่าที่วัดได้ ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดต่างๆกัน สำหรับกระแสของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 2 มิลลิแอมแปร์

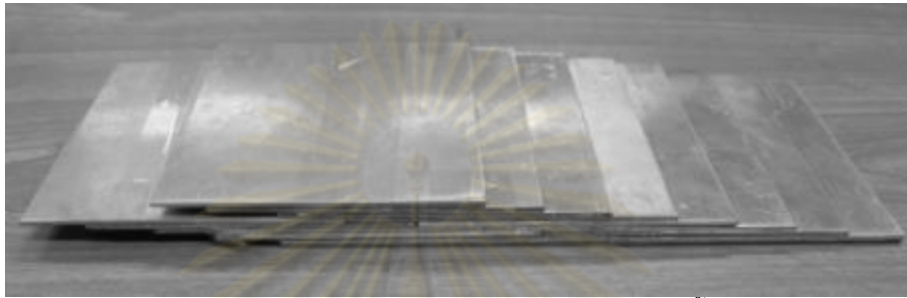
จากผลการทดสอบ ฉากรังสีชนิดแกดโกลิเนียมออกซีซัลไฟด์ให้แสงที่มีความยาวคลื่นและความเข้มอยู่ในช่วงที่โฟโตไดโอดที่ใช้ในงานวิจัยสามารถตรวจวัดค่าได้ เมื่อขยายสัญญาณให้มีความเหมาะสมกันระหว่างค่าที่วัดได้กับความหนาของอะลูมิเนียมที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ไม่เกิน 160 กิโลโวลต์ พบว่าที่พลังงานสูงขึ้นสามารถวัดค่าความเข้มรังสีเอกซ์ได้มากขึ้น และเมื่อความหนาของอะลูมิเนียมมากขึ้นความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้จะมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

ดังนั้นจะเห็นว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถนำไปใช้วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านอะลูมิเนียมที่ความหนาต่าง ๆ กันได้ จึงเหมาะสมที่จะนำอุปกรณ์ดังกล่าวไปใช้ในงานวิจัยนี้ได้

#### 4.2 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของความดำดำฟิล์ม ค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น และเวลาในการถ่ายภาพ เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

การทดสอบการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับค่าความดำของฟิล์ม โดยใช้อะลูมิเนียมที่มีความหนาเป็นลักษณะขั้นบันได ที่มีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 16 มิลลิเมตร โดยมีความหนาเพิ่มขึ้นขั้นละ 2 มิลลิเมตรเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ ดังรูปที่ 4.2 (ได้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ ดังรูปที่ 4.3) ทดสอบโดยวัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านที่ความหนาต่าง ๆ แล้วถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์หาค่าความดำจากฟิล์มในเงื่อนไขเดียวกัน โดย

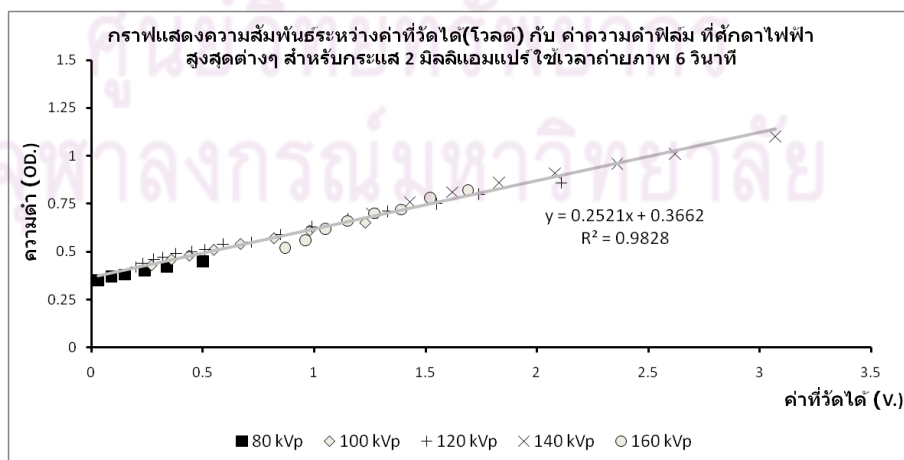
ใช้กะแสของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 2 มิลลิแอมแปร์ และศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่ 80, 100, 120, 140 และ 160 กิโลโวลต์ และใช้เวลาในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ 6, 12, 18, 30, 36 และ 60 วินาที หรือค่าเอกซ์โพเซเจอร์ 12, 24, 36, 60, 72 และ 120 มิลลิแอมแปร์-วินาที ซึ่งผลการทดลองที่ได้ แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.4-4.9 ตามลำดับของเวลาในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์



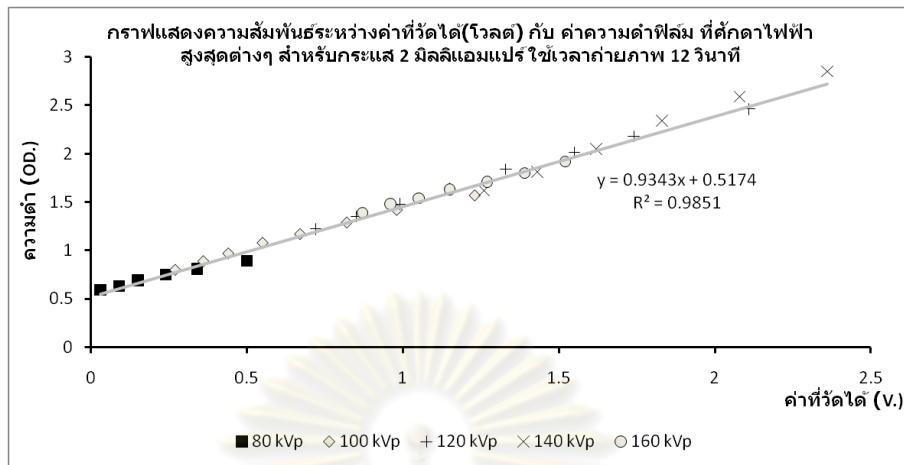
รูปที่ 4.2 ลักษณะของอะลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นชั้นบนได



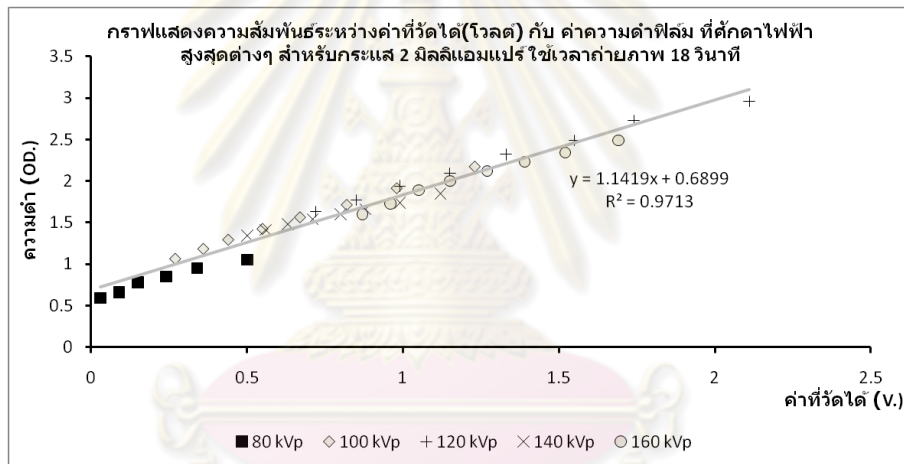
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของอะลูมิเนียมที่มีลักษณะที่เป็นชั้นบนได



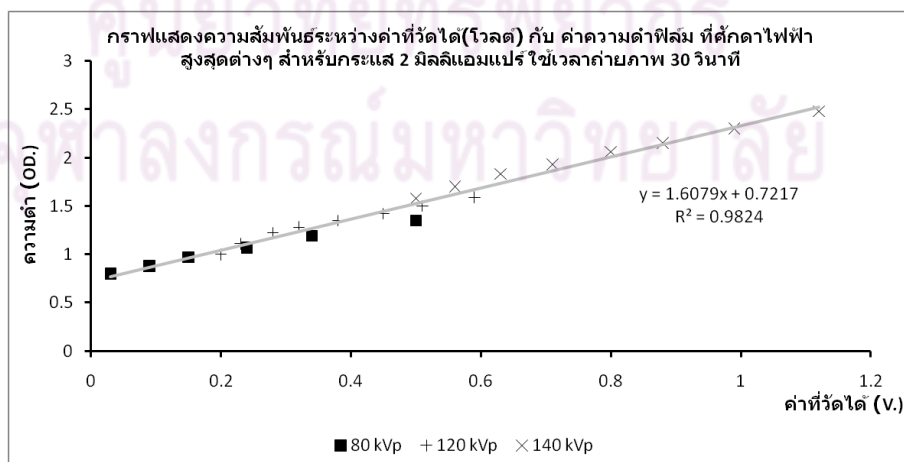
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซ์โพเซเจอร์ 12 มิลลิแอมแปร์-วินาที



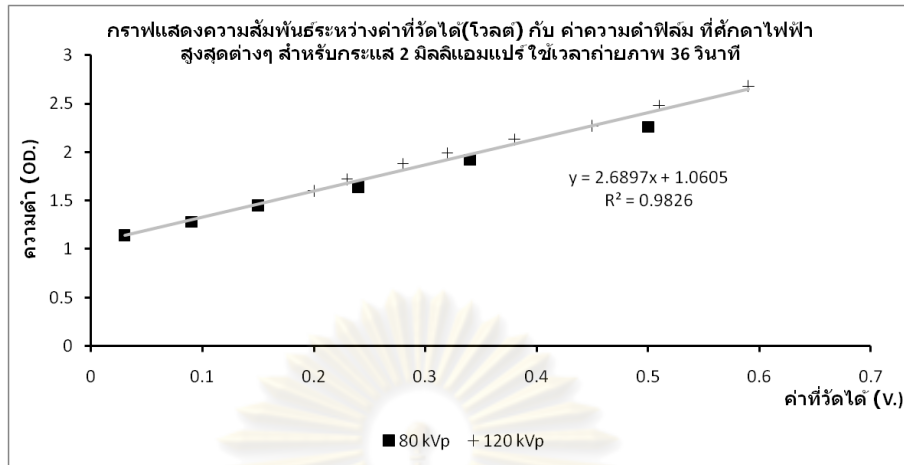
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซโพเชอร์ 24 มิลลิแอมแปร์-วินาที



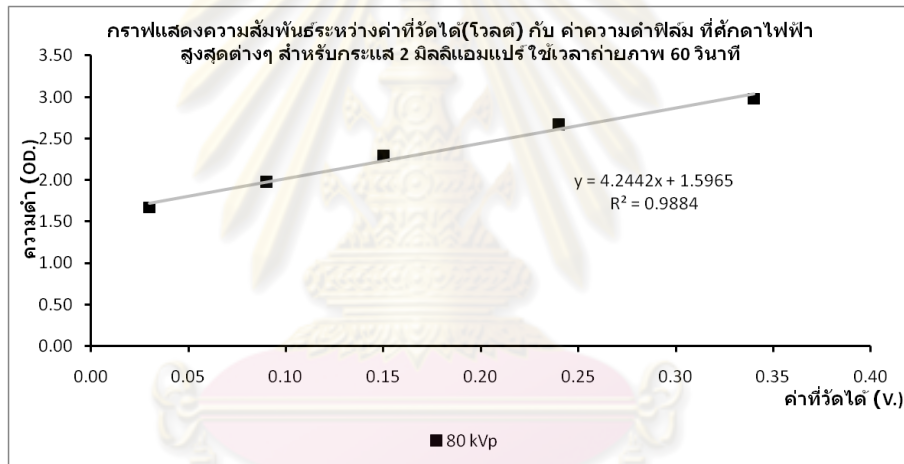
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซโพเชอร์ 36 มิลลิแอมแปร์-วินาที



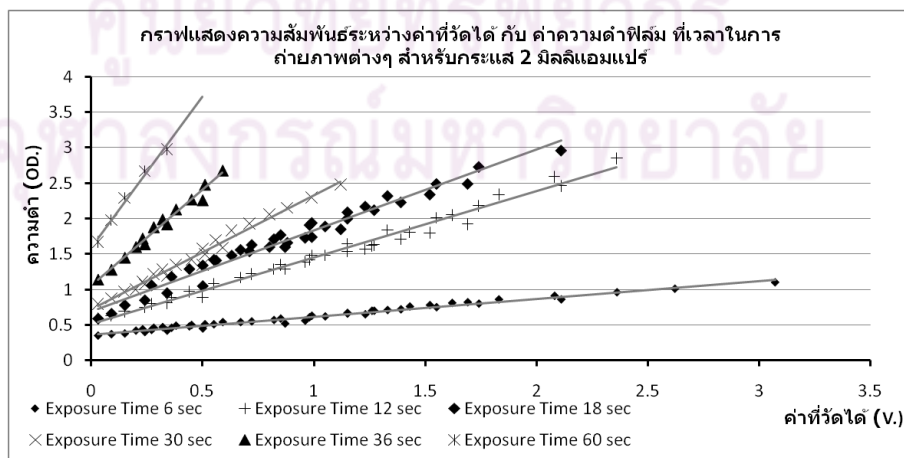
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซโพเชอร์ 60 มิลลิแอมแปร์-วินาที



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซโพเชอร์ 72 มิลลิแอมแปร์-วินาที



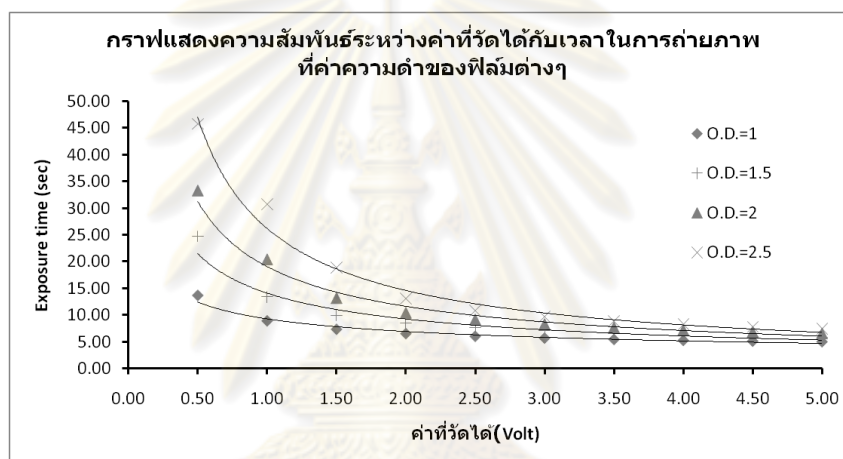
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ สำหรับค่าเอกซโพเชอร์ 120 มิลลิแอมแปร์-วินาที



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้ กับ ค่าความดำฟิล์ม ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดและเอกซโพเชอร์ต่าง ๆ

จากผลการทดสอบพบว่า สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่เอกซิปเซอร์ต่าง ๆ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม มีลักษณะเป็นเชิงเส้นโดยไม่ขึ้นกับศักดาไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์มที่เอกซิปเซอร์ต่าง ๆ กัน ดังกราฟในรูปที่ 4.10 แล้ว จะทำการเลือกข้อมูลที่ได้ในช่วงความดำ 1.0 – 2.5 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟิล์มสามารถแยกความแตกต่างของภาพได้ดีที่สุด เพื่อใช้ในโปรแกรมประมวลผลที่พัฒนาขึ้นสำหรับหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ซึ่งจะได้ในลักษณะของกราฟในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับเวลาในการถ่ายภาพ

สำหรับการเขียนโปรแกรมนั้นเพื่อให้ง่ายและสะดวกในการที่จะพัฒนาโปรแกรมต่อไปเพื่อให้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น จึงทำการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลที่จะนำไปประมวลผลในรูปของตารางข้อมูล ดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ (วินาที) ที่ค่าที่วัดได้กับค่าความดำต่าง ๆ ของฟิล์ม

		ค่าที่วัดได้ (โวลต์)									
		0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
ค่าความดำ	1.00	13.70	8.91	7.33	6.51	6.01	5.67	5.43	5.25	5.10	4.99
	1.50	24.76	13.39	9.93	8.49	7.60	7.01	6.58	6.25	6.00	5.80
	2.00	33.24	20.41	13.20	10.46	9.19	8.34	7.72	7.26	6.89	6.60
	2.50	45.80	30.72	18.84	13.08	10.78	9.67	8.87	8.26	7.79	7.41

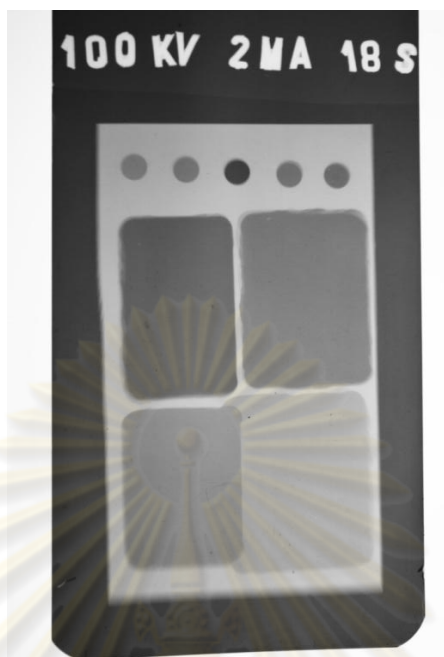
#### 4.3 การทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

เมื่อได้ค่าความสัมพันธ์ของ ค่าที่วัดได้ ค่าความดำของฟิล์ม และ เวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และทำการบันทึกเป็นฐานข้อมูลลงในโปรแกรมแล้ว ในขั้นตอนการทดสอบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น คือ การทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์สำหรับชิ้นงานต่าง ๆ ซึ่งแบ่งชิ้นงานในการทดสอบ 2 แบบ คือ แบบที่ทราบชนิดและความหนาชิ้นงาน และแบบที่ไม่ทราบชนิด ลักษณะความหนา และองค์ประกอบภายในของชิ้นงาน

ในการทดสอบชิ้นงานแบบที่ทราบชนิดและความหนาชิ้นงาน จะทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น โดยจะใช้ชิ้นงานอะลูมิเนียมหนาประมาณ 16 มิลลิเมตร มีช่องที่ความหนาต่าง ๆ 4 ช่อง ความหนาของอะลูมิเนียมในแต่ละช่อง มีความหนาเป็น 3.0, 4.7, 7.7 และ 12.8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.12 และให้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งเมื่อนำมาวัดความดำของฟิล์มจะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.12 ชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดสอบ

ฟิล์มที่	ความหนาในแต่ละช่อง (มิลลิเมตร)	ความดำที่ ต้องการ	เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ (วินาที)	ความดำที่ได้	ความแตกต่าง
1	3.0	2.00	18	1.95	-0.05
	4.7	1.57		1.66	+0.09
	7.7	1.33		1.36	+0.03
	12.8	1.07		1.09	+0.02
2	3.0	2.28	23	2.23	-0.05
	4.7	2.00		1.94	-0.06
	7.7	1.62		1.61	-0.01
	12.8	1.27		1.25	-0.02
3	3.0	2.59	29	2.57	-0.02
	4.7	2.28		2.26	-0.02
	7.7	2.00		2.02	+0.02
	12.8	1.51		1.57	+0.06

ฟิล์มที่	ความหนาในแต่ละช่อง (มิลลิเมตร)	ความดำที่ ต้องการ	เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ (วินาที)	ความดำที่ได้	ความแตกต่าง
4	3.0	--	42	--	---
	4.7	3.97		4.06	+0.09
	7.7	3.00		3.04	+0.04
	12.8	2.00		2.01	+0.01

\*หมายเหตุ เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ตั้งศักดาไฟฟ้าสูงสุด 100 กิโลโวลต์ และกระแส 2 มิลลิแอมแปร์

-- หมายถึง ฟิล์มมีความดำเกินที่จะวัดได้

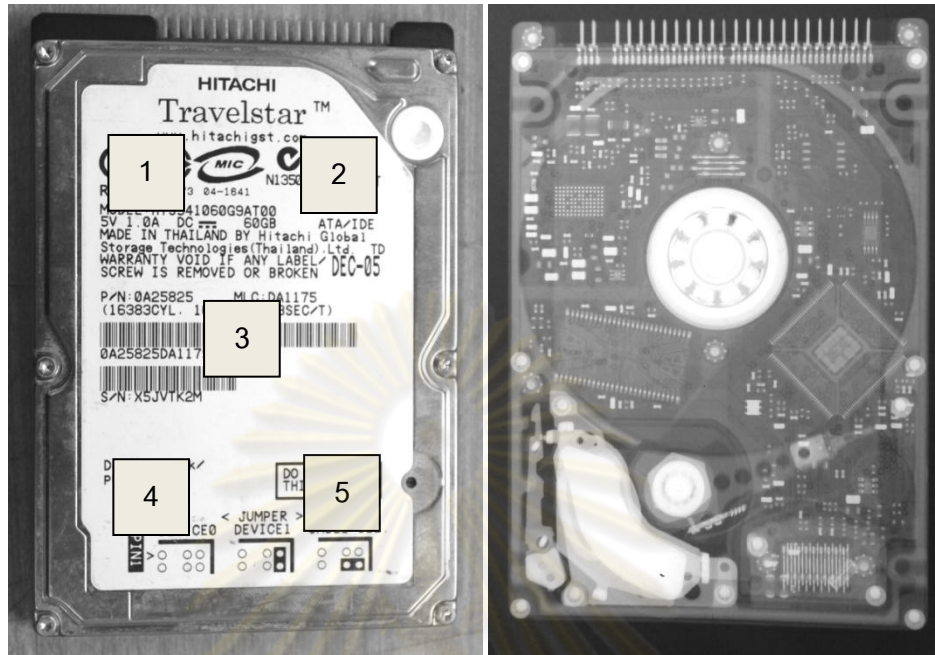
--- หมายถึง หาความแตกต่างไม่ได้

จากการทดสอบพบว่า เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนั้นให้ความดำฟิล์มแตกต่างไปจากความดำที่ต้องการไม่เกิน 0.10 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนั้นให้ผลใกล้เคียงกับที่ต้องการ ซึ่งถือว่ามีคุณภาพถูกต้องและแม่นยำในระดับที่น่าพึงพอใจ

ส่วนในชิ้นงานทดสอบแบบที่ไม่ทราบชนิด ลักษณะ ความหนา และองค์ประกอบภายในของชิ้น ซึ่งได้เลือกใช้ชิ้นงานทดสอบ ทั้งที่เป็นชิ้นงานทางอิเล็กทรอนิกส์และชิ้นงานทางอุตสาหกรรม อาทิเช่น ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว, ฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว, Connector DB 25 PIN, แกนเหล็กปั่นด้าย, ใบพัดในเครื่องยนต์เครื่องบิน, และฐานหม้อหุงข้าว เป็นต้น เพื่อต้องการตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถประมวลผลหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ได้อย่างถูกต้อง โดยที่ไม่ทราบชนิด ลักษณะ ความหนา และองค์ประกอบภายในของชิ้น โดยผลการทดสอบการถ่ายภาพตามเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น มีดังนี้

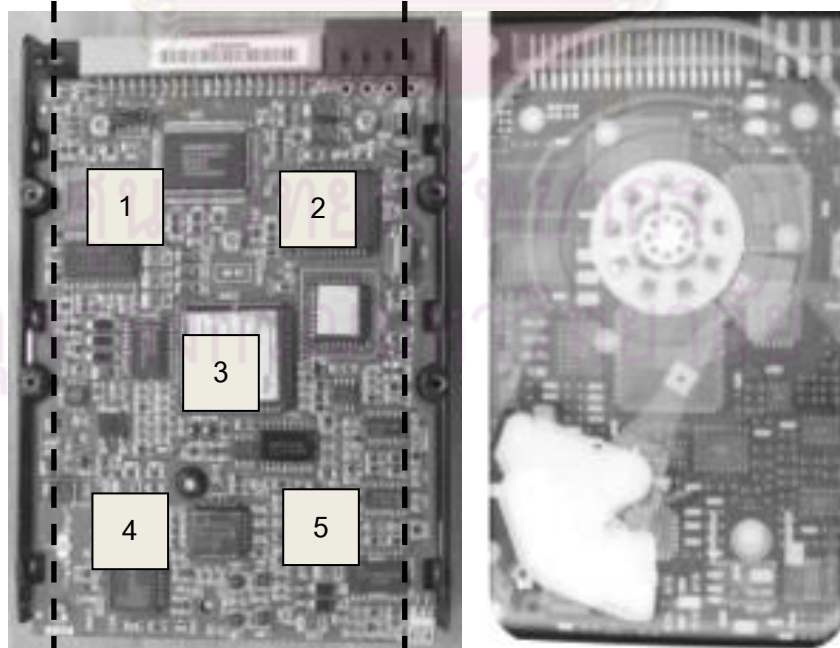
ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้วเลือกค่าความดำที่ 2.00 ทำการวัด 5 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.14(ซ้าย) พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นแสดงค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพเป็น 19, 18, 20, วัดไม่ได้, 19 วินาที ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเป็น 19 วินาที ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุด 120 กิโลโวลต์และกระแส 2 มิลลิแอมแปร์ โดยภาพถ่ายที่ได้ให้รายละเอียดภายในได้ชัดเจน ดังรูปที่ 4.14(ขวา)





รูปที่ 4.14 ภาพของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

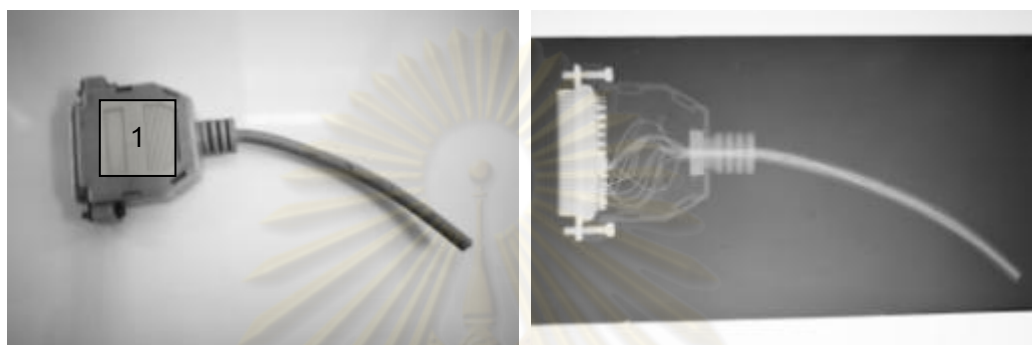
ฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว เล็กความดำและตั้งเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เช่นเดียวกับฮาร์ดดิสก์ 2.5 นิ้ว ทำการวัด 5 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.15(ซ้าย) พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นแสดงค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพเป็น 48, 57, วัดไม่ได้, วัดไม่ได้, 28 วินาที ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเป็น 44 วินาที ซึ่งภาพถ่ายที่ได้ให้รายละเอียดภายในได้ชัดเจนเช่นกัน ดังในรูปที่ 4.15(ขวา)



รูปที่ 4.15 ภาพของฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

(แนวเส้นประคือ ขอบของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์)

Connector DB 25 PIN เลือกค่าความดำที่ 2.00 ที่ตำแหน่ง 1 ดังรูปที่ 4.16(ซ้าย) พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นแสดงค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพเฉลี่ย 17 วินาที ที่ศักดาไฟฟ้า สูงสุด 100 กิโลโวลต์และกระแส 2 มิลลิแอมแปร์ โดยภาพถ่ายที่ได้ให้รายละเอียดภายในได้ชัดเจน ดังรูปที่ 4.16(ขวา)



รูปที่ 4.16 ภาพของ Connector DB 25 PIN และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

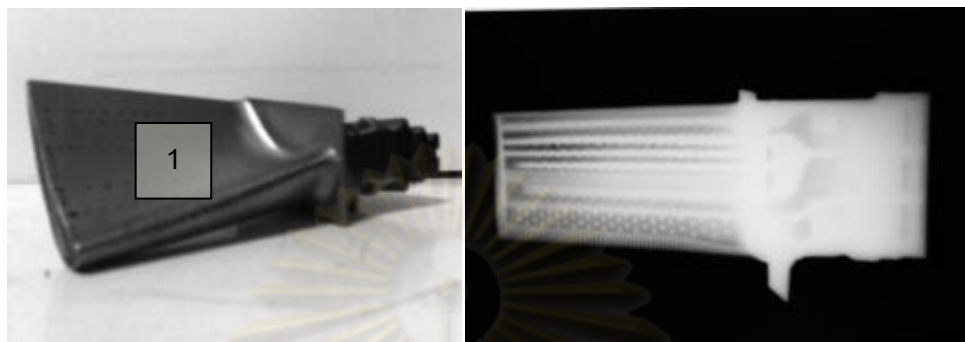
แกนเหล็กปั่นด้าย เลือกค่าความดำที่ 2.00 ที่ตำแหน่ง 1 ดังรูปที่ 4.17(ซ้าย) พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นแสดงค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพเฉลี่ย 89 วินาที ที่ศักดาไฟฟ้า สูงสุด 160 กิโลโวลต์และกระแส 2 มิลลิแอมแปร์ โดยภาพถ่ายที่ได้ให้รายละเอียดภายในได้ชัดเจน ดังรูปที่ 4.17(ขวา)



รูปที่ 4.17 ภาพของแกนเหล็กปั่นด้าย และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

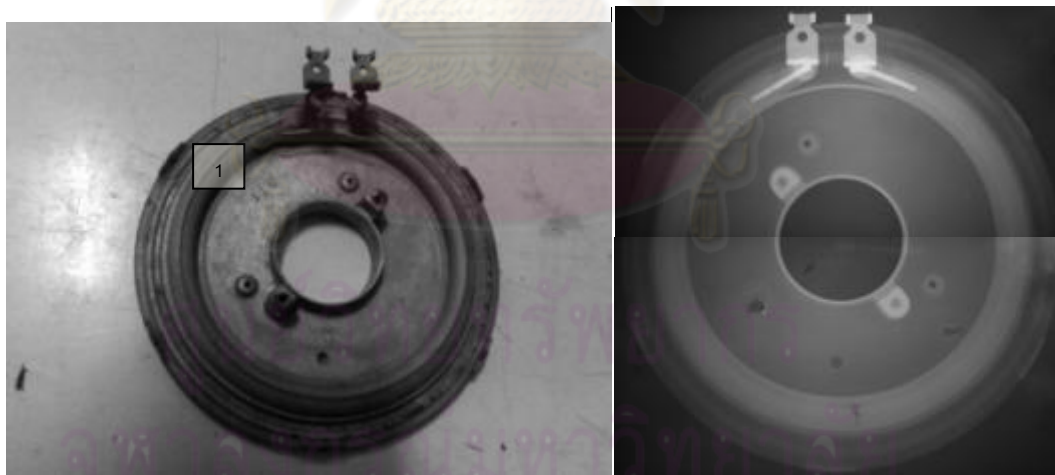
ใบพัดในเครื่องยนต์เครื่องบิน เลือกค่าความดำที่ 2.00 ที่ตำแหน่ง 1 ดังรูปที่ 4.18(ซ้าย) พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นแสดงค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพเฉลี่ย 103 วินาที ที่

ศักดาไฟฟ้าสูงสุด 160 กิโลโวลต์และกระแส 2 มิลลิแอมแปร์ โดยภาพถ่ายที่ได้ให้รายละเอียดภายในได้ชัดเจน ดังรูปที่ 4.18(ขวา)



รูปที่ 4.18 ภาพของใบพัดในเครื่องยนต์เครื่องบิน และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

และฐานหม้อหุงข้าว เลือกค่าความดำที่ 2.00 ที่ตำแหน่ง 1 ดังรูปที่ 4.19(ซ้าย) พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นแสดงค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพเฉลี่ย 19 วินาที ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุด 120 กิโลโวลต์และกระแส 2 มิลลิแอมแปร์ โดยภาพถ่ายที่ได้ให้รายละเอียดภายในได้ชัดเจน ดังรูปที่ 4.19(ขวา)



รูปที่ 4.19 ภาพของฐานหม้อหุงข้าว และภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ได้พัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ โดยใช้ฉากเรืองรังสีชนิดแกโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ของ KONICA รุ่น SR0-750 ประกอบกับโฟโตไดโอดของ SHARP รุ่น BS500B0F ที่มีชุดขยายสัญญาณก่อนเข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข แล้วใช้สายยูเอสบีต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อส่งข้อมูลให้โปรแกรมประมวลผลหาค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ รุ่น ERESO 65MF3 ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ และหาความดำเพื่อเปรียบเทียบ โดยฟิล์ม Kodak Type MX125 ที่ประกอบ 2 ด้านด้วยฉากเรืองรังสีชนิดฉากตะกั่ว และมีเครื่องวัดความดำฟิล์ม รุ่น Macbeth TD504 จากสำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์ หาความดำของฟิล์ม ส่วนในการวิจัยนี้ได้ใช้ค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดในช่วง 80 - 160 กิโลโวลต์ และค่ากระแสไม่เกิน 3 มิลลิแอมแปร์ โดยมีผลการพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ฉากเรืองรังสีชนิดแกโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ให้แสงที่มีความยาวคลื่นและความเข้มของแสงที่โฟโตไดโอดที่ใช้ในงานวิจัยสามารถตรวจวัดค่าได้ เมื่อจัดขยายสัญญาณให้มีความเหมาะสมกันระหว่างค่าที่วัดได้กับความหนาของอะลูมิเนียมที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ในช่วง 80 - 160 กิโลโวลต์ พบว่าที่พลังงานสูงขึ้นก็สามารถวัดค่าความเข้มรังสีเอกซ์ได้มากขึ้น และความหนาของอะลูมิเนียมมากขึ้นก็สามารถวัดค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ได้ลดลง ซึ่งค่าที่วัดได้นั้นเป็นไปตามทฤษฎี

2. สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่เอกซ์โพเซอ์ต่าง ๆ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความดำของฟิล์ม มีลักษณะเป็นเชิงเส้นโดยไม่ขึ้นกับศักดาไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ โดยเลือกข้อมูลที่ได้ในช่วงความดำ 1.0 - 2.5 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟิล์มสามารถแยกความแตกต่างของภาพได้ดีที่สุด เพื่อใช้ในโปรแกรมประมวลผลที่พัฒนาขึ้นสำหรับหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

3. เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนั้นให้ค่าความดำฟิล์มแตกต่างไปจากความดำที่ต้องการอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.10 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนั้นให้ผลใกล้เคียงกับที่ต้องการ ซึ่งถือว่ามีคุณภาพถูกต้องและแม่นยำในระดับที่น่าพึงพอใจ

4. ในการทดสอบชิ้นงานแบบที่ไม่ทราบชนิด ลักษณะ ความหนา และองค์ประกอบภายในของชิ้น ซึ่งได้เลือกใช้ชิ้นงานทดสอบ ทั้งที่เป็นชิ้นงานทางอิเล็กทรอนิกส์และชิ้นงานทางอุตสาหกรรม พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถประมวลผลหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ได้อย่างถูกต้อง

5. ในการพัฒนาอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ได้ใช้งบประมาณในการพัฒนาประมาณ 2,200 บาท โดยรายละเอียดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ แสดงในภาคผนวก ก เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ต่อฟิล์มซึ่งมีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 500 บาทต่อฟิล์ม (อ้างอิงราคาจากงานตรวจสอบโดยไม่ทำลายศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)) พบว่าจุดคุ้มทุนของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นจะเท่ากับจำนวนฟิล์มที่สิ้นเปลืองจากส้อมถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จำนวน 5 ฟิล์ม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการใช้งานอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพนั้น ในการวัดความเข้มรังสีเอกซ์เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ และถ่ายภาพชิ้นงานนั้นจะต้องมีการจัดตำแหน่งการถ่ายภาพเดียวกัน และตั้งค่าเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ (ตั้งค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุด กับกระแส) เท่ากันทุกครั้ง เนื่องจากค่าที่ได้จากอุปกรณ์นี้จะเป็นเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพที่เงื่อนไขเดียวกันเท่านั้น

2. ถ้าใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ เครื่องอื่นที่ไม่ใช่เครื่องที่ทดสอบ จะต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพที่ค่าความดำต่าง ๆ ใหม่ แล้วป้อนข้อมูลลงไปในฐานะข้อมูลชุดใหม่ เนื่องจากเครื่องรังสีเอกซ์มีคุณสมบัติเฉพาะภายในของแต่ละเครื่องที่แตกต่างกันไป ซึ่งอาจจะทำให้ผลที่ได้ผิดพลาดไป

3. ถ้าเปลี่ยนมีการเปลี่ยนชนิดของฟิล์ม ควรแก้ค่าของผลที่ได้ตามค่าเฉพาะของฟิล์มนั้น ๆ ด้วยเพื่อความถูกต้อง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [1] นเรศร์ จันทน์ขาว. เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสี[สไลด์การสอนรายวิชา 2111626 การประยุกต์ใช้รังสีและไอโซโทปรังสีในทางอุตสาหกรรม]. กรุงเทพฯ : ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [2] นเรศร์ จันทน์ขาว. การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา, เอกสารการสอนวิชา 2111626 การประยุกต์ใช้รังสีและไอโซโทปรังสีในทางอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [3] Lamarsh, J.R. Introduction to Nuclear Engineering. 2<sup>nd</sup> ed. Massachusettes : Addison-Wesley, 1983.
- [4] เอกรัฐ ฤทธิเนียม. การพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ FOS ชนิดเทเปอร์ร่วมกับ CCD. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [5] Lilley, J.S. Nuclear Physics Principles and Application. Department of Physics and astronomy The University of Manchester : John Wiley & Sons, 2001.
- [6] William ,R Hedee and Russell, E Ritenour. Medical Imaging Physics. 4<sup>th</sup> ed. New York : John Wiley & son , 2002 : p. 225.
- [7] Cavouras, D., et al. An experiment to determine the effective luminescence efficiency of scintillator – photodetector combination in x-ray medical imaging systems. Journal of The British Journal of Radiology, 1998 : p.p. 766-772.
- [8] James maas. INDUSTRIAL ELECTRONICS. Prentice hall international ed. New Jersey : A Simon & Schuster, 1995.
- [9] Theodore F. Bogart, Jr., Jeffrey S. Beasley, and Guillermo Rigo. Electronic Devices and Circuits. 6<sup>th</sup> ed. New Jersey : Pearson Education, 2004.
- [10] ดันแกน, แฟรงค์ อาร์ และ พิสมัย สุภัทรานนท์, ผู้แปล. ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซีสำหรับช่างเทคนิค. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2545.

### บรรณานุกรม

Knoll,G.F. Radiation detection and measurement. 2<sup>nd</sup> ed. New York : John Wiley & son, 1976.

กองรังสีและเครื่องมือแพทย์. ข้อกำหนดด้านมาตรฐานเครื่องเอกซเรย์. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2544.

ฉันทวุฒิ พีชผล. คู่มือเรียน Visual Basic 6 + CD. พิมพ์ครั้งที่ 18. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น, 2550.

บัณฑิต จามรภูติ. คู่มือการใช้งาน Protel 99. เชียงใหม่ : บัณฑิตเพรส, 2544.

สาโรช ปริยะวาที. การพัฒนาเครื่องวัดค่าเวลาในการฉายรังสีเอกซเรย์วินิจฉัยแบบอิเล็กทรอนิกส์. ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ สงขลา. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2540.

อรินญา อุตบัววงศ์. การพัฒนาอุปกรณ์วัดค่าฮาร์ฟแวลูเอเยอร์ของรังสีเอกซ์สำหรับการฉายรังสีครั้งเดียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

ค่าใช้จ่ายในการสร้างอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน  
เพื่อใช้เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

ที่	รายการ	จำนวน	ราคาต่อ หน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	ไฟโตไดโอดของ SHARP รุ่น BS500B0F	2 ตัว	226.00	452.00
2	ฉากเรืองรังสีชนิดแกโดลิเนียมออกไซด์ ฟิล์ม	0.0144 ตารางฟุต	7,500.00	108.00
3	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1 ชุด	500.00	500.00
4	Microcontroller 18F4550	1 ตัว	215.00	215.00
5	ถ่านไฟฉาย 9 โวลต์	2 ก้อน	30.00	60.00
6	Adapter 18 โวลต์	1 ตัว	215.00	215.00
7	กล่องพลาสติก	1 กล่อง	100.00	100.00
8	สายสัญญาณ	0.5 เมตร	300.00	150.00
9	สายยูเอสบี	1 เส้น	200.00	200.00
10	อื่น ๆ			200.00
		<b>รวม</b>		<b>2,200.00</b>

ศูนย์วิทยุทางการแพทย์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

## ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโฟโตไดโอดที่ใช้ในงานวิจัย

SHARP ELEK/ MELEC DIV  
Blue Sensitive Photodiode

15E D 8180798 0002702 T

BS500B

**BS500B** Photodiode for Visible Light

T-41-51

## ■ Features

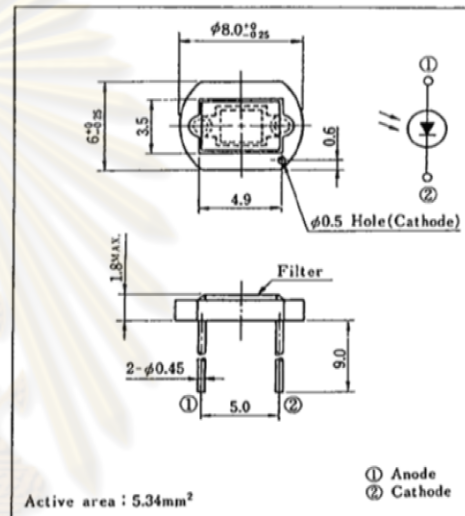
1. Wide dynamic range (Capable of measuring  $10^{-3}$  to  $10^4$  lx of  $E_v$ )
2. Low dark current ( $I_d$ : MAX.  $10^{-11}$ A at  $V_R=1V$ )
3. Most suitable for visible light measurement ( $\lambda_p=560nm$ )
4. Infrared light cut-off type

## ■ Applications

1. AE (automatic exposure) system and ES (electronic shutter) system for cameras
2. Stroboscopes
3. Precise optical instruments

## ■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



## ■ Absolute Maximum Ratings

(Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Reverse voltage	$V_R$	10	V
Operating temperature	$T_{op}$	-20 ~ +60	°C
Storage temperature	$T_{stg}$	-20 ~ +80	°C
*1 Soldering temperature	$T_{sol}$	260	°C

\*1 For 5 seconds

## ■ Electro-optical Characteristics

(Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
*2 Short circuit current	$I_{sc}$	$E_v = 100$ lx	0.40	0.55	0.65	$\mu A$
*3 Short circuit current temperature coefficient	$\beta_T$	$E_v = 100$ lx	—	0.02	0.06	%/°C
Dark current	$I_d$	$V_R = 1V$	—	$3 \times 10^{-12}$	$10^{-11}$	A
Dark current temperature coefficient	$\alpha_T$	$V_R = 1V$	—	4.0	5.0	times/10°C
Terminal capacitance	$C_t$	$V_R = 0, f = 1MHz$	—	600	1,000	pF
Peak sensitivity wavelength	$\lambda_p$		500	560	600	nm
*4 Spectral sensitivity Infrared radiation ratio	$\Delta I_R$		—	5	—	%

\*2  $E_v$ : Illuminance by CIE standard light source A (tungsten lamp)\*3  $\Delta I_R = \frac{I_{sc}(\lambda \geq 700nm)}{I_{sc}(\text{full wavelength})} \times 100\%$ 

SHARP

Fig. 1 Short Circuit Current vs. Illuminance

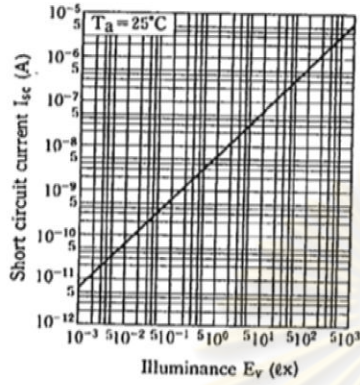


Fig. 2 Relative Short Circuit Current vs. Ambient Temperature

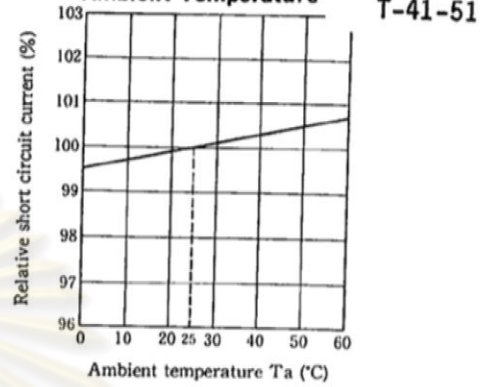


Fig. 3 Dark Current vs. Reverse Voltage

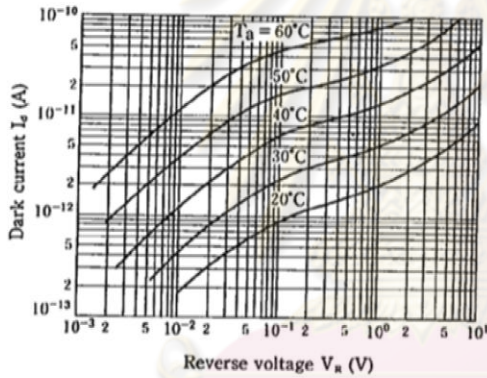


Fig. 4 Spectral Sensitivity

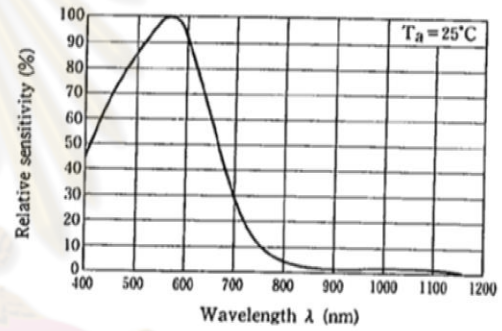
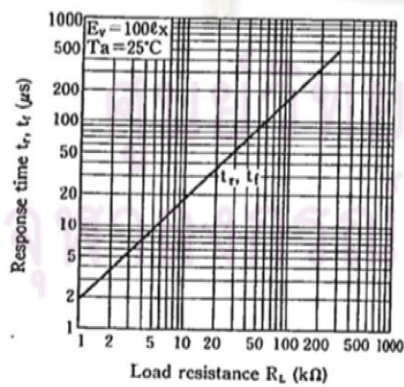
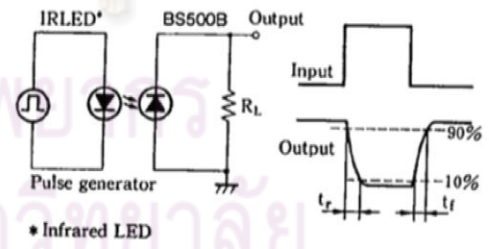


Fig. 5 Response Time vs. Load Resistance



Test Circuit for Response Time



## ภาคผนวก ค

## รายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัย

วงจรขยายสัญญาณและวงจรแหล่งจ่ายคักตาไฟฟ้า

สัญลักษณ์	ชนิดของอุปกรณ์	รหัสหรือคุณลักษณะ
AR 1 - AR3	OPAMP	CA3140
U1	REGULATOR	7815
D1,D2	PHOTODIODE	BS500B0F
R1,R2	RESISTOR	20 M $\Omega$
R4,R5	RESISTOR	100 k $\Omega$
R3	VARIABLE RESISTOR	10 M $\Omega$
C1	CAPACITOR	0.33 $\mu$ F
C2,C9,C10	CAPACITOR	0.10 $\mu$ F
C3 - C8	CAPACITOR	0.01 $\mu$ F

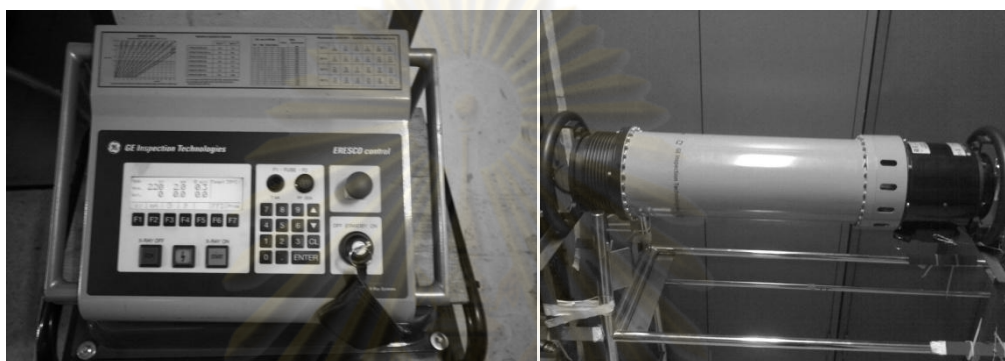
วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข

สัญลักษณ์	ชนิดของอุปกรณ์	รหัสหรือคุณลักษณะ
D1	LED	
IC1	MICROCONTROLLER	PIC18F4550
Y1	CRYSTAL	20 MHz
S1	SWITCH	SW-PB
R1	RESISTOR	500 $\Omega$
R2	RESISTOR	10 k $\Omega$
C1	CAPACITOR	0.10 $\mu$ F
C2	CAPACITOR	10 $\mu$ F
C4,C5	CAPACITOR	33 pF
C2	CAPACITOR	0.47 $\mu$ F

## ภาคผนวก ง

### เครื่องมือสำคัญที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์รุ่น ERESO 65MF3 ของงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)



(ก)

(ข)

รูปที่ ค.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ รุ่น ERESO 65MF3 (ก) ส่วนควบคุม (ข) หลอดรังสีเอกซ์

2. เครื่องวัดความดำฟิล์ม รุ่น Macbeth TD504 จากสำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข



รูปที่ ค.2 เครื่องวัดความดำฟิล์ม รุ่น Macbeth TD504

## ภาคผนวก จ

โปรแกรมการทำงานหาค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์  
 ส่วนโปรแกรมที่บันทึกลงไมโครคอนโทรลเลอร์

```

#include <18F4550.h>

#fuses HSPLL, USBDIV, PLL5, CPUDIV1, VREGEN, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP,
      NODEBUG

#use delay (clock = 20000000)

#use rs232(baud=9600, parity=N, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)

#define USB_HID_DEVICE FALSE
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_BULK
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_BULK
#define USB_EP1_TX_SIZE 64
#define USB_EP1_RX_SIZE 64

#include <pic18_usb.h>
#include <PicUSB.h>
#include <usb.c>
#define ad dataout[0]

void main(void)
{
  int16 dataout[64];
  int16 datain[64];
  setup_adc_ports(AN0);
  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
  usb_init();
  usb_task();
  usb_wait_for_enumeration();

```

```

while(TRUE)
{
    if(usb_enumerated())
    {
        if(usb_kbhit(1))
        {
            usb_get_packet(1,datain,64);
            set_adc_channel(0);
            delay_us(10);
            ad = read_adc();
            usb_put_packet(1,dataout,1,USB_DTS_TOGGLE);
        }
    }
}
}
}

```

### ส่วนโปรแกรมประมวลผล

\*\*\*\*\* Module 1 \*\*\*\*\*

Option Explicit

Public Declare Function MPUSBGetDLLVersion Lib "mpusbapi.dll" () As Long

Public Declare Function MPUSBGetDeviceCount Lib "mpusbapi.dll" (ByVal pVID\_PID As String) As Long

Public Declare Function MPUSBOpen Lib "mpusbapi.dll" (ByVal instance As Long, ByVal pVID\_PID As String, ByVal pEP As String, ByVal dwDir As Long, ByVal dwReserved As Long) As Long

Public Declare Function MPUSBClose Lib "mpusbapi.dll" (ByVal handle As Long) As Long



```
Public Declare Function MPUSBRead Lib "mpusbapi.dll" (ByVal handle As Long, ByVal
    pData As Long, ByVal dwLen As Long, ByVal pLength As Long, ByVal
    dwMilliseconds As Long) As Long
```

```
Public Declare Function MPUSBWrite Lib "mpusbapi.dll" (ByVal handle As Long, ByVal
    pData As Long, ByVal dwLen As Long, ByVal pLength As Long, ByVal
    dwMilliseconds As Long) As Long
```

```
Public Declare Function MPUSBReadInt Lib "mpusbapi.dll" (ByVal handle As Long,
    ByVal pData As Long, ByVal dwLen As Long, ByVal pLength As Long, ByVal
    dwMilliseconds As Long) As Long
```

```
Public Const INVALID_HANDLE_VALUE = -1
```

```
Public Const ERROR_INVALID_HANDLE = 6&
```

```
Public Declare Function GetLastError Lib "kernel32" () As Long
```

```
Public Declare Function timeGetTime Lib "winmm.dll" () As Long
```

```
Public Const vid_pid = "vid_04d8&pid_0011"
```

```
Public Const out_pipe = "\MCHP_EP1"
```

```
Public Const in_pipe = "\MCHP_EP1"
```

```
Public Const MPUSB_FAIL = 0
```

```
Public Const MPUSB_SUCCESS = 1
```

```
Public Const MP_WRITE = 0
```

```
Public Const MP_READ = 1
```

```
Public myInPipe As Long
```

```
Public myOutPipe As Long
```

```
Sub OpenMPUSBDevice()
```

```
    Dim tempPipe As Long
```

```
    Dim count As Long
```

```
    tempPipe = INVALID_HANDLE_VALUE
```

```
    count = MPUSBGetDeviceCount(vid_pid)
```

```

If count > 0 Then
    myOutPipe = MPUSBOpen(0, vid_pid, out_pipe, MP_WRITE, 0)
    myInPipe = MPUSBOpen(0, vid_pid, in_pipe, MP_READ, 0)

    If myOutPipe = INVALID_HANDLE_VALUE Or myInPipe =
INVALID_HANDLE_VALUE Then
        MsgBox Str(myOutPipe) + " " + Str(myInPipe) + " Error opening the ports"
        myOutPipe = INVALID_HANDLE_VALUE
        myInPipe = INVALID_HANDLE_VALUE
    End If
Else
    MsgBox "ET-PICUSB4550 not found."
End If
End Sub

Sub CloseMPUSBDevice()
    If myOutPipe <> INVALID_HANDLE_VALUE Then
        MPUSBClose (myOutPipe)
        myOutPipe = INVALID_HANDLE_VALUE
    End If
    If myInPipe <> INVALID_HANDLE_VALUE Then
        MPUSBClose (myInPipe)
        myInPipe = INVALID_HANDLE_VALUE
    End If
End Sub

Function Send_Receive(ByRef SendData() As Byte, SendLength As Long, _
    ByRef ReceiveData() As Byte, ByRef ReceiveLength As Long, _
    ByVal SendDelay As Long, ByVal ReceiveDelay As Long) As Long

```

```

Dim SentDataLength As Long
Dim ExpectedReceiveLength As Long
ExpectedReceiveLength = ReceiveLength
If (myOutPipe <> INVALID_HANDLE_VALUE And myInPipe <>
INVALID_HANDLE_VALUE) Then
    If (MPUSBWrite(myOutPipe, VarPtr(SendData(0)), SendLength, SentDataLength,
SendDelay) = MPUSB_SUCCESS) Then
        If (MPUSBRead(myInPipe, VarPtr(ReceiveData(0)), ExpectedReceiveLength,
ReceiveLength, ReceiveDelay) = MPUSB_SUCCESS) Then
            If (ReceiveLength = ExpectedReceiveLength) Then
                Send_Receive = 1
                Exit Function
            ElseIf (ReceiveLength < ExpectedReceiveLength) Then
                Send_Receive = 2
                Exit Function
            End If
        Else
            CheckInvalidHandle
        End If
    Else
        CheckInvalidHandle
    End If
End If
Send_Receive = 0
End Function

Sub CheckInvalidHandle()
    If (GetLastError() = ERROR_INVALID_HANDLE) Then
        CloseMPUSBDevice
    End If
End Sub

```

```

Else
    MsgBox "error code : " + Str(GetLastError())
End If
End Sub

Function Send(ByRef SendData() As Byte, SendLength As Long, ByVal SendDelay As
Long) As Long
    Dim SentDataLength As Long
    If (myOutPipe <> INVALID_HANDLE_VALUE And myInPipe <>
INVALID_HANDLE_VALUE) Then
        If (MPUSBWrite(myOutPipe, VarPtr(SendData(0)), SendLength, SentDataLength,
SendDelay) = MPUSB_SUCCESS) Then
            Send = 1
            Exit Function
        Else
            CheckInvalidHandle
        End If
    End If
    Send = 0
End Function

```

\*\*\*\*\* Form 1 \*\*\*\*\*

```

Option Explicit
Private Declare Sub CopyMemory Lib "kernel32" Alias "RtlMoveMemory" (hpvDest As
Any, hpvSource As Any, ByVal cbCopy As Long)
Private i, j As Integer
Private a, b As String
Private An(10) As Double
Private TargetFile As String

```

Private m(10000) As Double  
Private Ag As Double  
Private XrayMac As String  
Private FluorScr As String  
Private File As String  
Private CountD, NumD, CountV, NumV As Integer  
Private Time(100, 100) As Double  
Private V(100) As Double  
Private D(100) As Double  
Private Vi, OD, OpTime As Double  
Private OverV, OverD, BottomV, BottomD, OverT, BottomT As Double  
Private TBottomDBottomV, TBottomDOverV, TOverDBottomV, TOverDOverV As Double  
Private TypeFilm(100) As String  
Private FacFilm(100) As Double  
Private DefFilm(100) As Boolean  
Private Film(100) As TextBox  
Private Fac(100) As TextBox  
Private Def(100) As OptionButton  
Private iFilm As Integer  
Private jFilm As Integer  
Private Fac1 As Double  
Private Send\_Buf(0 To 64) As Byte  
Private Rec\_Buf(0 To 64) As Byte  
Private Const CP\_ACP = 0  
Private Const CP\_MACCP = 2  
Private Const CP\_OEMCP = 1  
Private Const CP\_UTF7 = 65000  
Private Const CP\_UTF8 = 65001  
Private Const WC\_NO\_BEST\_FIT\_CHARS = &H400

```

Private Const WC_COMPOSITECHECK = &H200
Private Const WC_DISCARDNS = &H10
Private Const WC_SEPCHARS = &H20
Private Const WC_DEFAULTCHAR = &H40
Private Declare Function WideCharToMultiByte Lib "kernel32" (ByVal CodePage As
Long, _
    ByVal dwFlags As Long, _
    ByVal lpWideCharStr As Long, _
    ByVal cchWideChar As Long, _
    ByVal lpMultiByteStr As Long, _
    ByVal cbMultiByte As Long, _
    ByVal lpDefaultChar As Long, _
    ByVal lpUsedDefaultChar As Long) As Long

Private Function ByteArrayToString(Bytes() As Byte) As String
    Dim iUnicode As Long, i As Long, j As Long
    On Error Resume Next
    i = UBound(Bytes)
    If (i < 1) Then
        ByteArrayToString = StrConv(Bytes, vbUnicode)
        Exit Function
    End If
    i = i + 1
    CopyMemory iUnicode, Bytes(0), 2
    If iUnicode = Bytes(0) Then
        If (i Mod 2) Then i = i - 1
        ByteArrayToString = String$(i / 2, 0)
        CopyMemory ByVal StrPtr(ByteArrayToString), Bytes(0), i
    Else

```

```

        ByteArrayToString = StrConv(Bytes, vbUnicode)
    End If
End Function

Private Function StringToArray(strInput As String, _
    Optional bReturnAsUnicode As Boolean = True, _
    Optional bAddNullTerminator As Boolean = False) As Byte()

    Dim IRet As Long
    Dim bytBuffer() As Byte
    Dim ILenB As Long

    If bReturnAsUnicode Then
        ILenB = LenB(strInput)
        If bAddNullTerminator Then
            ReDim bytBuffer(ILenB)
        Else
            ReDim bytBuffer(ILenB - 1)
        End If
        CopyMemory bytBuffer(0), ByVal StrPtr(strInput), ILenB
    Else
        ILenB = Len(strInput)
        If bAddNullTerminator Then
            ReDim bytBuffer(ILenB)
        Else
            ReDim bytBuffer(ILenB - 1)
        End If
        IRet = WideCharToMultiByte(CP_ACP, 0&, ByVal StrPtr(strInput), -1, ByVal
VarPtr(bytBuffer(0)), ILenB, 0&, 0&)
    End If

    StringToArray = bytBuffer

```

End Function

Private Sub Combo1\_Click()

iFilm = 1

Open "D:\Nuclear Tech\inter\Factor of Film.txt" For Input As #1

Input #1, a

Do Until a = "/"

TypeFilm(iFilm) = a

Input #1, a

FacFilm(iFilm) = Val(a)

Input #1, a

DefFilm(iFilm) = a

Input #1, a

iFilm = iFilm + 1

Loop

Close #1

For jFilm = 1 To iFilm - 2

If DefFilm(jFilm) = True Then

Combo1.AddItem TypeFilm(jFilm)

Combo1.Text = TypeFilm(jFilm)

End If

Next jFilm

For jFilm = 1 To iFilm - 2

If DefFilm(jFilm) = False Then Combo1.AddItem TypeFilm(jFilm)

Next jFilm

For jFilm = 1 To iFilm - 2

If DefFilm(jFilm) = True Then Fac1 = FacFilm(jFilm)

Next jFilm

End Sub



```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    Ag = 0
```

```
    j = 1
```

```
    Text5.Text = ""
```

```
    OD = Val(Text4.Text)
```

```
    Timer1.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
    Timer1.Enabled = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
    CloseMPUSBDevice
```

```
    Unload Me
```

```
    End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    Form2.Enabled = False
```

```
    Form2.Visible = False
```

```
    Form3.Enabled = False
```

```
    Form3.Visible = False
```

```
    i = 3
```

```
    j = 1
```

```
    iFilm = 1
```

```
    jFilm = 2
```

```
    Timer1.Enabled = False
```

```
    Timer1.Interval = 10
```

Open "C:\Users\OFF\Desktop\New folder\Nuclear\_Interface\Thesis\Program (New)\X-ray Test for X-ray Tube of TINT (ERESO 65MF3).txt" For Input As #1

InputDatabase

Open "D:\Nuclear Tech\inter\Factor of Film.txt" For Input As #1

Input #1, a

Do Until a = "/"

    TypeFilm(iFilm) = a

    Input #1, a

    FacFilm(iFilm) = Val(a)

    Input #1, a

    DefFilm(iFilm) = a

    Input #1, a

    iFilm = iFilm + 1

Loop

Close #1

For jFilm = 1 To iFilm - 2

    If DefFilm(jFilm) = True Then Combo1.Text = TypeFilm(jFilm)

Next jFilm

For jFilm = 1 To iFilm - 2

    If DefFilm(jFilm) = True Then Fac1 = FacFilm(jFilm)

Next jFilm

End Sub

Private Sub Form\_Unload(Cancel As Integer)

    Dim Send\_Buf(0 To 64) As Byte

    If (myOutPipe <> INVALID\_HANDLE\_VALUE) And (myInPipe <>  
INVALID\_HANDLE\_VALUE) Then

        Send\_Buf(0) = 5

        Send\_Buf(1) = 0

```
If (Send(Send_Buf, 2, 1000) <> 1) Then
    MsgBox "Bug in the PWW"
End If
End If
CloseMPUSBDevice
End Sub
```

```
Private Sub mnuAdd_Click()
    Form3.Enabled = True
    Form3.Visible = True
End Sub
```

```
Private Sub mnuClose_Click()
    CloseMPUSBDevice
End Sub
```

```
Private Sub mnuNew_Click()
    Form2.Enabled = True
    Form2.Visible = True
End Sub
```

```
Private Sub mnuOpen_Click()
    myInPipe = INVALID_HANDLE_VALUE
    myOutPipe = INVALID_HANDLE_VALUE
    OpenMPUSBDevice
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
    Text6.Text = "Data processing , Please wait"
```

```

If (myOutPipe <> INVALID_HANDLE_VALUE) And (myInPipe <>
INVALID_HANDLE_VALUE) Then
    Send_Buf(0) = 4
    If (Send_Receive(Send_Buf, 1, Rec_Buf, 1, 10, 10) <> 1) Then
        MsgBox "Failed in reading analog"
    Else
        An(0) = Rec_Buf(0) * 5 / 255
        m(j) = An(0)
    End If
End If
If (j <= 100) Then
    Ag = Ag + m(j)
End If
If j >= 100 Then
    Timer1.Enabled = False
    Vi = Round(Ag / j, 2)
    If OD < D(1) Or OD > D(NumD) Then
        MsgBox ("Please input Density of film between 1.0 - 2.5")
        GoTo Outloop
    End If
    CountV = 0
    Do
        CountV = CountV + 1
        BottomV = V(CountV)
        OverV = V(CountV + 1)
    Loop Until Vi <= V(CountV + 1)
    CountD = 0
    Do
        CountD = CountD + 1

```

```

    BottomD = D(CountD)
    OverD = D(CountD + 1)
    Loop Until D(CountD + 1) >= OD
    TBottomDBottomV = Time(CountD, CountV)
    TBottomDOverV = Time(CountD, CountV + 1)
    TOverDBottomV = Time(CountD + 1, CountV)
    TOverDOverV = Time(CountD + 1, CountV + 1)
    BottomT = Interpolation(OverD, BottomD, TOverDBottomV, TBottomDBottomV, OD)
    OverT = Interpolation(OverD, BottomD, TOverDOverV, TBottomDOverV, OD)
    OpTime = Interpolation(OverV, BottomV, OverT, BottomT, Vi)
    Text5.Text = Round(OpTime / Fac1, 2)
    Text6.Text = ""
End If
j = j + 1
Outloop:
End Sub

Function Interpolation(ByVal RefOver As Double, ByVal RefBottom As Double, ByVal
ValOver As Double, ByVal ValBottom As Double, ByVal Ref As Double) As Double
    Interpolation = ValBottom + ((Ref - RefBottom) * (ValOver - ValBottom) / (RefOver -
RefBottom))
End Function

Sub InputDatabase()
    Input #1, a
    File = a
    Input #1, a
    FluorScr = a
    Input #1, a

```

```

XrayMac = a
CountV = 0
Do
    CountV = CountV + 1
    Input #1, a
    If a <> "/" Then
        V(CountV) = Val(a)
    End If
Loop Until a = "/"
NumV = CountV - 1
CountD = 0
Do
    CountD = CountD + 1
    Input #1, a
    If a <> "/" Then
        D(CountD) = Val(a)
        For CountV = 1 To NumV
            Input #1, a
            Time(CountD, CountV) = Val(a)
        Next CountV
    End If
Loop Until a = "/"
NumD = CountD - 1
Close #1
Text1.Text = File
Text2.Text = FluorScr
Text3.Text = XrayMac
End Sub

```

```

Private Sub mnuLoad_Click()
    On Error Resume Next
    CommonDialog1.DialogTitle = "load file"
    CommonDialog1.DefaultExt = ".txt"
    CommonDialog1.InitDir = ""
    CommonDialog1.FileName = ""
    CommonDialog1.Filter = "Text file(*.txt)|*.txt"
    CommonDialog1.FilterIndex = 0
    CommonDialog1.ShowOpen
    TargetFile = CommonDialog1.FileName
    Open TargetFile For Input As #1
    InputDatabase
EndSub

```

\*\*\*\*\*Form2\*\*\*\*\*

```

Private i, j, k As Integer
Private rows, cols As Integer
Private Txt(100, 100) As TextBox
Private Names As String
Private a, b As String
Private TargetFile As String
Private XrayMac As String
Private FluorScr As String
Private File As String
Private CountD, NumD, CountV, NumV As Integer
Private Time(100, 100) As Double
Private V(100) As Double
Private D(100) As Double

```

```
Private Sub Command1_Click()  
    On Error GoTo ErrorHandler1  
    CommonDialog1.DialogTitle = "load file"  
    CommonDialog1.DefaultExt = ".txt"  
    CommonDialog1.InitDir = ""  
    CommonDialog1.FileName = ""  
    CommonDialog1.Filter = "Text file(*.txt)|*.txt"  
    CommonDialog1.FilterIndex = 0  
    CommonDialog1.ShowOpen  
    TargetFile = CommonDialog1.FileName  
    Open TargetFile For Input As #1  
    Input #1, a  
    File = a  
    Input #1, a  
    FluorScr = a  
    Input #1, a  
    XrayMac = a  
    CountV = 0  
    Do  
        CountV = CountV + 1  
        Input #1, a  
        If a <> "/" Then  
            V(CountV) = Val(a)  
        End If  
    Loop Until a = "/"  
    NumV = CountV - 1  
    CountD = 0  
    Do
```



```

CountD = CountD + 1
Input #1, a
If a <> "/" Then
    D(CountD) = Val(a)
    For CountV = 1 To NumV
        Input #1, a
        Time(CountD, CountV) = Val(a)
    Next CountV
End If
Loop Until a = "/"
NumD = CountD - 1
Close #1
Text1.Text = File
Text2.Text = FluorScr
Text3.Text = XrayMac

For CountD = 1 To NumD
    Txt(CountD + 1, 1) = D(CountD)
Next CountD
For CountV = 1 To NumV
    Txt(1, CountV + 1) = V(CountV)
Next CountV
For CountD = 1 To NumD
    For CountV = 1 To NumV
        Txt(CountD + 1, CountV + 1) = Time(CountD, CountV)
    Next CountV
Next CountD
ErrorHandler1:
End Sub

```

```

Private Sub Command3_Click()
    On Error GoTo ErrorHandler2
    CommonDialog1.DialogTitle = "save file"
    CommonDialog1.DefaultExt = ".txt"
    CommonDialog1.InitDir = ""
    CommonDialog1.FileName = Text1.Text
    CommonDialog1.Filter = "Text file(*.txt)|*.txt"
    CommonDialog1.FilterIndex = 0
    CommonDialog1.ShowSave
    TargetFile = CommonDialog1.FileName
    Open TargetFile For Output As #1
    Print #1, Text1.Text
    Print #1, Text2.Text
    Print #1, Text3.Text
    For CountD = 1 To j - 1
        If CountD <> j - 1 Then
            For CountV = 1 To i - 2
                If CountD = 1 Then
                    If CountV <> i - 2 Then
                        V(CountV) = Txt(CountD, CountV + 1)
                        Print #1, Tab; V(CountV);
                    Else: Print #1, Tab; "/";
                End If
            Elseif CountD > 1 Then
                If CountV = 1 Then
                    D(CountD - 1) = Txt(CountD, CountV)
                    Print #1, D(CountD - 1); Tab;
                Elseif CountV > 1 Then
                    Time(CountD - 1, CountV - 1) = Txt(CountD, CountV)
                End If
            End If
        End For
    End For

```

```

        Print #1, Time(CountD - 1, CountV - 1); Tab;
    End If
End If
Next CountV
Print #1,
Else: Print #1, "/"
End If
Next CountD
ErrorHandler2:
    Close #1
End Sub

Private Sub Command4_Click()
    Form2.Enabled = False
    Form2.Visible = False
End Sub

Private Sub Form_Load()
    rows = 0
    cols = 0
    AddTable
    Timer1.Enabled = True
    Timer1.Interval = 2000
End Sub

Sub AddTable()
    k = 1
    For j = 1 To 5
        For i = 1 To 12

```

```

If j = 1 Then Names = "V"
If j > 1 And i = 1 Then Names = "D"
If j > 1 And i > 1 Then Names = "Time"
If k <> 1 Then
    Set Txt(j, i) = Controls.Add("VB.Textbox", Names & i & j)
    Txt(j, i).Move 240 + ((i - 1) * 720), 3000 + ((j - 1) * 240), 720, 240
    Txt(j, i).Visible = True
    Txt(j, i).Enabled = True
    If Names = "V" Then Txt(j, i).BackColor = QBColor(11)
    If Names = "D" Then Txt(j, i).BackColor = QBColor(14)
    If Names = "Time" Then Txt(j, i).BackColor = QBColor(10)
    Txt(j, i).Alignment = 2
    Txt(j, i).FontBold = True
    Txt(j, i).Text = ""
End If
k = k + 1
Next i
Next j
End Sub

```

```

Private Sub Timer1_Timer()
    Dim m As String
    Dim x, y As Integer
    x = 1
    y = 1
    m = ""
    For x = 1 To j - 1
        m = m & Txt(x, i - 1).Text
    Next x

```

```

If m <> "" Then
  For x = 1 To j - 1
    If x = 1 Then Names = "V"
    If x > 1 And i = 1 Then Names = "D"
    If x > 1 And i > 1 Then Names = "Time"
    If k <> 1 Then
      Set Txt(x, i) = Controls.Add("VB.Textbox", Names & i & x)
      Txt(x, i).Move 240 + ((i - 1) * 720), 3000 + ((x - 1) * 240), 720, 240
      Txt(x, i).Visible = True
      Txt(x, i).Enabled = True
      If Names = "V" Then Txt(x, i).BackColor = QBColor(11)
      If Names = "D" Then Txt(x, i).BackColor = QBColor(14)
      If Names = "Time" Then Txt(x, i).BackColor = QBColor(10)
      Txt(x, i).Alignment = 2
      Txt(x, i).FontBold = True
      Txt(x, i).Text = ""
    End If
    k = k + 1
  Next x
  i = i + 1
End If
m = ""
For y = 1 To i - 1
  m = m & Txt(j - 1, y).Text
Next y
If m <> "" Then
  For y = 1 To i - 1
    If j = 1 Then Names = "V"
    If j > 1 And y = 1 Then Names = "D"

```

```

If j > 1 And y > 1 Then Names = "Time"
If k <> 1 Then
    Set Txt(j, y) = Controls.Add("VB.Textbox", Names & y & j)
    Txt(j, y).Move 240 + ((y - 1) * 720), 3000 + ((j - 1) * 240), 720, 240
    Txt(j, y).Visible = True
    Txt(j, y).Enabled = True
    If Names = "V" Then Txt(j, y).BackColor = QBColor(11)
    If Names = "D" Then Txt(j, y).BackColor = QBColor(14)
    If Names = "Time" Then Txt(j, y).BackColor = QBColor(10)
    Txt(j, y).Alignment = 2
    Txt(j, y).FontBold = True
    Txt(j, y).Text = ""
End If
k = k + 1
Next y
j = j + 1
End If
End Sub

```

\*\*\*\*\*Form3\*\*\*\*\*

```

Private i, j As Integer
Private a, b, c As String
Private TypeFilm(100) As String
Private FacFilm(100) As Double
Private DefFilm(100) As Boolean
Private Film(100) As TextBox
Private Fac(100) As TextBox
Private Def(100) As OptionButton

```

```
Private iFilm As Integer
```

```
Private jFilm As Integer
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Open "D:\Nuclear Tech\inter\Factor of Film.txt" For Output As #1
```

```
For jFilm = 1 To iFilm - 1
```

```
    TypeFilm(jFilm) = Film(jFilm).Text
```

```
    Print #1, TypeFilm(jFilm); Tab; ",";
```

```
    FacFilm(jFilm) = Val(Fac(jFilm).Text)
```

```
    Print #1, FacFilm(jFilm); Tab; ",";
```

```
    DefFilm(jFilm) = Def(jFilm).Value
```

```
    Print #1, DefFilm(jFilm)
```

```
Next jFilm
```

```
Print #1, "/"
```

```
Close #1
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
Form3.Enabled = False
```

```
Form3.Visible = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
iFilm = 1
```

```
jFilm = 1
```

```
Open "D:\Nuclear Tech\inter\Factor of Film.txt" For Input As #1
```

```
    Input #1, a
```

```
Do Until a = "/"
```

```
    AddItems
```

```

TypeFilm(iFilm) = a
Film(iFilm).Text = TypeFilm(iFilm)

Input #1, a
FacFilm(iFilm) = Val(a)
Fac(iFilm).Text = FacFilm(iFilm)

Input #1, a
DefFilm(iFilm) = a
Def(iFilm).Value = DefFilm(iFilm)

Input #1, a
iFilm = iFilm + 1
Loop
Close #1
Timer1.Enabled = True
Timer1.Interval = 1
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Dim m As String
m = Film(iFilm - 1).Text & Fac(iFilm - 1).Text
If m <> "" Then
    AddItems
    iFilm = iFilm + 1
End If
If m = "" Then
    m = Film(iFilm - 2).Text & Fac(iFilm - 2).Text
    If m = "" Then
        Form3.Controls.Remove ("Type" & iFilm - 1)
        Form3.Controls.Remove ("Fac" & iFilm - 1)
        Form3.Controls.Remove ("Def" & iFilm - 1)
    
```



```
iFilm = iFilm - 1
End If
End If
End Sub
Sub AddItems()
    Set Film(iFilm) = Controls.Add("VB.Textbox", "Type" & iFilm, Frame1)
    Film(iFilm).Move 360, 705 + ((iFilm - 1) * 240), 2535, 240
    Film(iFilm).Visible = True
    Film(iFilm).Enabled = True
    Film(iFilm).Alignment = 0
    Film(iFilm).FontBold = True
    Film(iFilm).Text = ""

    Set Fac(iFilm) = Controls.Add("VB.Textbox", "Fac" & iFilm, Frame1)
    Fac(iFilm).Move 3240, 705 + ((iFilm - 1) * 240), 1815, 240
    Fac(iFilm).Visible = True
    Fac(iFilm).Enabled = True
    Fac(iFilm).Alignment = 2
    Fac(iFilm).FontBold = True
    Fac(iFilm).Text = ""

    Set Def(iFilm) = Controls.Add("VB.OptionButton", "Def" & iFilm, Frame1)
    Def(iFilm).Move 5450, 720 + ((iFilm - 1) * 255), 255, 255
    Def(iFilm).Visible = True
    Def(iFilm).Enabled = True
    Def(iFilm).FontBold = True
    Def(iFilm).Caption = ""
End Sub
```

## ภาคผนวก จ

### คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

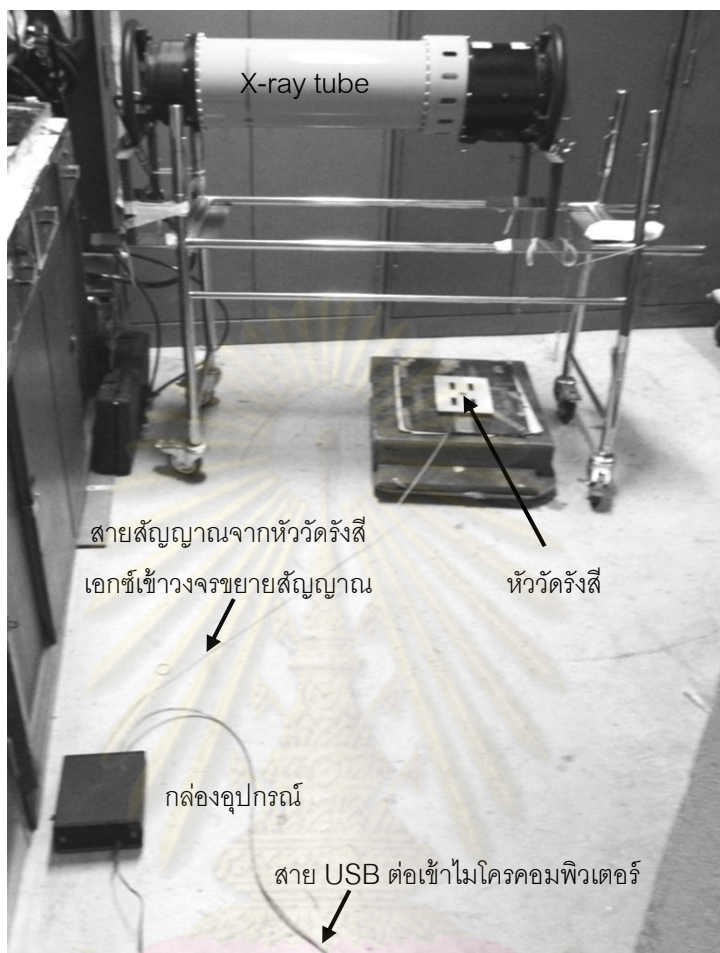
คู่มือการใช้งานอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

1. ทำการต่ออุปกรณ์วัด โดยต่อส่วนหัววัดเข้ากับกล่องอุปกรณ์ (ประกอบด้วย วงจรขยายสัญญาณและวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข)
2. ทำการต่อสายยูเอสบีจากกล่องอุปกรณ์เข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ หากมีการเชื่อมต่อไปไมโครคอมพิวเตอร์แล้วไฟตรงช่องยูเอสบีที่กล่องจะสว่าง
3. เลือกเปิดสวิทช์ (ว่าจะใช้แหล่งจากไฟจากแบตเตอรี่ 9 โวลต์ 2 ตัว หรือใช้แหล่งจากไฟภายนอก 18 โวลต์) เครื่องพร้อมที่จะทำงาน



รูปที่ จ.1 ชุดอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อใช้หาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

4. จัดอุปกรณ์ให้อยู่ในลักษณะที่พร้อมใช้ ดังรูปที่ จ.2 โดยลักษณะจะวางหัววัดไว้ได้ชิ้นงานที่พร้อมจะถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ (เสมือนวางหัววัดแทนฟิล์มถ่ายภาพ)



รูปที่ ๓.3 แสดงการจัดอุปกรณ์ให้อยู่ในลักษณะพร้อมใช้

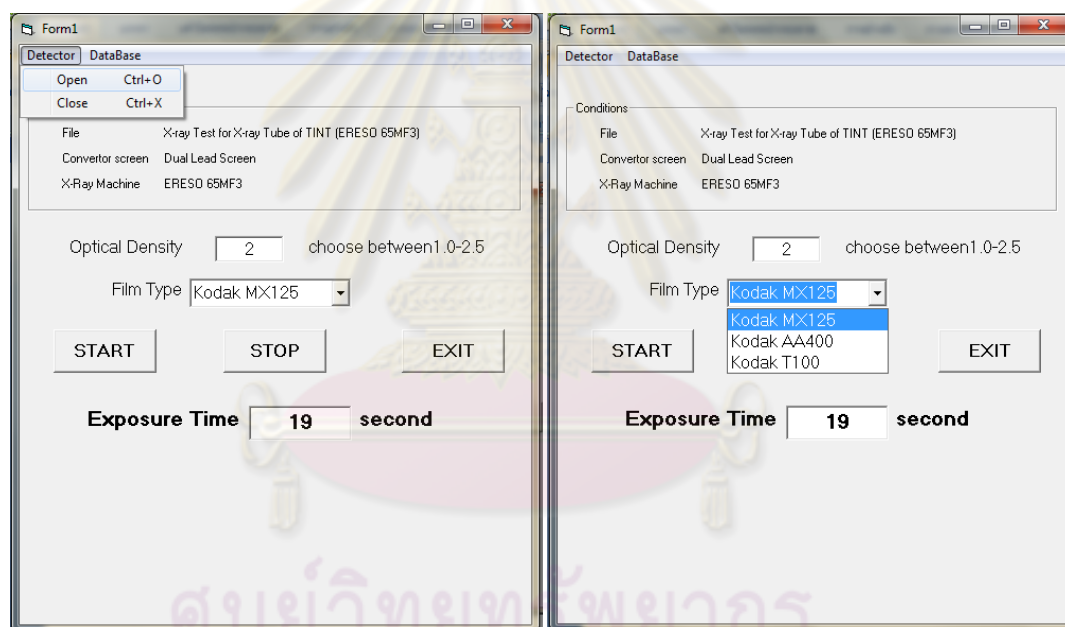
คู่มือการใช้โปรแกรมวัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

1. เปิดโปรแกรม Exposure Time of X-Ray.exe
2. ทำการเชื่อมต่อกับส่วนหัววัด โดยเลือก Open ที่ แถบของ Detector หรือกด Ctrl + O
3. หากต้องการเปลี่ยนฐานข้อมูลหรือเพิ่มเติมฐานข้อมูลให้เลือกแถบของ Database โดยค่าเริ่มต้นจะตั้งไว้ให้ใช้งานกับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ รุ่น ERESO 65MF3 ที่ฉากเรืองรังสีชนิดฉากตะกั่ว 2 แผ่นประกบฟิล์มทำการป้อนค่าข้อมูล ค่าความดำที่ต้องการที่อยู่ในช่วง 1.0 - 2.5 (ค่าเริ่มต้นตั้งไว้ที่ 2.0) และเลือกชนิดของฟิล์มด้วย (ค่าเริ่มต้นไว้เป็นฟิล์ม Kodak MX125)

4. ทำการฉายรังสีเอกซ์ (ควรตั้งให้ฉายนานกว่า 30 วินาที) กดปุ่ม START เพื่อเริ่มวัดความเข้มรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน (ควรปล่อยให้ฉายทิ้งไว้ประมาณ 10-15 วินาที แล้วจึงเริ่มวัด) จากนั้นโปรแกรมขึ้นค่า Exposure Time ขึ้นมา ซึ่งค่าที่ได้ นั่นคือค่าเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

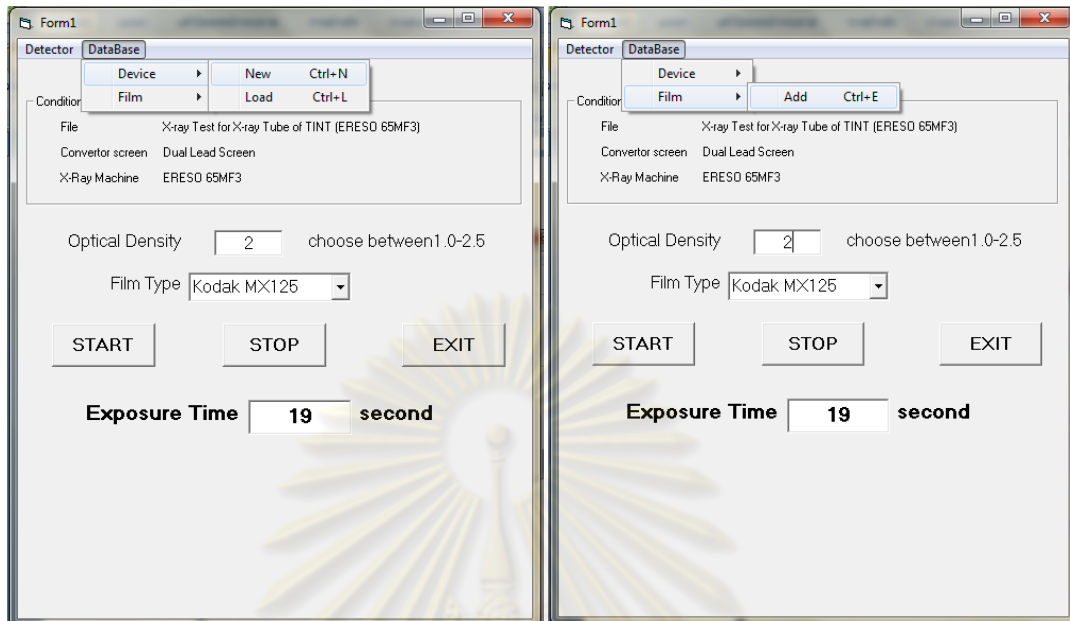
5. เมื่อต้องการทำการวัดอีกครั้งให้สามารถกดที่ปุ่ม START ได้เลย

6. เมื่อต้องการถ่ายภาพ สามารถนำฟิล์มไปวางได้ขึ้น แล้วถ่ายภาพด้วยเวลาที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้เดิม ซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพที่มีคุณภาพเป็นที่น่าพึงพอใจ

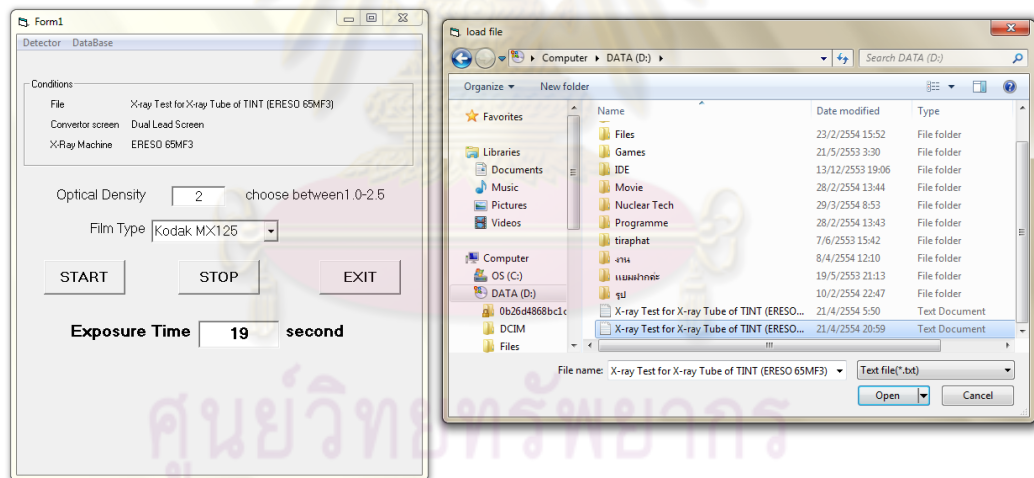


รูปที่ ๑.4 (ซ้าย) แสดงวิธีการเชื่อมต่อกับหัววัดรังสีเอกซ์

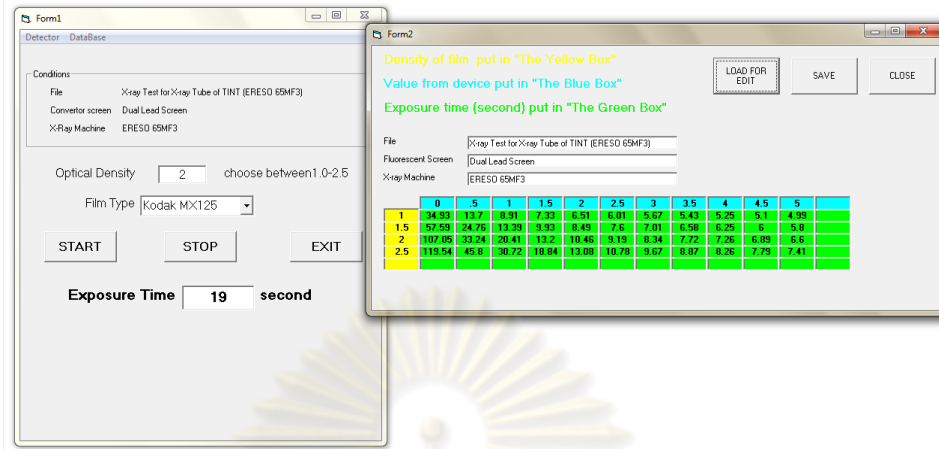
(ขวา) แสดงป้อนค่าความดำฟิล์มที่ต้องการและเลือกชนิดของฟิล์ม



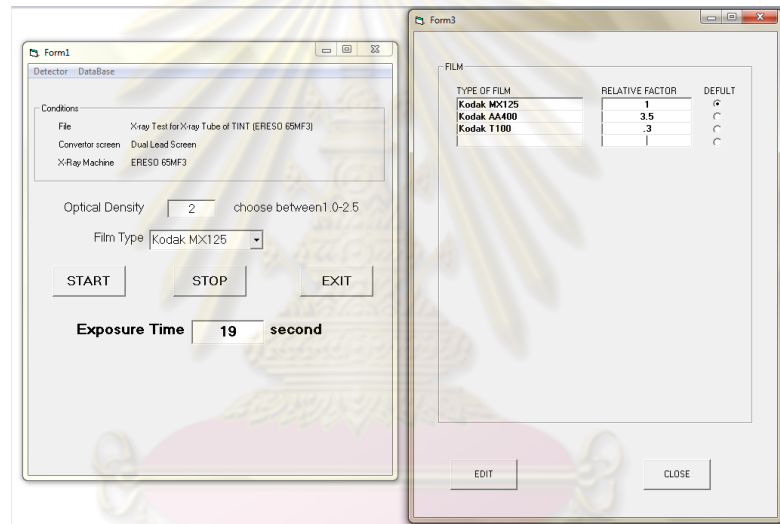
รูปที่ ๑.5 (ซ้าย) แสดงการเลือกฐานข้อมูลของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น  
(ขวา) แสดงการแก้ไขเพิ่มเติมฐานข้อมูลฟิล์ม



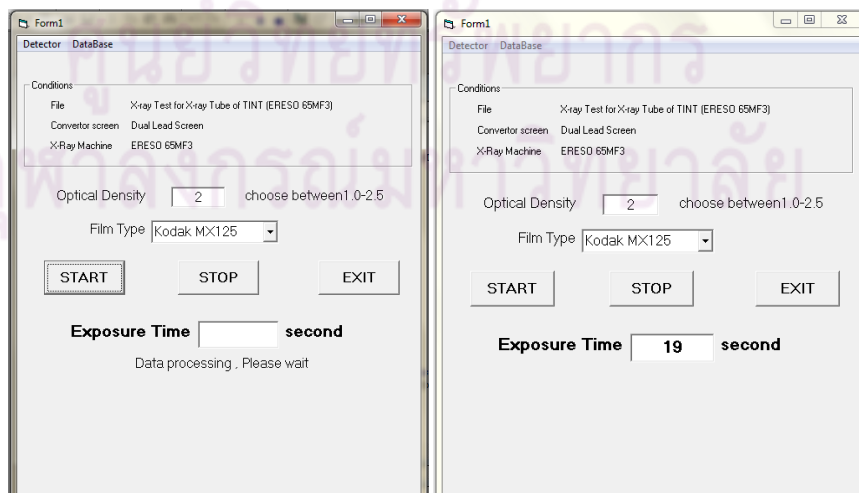
รูปที่ ๑.6 แสดงการเลือกฐานข้อมูลของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นใหม่



รูปที่ ๗.๗ แสดงการแก้ไขและเพิ่มเติมฐานข้อมูลของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ ๗.๘ แสดงการแก้ไขและเพิ่มเติมฐานข้อมูลของฟิล์ม



รูปที่ ๗.๙ (ซ้าย) แสดงการรอประมวลผลเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ  
(ขวา) แสดงเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกษมะ ดุรงค์ศักดิ์ เกิดวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2527 จังหวัดสุโขทัย สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ที่ภาควิชาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย