

การพัฒนาเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ

นายอัครา อัครเนตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DEVELOPMENT OF TECHNIQUES FOR 3D X-RAY RADIOGRAPHY

Mr. Akara Akaranate

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

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ แสดงผลแบบสามมิติ
โดย	นายอัครา อัครเนตร
สาขาวิชา	นิเวศวิทยาเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมนต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมนต์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ เฉลิม ทองอร่าม)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ศรินทร์ดี วงษ์ดี)

อัครา อัครเนตร : การพัฒนาเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ. (DEVELOPMENT OF TECHNIQUES FOR 3D X-RAY RADIOGRAPHY) อ. ที่  
 ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.  
 อรรถพร ภัทรสุมันต์ จำนวนหน้า 65 หน้า.

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติตามปกติใช้การบันทึกภาพด้วยฟิล์มซึ่งทำการถ่ายภาพที่ตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีสองตำแหน่งห่างกันประมาณ 6-8 เซนติเมตร เมื่อนำภาพทั้งสองไปใส่ในสแตริโอสโคปซึ่งมีอุปกรณ์ดูภาพและกระจกสะท้อนภาพสองชุดจึงทำให้เห็นภาพสองภาพได้พร้อมกันเป็นผลให้เห็นเป็นภาพสามมิติ อันที่จริงการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติมีประโยชน์แต่ไม่ได้นำมาใช้งานจริงจางเนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่สะดวกและใช้เวลามาก แต่ด้วยเทคโนโลยีการสร้างภาพด้วยรังสีและระบบโทรทัศนสามมิติในปัจจุบันการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติสามารถทำได้แบบเวลาจริงหรือใกล้เคียงเวลาจริงและสามารถดูภาพสามมิติได้บนจอภาพแบบสองหรือสามมิติ

การวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ให้ผลได้รวดเร็วโดยใช้ฉากเรืองรังสีร่วมกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตยูเอสบี จึงทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมและตั้งค่าต่าง ๆ รวมทั้งสามารถดูภาพและเก็บบันทึกภาพได้ ในขั้นสุดท้ายได้ทดสอบการถ่ายภาพชิ้นงานที่ตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีสองตำแหน่ง แล้วนำภาพจากสองตำแหน่งไปรวมเป็นภาพในรูปแบบแอนากลิฟ (anaglyph) หรือแบบเอ็มพีโอ (MPO) เพื่อดูผลเป็นภาพสามมิติบนจอภาพแบบสองมิติหรือสามมิติโดยใช้แว่นตาที่เหมาะสมเช่น แบบสีแดง-ฟ้า หรือแบบโพลาไรซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้เครื่องเล่นภาพยนตร์สามมิติและกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบสามมิติบางรุ่นสามารถแสดงผลภาพแบบสามมิติได้ด้วยตาเปล่า ผลการวิจัยนี้เป็นที่น่าพอใจมากและชี้ให้เห็นว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นและวิธีการที่ใช้ สะดวกที่จะนำไปใช้งานในการตรวจสอบวัสดุ

ภาควิชา.....วิศวกรรมนิวเคลียร์.....ลายมือชื่อนิติต.....

สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2555.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

## 5370587221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : X-RAY RADIOGRAPHY / 3D / INDUSTRIAL APPLICATION

AKARA AKARANATE : DEVELOPMENT TECHNIQUES FOR 3D X-RAY  
RADIOGRAPHY. ADVISOR : ASSOC.PROF. NARES CHANKOW,  
CO-ADVISOR : ASST.PROF. ATTAPORN PATTARASUMUNT, 65 pp.

Conventional x-ray stereoradiography is based on film radiography taken at two radiation source positions approximately 6 - 8 cm apart. To obtain the 3D effect, the two radiographs must be viewed at the same time by using a stereoscope having two sets of film viewer and reflecting mirror. X-ray stereoradiography is actually useful but is not practically employed due to inconvenient and time-consuming procedures. With modern radiation imaging technology and 3D television system, the x-ray stereoradiography can be performed real-time or near real-time and the 3D image can be viewed on a 2D or a 3D monitor.

In this research, an in-house fast x-ray radiography system was developed based on a fluorescent screen coupled with a digital camera. The camera was connected to a microcomputer via USB port allowing the user to remotely perform camera control and setting as well as to view and store the image. Finally, test specimens were radiographed at two source positions then combined to be anaglyph or MPO image format to be viewed on a 2D or a 3D LED monitor respectively. The 3D effect could be viewed with appropriate eye glasses i.e. red-cyan or polarized glasses respectively. In addition, the 3D effect could be viewed on some 3D movie players and 3D digital cameras with naked eyes. The results were found to be very satisfactory and indicated that the developed system and method were convenient to be routinely used for inspection of materials.

Department : Nuclear Engineering .....	Student's Signature .....
Field of Study : Nuclear Technology .....	Advisor's Signature .....
Academic Year : 2012 .....	Co-advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. รุ่งโรจน์ งามวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่งโรจน์ งามวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วมที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง รวมถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ อบรมสั่งสอน แนวคิด แนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งทำให้ข้าพเจ้านำไปใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ดี ที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือคำแนะนำในการใช้เครื่องเอกซเรย์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตในภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ รับฟังปัญหาและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลภายในครอบครัวที่ให้ความรักความห่วงใยมาตลอดและความช่วยเหลือสนับสนุนในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2. เครื่องกำเนิดเอกซ์เรย์ หลักการถ่ายภาพสามมิติและการมองภาพ.....	2
2.1 รังสีเอกซ์.....	4
2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลาง.....	6
2.3 การประยุกต์ใช้รังสีเอกซ์.....	12
2.4 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์เรย์.....	13
2.5 การถ่ายภาพวัสดุด้วยรังสีเอกซ์.....	15
2.6 สารเรืองรังสี.....	17
2.7 หลักการเกิดภาพสามมิติ.....	19
2.8 วิธีการถ่ายภาพสามมิติ.....	20
2.9 การดูภาพสามมิติ.....	21
2.10 การแสดงภาพสามมิติ.....	24
3. การพัฒนาเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เรย์ ที่แสดงผลแบบสามมิติ.....	29
3.1 การทดสอบวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และการสร้างภาพ/ดูภาพสามมิติ...	29
3.2 การออกแบบระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ.....	31

3.2 การออกแบบระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ.....	31
4. การทดสอบการทำงานของระบบและผลการวิจัย.....	39
4.1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบบันทึกภาพด้วยการควบคุมกล้องผ่านทางคอมพิวเตอร์.....	39
4.2 ผลการทดสอบระบบการสร้างภาพสามมิติและผลการมองภาพด้วยระบบต่างๆ	42
4.3 ข้อเสนอแนะใจในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด	53
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัยผลการวิจัย.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
รายการอ้างอิง.....	63
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	64



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางแสดงคุณสมบัติของสารเรืองรังสีชนิดต่างๆ.....	18
2.2	ตารางเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของวัตถุ และระยะห่างระหว่างกล้อง.....	21
3.1	ตารางคุณสมบัติของฉากเรืองรังสีชนิด $Gd_2O_2S : TB$ .....	34
4.1	ผลการถ่ายภาพทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่ 1.....	39
4.2	ผลการถ่ายภาพทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่ 2.....	40
4.3	ผลการถ่ายภาพทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่ 3.....	41
4.4	ตารางแจกแจงข้อจำกัดของระบบการมองภาพ.....	42
4.5	แสดงการเปรียบเทียบการแสดงผลภาพของชิ้นงานที่ 1.....	43
4.6	แสดงการเปรียบเทียบการแสดงผลภาพของชิ้นงานที่ 2.....	45
4.7	แสดงการเปรียบเทียบการแสดงผลภาพของชิ้นงานที่ 3.....	47
4.8	แสดงการเปรียบเทียบการแสดงผลภาพของชิ้นงานที่ 4.....	49
4.9	แสดงการเปรียบเทียบการแสดงผลภาพของชิ้นงานที่ 5.....	51
4.10	แสดงผลภาพและค่าสัญญาณรบกวนที่เงื่อนไขการถ่ายภาพต่าง ๆ ที่ค่าความไวแสง (ISO) : 100.....	58
4.11	แสดงผลภาพและค่าสัญญาณรบกวนที่เงื่อนไขการถ่ายภาพต่าง ๆ ที่ค่าความไวแสง (ISO) : 200.....	59
4.12	แสดงผลภาพและค่าสัญญาณรบกวนที่เงื่อนไขการถ่ายภาพต่าง ๆ ที่ค่าความไวแสง (ISO) : 400.....	60

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	สเปกตรัมแบบต่อเนื่องของรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ที่แตกต่างกันของหลอดรังสีเอกซ์.....	5
2.2	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นกับพลังงานของรังสีเอกซ์.....	7
2.3	การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....	8
2.4	การกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....	9
2.5	การเกิดแพร์โปรดักชันและแอนนิฮิเลชัน.....	11
2.6	ช่วงความสำคัญของอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก คอมป์ตัน และแพร์โปรดักชัน ที่ขึ้นกับเลขเชิงอะตอมของตัวกลาง และพลังงานของรังสีแกมมา.....	11
2.7	โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์.....	14
2.8	ลักษณะสเปกตรัมรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะจากหลอดรังสีเอกซ์ชนิด Molybdenum.....	15
2.9	การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	16
2.10	ชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบด้วยรังสีเอกซ์.....	17
2.11	ภาพถ่ายชิ้นงานจากฟิล์ม.....	17
2.12	ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีด้วยฉากเรืองรังสี.....	17
2.13	แสดงแถบพลังงานของสสารกับการเกิดเรืองแสง.....	18
2.14	การมองเห็นความลึกพินโบว์ลิงของตามนุษย์.....	19
2.15	แนวทางการถ่ายภาพวัตถุของกล้อง.....	21
2.16	การเลื่อนกล้องไปที่ระยะต่างๆ.....	21
2.17	การวางภาพการมองภาพแบบ Cross-Eye View.....	22
2.18	การวางภาพการมองภาพแบบ Parallel View.....	22
2.19	การใช้ Stereo Viewer ในการดูภาพซ้ายและขวา.....	23
2.20	สีที่เป็นองค์ประกอบของภาพ.....	24
2.21	การสร้างภาพแบบแอนะกลิฟ.....	24
2.22	ภาพจำลองอะตอมที่แสดงผลเป็นแบบแอนะกลิฟ.....	25
2.23	การแสดงการดูภาพแบบแอนะกลิฟ.....	25

ภาพที่	หน้า
2.24	ภาพที่แสดงผลของระบบแบบโพลาไลซ์..... 26
2.25	การดูภาพแบบโพลาไลซ์..... 27
2.26	การแสดงผลภาพ/ดูภาพโดยใช้แว่นตาแบบแอกทีฟอัตโนมัติ..... 28
3.1	แผนภาพของระบบที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น..... 32
3.2	ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ Rigaku Radioflex..... 31
3.3	กล่องทึบแสง..... 32
3.4	กล้อง Canon 500D เลนส์ 18-55is..... 32
3.5	Angle Lens 90 Degree..... 32
3.6	การต่อAngle Lens เข้ากับกล้อง Canon 500D..... 33
3.7	สาย USB..... 33
3.8	USB hub..... 33
3.9	ฉากเรืองรังสี DZR-STD Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : TB ..... 34
3.10	ไมโครคอมพิวเตอร์..... 35
3.11	LG LED 3D monitor..... 36
3.12	แว่นตาแบบ Polarized..... 37
3.13	หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งาน โปรแกรม Canon EOS Utilities..... 37
3.14	หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งาน โปรแกรม ImageJ..... 38
3.15	หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งาน โปรแกรม StereoPhoto Maker..... 38
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนกับความกว้าง ของรูรับแสงที่ค่าต่างๆ เมื่อเปลี่ยนค่าความไวแสง 100 200 400..... 61
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนกับระยะเวลา ในการถ่ายภาพที่ค่าต่างๆเมื่อเปลี่ยนค่าความไวแสง 100 200 400..... 62

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ใช้วิเคราะห์และตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย (NonDestructive Testing, NDT) นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและกว้างขวางในด้านอุตสาหกรรมและในทางการแพทย์ การถ่ายภาพด้วยรังสีนี้จะฉายรังสีผ่านชิ้นงานหรืออวัยวะที่ต้องการจะตรวจสอบ ซึ่งจะอาศัยความสามารถของรังสีในการทะลุทะลวงเพื่อตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องของเนื้อวัสดุที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและใช้ฟิล์มมารับภาพ เมื่อนำฟิล์มรังสีเอกซ์ผ่านกระบวนการล้างฟิล์มก็จะได้ภาพภายในและภายนอกของชิ้นงานที่ต้องการจะตรวจสอบ เช่น รอยแตกของท่อที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และได้มีการพัฒนาระบบมาเป็นการมองภาพแบบสามมิติด้วยวิธีการมองภาพแบบต่าง ๆ หรือการซ้อนภาพ ทำให้สามารถวินิจฉัยได้เที่ยงตรงแม่นยำมากขึ้น แต่กระบวนการล้างฟิล์มมีวิธีและขั้นตอนมากมาย ทำให้ต้องใช้เวลาานกว่าจะได้ภาพออกมา จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ฉากเรืองรังสีรับภาพเพื่อให้สามารถแสดงผลเป็นสามมิติได้อย่างสะดวกรวดเร็วโดยไม่ต้องมีขั้นตอนของกระบวนการล้างฟิล์ม ไม่มีขั้นตอนการใช้อุปกรณ์ดูภาพ และไม่มี ความยุ่งยากในการจัดฟิล์มให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีสามมิติได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการรับชมภาพยนตร์ ทำให้การรับชมมีอรรถรสมากขึ้น และในด้านการแพทย์ การตรวจ MRI หรือ CT Scan ก็จะทำให้มีความถูกต้อง เที่ยงตรงแม่นยำมากขึ้น ซึ่งระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่สามารถแสดงผลแบบสามมิติระบบเดิมจะเป็นการถ่ายภาพด้วยรังสีสองครั้งด้วยมุมที่ต่างกัน แล้วจึงนำฟิล์มทั้งสองมาซ้อนกันเพื่อทำให้มองเป็นภาพสามมิติได้แต่การพัฒนาระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในหัวข้อวิจัยนี้จะเป็นการบันทึกภาพถ่ายที่ได้ด้วยกล้องถ่ายภาพและสามารถแสดงผลเป็นภาพสามมิติได้ทางจอภาพ ซึ่งจะลดขั้นตอนในการล้างฟิล์ม ทำให้การวิเคราะห์และการตรวจสอบมีความรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำมากขึ้นกว่าระบบเดิมมาก และอุปกรณ์การบันทึกภาพ การแสดงผลภาพในปัจจุบันมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา สามารถนำอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายมาประยุกต์ใช้กับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เพื่อให้เกิดความประหยัดคุ้มค่าที่สุด อีกทั้งยังสามารถพัฒนาระบบด้วยการใช้เทคนิคอื่นที่เหมาะสมเข้ามามีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ตรวจสอบเพื่อให้ผลที่ถูกต้องที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ฉากเรืองรังสี (Fluorescent screen) รับภาพ และใช้กล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัลควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์
2. พัฒนาเทคนิคการสร้างภาพสามมิติจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์
3. ทดสอบระบบและเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับชิ้นงานตัวอย่าง

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ
3. พัฒนาเทคนิคการสร้างภาพสามมิติจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์
4. ทดลองถ่ายภาพ
5. ปรับปรุงการบันทึกภาพให้ได้คุณภาพของภาพถ่ายสูงที่สุด
6. สรุปผลและจัดทำวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่สามารถแสดงผลเป็นสามมิติออกทางจอภาพ

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Lee M. Klynn, Richard C. Barry, Robert A. Buchanan [1] ได้ทำการวิจัยเรื่อง STEREOSCOPIC RADIOGRAPHIC INSPECTION SYSTEM งานวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพด้วยรังสี 2 ครั้งแล้วจึงแสดงภาพที่ได้ออกทางจอภาพเป็นภาพคู่ (วางภาพคู่กัน) ปี พ.ศ. 2535,
2. Richard Aufrichtig, Jeffrey A. Kautzer [2] ได้ทำการวิจัยเรื่อง APPARATUS AND METHODS FOR STEREO RADIOGRAPHY INCLUDEING REMOTE CONTROL VIA NETWORK งานวิจัยนี้เป็นการถ่ายภาพวัตถุด้วยรังสี 2 ครั้งโดย

- ใช้เครื่องกำเนิดเอกซเรย์ที่สามารถปรับเลื่อนได้ด้วยรีโมทควบคุมการเคลื่อนที่ แล้วจึงนำภาพที่ได้มารวมกันให้เกิดเป็น 3 มิติ ปี พ.ศ. 2545,
3. กิตติ ตรีฟองแผ้ว, ชาญณรงค์ รัตนะ [3] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การผลิตภาพถ่าย 3 มิติ เพื่อใช้ในการผลิตสื่อการเรียนการสอน งานวิจัยนี้กล่าวถึงการสร้างภาพสามมิติ การเกิดภาพสามมิติ การมองภาพด้วยวิธีต่างๆปี พ.ศ. 2547,
  4. David C. Swift, Sadeg M. Faris [4] ได้ทำการวิจัยเรื่อง 3D STEREO SCOPIC X-RAY SYSTEM ด้วยการถ่ายภาพวัตถุด้วยเอกซเรย์สองครั้งบนคสายพานที่เลื่อนได้ แล้วจึงนำภาพที่ได้มารวมกันให้เกิดเป็น 3 มิติ ปี พ.ศ.2548,
  5. ปรรณนา วันนารี, เกียรติศรี พิมานวัฒน์ [5] ได้ทำการวิจัย การศึกษาการสร้างภาพ 3 มิติ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแสงกับภาพ 3 มิติ ลักษณะการเกิดภาพ 3 มิติ ชนิดของภาพ 3 มิติ วิธีมองภาพ 3 มิติ ปี พ.ศ. 2548,

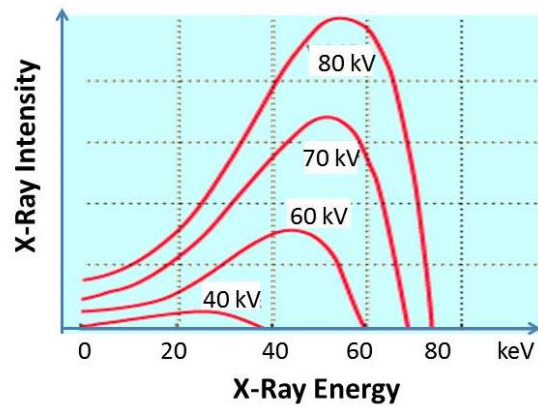
## บทที่ 2

### เครื่องกำเนิดเอกซเรย์ หลักการถ่ายภาพสามมิติและการมองภาพสามมิติ

#### 2.1 รังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เป็นรังสีชนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) เกิดจากการที่อิเล็กตรอนหรืออนุภาคที่มีประจุซึ่งมีพลังงานสูงลดความเร็วโดยฉับพลันหรือเกิดจากการเปลี่ยนชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนภายในวงโคจรชั้นในของอะตอม จากวงโคจรชั้นนอกไปวงโคจรชั้นใน ซึ่งกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์ทั้งสองแบบนี้จะให้ลักษณะของสเปกตรัมรังสีที่แตกต่างกัน

รังสีเอกซ์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ รังสีเอกซ์ที่เกิดจากอิเล็กตรอนพลังงานสูง (Fast electrons) เคลื่อนที่ผ่านสนามคูลอมป์ของนิวเคลียส (Coulombic field) แล้วถูกหน่วง (Decelerate) อย่างฉับพลันทำให้อิเล็กตรอนสูญเสียพลังงานจากการลดความเร็วหรือที่เรียกว่า “เบรมสตราห์ลุง (Bremsstrahlung)” จะมีลักษณะสเปกตรัมเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Spectrum) เนื่องจากการสูญเสียพลังงานเป็นไปแบบสุ่ม (Random) มีค่าได้ตั้งแต่ 0 จนถึงค่าสูงสุด คือ พลังงานจลน์ของอนุภาคนั้น ส่วนรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนจะมีพลังงานเฉพาะสำหรับแต่ละธาตุหรือที่เรียกว่า “รังสีเอกซ์เรือง (Fluorescent X-ray)” หรือ “รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-ray)” ลักษณะของสเปกตรัมจะเป็นแบบอนุกรมพลังงานเดี่ยว (Characteristic line spectrum) ด้วยลักษณะเฉพาะของรังสีเอกซ์เรืองแต่ละธาตุที่ไม่เหมือนกันนี้เองเราจึงนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาธาตุต่างๆ ในสารประกอบ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดที่ว่าถึงแม้จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นธาตุอะไรแต่ก็ไม่สามารถระบุได้โดยตรงว่าเป็นไอโซโทป (Isotope) ใดของธาตุนั้นๆ เพราะการจัดเรียงชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนนั้นจะถูกกำหนดโดยจำนวนอิเล็กตรอนซึ่งเท่ากับจำนวนโปรตอน (Proton) ในนิวเคลียส (Z) เท่านั้น ไม่ใช่จำนวนกอะตอม (A) ดังนั้นการที่จะหาว่าเป็นไอโซโทปใดเราจะต้องทราบชนิดของการสลายตัว (Decay) ด้วยเพื่อให้ทราบว่ารังสีเอกซ์เรืองที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการใด



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมแบบต่อเนื่องของรังสีเอกซ์ที่มีความต่างศักย์ที่แตกต่างกันของหลอดรังสีเอกซ์

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีเอกซ์ ( $E$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$E = hv = h \frac{c}{\lambda} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ  $h$  คือ Plank's constant =  $6.626 \times 10^{-34}$  Js

$v$  คือ ความถี่ของรังสีเอกซ์ (Hz)

$c$  คือ ความเร็วแสง =  $3 \times 10^8$  m/s

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น (nm)

ถ้ารังสีเอกซ์มีความยาวคลื่น  $1 \text{ \AA}$  (Anstrom) =  $10^{-10}$  เมตร จะมีพลังงานเท่ากับ

$$\begin{aligned} \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{10^{-10} \text{ m}} &= 2 \times 10^{-15} \text{ J} \\ &= \frac{2 \times 10^{-15}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} \\ &= 12.4 \text{ keV} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีเอกซ์ในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์ (kiloelectronvolt, keV) กับความยาวในหน่วยคลื่นในหน่วย Anstrom ( $\text{\AA}$ ) เป็น



$$\lambda (\text{\AA}) = \frac{12.4}{E (\text{keV})} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

## 2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลาง

อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลางนั้น จะมีลักษณะเช่นเดียวกับอันตรกิริยาของรังสีแกมมา ซึ่งรังสีทั้งสองนั้นมีคุณสมบัติที่เหมือนกันเพียงแต่แตกต่างกันที่แหล่งกำเนิด โดยรังสีแกมมานั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายในนิวเคลียส ส่วนรังสีเอกซ์นั้นจะเกิดที่ชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส แต่เนื่องจากทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ก็เป็นรังสีที่ประพฤติตัวเป็นได้ทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอนุภาคไฟฟ้า (Wave particle duality) เรียกว่า “โฟตอน (photon)” ดังนั้น โฟตอนจึงสามารถใช้เรียกแทนทั้งรังสีแกมมาและเอกซ์ อันตรกิริยาของโฟตอนกับตัวกลางนั้นสามารถแยกได้ตามลักษณะของอนุภาคที่ถูกเข้าทำอันตรกิริยาด้วย เช่น อิเล็กตรอนหรือนิวเคลียส

การดูดกลืนรังสีเอกซ์จะเกิดขึ้นเมื่อรังสีเอกซ์ที่มีความเข้ม  $I_0$  เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง (Material) โฟตอนบางส่วนจะเกิดอันตรกิริยากับอะตอมของตัวกลางสามารถแยกได้ตามลักษณะของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ (Photoelectric effect) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) การกระเจิงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh scattering) และแพร์โปรดักชัน (Pair production) ทำให้ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผ่านออกมาไม่เกิดอันตรกิริยาใดๆ ( $I_x$ ) มีค่าเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

- เมื่อ  $I_x$  คือ ความเข้มของโฟตอนที่ผ่านออกมาโดยไม่ทำอันตรกิริยาใดๆ กับตัวกลาง
- $I_0$  คือ ความเข้มของโฟตอนก่อนเข้าชนตัวกลาง
- $\mu$  คือ สัมประสิทธิ์การลดทอน (Attenuation coefficient) รังสีเอกซ์
- $x$  คือ ความหนาของตัวกลาง (cm)

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นเป็นค่าที่บอกถึง โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาต่างๆ ของโฟตอนกับตัวกลาง ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

$$\mu = \mu_{pe} + \mu_{coh} + \mu_{inc} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

- เมื่อ  $\mu_{pe}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นสำหรับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect)

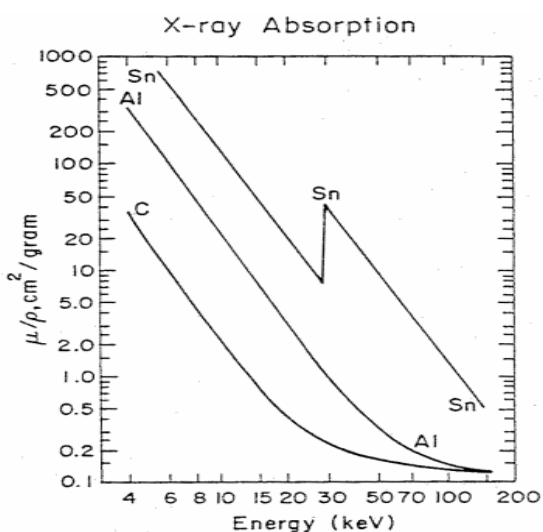
$\mu_{coh}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นสำหรับการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ (coherent scattering) หรือการกระเจิงแบบไม่สูญเสียพลังงาน

$\mu_{inc}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นสำหรับการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์ (incoherent scattering) หรือการกระเจิงแบบสูญเสียพลังงาน ซึ่งก็คือการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton scattering)

ในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ อันตรกิริยาส่วนใหญ่เป็นแบบโฟโตอิเล็กทริก ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์จากอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ ( $\mu_{pe}$ ) ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีเอกซ์ (E) และเลขอะตอมของตัวกลาง (Z) ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\mu_{pe} \propto Z^n E^{-3} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อ n คือ ค่าตัวเลขซึ่งแปรผันตามพลังงาน E ในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ n มีค่าประมาณ 3-4



รูปที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลกับพลังงานของรังสีเอกซ์

### 2.2.1 การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric absorption)

การดูดกลืนในลักษณะนี้ เกิดจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่าปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก คือ ปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนไว้ทั้งหมด และทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกไปจากอะตอม อะตอมจึงสูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นไอออน (ion) บวก ส่วนอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจากอะตอมเรียกว่า “โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron)”

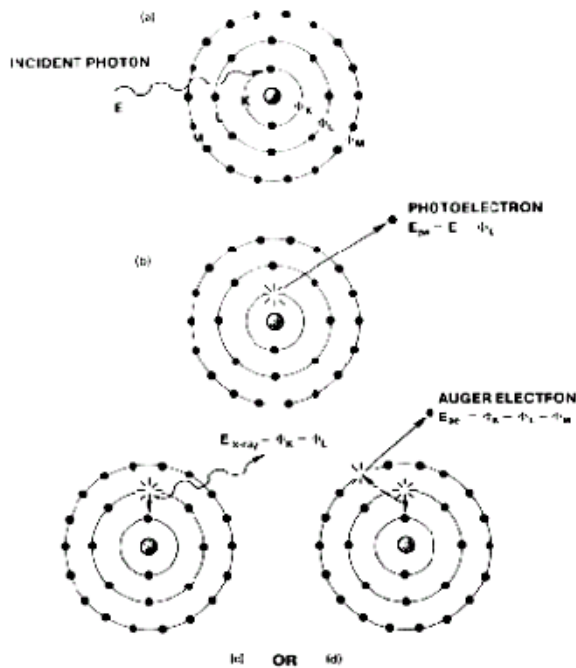
เนื่องจากอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสอยู่ในชั้นพลังงานยึดเหนี่ยวต่าง ๆ กัน หากอิเล็กตรอนชั้นใน ๆ (ชั้น K หรือชั้น L) ดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนและหลุดออกจากอะตอมก็จะทำให้เกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกลำดับถัดไป ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าก็จะเข้าไปแทนที่ว่างนั้น พร้อมปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ซึ่ง มีค่าพลังงานเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของโฟตอนที่เข้าชนกับพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรนั้น ดังสมการต่อไปนี้

$$E_{pe} = E - \phi_k \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

เมื่อ  $E_{pe}$  คือ พลังงานของโฟโตอิเล็กตรอน

$E$  คือ พลังงานของโฟตอนที่เข้าชน

$\phi_k$  คือ พลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนที่ชั้นวงโคจรนั้นๆ



รูปที่ 2.3 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

### 2.2.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering)

การกระเจิงแบบคอมป์ตัน หรือ incoherent scattering เกิดจากการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic collision) การชนแบบนี้รังสีเอกซ์จะสูญเสียพลังงานไปบางส่วนในการชนให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปจากอะตอม รังสีเอกซ์ที่เหลือจะมีพลังงานลดลงและทิศทางเปลี่ยนแปลงไปด้วยการกระเจิงแบบนี้เกิดได้มากในธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำเพราะอิเล็กตรอนดึงดูดกับนิวเคลียสไม่แน่นมาก เมื่อชนอิเล็กตรอนจึงหลุดออกไปได้ง่ายโดยผลรวมของพลังงานระหว่างคอมป์ตันอิเล็กตรอนกับโฟตอนที่กระเจิงออกไป จะมีค่าเท่ากับพลังงานของโฟตอนเริ่มต้นที่เข้าชน พลังงานของโฟตอนที่เกิดการกระเจิงมีความสัมพันธ์กับพลังงานของโฟตอนที่เข้าชน

$$E' = \frac{E}{\left[1 + \frac{E}{m_0 c^2} (1 - \cos\phi)\right]} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

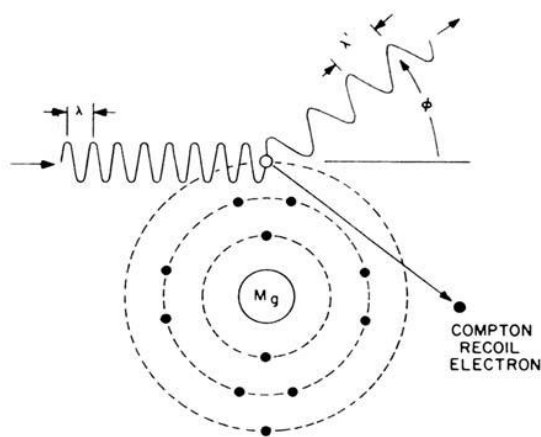
เมื่อ  $E'$  คือ พลังงานของโฟตอนที่กระเจิงออกไป ในหน่วย keV

$E$  คือ พลังงานของโฟตอนที่เข้าชน ในหน่วย keV

$\phi$  คือ มุมที่โฟตอนกระเจิงออกไปจากแนวเดิม

$m_0$  คือ มวลของอิเล็กตรอน ( $9.11 \times 10^{-28}$  g)

$c$  คือ ความเร็วแสง ( $3.0 \times 10^{10}$  cm/sec)



รูปที่ 2.4 การเกิดกระเจิงแบบคอมป์ตัน

เมื่อมุมของการกระเจิงเปลี่ยนไปจะทำให้ค่าพลังงานของโฟตอนที่กระเจิงออกมามีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย โอกาสในการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันนั้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อโฟตอนที่เข้าชน มีพลังงานสูงขึ้นจนถึงช่วงพลังงานประมาณ 100 keV ตัวกลางที่ถูกชนมีเลขอะตอมต่ำลง และมุมที่ตกกระทบมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันนั้นจะเกิดขึ้นเป็นอันตรกิริยาหลักก็ต่อเมื่อพลังงานของโฟตอนที่เข้าชนมีค่าสูงกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน การกระเจิงแบบคอมป์ตันนี้เป็นปรากฏการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ เนื่องจากจะก่อให้เกิดสเปกตรัมรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่ำมากกว่ากว่ารังสีเอกซ์ปฐมภูมิบริเวณในสเปกตรัม

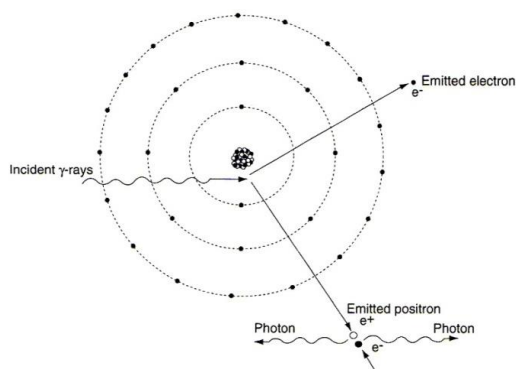
### 2.2.3 การเกิดแพร์โปรดัคชัน (Pair production)

แพร์โปรดัคชันเป็นปรากฏการณ์แบบหนึ่งของการดูดกลืนโฟตอน เกิดขึ้นได้เมื่อโฟตอนมีพลังงานอย่างน้อย 1.022 MeV เมื่อวิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของอะตอม โฟตอนจะหายไป โดยใช้พลังงานไปในการสร้างอิเล็กตรอนกับโพสิตรอนขึ้นมาหนึ่งคู่ เนื่องจากมวลของอิเล็กตรอนกับโพสิตรอนมีค่าเทียบเท่ากับพลังงาน 1.022 MeV ดังนั้น โฟตอนต้องมีพลังงานไม่ต่ำกว่า 1.022 MeV พลังงานที่เกินส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน มีบางส่วนเท่านั้นที่ถ่ายเทให้กับนิวเคลียสของอะตอม โอกาสของการเกิดอันตรกิริยาแพร์โปรดัคชันขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมา และเลขเชิงอะตอมของสสารโดย

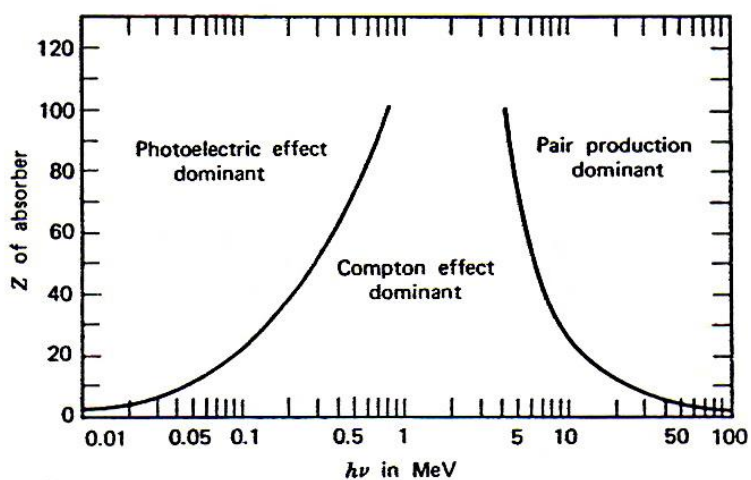
$$\text{โอกาสของการเกิดปรากฏการณ์แพร์โปรดัคชัน} \approx \text{ค่าคงตัว } Z^2(E-1.022)$$

หลังจากการเกิดแพร์โปรดัคชัน โพสิตรอนอาจจะรวมตัวกับอิเล็กตรอนอื่น แล้วให้โฟตอน 2 ตัว ซึ่งมีพลังงานตัวละ 0.511 MeV และเกิดในทิศทางตรงข้ามกัน เรียกว่า แอนนิฮิเลชัน (Annihilation) แต่อย่างไรก็ตามโฟตอนพลังงานต่ำนี้มีพลังงานต่ำ และกระจัดกระจายไปทุกทิศทาง

อันตรกิริยาแพร์โปรดัคชันเพิ่มขึ้น สำหรับสสารที่มีเลขเชิงอะตอมของสสารและพลังงานของโฟตอนที่เกินกว่า 1.022 MeV เมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกและคอมป์ตันจะลดลง แต่แพร์โปรดัคชันเพิ่มขึ้น สำหรับสสารที่มีเลขเชิงอะตอมสูงและรังสีแกมมาที่มีพลังงานมากกว่า 5 MeV แล้วแพร์โปรดัคชันเป็นกระบวนการดูดกลืนโฟตอนที่มีความสำคัญที่สุด



รูปที่ 2.5 การเกิดเพอร์โปรดักชันและแอนนิฮิเลชัน



รูปที่ 2.6 ช่วงพลังงานของอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก คอมป์ตัน และเพอร์โปรดักชันที่ขึ้นกับเลขเชิงอะตอมของตัวกลาง และพลังงานของรังสีแกมมา

### 2.2.4 การกระเจิงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh scattering)

การกระเจิงแบบเรย์เลห์ หรือการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ เกิดจากการชนแบบยืดหยุ่น (elastic collision) ซึ่งไม่มีการสูญเสียพลังงานของรังสีเอกซ์แต่ทิศทางจะเปลี่ยนไป การกระเจิงแบบนี้เกิดได้มากในธาตุที่มีเลขอะตอมสูงเพราะอิเล็กตรอนมีแรงดึงดูดกับนิวเคลียสสูงทำให้สูญเสียอิเล็กตรอนได้ยาก

## 2.3 การประยุกต์ใช้รังสีเอกซ์

### 2.3.1 การประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมและอื่นๆ

รังสีเอกซ์ได้ถูกพัฒนามาไปใช้ในหลายสาขา เช่น การวิเคราะห์แบบไม่ทำลาย การตรวจหารอยร้าวขนาดเล็กในโลหะ การวิเคราะห์ลักษณะของอะตอมและการผลิตโดยอาศัยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray crystallography) การวิจัยทางดาราศาสตร์ที่อาศัยการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่มาจากวัตถุในวัตถุ (X-ray astronomy) การถ่ายภาพและผลิตภาพในขนาดเล็ก (X-ray microscopic analysis) รวมถึงใช้ตรวจหาอาวุธปืนหรือระเบิดในกระเป๋าเดินทาง นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการวัดความหนาของโลหะเคลือบผิวด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence)

### 2.3.2 การประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

ตั้งแต่การค้นพบของ Roentgen ว่ารังสีเอกซ์สามารถถ่ายภาพได้ รังสีเอกซ์ได้ถูกพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการถ่ายภาพในการแพทย์ นำไปสู่สาขาที่เรียกว่า รังสีวิทยา โดยนักรังสีวิทยาได้ใช้ภาพถ่าย (radiography) ที่ได้ มาใช้ในการช่วยการวินิจฉัยโรค รังสีเอกซ์มักถูกนำมาใช้ในการตรวจหาสภาพทางพยาธิวิทยาของกระดูก และสามารถหาความผิดปกติของบางโรคที่เป็นที่เนื้อเยื่อทั่วไปได้ ตัวอย่างที่พบเห็นได้ทั่วไปเช่น การเอกซเรย์ปอด ซึ่งสามารถบอกถึงความผิดปกติได้หลายโรค เช่น โรคปอดบวม (pneumonia) โรคมะเร็งปอด (lung cancer) หรือน้ำท่วมปอด (pulmonary edema) รวมถึงการเอกซเรย์ช่องท้อง เช่น การตรวจภาวะอุดตันในลำไส้เล็ก (ileus) ภาวะลมหรือของเหลวคั่งในช่องท้อง ในบางครั้งยังใช้ในการตรวจหาน้ำในถุงน้ำดี หรือน้ำในกระเพาะปัสสาวะได้รวมทั้งในบางกรณีสามารถใช้ในการถ่ายภาพเนื้อเยื่อบางชนิด เช่น สมองและกล้ามเนื้อได้ แต่ในปี 2005 รังสีเอกซ์ถูกขึ้นบัญชีในรัฐบาลสหรัฐอเมริกาว่า เป็นสารก่อมะเร็ง การถ่ายภาพเนื้อเยื่อส่วนใหญ่จึงถูกพัฒนาโดยใช้เทคนิค CAT หรือ CT scanning (computed axial tomography) หรือใช้เทคนิค MRI (magnetic resonance imaging) หรือ ultrasound ทดแทนปัจจุบัน การรักษาโรคมะเร็งส่วนใหญ่ได้มีการนำรังสีมาช่วยในการรักษาโรค (radiotherapy) และได้มีการรักษาพยาธิสภาพต่างๆ เช่น การรักษาแบบ real-time ในการผ่าตัดถุงน้ำดี การขยายหลอดเลือด (angioplasty) หรือการกลืนสาร barium enema เพื่อตรวจสภาพลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ โดยการ ใช้ fluoroscopy

## 2.4 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิที่นิยมใช้สำหรับระบบวิเคราะห์แบบเรืองรังสีเอกซ์แบ่งออกได้เป็นสองแบบ ได้แก่ หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) และต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสี (X-ray isotopic source) การประยุกต์ใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิแต่ละแบบขึ้นอยู่กับความต้องการและความเหมาะสมในการใช้งาน ตัวอย่างเช่น ระบบวิเคราะห์แบบเรืองรังสีเอกซ์ที่ต้องการให้สารปรับเปลี่ยนค่าพลังงานและความเข้มของรังสีเอกซ์ได้สำหรับการวิเคราะห์ก็จะใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์แบบหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ แต่ถ้าลักษณะของการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ไม่ต้องการการเปลี่ยนแปลงพลังงานของรังสีเอกซ์และในขณะเดียวกันต้องการขนาดเครื่องมือที่มีขนาดเล็กก็จะใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสีเป็นต้น

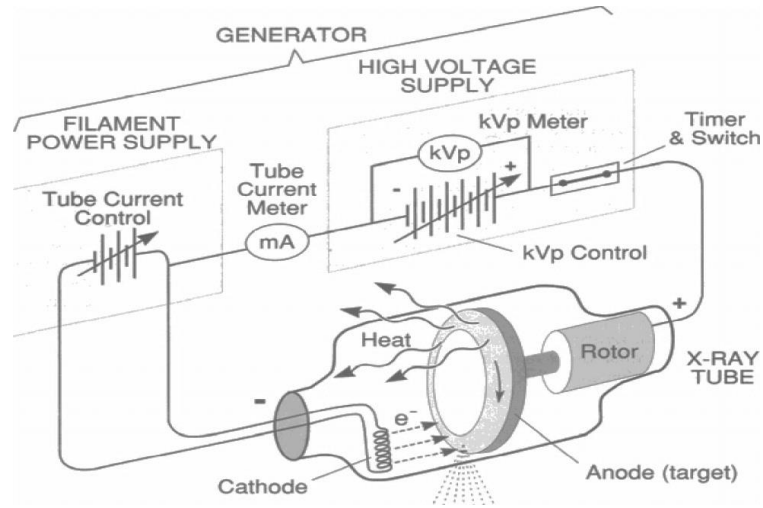
### 2.4.1 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ จะมีหลักการโดยทั่วไปในการสร้างรังสีเอกซ์ คือ การเร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงภายในหลอดสุญญากาศด้วยความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจะเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปชนเป้า (Target) ซึ่งเป็นส่วนของขั้วแอโนด จากนั้นรังสีเอกซ์จะถูกปลดปล่อยออกมาจากเป้านั้น

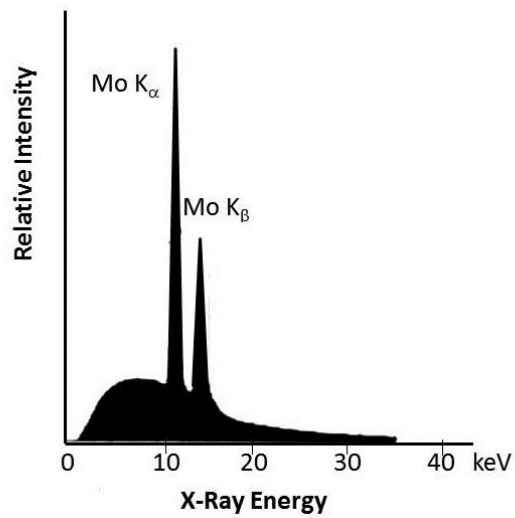
โดยส่วนใหญ่แล้วหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ ที่สำคัญได้แก่ หลอดที่เป็นสุญญากาศซึ่งอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจะเคลื่อนที่อยู่ภายในหลอดนี้ โครงสร้างของขั้วแคโทดประกอบด้วยส่วนที่เป็นไส้หลอด (Filament) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน โครงสร้างของขั้วแอโนดประกอบด้วยส่วนที่เป็นเป้า ซึ่งทำมาจากโลหะที่มีประสิทธิภาพสูงในการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา

รังสีเอกซ์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์นั้น ประกอบไปด้วย รังสีเอกซ์แบบต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของวัสดุที่นำมาทำเป็นเป้า ดังแสดงในรูปที่ 2.7





รูปที่ 2.7 โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์

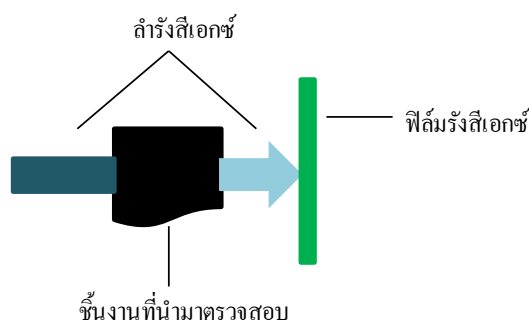


รูปที่ 2.8 ลักษณะสเปกตรัมรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากหลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้โลหะ โมลิบดีนัมเป็นเป้าหรือขั้วบวกที่ความต่างศักย์ 35 กิโลโวลต์

### 2.4.2 ต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสี

ต้นกำเนิดรังสีประเภทนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ ต้นกำเนิดรังสีที่ให้โฟตอนพลังงานต่ำ (low energy photon source) ต้นกำเนิดรังสีประเภทอิเล็กตรอนแคปเจอร์ (electron capture source) และต้นกำเนิดรังสีต่อเนื่อง (continuous x-ray source หรือ bremsstrahlung source) แต่ต้นกำเนิดรังสีประเภทนี้ไม่มีความสำคัญสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์มากนัก การใช้งานส่วนใหญ่เป็นการใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบไอโซโทปรังสีในการตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย เช่น เหล็กหล่อ รอยเชื่อม ผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

### 2.5 การถ่ายภาพวัสดุด้วยรังสีเอกซ์

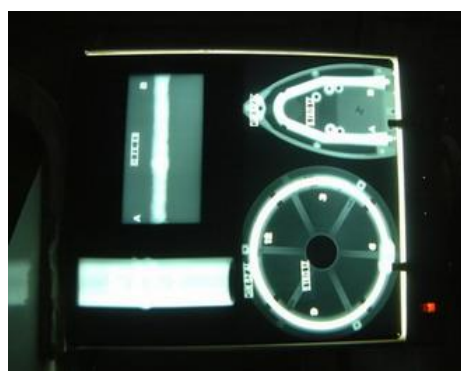


รูปที่ 2.9 การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

การถ่ายภาพด้วยรังสีเป็นการฉายลำรังสีผ่านชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ รังสีจะถูกดูดกลืน ทำให้มีความเข้มลดลงตามลักษณะของชิ้นงาน ได้แก่ ชนิด รูปร่าง และขนาดของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของชิ้นงาน โดยบันทึกปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานด้วยฟิล์มรังสีเอกซ์ (X-ray film) รังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานไปได้จะทำปฏิกิริยากับฟิล์ม ความดำที่ปรากฏให้เห็นบนฟิล์มหลังการล้างฟิล์มจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานไปทำปฏิกิริยากับฟิล์ม เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้ว จะได้ภาพโครงสร้างภายในชิ้นงานปรากฏบนฟิล์มโดยภาพดังกล่าวเป็นขาวดำแบบเนกาตีฟ (negative) ซึ่งเป็นภาพของโครงสร้างภายในที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

### 2.5.1 การเกิดภาพด้วยรังสี

ปริมาณรังสีที่ส่งผ่านชิ้นงานไปได้ จะถูกส่งไปบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มขาว-ดำ ซึ่งเคลือบสารไวแสงเอาไว้ โดยที่แผ่นฟิล์มจะบรรจุอยู่ในช่องที่บดแสง (แสงไม่สามารถผ่านทะลุได้) เหตุก็เพราะต้องการให้ฟิล์มได้รับรังสีเพียงอย่างเดียว เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์มในห้องมืด จะปรากฏภาพบนแผ่นฟิล์มแบบเนกาตีฟ (negative) หรือเป็นภาพในฟิล์มเป็นสีตรงกันข้ามกับวัตถุจริง ผลที่ได้จากฟิล์ม จะถูกนำไปวินิจฉัย พอจะสรุปได้ว่า พื้นที่ของเนื้อวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก ๆ รังสีจะถูกบันทึกลงบนฟิล์มน้อย เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม จะเห็นเป็นภาพขาว หรือฟิล์มมีลักษณะใส ๆ ในทางกลับกันหากรังสีฉายผ่านส่วนบาง ๆ รังสีจะถูกเก็บบันทึกบนฟิล์ม เป็นจำนวนที่มากกว่าจึงทำให้ฟิล์มดำกว่า

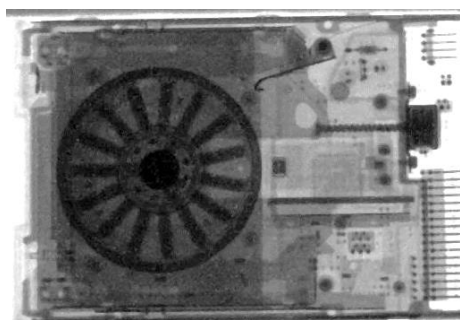


รูปที่ 2.10 ตัวอย่าง ชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบด้วยรังสีเอกซ์

รูปที่ 2.11 ภาพถ่ายชิ้นงานจากฟิล์ม

### 2.5.2 การถ่ายภาพรังสีเอกซ์ด้วยฉากเรืองรังสี

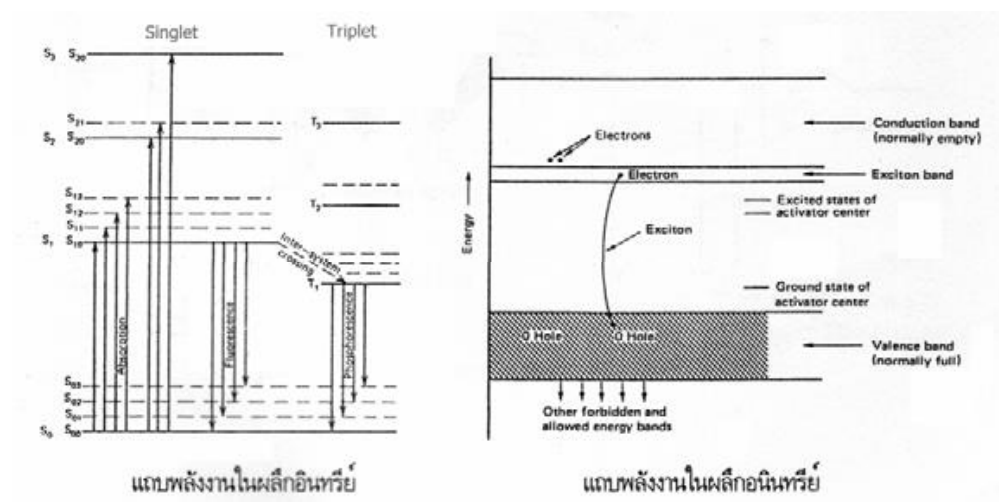
การถ่ายภาพรังสีเอกซ์ด้วยฉากเรืองรังสี จะเหมือนการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ด้วยฟิล์ม แต่เปลี่ยนจากฟิล์มเป็นฉากเรืองรังสี ซึ่งฉากเรืองรังสีนี้จะเกิดอันตรกิริยากับรังสีเอกซ์ ภาพที่ปรากฏบนฉากเรืองรังสีขึ้นอยู่กับวัสดุ รูปร่าง ความหนา ที่ทำให้รังสีเอกซ์ถูกลดทอนและ ภาพที่ได้ก็จะแสดงถึงโครงสร้างภายในของชิ้นงาน



รูปที่ 2.12 ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีด้วยฉากเรืองรังสี

### 2.6 สารเรืองรังสี (Scintillator)

สารเรืองรังสี หรือ สารซินทิลเลเตอร์ คือสารที่เมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสี จะดูดกลืนพลังงานจากรังสีแล้วเปล่งประกายออกมาเป็นแสงให้สามารถมองเห็นได้ เรียกว่า “การเรืองแสง (Fluorescence)” สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสารอินทรีย์ (Organic) และสารอนินทรีย์ (Inorganic) โดยมีกลไกคล้ายกันคือการเกิดเอกซ์ไซเตชัน (Excitation) ของอิเล็กตรอนจากภาวะปกติสู่ภาวะถูกกระตุ้นที่ระดับพลังงานหนึ่งและกลับลงสู่ภาวะปกติ ด้วยการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นของแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้หรือใกล้เคียงคลื่นแสงย่านแสงเหนือม่วงออกมา ดังแสดงกลไกการเกิดประกายแสงในรูป 2.13 และประกายแสงที่เปล่งออกมาจากสารเรืองรังสีจากผลของภาวะกระตุ้นของอิเล็กตรอน โดยรังสีนั้นจะสลายตัวแบบเอกซ์โพเนนเชียล



รูปที่ 2.13 แสดงแถบพลังงานของสารกับการเกิดเรืองแสง

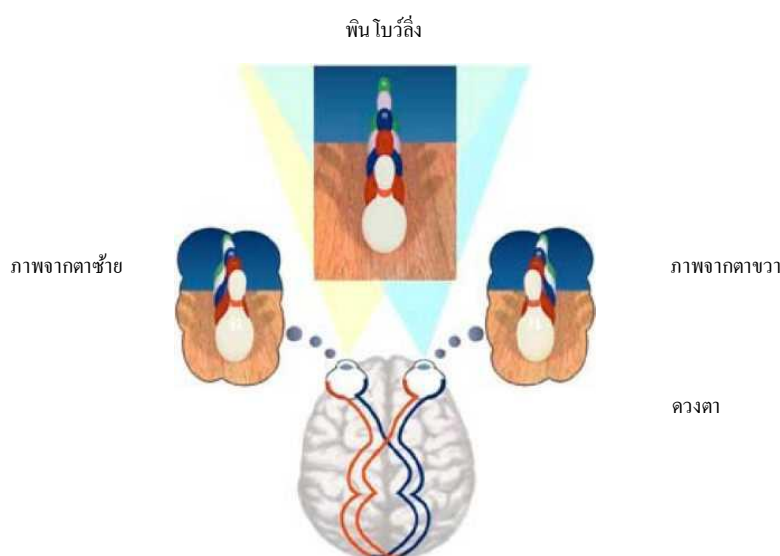
สารเรืองรังสีแต่ละชนิดจะเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ตามลักษณะเฉพาะของผลึก และการเติมสารแอกติเวเตอร์ (Activator) ดังตารางที่ 2.1 สำหรับงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้สารเรืองรังสีชนิด  $Gd_2O_2S:Tb$  ซึ่งจะให้ประกายแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 545 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่อยู่ในย่านที่อุปกรณ์บันทึกภาพสามารถจับภาพได้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของสารเรืองรังสีชนิดต่างๆ [10]

Phosphor Scintillator	Common name	X-Ray	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$e^-$ /ion	Neutron (n)	Color Spectrum type	Peak (nm)	Decay to 10%	Afterglow
$Gd_2O_2S:Tb$	P43	Yes	Yes	---	---	Yes	Yes	Green	545	1.5 ms	low
$Gd_2O_2S:Eu$		Yes	Yes	---	---	---	Yes	Red	627	850 $\mu$ s	yes
$Gd_2O_2S:Pr$		Yes	Yes	---	---	---	Yes	Green	513	7 $\mu$ s	no
$Gd_2O_2S:Pr,Ce,F$		Yes	Yes	---	---	---	Yes	Green	513	4 $\mu$ s	no
$CdS:In$		---	---	---	Yes	Yes	---	Green	525	<1 ns	no
$ZnO:Ga$		---	---	---	Yes	Yes	---	Blue	390	<5 ns	no
$ZnO:Zn$	P15	---	---	---	Yes	Yes	---	Blue	495	8 $\mu$ s	no
$(Zn,Cd)S:Cu,Al$	P22G	---	---	---	---	Yes	---	Green	565	35 $\mu$ s	low
$ZnS:Cu,Al,Au$	P22G	---	---	---	---	Yes	---	Green	540	35 $\mu$ s	low
$ZnCdS:Ag,Cu$	P20	---	---	---	---	Yes	---	Green	530	80 $\mu$ s	low
$ZnS:Ag$	P11	---	---	Yes	Yes	---	---	Blue	455	80 $\mu$ s	low
$C_4H_{10}$	Anthracene	---	---	Yes	Yes	Yes	---	Blue	447	32 ns	no
Plastic scintillator	EJ-212	---	---	Yes	Yes	Yes	---	Blue	400	2.4 ns	no
$ZnS:Cu$	GS	Yes	---	---	---	---	---	Green	520	mins	long

## 2.7 หลักการเกิดภาพสามมิติ

หลักการของการมองภาพให้เกิดภาพเป็นสามมิติ คือการที่มนุษย์เรามีสองตา การที่เราสามารถมองเห็นภาพต่างๆเป็นสามมิติได้นั้น เกิดจากมุมมองของสายตาคือเห็นภาพของวัตถุ เมื่อเรามองวัตถุด้วยตาข้างใดข้างหนึ่งเพียงข้างเดียว จะไม่สามารถมองให้เป็นสามมิติได้ เพราะจะขาดส่วนลึกของภาพอีกด้านหนึ่งไป



รูปที่ 2.14 การมองเห็นความลึกพิน โบว์ลิ่งของตามมนุษย์

ดังรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าตาแต่ละข้างจะมีมุมมองต่างกัน ถ้าหากเราปิดตาทีละข้าง เมื่อปิดตาข้างขวา และมองวัตถุด้วยตาซ้าย จะมองเห็นด้านข้าง (ส่วนลึก) ด้านซ้ายของวัตถุ และหากปิดตาซ้าย ใช้ตาข้างขวามองวัตถุ เราจะมองเห็นด้านข้าง (ส่วนลึก) ด้านขวา จากนั้นเมื่อเปิดตาทั้งสองข้างพร้อมกัน ตาแต่ละข้างจะมองเห็นวัตถุทั้งสอง ด้านคือ ด้านซ้ายและขวาพร้อมกัน ภาพที่มองเห็นจากตาทั้งสองข้างจะผ่านไปสู่กระบวนการของสมองที่จะรวมและประมวลผลภาพทั้งสองให้เป็นรูปเดียวกัน ทำให้ภาพของวัตถุที่เรามองเห็นมิติ ของวัตถุนั้นๆ โดยอาศัยหลักการการมองเห็นของตามนุษย์นี้จึงสามารถจำลองการมองภาพทั่วไปให้เป็นภาพสามมิติได้

## 2.8 วิธีการถ่ายภาพ 3 มิติ

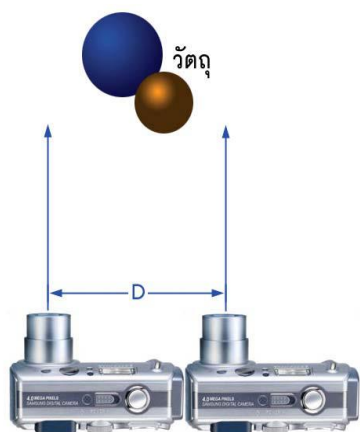
1. การถ่ายภาพ 3 มิติ สามารถทำได้หลายวิธี โดยใช้กล้องถ่ายรูปเพียงตัวเดียว หรือ 2 ตัวก็ได้
2. ปรับคุณสมบัติของกล้องทั้ง 2 ตัวให้เหมือนกันทุกประการ เช่น ความยาวโฟกัสของเลนส์ ความไวแสง ความเร็วของชัตเตอร์ เป็นต้น
3. วางกล้องทั้ง 2 ตัวคู่กันบนขาตั้งกล้อง หรือพื้นระนาบดังในรูปที่ 2.15 ให้มุมที่วัดจากวัตถุที่จะถ่ายถึงตัวกล้องทั้งสองต่างกันเล็กน้อย ดังรูป ทำเครื่องหมายว่ากล้องตัวใดอยู่ด้านซ้ายมือ ตัวใดอยู่ด้านขวามือ เพื่อที่จะจำได้ง่ายเวลานำภาพไปล้างอัด (กล้องทั้ง 2 ตัวจะเปรียบเสมือนดวงตาข้างซ้ายและข้างขวาของมนุษย์)
4. กดชัตเตอร์ของกล้องทั้ง 2 ตัวพร้อมกันถ่ายภาพวัตถุที่ต้องการ เพื่อให้ภาพที่ออกมาเหมือนกันมากที่สุด หากถ่ายภาพจากทั้ง 2 กล้องไม่พร้อมกันแล้ว องค์ประกอบของภาพบางอย่างอาจเปลี่ยนแปลงได้
5. นำภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองไปล้างอัด นำมาวางเรียงกัน แล้วใช้เทคนิคในการดูภาพ 3 มิติ อย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อดูภาพ

### 2.8.1 ข้อสำคัญในการถ่ายภาพสามมิติ

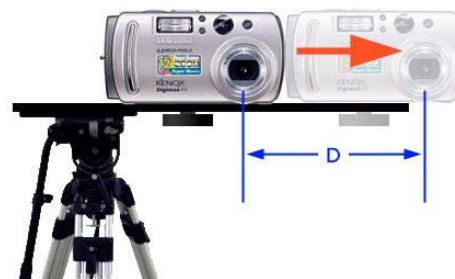
- เลนส์ของกล้องทั้ง 2 ตัว ต้องมีความยาวโฟกัสเท่ากัน ในกรณีที่ถ่ายด้วยกล้องคู่ และปรับกล้องทั้ง 2 ให้มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ
- แนวการถ่ายภาพทั้ง 2 ภาพ ต้องขนานกัน
- ระยะห่างระหว่างกล้องทั้ง 2 ตัว ควรจะเท่ากับระยะห่างระหว่างดวงตามนุษย์ แต่ถ้าต้องการถ่ายภาพ 3 มิติ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ควรจะให้กล้องอยู่ห่างจากวัตถุที่จะถ่ายในอัตราส่วนระยะห่างกล้องต่อวัตถุ  $1/40$  เสมอ เช่น ถ้าวัตถุที่จะถ่ายอยู่ห่างจากผู้ถ่ายภาพประมาณ 3 เมตร จะต้องเลื่อนกล้องทั้งสองตัวให้ห่างกันเป็นระยะเท่ากับ  $3/40 = 7.5$  ซม.
- โดยปกติแล้วสายตาของคนเราไม่สามารถดูภาพ 3 มิติ ได้ในระยะเดียวกัน ดังนั้นไม่จำเป็นต้องคำนวณให้ตรงตามระยะที่กำหนด ให้ลองถ่ายภาพไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ภาพที่สายตาสามารถมองเห็นชัดเจน

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของวัตถุและระยะห่างระหว่างกล้อง

ระยะห่างของวัตถุกับกล้อง	0.1 m	0.3 m	0.5 m	1 m	3 m	5 m
ระยะห่างระหว่างกล้องทั้ง 2 ตัว (D)	0.25 cm	0.75 cm	1.25 cm	2.5 cm	7.5 cm	12.5 cm



รูปที่ 2.15 แนวทางการถ่ายภาพวัตถุของกล้อง



รูปที่ 2.16 การเลื่อนกล้องไปที่ระยะต่างๆ

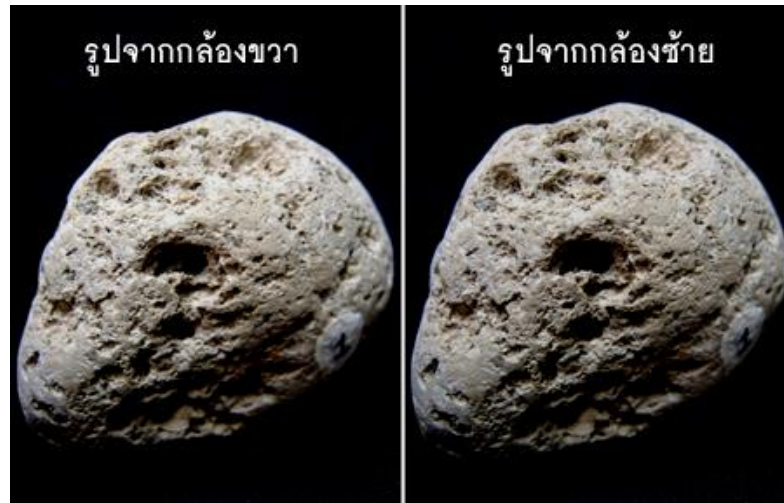
## 2.9 การดูภาพ 3 มิติ

ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ภาพที่สามารถดูเป็นภาพสามมิติได้จะต้องประกอบด้วยภาพสองภาพคือภาพซ้ายและภาพขวาซึ่งได้จากการถ่ายภาพที่สองตำแหน่งห่างกันประมาณ 6–8 ซม. ดังในรูปที่ 2.15 และ 2.16 จากนั้นต้องนำภาพสองภาพมาดูพร้อมกันด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

### 1). การวางภาพคู่กันแต่ดูภาพด้วยสายตาไขว้กัน (Cross-Eye View)

วิธีนี้ใช้วิธีวางภาพซ้ายและขวาคู่กัน แล้วดูโดยไม่ใช้อุปกรณ์ช่วย แต่ดูภาพซ้ายด้วยตาขวา และดูภาพขวาด้วยตาซ้ายสลับไขว้กัน จะทำให้ผู้ดูสามารถเห็นเป็นภาพสามมิติได้ แต่หลายคนไม่สามารถมองเห็นเป็นภาพ 3 มิติได้ด้วยวิธีนี้





รูปที่ 2.17 การวางภาพคู่กันและมองภาพแบบไขว้กัน (Cross-Eye View)

## 2). การวางภาพคู่กันและดูภาพแบบขนาน (Parallel View)

การดูแบบขนานนี้ เป็นการดูภาพในลักษณะปกติ กล่าวคือ ภาพด้านซ้ายจะอยู่ทางซ้าย และดูด้วยตาซ้าย ส่วนภาพด้านขวาจะอยู่ทางขวาและดูด้วยตาขวา วิธีนี้คนส่วนใหญ่ดูได้



รูปที่ 2.18 การวางภาพคู่กันและดูภาพแบบขนาน (Parallel View)

### เทคนิคการดูภาพแบบขนาน

- เลื่อนหน้าเข้าไปจ้องภาพใกล้ๆ
- ค่อยๆ เลื่อนศีรษะถอยออกจากภาพอย่างช้าๆ
- ขณะเลื่อนศีรษะถอยหลัง ให้ใช้ตาทั้งสองข้าง มอง 'ทะลุ' ภาพไป เหมือนกับว่ามีจุดโฟกัสอยู่ด้านหลังของภาพ
- เมื่อเริ่มเห็นภาพ 3 ภาพ ให้พยายามจ้องไปยังภาพที่อยู่ตรงกลาง จนกระทั่งตาสามารถปรับได้ และมองเห็นภาพรวมกันเป็นภาพ 3 มิติ

### 3). การดูแบบขนานด้วยอุปกรณ์ดูภาพสเตอริโอ (Stereo Viewer หรือ Stereo Scope)

เนื่องจากการดูภาพด้วยตาเปล่านั้น อาจทำให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อตา และอาจเกิดการวิงเวียน หรือปวดศีรษะได้ การใช้อุปกรณ์ดูภาพสเตอริโอ จะช่วยแก้ไขปัญหาลเหล่านี้ในระดับหนึ่ง



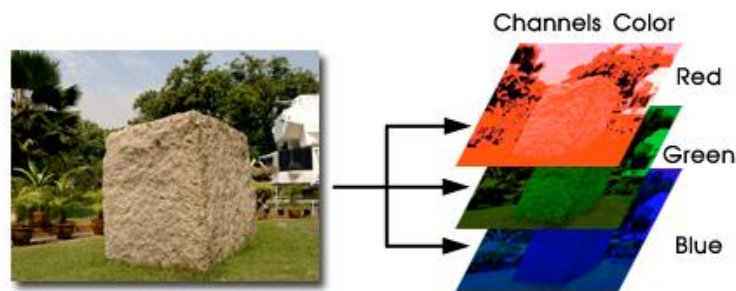
รูปที่ 2.19 การใช้อุปกรณ์ดูภาพสเตอริโอในการดูภาพถ่ายและขวา

การดูภาพโดยใช้อุปกรณ์ชนิดนี้ คือ ให้ก้มหน้าลงมองผ่านเลนส์ทั้งสองเหมือนกับใส่แว่นตา บางคนอาจจะมองไม่เห็นเป็นภาพ 3 มิติในทันที ให้ลองปรับสายตาซ้กพักก็จะมองเห็นภาพเป็น 3 มิติได้ การมองภาพ 3 มิติด้วยวิธีนี้อาจทำให้เกิดอาการล้าของสายตาได้เช่นกัน

## 2.10 การแสดงผลภาพสามมิติ

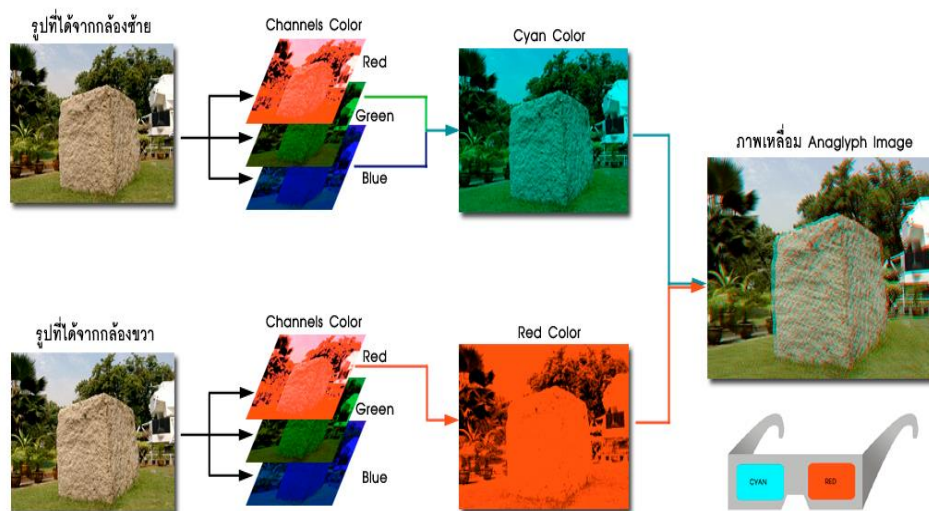
### 1) ภาพแบบแอนะกลิฟ (Anaglyph)

ภาพที่ได้จากกล้องถ่ายรูปทั่วไป หรือภาพจากการ Scan ด้วยเครื่อง Scanner ถ้าเป็น Mode ภาพแบบ RGB คือ ภาพหนึ่งภาพจะมีองค์ประกอบของสีแดง (R) สีเขียว (G) สีน้ำเงิน (B)



รูปที่ 2.20 สีที่เป็นองค์ประกอบของภาพ

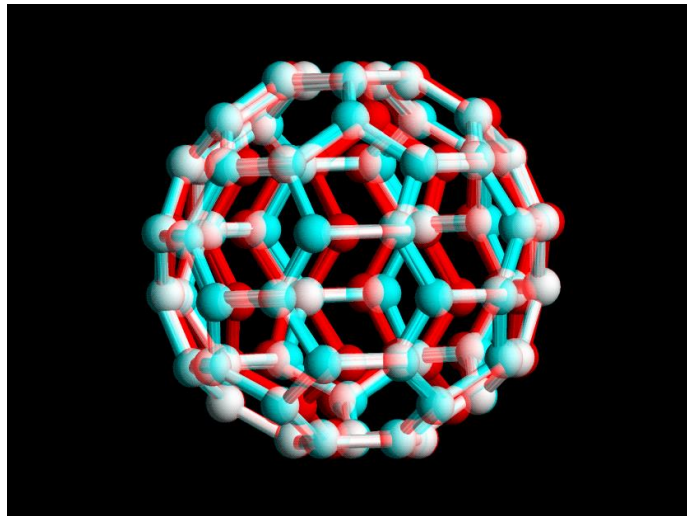
จากคุณสมบัติขององค์ประกอบของสีดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์กับภาพเหลือมได้ โดยอาศัยหลักการตัดสีที่ไม่ต้องการออกเพื่อให้ได้คุณสมบัติของภาพเหลือม



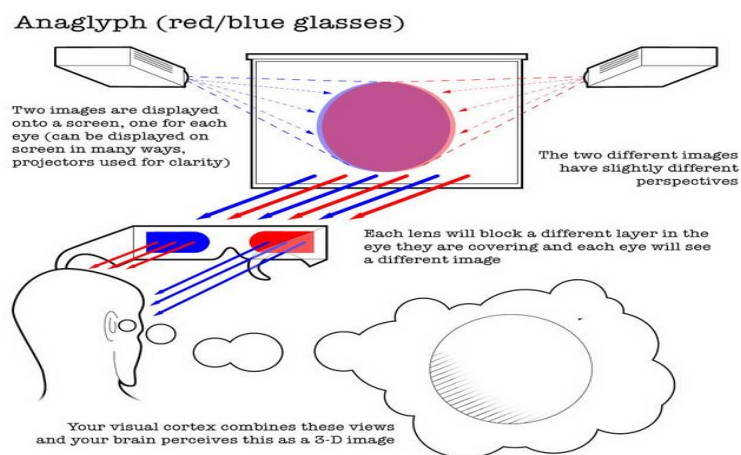
รูปที่ 2.21 การสร้างภาพแบบแอนะกลิฟ [5]

ภาพสามมิติแบบแอนะกลิฟนั้น ประยุกต์มาจากวิธีวางภาพคู่กันแล้วดูภาพพร้อมกันดังได้กล่าวมาแล้ว แต่วิธีแอนะกลิฟใช้วิธีนำภาพซ้ายและขวามารวมกันเป็นภาพเดียว โดยทำการตัดสีของ

ภาพทั้งสองภาพออก โดยให้ภาพทางขวาเป็นภาพสีแดง (ตัดสีเขียวและสีน้ำเงินออก) และภาพทางซ้ายจะเป็นภาพสีฟ้าอมเขียว (ตัดสีแดงออก) แล้วนำภาพที่ได้นี้มารวมกันซึ่งจะเห็นเป็นภาพซ้อนเหลื่อมกันเนื่องจากการถ่ายภาพที่ตำแหน่งต่างกัน เมื่อใช้แว่นตาที่มีสีสอดคล้องกันคือตาซ้ายมีสีฟ้าอมเขียวส่วนตาขวามีสีแดงดูภาพจะเห็นสองภาพพร้อมกัน ทำให้เห็นเป็นสามมิติ



รูปที่ 2.22 ภาพจำลองอะตอมที่แสดงผลเป็นแบบแอนะกลิฟ



รูปที่ 2.23 การแสดงการดูภาพแบบแอนะกลิฟ

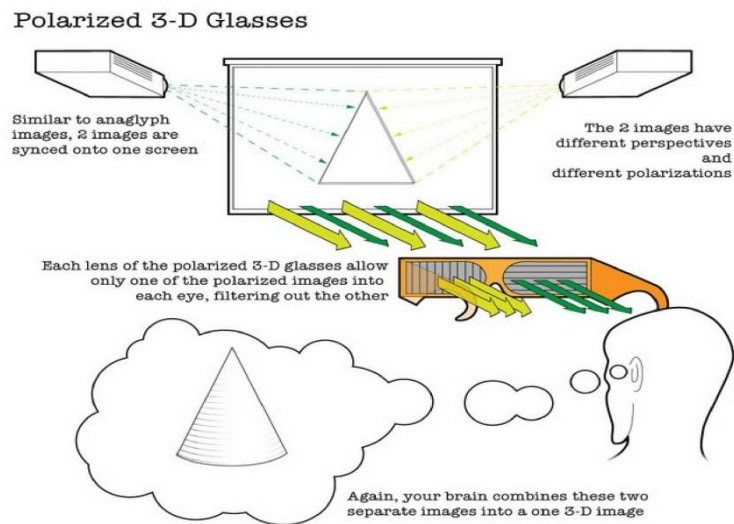
การดูภาพแบบแอนะกลิฟมีความสบายตากว่าการดูภาพสองภาพที่วางอยู่แยกกัน เพียงแต่ต้องมีแว่นตาสีที่ทำหน้าที่กรองสี เพื่อให้ตาของผู้ดูมองเห็นภาพซ้ายกับภาพขวาแยกกันแต่เห็นพร้อมกัน ผลที่ได้คือจะสามารถมองเห็นเป็นภาพสามมิติ ภาพแบบอนะกลิฟสามารถสร้างได้โดย

การนำภาพถ่ายและขวามารวมกันเป็นภาพเดี่ยวด้วยโปรแกรม เช่น Photoshop และ AnaglyphMaker เป็นต้น ผู้ดูสามารถดูภาพเป็นสามมิติได้ทั้งบนจอภาพและจากภาพที่พิมพ์ออกมาบนกระดาษ แต่ต้องใช้เครื่องพิมพ์ที่ให้สีถูกต้อง ไม่ผิดเพี้ยนจากสีจริงจึงจะเห็นภาพสามมิติที่สมบูรณ์ เพราะหากสีผิดเพี้ยนไป การกรองสีของแว่นตาจะไม่สมบูรณ์ ทำให้ยังมองเห็นภาพซ้อนกันอยู่

## 2) ภาพแบบโพลาไรซ์ (Polarized)



รูปที่ 2.24 ภาพที่แสดงผลของแบบโพลาไรซ์



รูปที่ 2.25 การดูภาพแบบโพลาไรซ์

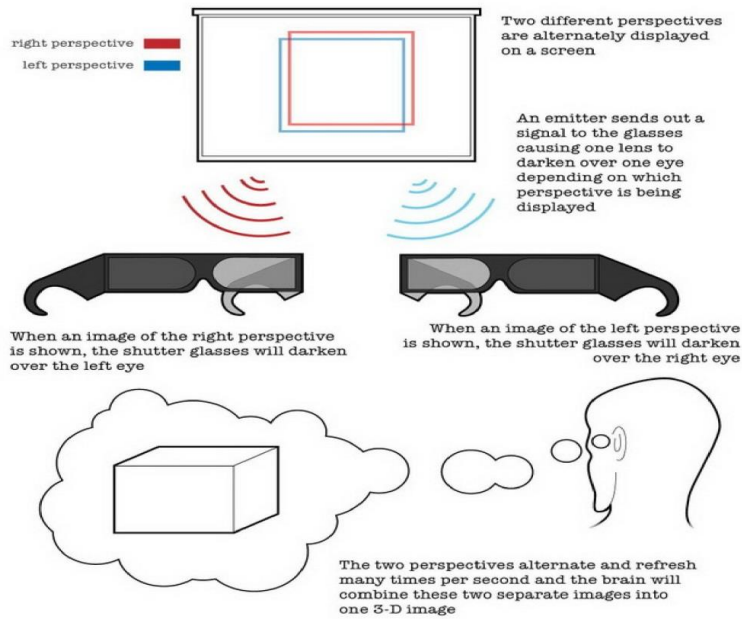
วิธีการดูภาพแบบโพลาไรซ์มีความคล้ายคลึงกับแบบแอนะกลิฟ คือนำภาพสองภาพมาเฟรมเดียวกัน แต่จะไม่ใช้สีเป็นตัวฟิลเตอร์ แต่ใช้ฟิลเตอร์โพลาไรซ์ (polarized filter) แทน โดยแว่นตาข้างซ้ายจะเห็นมองเป็นภาพในแนวตั้ง ส่วนตาขวาจะมองเห็นภาพที่ช่องในแนวนอน ซึ่งทั้งสองภาพมีมุมมองที่แตกต่างกัน ทำให้ตาแต่ละข้างของเรามองเห็นภาพซ้ายและขวาร่วมกัน เช่นเดียวกับแบบแอนะกลิฟ การดูภาพแบบโพลาไรซ์นี้ภาพต้องแสดงอยู่บนจอภาพเท่านั้นและใช้แว่นตาแบบโพลาไรซ์ดูภาพเพื่อเลือกดูแสงในแนวตั้งด้วยตาซ้ายและในแนวนอนด้วยตาขวา ซึ่งสบายตากว่าวิธีแสดงภาพ/ดูภาพสามมิติที่ผ่านมามาก

### 3) การดูภาพโดยใช้แว่นตาแบบแอคทีฟชัตเตอร์ (Active Shutter Glasses)

การทำงานของแว่นตาแบบแอคทีฟชัตเตอร์ เป็นวิธีแสดงภาพและดูภาพบนจอภาพที่แสดงภาพซ้ายและขวาสลับกัน โดยแว่นตากับจอภาพต้องทำงานสอดคล้องกันตามความเร็วในการแสดงภาพ ซึ่งต้องอาศัยจอภาพที่มีความถี่ในการแสดงภาพ 120 Hz เป็นอย่างต่ำ สมมุติว่าเป็นตาซ้ายเป็นการแสดงผลเฟรมแรก เฟรมถัดมาจะเป็นตาขวา การแสดงภาพจะเป็น ซ้าย - ขวา - ซ้าย - ขวา จนครบ 120 เฟรม ใน 1 วินาที จะเห็นได้ว่าตาซ้ายและขวาจะเห็นข้างละ 60 เฟรม ซึ่งเป็นความถี่ขั้นต่ำที่ทำให้ไม่รู้สึกรบกวนภาพกระพริบ เช่น เฟรมแรกเป็นตาซ้าย ทีนี้จะบอกให้แว่นตาขวาจะไม่ทำงาน หรือถ้าทีวีแสดงเฟรมที่ต้องใช้ตาขวาดู ก็จะบอกให้แว่นตาซ้ายจะไม่ทำงาน แว่นตา

เองจึงต้องใช้แบตเตอรี่ในการสื่อสารกับทีวี จึงทำให้แว่นแบบนี้มีราคาสูงกว่าแว่นตาที่ใช้หลักการ  
โพลารอยซ์ที่ไม่มีระบบอิเล็กทรอนิกส์

Active Shutter Glasses



รูปที่ 2.26 การแสดงภาพ/รูปภาพ โดยใช้แว่นตาแบบแอคทีฟชัตเตอร์

## บทที่ 3

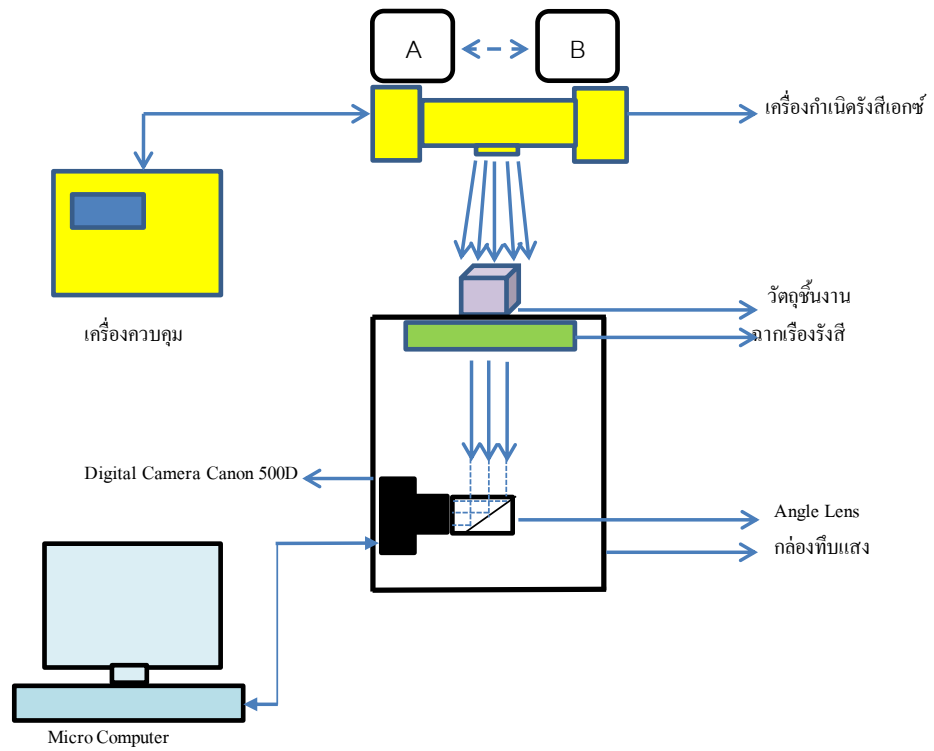
### การพัฒนาเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ

#### 3.1 การทดสอบวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เรย์และการสร้างภาพ/ดูภาพสามมิติ

การทำงานของระบบจะเริ่มจากการปรับตั้งค่าพลังงานที่ใช้ (kV) ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และเวลาเดินเครื่องผ่านทางเครื่องควบคุม หลังจากนั้นจึงเป็นการเริ่มการทำงานของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ เมื่อเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ให้รังสีเอกซ์ออกมา จะถูกลดทอนลงด้วยวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานและรูปร่างภายใน ความเข้มที่ทะลุผ่านชิ้นงานไปจะตกกระทบฉากเรืองรังสี ซึ่งจะทำการให้สารเรืองรังสีเปล่งแสงออกมาทำให้เกิดเป็นภาพโครงสร้างภายในและภายนอกของชิ้นงานปรากฏขึ้นบนฉาก หลังจากนั้นจึงเป็นการเก็บภาพในตำแหน่งแรก (ตำแหน่ง A) ดังในรูปที่ 3.1 ด้วยการตั้งงานและควบคุมกล้องด้วย Software Canon EOS Utilities ผ่านทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งปลายเลนส์จะติดตั้ง Angle Mirror lens เพื่อสะท้อนภาพที่เกิดขึ้นเข้าสู่กล้องและไม่ให้ตัวกล้องถูกรบกวนจากรังสีโดยตรง ภาพที่ได้จะถูกส่งมาแสดงผลยังคอมพิวเตอร์และทำการปรับเลื่อนเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ไปยังตำแหน่งที่สอง (ตำแหน่ง B) ด้วยระยะทางประมาณ 5-7 เซนติเมตรและทำการเก็บภาพอีกครั้ง การเลื่อนตำแหน่งของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แล้วเก็บภาพ 2 ครั้ง เป็นการจำลองจากการมองวัตถุของตามนุษย์ซึ่งตาแต่ละข้างจะเห็นวัตถุด้วยมุมแตกต่างกันเล็กน้อย และรวมภาพทั้ง 2 ที่ได้เข้าด้วยกันด้วยโปรแกรม StereoPhoto Maker แล้วจึงส่งไปแสดงผลบนจอภาพที่รองรับการแสดงผลแบบสามมิติ



ปรับเปลี่ยนตำแหน่งเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์  
เพื่อถ่ายภาพ 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.1 แผนภาพของระบบที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

### 3.2 การออกแบบระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ

ระบบที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนต้นกำเนิดเอกซ์เรย์ ส่วนการเก็บภาพ และส่วนการแสดงผลภาพ

#### 3.2.1 ส่วนเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Rigaku Radioflex โดยการปรับตั้งค่าและการทำงานของจะผ่านตัวควบคุมต้นกำเนิดเอกซ์เรย์ สามารถปรับตั้งค่าพลังงานได้ตั้งแต่ 70-200kV และความเข้มรังสี 3.5-4.5 mA



รูปที่ 3.2 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ Rigaku Radioflex

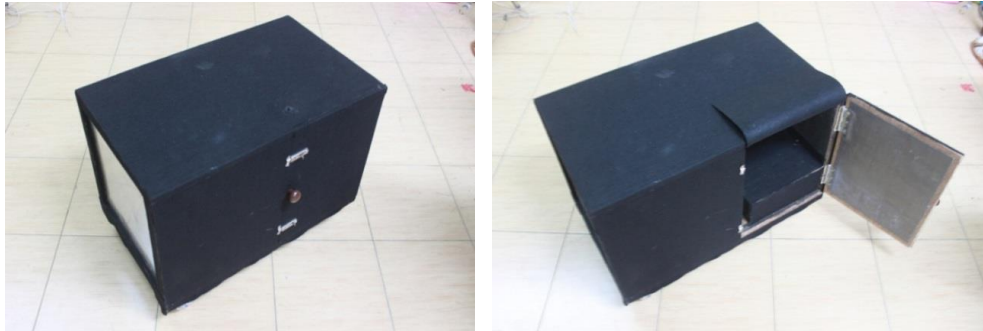
#### 3.2.2 ส่วนการเก็บข้อมูลภาพ

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ทำการรับภาพที่เกิดขึ้นจากการเกิดอันตรกิริยาของฉากเรืองรังสีหลังจากที่เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ปล่อยรังสีออกมา ซึ่งจะประกอบไปด้วย กล้องทึบแสง กล้องถ่ายภาพ Angle Mirror Lens สาย USB และฉากเรืองรังสี ซึ่งส่วนการเก็บภาพจะเก็บภาพที่ได้และส่งไปแสดงผลที่ไมโครคอมพิวเตอร์

##### 3.2.2.1 กล้องทึบแสงสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์

การถ่ายภาพรังสีเอกซ์จำเป็นต้องทำในห้องมืดจึงจะเห็นการเรืองรังสีที่ฉากได้ จึงต้องมีกล้องทึบแสงที่เป็นระบบปิดที่สามารถใส่อุปกรณ์การรับภาพ จึงได้สร้างกล้องทึบแสงขนาด 30 ซม. x 36 ซม. x 60 ซม. ทำจากไม้อัดด้วยบุผ้าสีดำเพื่อป้องกันแสงรบกวน

จากภายนอกและภายในมีการบุแผ่นตะกั่วหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการกระเจิงของรังสีเอกซ์ที่จะเกิดการรบกวนกับการรับภาพ



รูปที่ 3.3 กล่องทึบแสง

#### 3.2.2.2 Camera Canon 500D Lens 18-55 Angle Mirror Lens

กล้องบันทึกภาพ Canon 500D เซ็นเซอร์รับภาพชนิด CMOS พร้อมเลนส์ 18-55is สามารถเก็บภาพได้ความละเอียด 15 ล้านพิกเซล ขนาดภาพ 4752 พิกเซล x 3168 พิกเซล เป็นอุปกรณ์บันทึกภาพถ่ายที่ได้จากเครื่องรังสีที่แสดงรายละเอียดโครงสร้างภายในและภายนอกชิ้นงาน ดัดปลายเลนส์ด้วย Angle Lens ซึ่งจะเป็นกระจกวางตัวเฉียง 45 องศาเพื่อสะท้อนภาพที่ปรากฏขึ้นบนฉากเครื่องรังสีเข้าสู่กล้องและลดการรบกวนจากรังสีเอกซ์ที่เข้ามารบกวนต่อเซ็นเซอร์รับภาพ



รูปที่ 3.4 กล้อง Canon 500D เลนส์ 18-55is



รูปที่ 3.5 Angle Lens



รูปที่ 3.6 การต่อ Angle Lens เข้ากับกล้อง Canon 500D

### 3.2.2.3 USB Cable and Hub USB

สาย USB (Universal Serial Bus) ความยาว 10 เมตร เพิ่มระยะห่างระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดเอกซ์เรย์ ใช้เชื่อมต่อกล้องและคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถควบคุมและปรับค่ากล้องจำเป็นต้องใช้ USB Hub เพิ่มความต่างศักย์ 5 โวลต์ให้กับสาย USB เนื่องจากสาย USB ที่ใช้มีความยาวมาก



รูปที่ 3.7 สาย USB



รูปที่ 3.8 USB hub

### 3.2.2.4 ฉากรีจิสตรีนิต $Gd_2O_2S:Tb$ รุ่น GRZ STD ของ Mitsubishi

สารเรจิสตรีนิตจะดูดกลืนพลังงานจากรังสีที่ถูกลดทอนด้วยชั้นงานแล้วเปล่ง  
ประกายออกมาเป็นแสงให้สามารถเห็นได้ถึงลักษณะของโครงสร้างชั้นงาน

ตารางที่ 3.1 ตารางคุณสมบัติของฉากรีจิสตรีนิต  $Gd_2O_2S:Tb$  รุ่น DRZ-STD ของ Mitsubishi

	Composite		X-ray* Attenuation	Brightness [ $cd\cdot m^{-2}/R\cdot sec^{-1}$ ]	Relative** Brightness	MTF***	
						At 1 lp/mm	At 2 lp/mm
DRZ-STD ( $Gd_2O_2S:Tb$ )	Protective Layer	PET 6 $\mu m$	42%	7.1	145%	0.82 (106)	0.49 (114)
	Phosphor Layer	140 $\mu m$ 68mg/cm <sup>2</sup>					
	Support Layer	Plastic Base 250 $\mu m$					
	Total	406 $\mu m$					

Conditions:

\* X-ray: 80kV, Water 100 mm (tube side), Dose measurement: Victoreen Model 500

\*\* X-ray 80kV, no Phantom Brightness measurement: TOPCON Luminance Colorimeter BM-5A,  
Dose measurement: RTI Electronics Solidose 300

\*\*\* X-ray: 80kV, Phantom : Water 100 mm (Tube side) Lead Test Pattern: KYOKKO TYPE 7 (Pb 0.10mm)  
X-ray Film: Fuji UM-MAHC (Single emulsion type)

(แหล่งที่มา : [http://www.mcc-phosphor.com/english/products/x-ray/fluorescent/drz\\_pi.html](http://www.mcc-phosphor.com/english/products/x-ray/fluorescent/drz_pi.html))



รูปที่ 3.9 ฉากรีจิสตรีนิต  $Gd_2O_2S:Tb$  รุ่น DZR-STD ของ Mitsubishi

### 3.2.3 ส่วนการแสดงผลภาพ

เป็นส่วนที่แสดงผลภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยเอกซ์เรย์และแสดงผลภาพสามมิติที่ได้จากการรวมภาพถ่ายด้วยเอกซ์เรย์ด้วยการใช้โปรแกรม StereoPhoto Maker

#### 3.2.3.1 ไมโครคอมพิวเตอร์

ไมโครคอมพิวเตอร์ใช้ในการควบคุมกล้องผ่านสาย USB ด้วย Software Canon EOS Utilities ปรับตั้งค่าต่าง ๆ ผ่านทางซอฟต์แวร์ได้ทันที สามารถแสดงผลภาพที่ได้จากการถ่ายภาพและประมวลผลภาพที่ได้ด้วยโปรแกรม StereoPhoto Maker ให้เป็นภาพสามมิติแล้วแสดงออกทางจอภาพ



รูปที่ 3.10 ไมโครคอมพิวเตอร์

### 3.2.3.2 เครื่องรับโทรทัศน์ LG LED 3D

เป็นจอภาพที่รองรับการแสดงผลแบบ 3 มิติระบบโพลาริซในรูปแบบ MPO (multiple object format) ได้โดยตรง ต้องใช้อุปกรณ์ในการช่วยมองภาพ คือ แว่นตาระบบโพลาริซ



รูปที่ 3.11 เครื่องรับโทรทัศน์ LG LED 3D



รูปที่ 3.12 แว่นตาแบบ Polarized

### 3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ภายหลังจากการออกแบบและทดสอบการทำงานของกล่องทึบแสงแล้ว ได้ทดลองถ่ายภาพชิ้นงานต่าง ๆ ชิ้นงานละ 2 ตำแหน่ง แล้วนำภาพถ่ายและขวาไปแสดงเป็นภาพสามมิติตามขั้นตอนต่อไปนี้

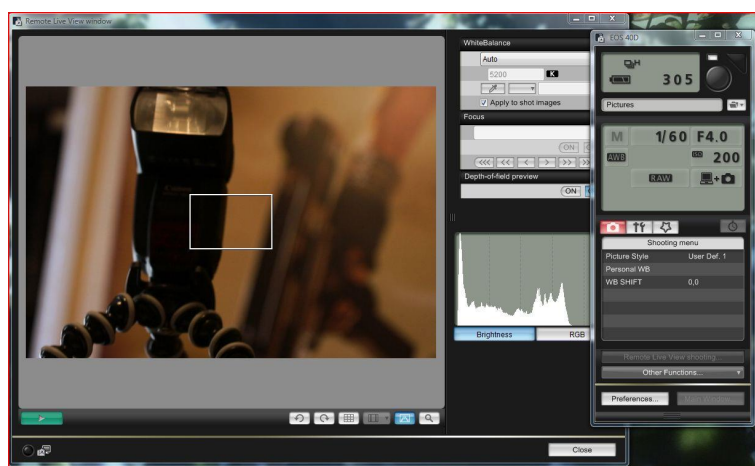
1. จัดวางต้นกำเนิดเอกซเรย์และควบคุมการทำงานเครื่องเอกซเรย์ผ่านทางเครื่องควบคุม
2. จัดวางกล่องทึบแสง และวางกล้อง ให้ได้ระยะตามที่คำนวณ โดยวางชิ้นงานให้ใกล้กับฉากเรืองรังสีที่อยู่ด้านหน้าของกล่องทึบแสงมากที่สุด เพื่อให้ภาพคมชัดที่สุด
3. อุณหภูมิเครื่องเอกซเรย์ประมาณ 7 นาที
4. ปรับค่าคุณสมบัติกล้องต่างๆดังนี้ ระยะเวลาในการเก็บภาพ 10-13 วินาที ความกว้างของรูรับแสง 5.6-8 ความไวแสง 200 สมดุลแสงขาว AWB และปรับโฟกัสไว้ที่ฉากเรืองรังสีให้ได้ความคมชัดด้วยโหมด Manual
5. เชื่อมต่อกล้องเข้ากับ computer และควบคุมกล้องด้วยโปรแกรม Canon EOS utilities
6. เดินเครื่องเอกซเรย์ ที่ 120 kV, 5 mA-min เป็นเวลา 30 วินาที ในขณะที่เดียวกันกดชุดเตอร์ที่คอมพิวเตอร์เพื่อรับภาพที่ปรากฏขึ้นบนฉากเรืองรังสี

7. เมื่อได้ภาพแล้ว ทำการเลื่อนเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ไปทางขวาหรือซ้ายเป็นระยะทาง 5-7 เซนติเมตร เพื่อทำการบันทึกภาพอีกครึ่งหนึ่ง
8. ทำการบันทึกภาพอีกครึ่งหนึ่งด้วยเงื่อนไขดังในข้อที่ 6
9. นำภาพที่ได้ทั้งสองภาพ นำไปรวมกันด้วยโปรแกรม StereoPhoto maker
10. แสดงภาพที่ได้ออกจากจอภาพที่รองรับการแสดงผลแบบสามมิติ
11. เปรียบเทียบกับวิธีถ่ายภาพแบบแอนะล็อก ฟังก์ชันภาพคู่กัน หรือการมองภาพวิธีอื่น

### 3.4 การใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง

#### - โปรแกรม Canon EOS Utilities

เป็นโปรแกรมที่ใช้ควบคุมกล้องดิจิทัล Canon ด้วยคอมพิวเตอร์โดยการเชื่อมต่อผ่านทางสาย USB สามารถปรับตั้งค่าคุณสมบัติของกล้องได้ทันทีทันใด และแสดงภาพที่ได้จากการรับภาพจากการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์ได้ทันที

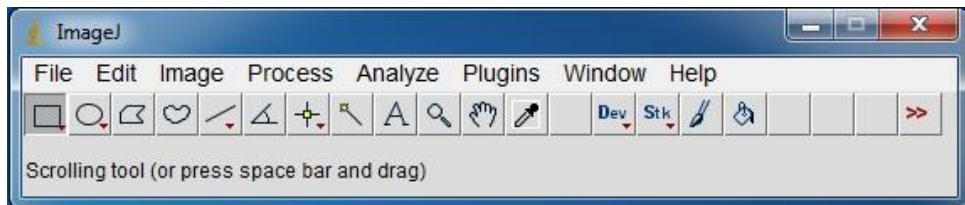


รูปที่ 3.13 หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งาน โปรแกรม Canon EOS Utilities

#### - โปรแกรม ImageJ

เป็นโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ การใช้งานของโปรแกรมนี้จะเป็นการนับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นเม็ดสีที่ผิดเพี้ยนของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการรบกวนของรังสีเอกซ์ต่อเซ็นเซอร์รับภาพ

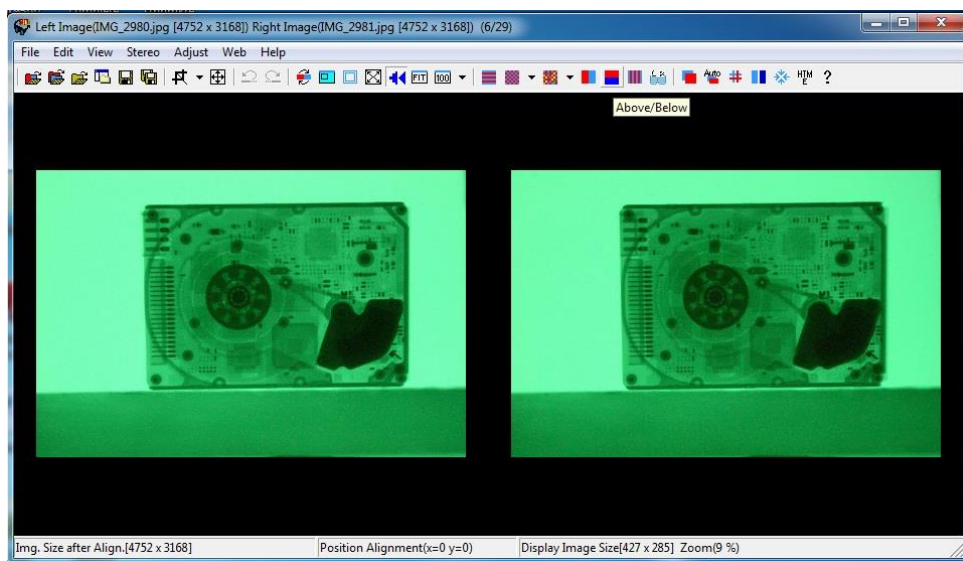




รูปที่ 3.14 หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งาน โปรแกรม ImageJ

- โปรแกรม StereoPhoto Maker

เป็นโปรแกรมที่ใช้ประมวลผล รวมภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์ทั้งสองภาพเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ภาพสามมิติออกมา สามารถบันทึกไฟล์นำไปแสดงผลบนอุปกรณ์หรือจอภาพที่รองรับการแสดงผลแบบสามมิติและสามารถปรับภาพเป็นแบบ แอนะกลิฟ และ โพลาริซ



รูปที่ 3.15 หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งาน โปรแกรม StereoPhoto Maker


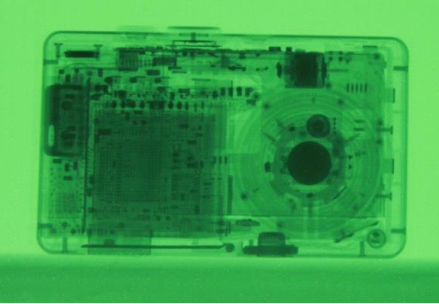
## บทที่ 4

### การทดสอบการทำงานของระบบและผลการวิจัย


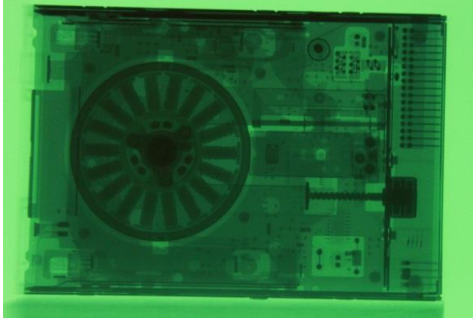
#### 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบบันทึกภาพด้วยการควบคุมกล้องผ่านทางคอมพิวเตอร์

ในขั้นต้นจะเป็นการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในห้องมืด เพื่อให้ได้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของชิ้นงานที่ทดสอบ การทำงานของระบบอาศัยหลักความเข้มของรังสีที่ผ่านวัตถุตัวอย่าง ไปตกกระทบฉากเรืองรังสี ซึ่งจะช่วยให้สารเรืองรังสีเปล่งแสงออกมาทำให้เกิดเป็นภาพฉายที่แสดงรายละเอียดบนฉากเรืองรังสี จากนั้นจึงเป็นการเก็บภาพด้วยกล้องถ่ายภาพ ด้วยการกดชัตเตอร์ผ่านทางคอมพิวเตอร์ จากนั้นภาพที่ได้ก็จะถูกส่งผ่านไปแสดงผลยังจอคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบระบบ


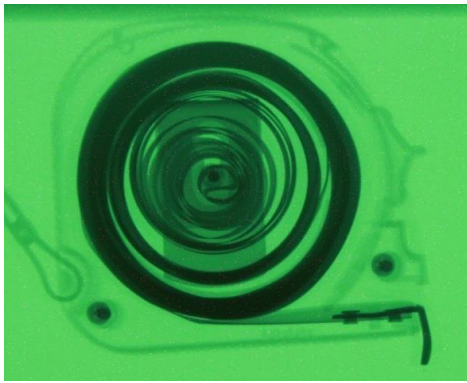
ตารางที่ 4.1 ผลการถ่ายภาพทดสอบชิ้นงานที่ 1

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u> รังสีเอกซ์ 120 kV 5mA ความไวแสง 200 ความกว้างรูรับแสง 5.6 ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 13 วินาที</p> <p><u>รายละเอียดชิ้นงานที่ 1</u> กล้องดิจิทัล SAMSUNG รุ่น L73</p> <p><u>รายละเอียดภาพด้วยรังสีเอกซ์</u> สามารถแสดงรายละเอียดภายในชิ้นงานได้อย่างชัดเจน</p>	 <p>ชิ้นงาน</p>  <p>ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของชิ้นงาน</p>
---	---

ตารางที่ 4.2 ผลการถ่ายภาพทดสอบชิ้นงานที่ 2

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u>          รังสีเอกซ์ 120 kV 5mA          ความไวแสง 200          ความกว้างรูรับแสง 8          ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 13 วินาที</p>	
<p><u>รายละเอียดชิ้นงานที่ 2</u>          Floppy Disk 3 ½ นิ้ว</p>	<p>ชิ้นงาน</p>
<p><u>รายละเอียดภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์</u>          สามารถแสดงรายละเอียดภายในได้ชัดเจน          เห็นชิ้นส่วนที่ซ้อนทับกันได้ดี</p>	 <p>ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของชิ้นงาน</p>

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบชิ้นงานที่ 3

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <p>รังสีเอกซ์ 120 kV 5mA</p> <p>ความไวแสง 200</p> <p>ความกว้างรูรับแสง 5.6</p> <p>ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 10 วินาที</p> <p><u>รายละเอียดชิ้นงานที่ 3</u></p> <p>ตลับเมตร YOKOHOMA ความยาว 5 เมตร</p> <p><u>รายละเอียดภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์</u></p> <p>สามารถแสดงรายละเอียดในส่วนที่เป็นเหล็กได้อย่างชัดเจน</p>	 <p style="text-align: center;">ชิ้นงาน</p>  <p style="text-align: center;">ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของชิ้นงาน</p>
--	--

## 4.2 ผลการทดสอบระบบการสร้างภาพสามมิติและผลทดสอบการมองภาพด้วยระบบต่าง ๆ

เป็นการทดสอบภาพที่ได้ด้วยระบบภาพต่างๆจากระบบที่ได้พัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม StereoPhoto Maker เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของภาพสามมิติที่ได้เพื่อเลือกเทคนิคที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อจำกัดของระบบการมองภาพ

ระบบ	จอที่รองรับการแสดงผล	อุปกรณ์ช่วยในการมองภาพ
Polarized	จำเป็น	จำเป็น
แอนะกลิฟ	-	จำเป็น
วางภาพคู่กัน	-	-

### ระบบโพลาริซ

เป็นระบบภาพที่มีคุณภาพมากที่สุด แสดงมิติของภาพได้โดดเด่นชัดเจน สามารถเห็นรายละเอียดภายในของชิ้นงานที่ทับซ้อนกันได้เป็นอย่างดี มีความคมชัดของสี แสดงสีได้ไม่ผิดเพี้ยน ถ้าหากมองภาพที่แสดงผลอยู่บนจอภาพด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นภาพเหลื่อมกัน จำเป็นต้องใช้จอที่รองรับการแสดงผลในระบบนี้ด้วยอีกทั้งยังต้องใช้อุปกรณ์ในการช่วยมองภาพ คือแว่นตาแบบโพลาริซ

### ระบบแอนะกลิฟ

เป็นระบบที่ให้คุณภาพรองลงมาจากระบบโพลาริซ ให้มิติที่ลึกได้พอสมควรแต่ให้ความชัดของสีที่ค่อนข้างผิดเพี้ยนเนื่องจากสีของฟิลเตอร์ในตัวแว่นตา ไม่จำเป็นต้องใช้จอภาพที่รองรับการแสดงผลแบบสามมิติ เมื่омองภาพสามมิติด้วยระบบแอนะกลิฟ เป็นเวลานาน อาจทำให้มีอาการวิงเวียนศีรษะด้วยสีที่ตัดกันของแว่นตาเป็นสีแดง-ฟ้า

### ระบบ วางภาพคู่กัน

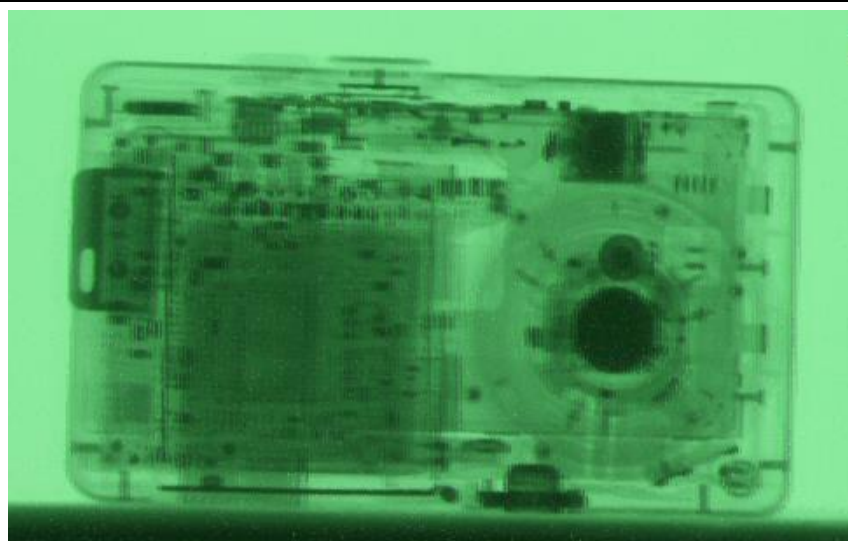
ระบบการมองภาพ วางภาพคู่กัน เป็นระบบการมองภาพสามมิติที่ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยการมองภาพแต่การมองภาพด้วยระบบนี้จำเป็นต้องได้รับการฝึกมองภาพเสียก่อน ให้มิติของภาพที่ดีแต่มองภาพด้วยระบบนี้เป็นเวลานานอาจมีอาการเมื่อยล้ากล้ามเนื้อตา เนื่องจากการเพ่งมองภาพ และอาจมีอาการวิงเวียนศีรษะเช่นเดียวกับระบบแอนะกลิฟ

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชิ้นงานที่ 1

ข้อมูลการทดสอบ รังสีเอกซ์ 120 kV, 5mA ความไวแสง 200 ความกว้างรูรับแสง 5.6  
ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 10 วินาที

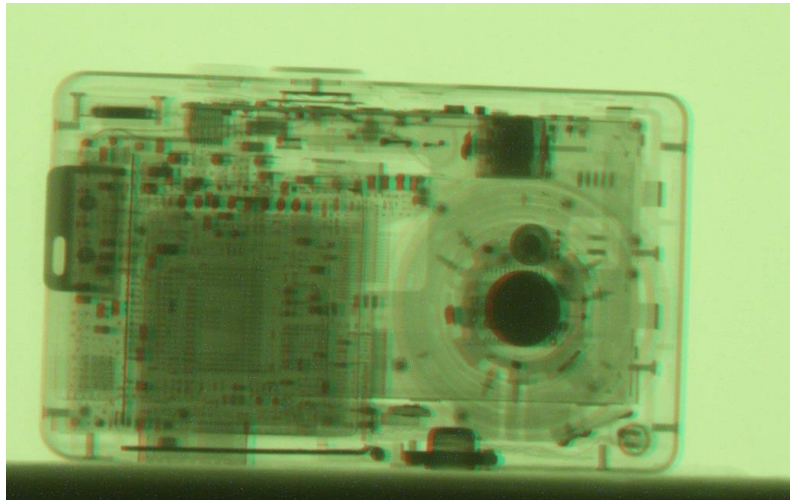


ชิ้นงานที่ 1

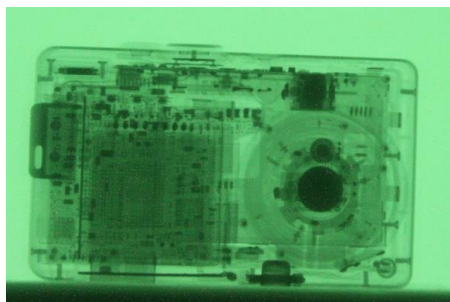


ภาพชิ้นงานที่ 1 แบบโพลีไธสสำหรับดูภาพบน Sharp LCD TV

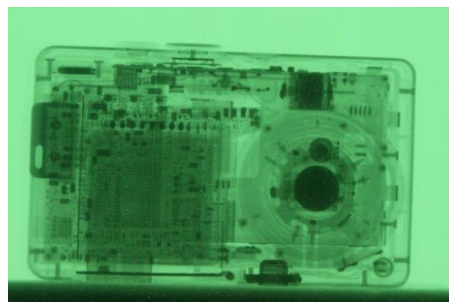
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชิ้นงานที่ 1 (ต่อ)



ภาพชิ้นงานที่ 1 ภาพแบบแอนะกลิฟ (สีแดง-ฟ้า)



ภาพซ้าย

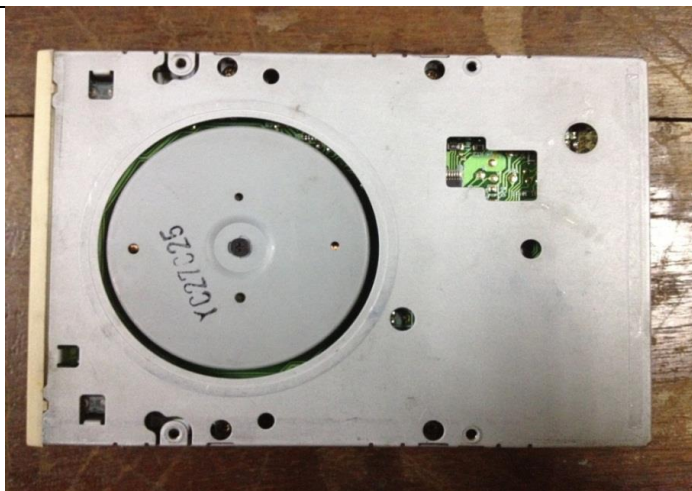


ภาพขวา

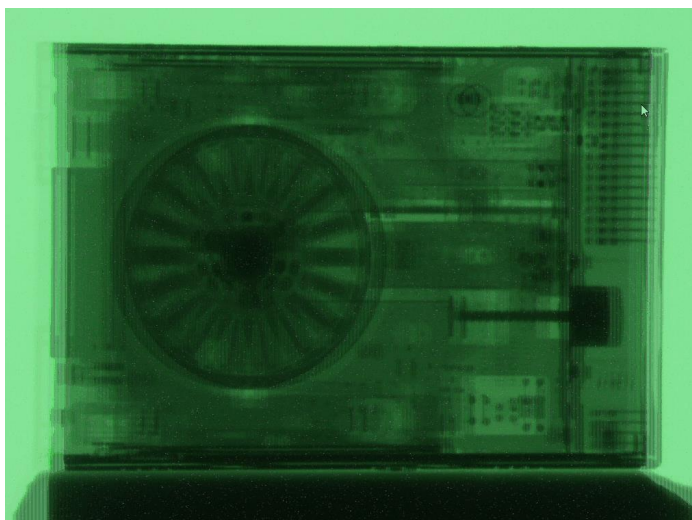
ภาพชิ้นงานที่ 1 ซ้ายและขวาวางคู่กัน

## ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชิ้นงานที่ 2

ข้อมูลการทดสอบ รังสีเอกซ์ 120 kV 5mA ความไวแสง 200 ความกว้างรูรับแสง 5.6 ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 13 วินาที



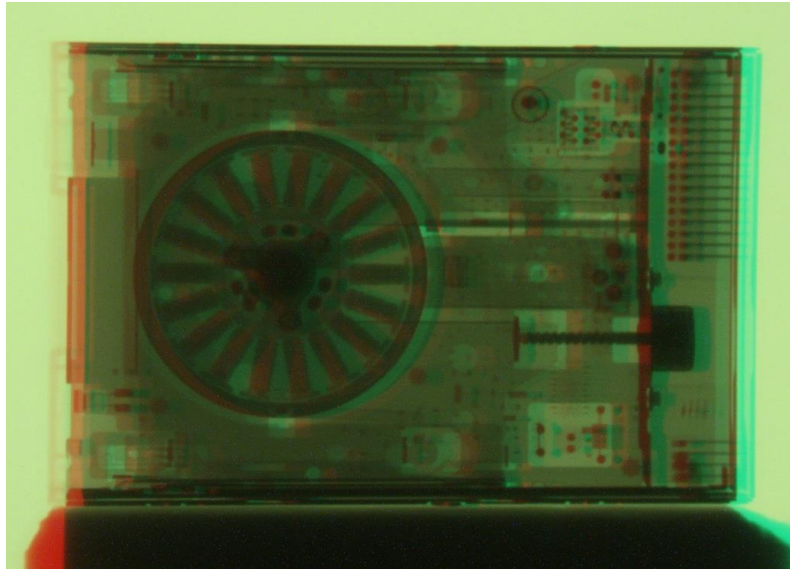
ชิ้นงานที่ 2



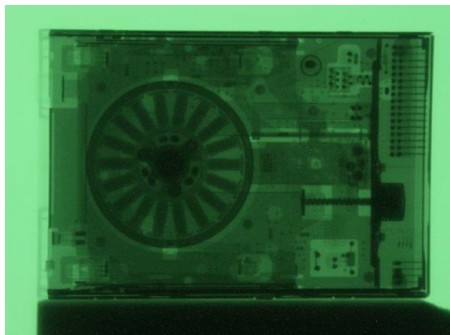
ภาพชิ้นงานที่ 2 แบบโพลาไรซ์สำหรับดูภาพบน Sharp LCD TV



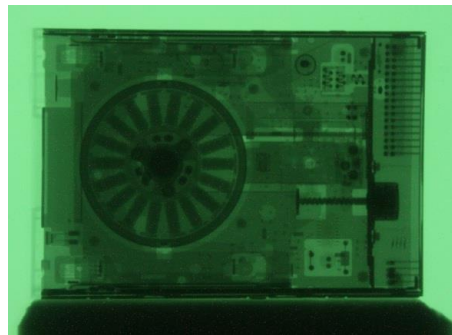
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชิ้นงานที่ 2 (ต่อ)



ภาพชิ้นงานที่ 2 ภาพแบบแอนะกลิฟ (สีแดง-ฟ้า)



ภาพซ้าย

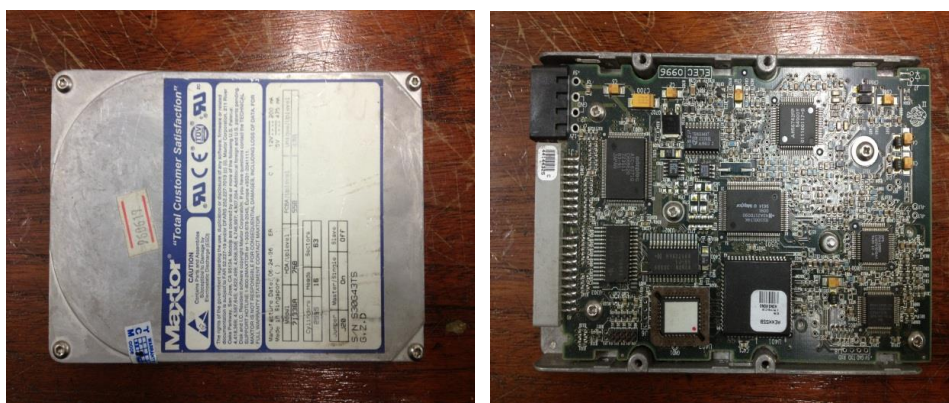


ภาพขวา

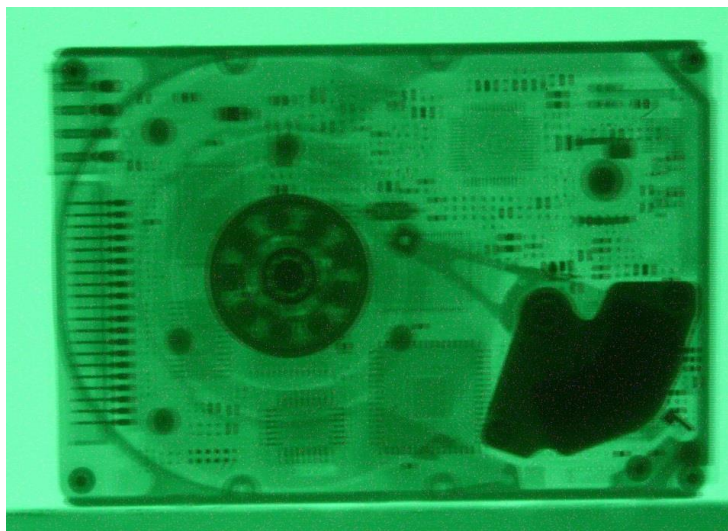
ภาพชิ้นงานที่ 2 ซ้ายและขวาวางคู่กัน

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชิ้นงานที่ 3

ข้อมูลการทดสอบ รังสีเอกซ์ 120 kV 5mA ความไวแสง 200 ความกว้างรูรับแสง 5.6 ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 13 วินาที

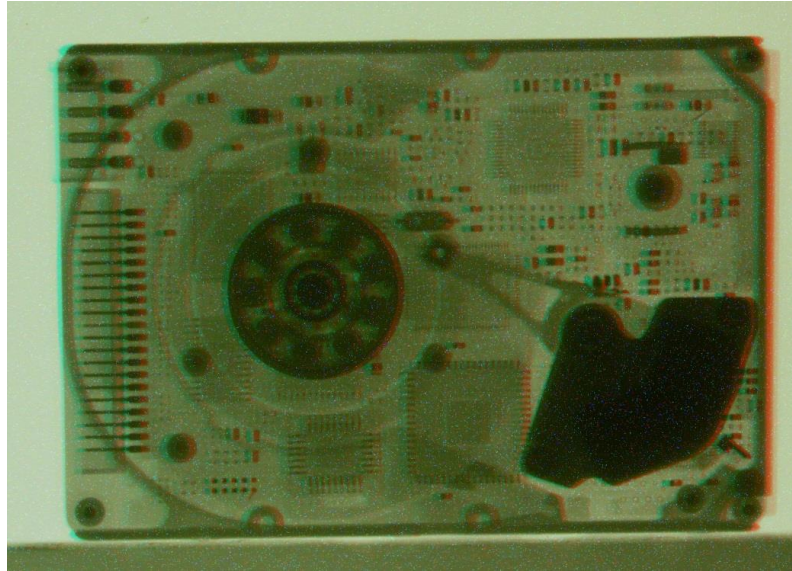


ชิ้นงานที่ 3

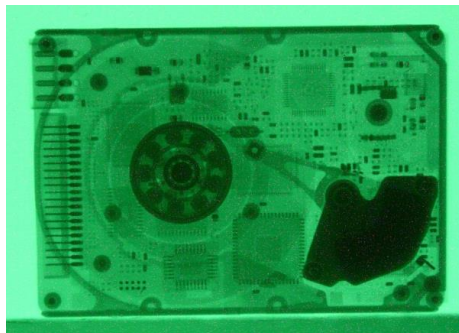


ภาพชิ้นงานที่ 4 แบบโพลาไรซ์สำหรับดูภาพบน Sharp LCD TV

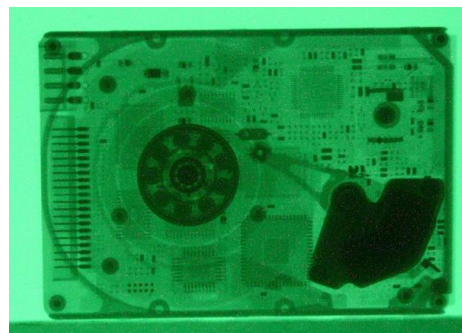
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชิ้นงานที่ 3 (ต่อ)



ภาพชิ้นงานที่ 4 ภาพแบบแอนะกลิฟ (สีแดง-ฟ้า)



ภาพซ้าย



ภาพขวา

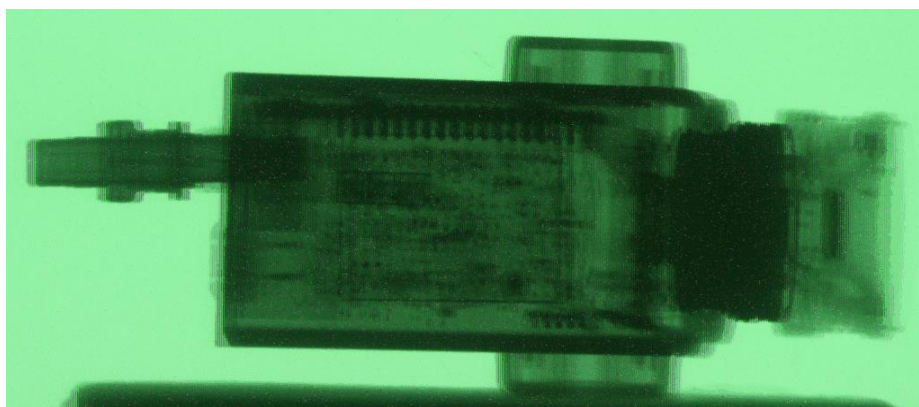
ภาพชิ้นงานที่ 4 ซ้ายและขวาวางคู่กัน

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชิ้นงานที่ 4

ข้อมูลการทดสอบ รังสีเอกซ์ 120 kV. 5mA. ความไวแสง 200 ความกว้างรูรับแสง 5.6 ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 13 วินาที

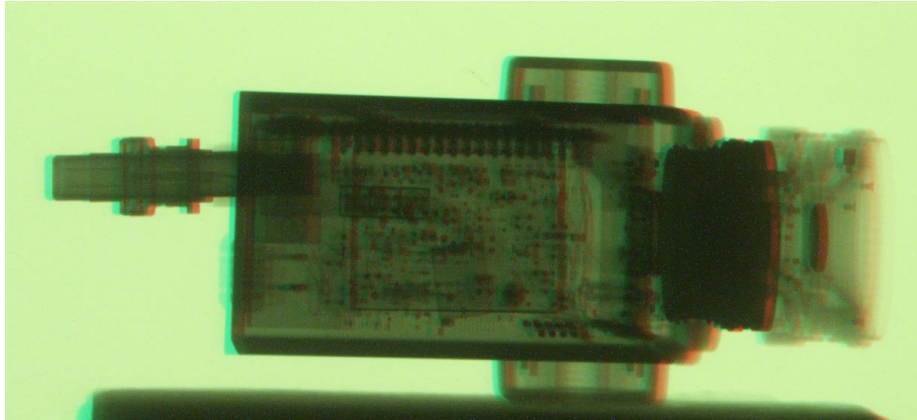


ชิ้นงานที่ 4

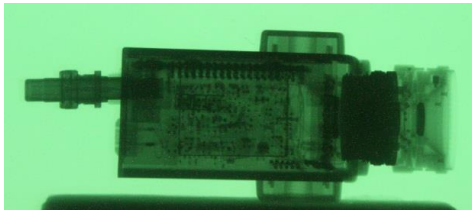


ภาพชิ้นงานที่ 4 แบบโพลาริไรซ์สำหรับดูภาพบน Sharp LCD TV

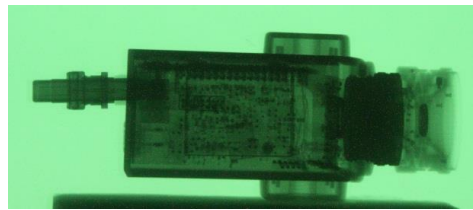
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชิ้นงานที่ 4 (ต่อ)



ภาพชิ้นงานที่ 5 ภาพแบบแอนะกลิฟ (สีแดง-ฟ้า)



ภาพซ้าย



ภาพขวา

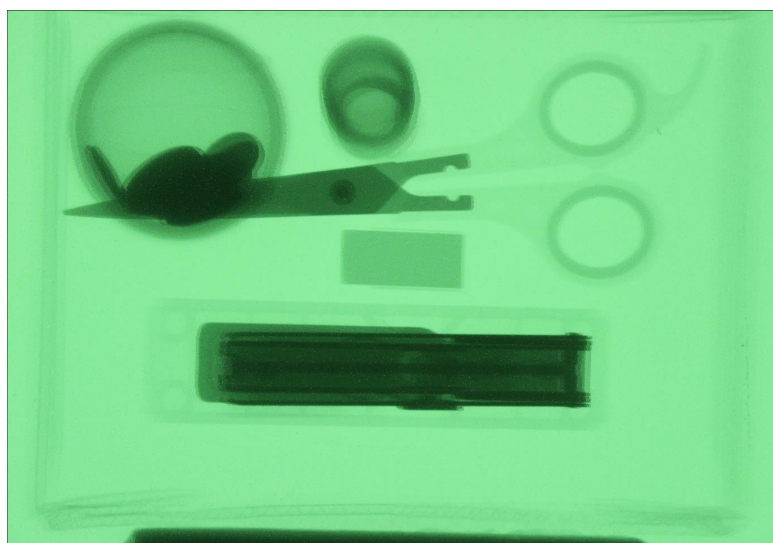
ภาพชิ้นงานที่ 4 ซ้ายและขวาวางคู่กัน

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชั้นงานที่ 5

ข้อมูลการทดสอบ รังสีเอกซ์ 120 kV 5mA ความไวแสง 200 ความกว้างรูรับแสง 5.6 ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 10 วินาที

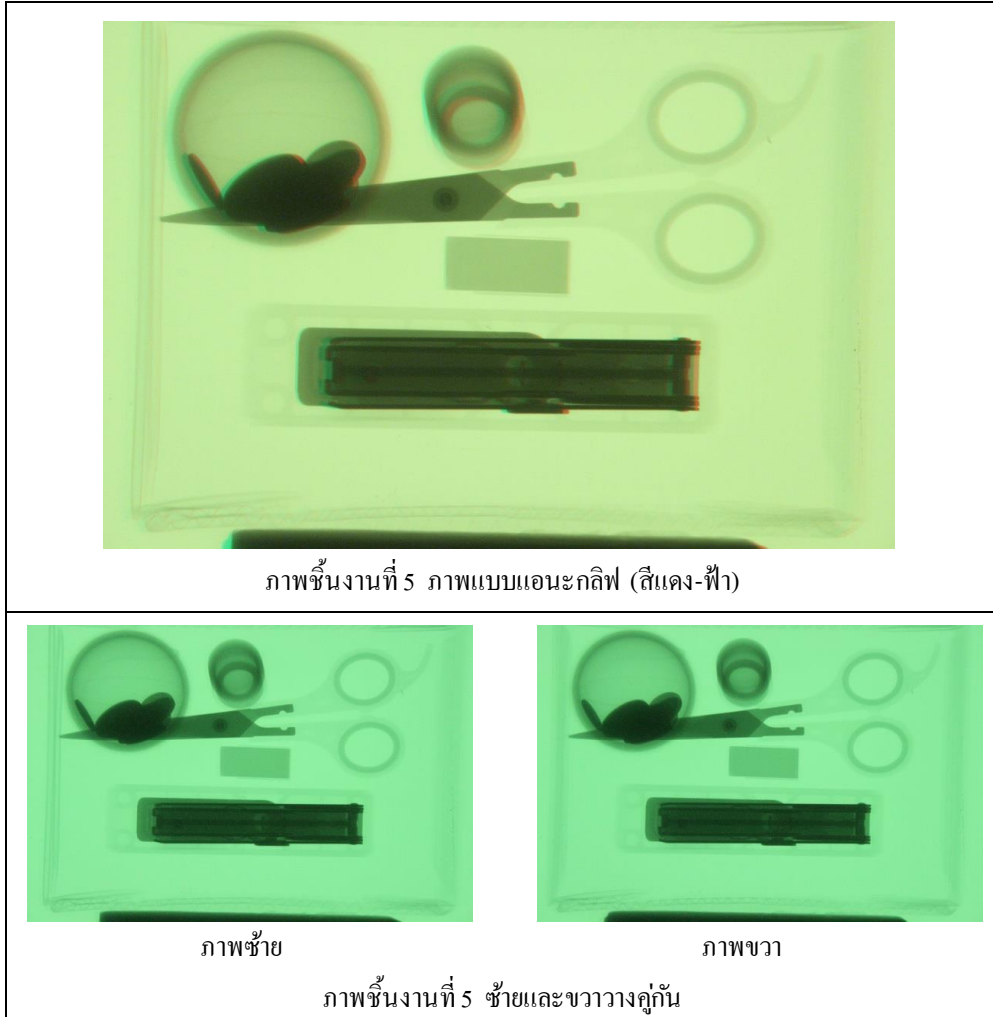


ชั้นงานที่ 5



ภาพชั้นงานที่ 5 แบบโพลาไรซ์สำหรับดูภาพบน Sharp LCD TV

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการแสดงผลภาพ 3 มิติของชิ้นงานที่ 5 (ต่อ)



#### 4.3 ข้อเสนอแนะในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด

การเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในภาพ เกิดจากการที่รังสีเอกซ์เข้าไปรบกวนกับเซ็นเซอร์รับภาพทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของเม็ดสีภายในภาพ มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ชนิดของเครื่องเอกซเรย์พลังงานที่ใช้ ความเข้มของลำรังสี ความไวแสง ความกว้างของรูรับแสง ระยะเวลาในการถ่ายภาพ จึงได้ทดสอบหาคุณภาพของภาพโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น ถ่ายภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ขึ้นงานด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันของตัวแปรที่สามารถปรับค่าได้ และปรับค่าคุณสมบัติของกล้องดังนี้

ความไวแสง (ISO) : 100, 200, 400

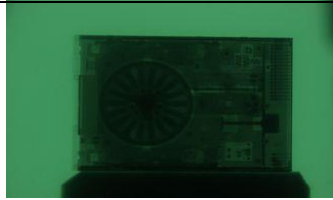
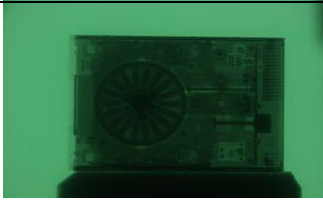
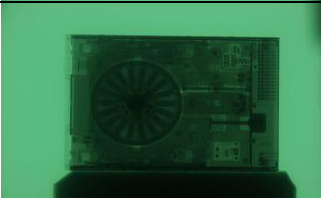
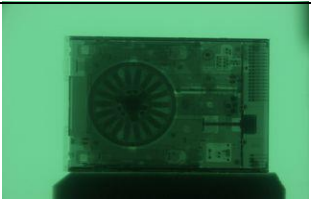
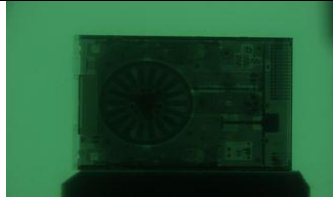
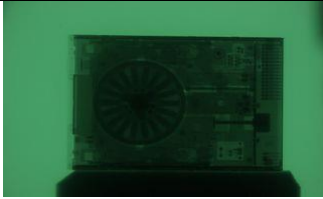
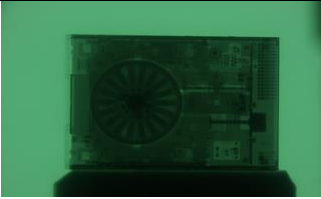
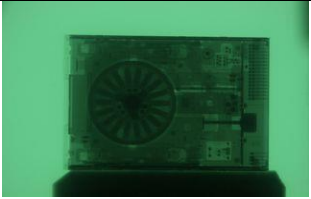

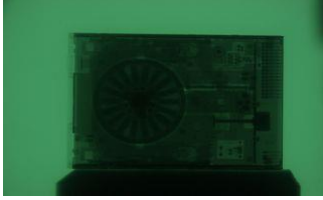
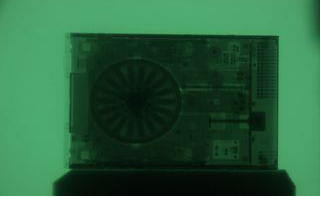
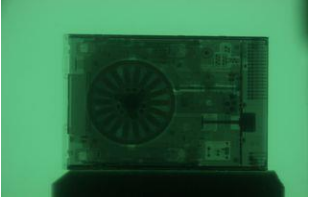
ความกว้างของรูรับแสง (f) : 5.6, 6.3, 7.1

ระยะเวลาในการถ่ายภาพ : 10, 13, 15, 20 วินาที

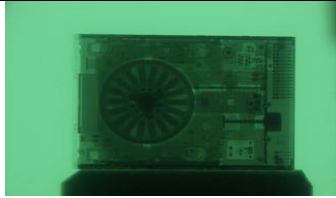
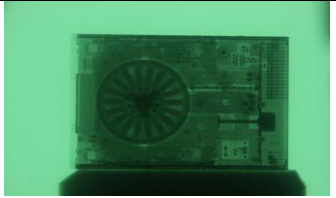
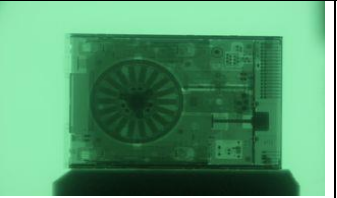
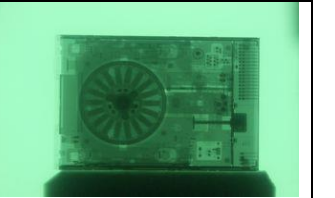
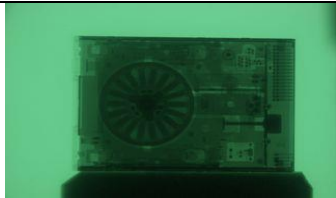
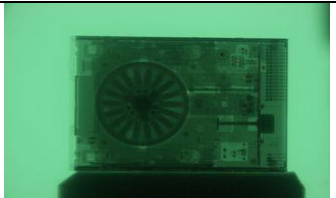
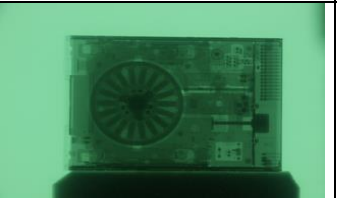
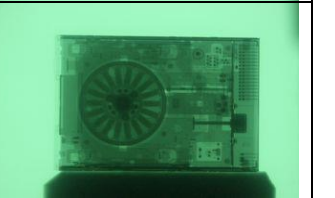
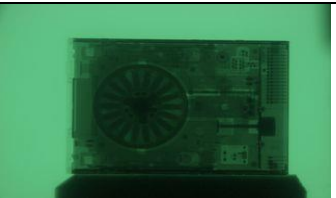
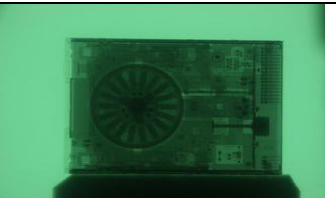
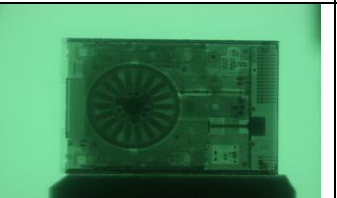
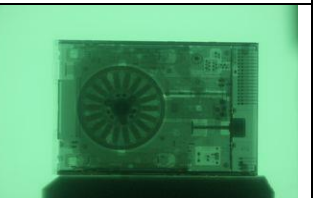
จากนั้นใช้โปรแกรม ImageJ วัดค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในภาพและนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับตัวแปรต่างๆ ว่าค่าใดที่มีความเหมาะสมและให้ภาพที่มีคุณภาพที่ดีในระบบการถ่ายภาพในหัวข้อวิจัยนี้



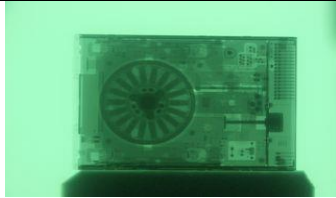
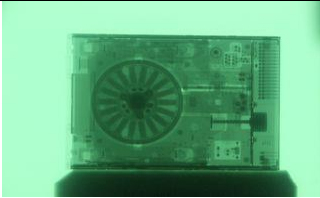
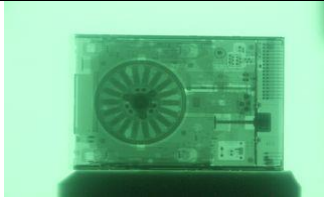
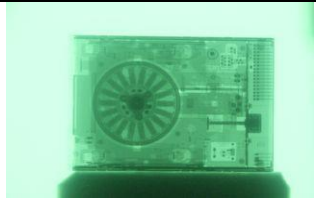
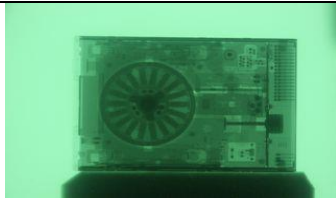
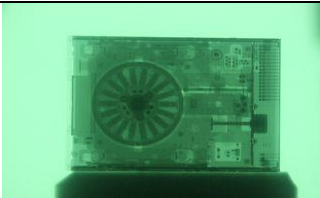
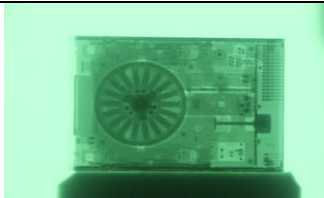
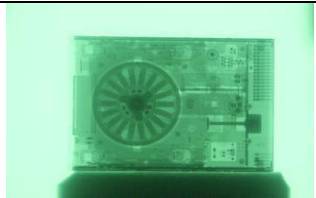
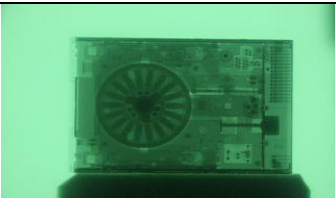
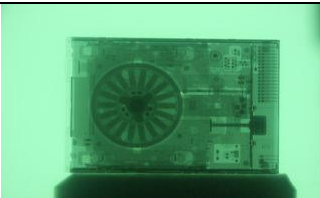
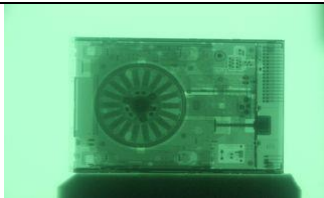
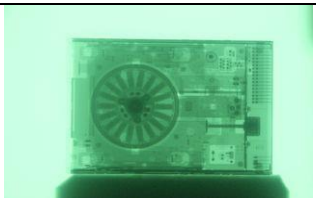
ตารางที่ 4.10 แสดงภาพและค่าสัญญาณรบกวนที่เงื่อนไขการถ่ายภาพต่าง ๆ ที่ค่าความไวแสง (ISO) : 100

	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 10 วินาที	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 13 วินาที	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 15 วินาที	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 20 วินาที
ความกว้างรูรับแสง f 5.6	 สัญญาณรบกวน 14735 จุด	 สัญญาณรบกวน 17376 จุด	 สัญญาณรบกวน 19509 จุด	 สัญญาณรบกวน 25774 จุด
ความกว้างรูรับแสง f 6.3	 สัญญาณรบกวน 14602 จุด	 สัญญาณรบกวน 16302 จุด	 สัญญาณรบกวน 19395 จุด	 สัญญาณรบกวน 25594
ความกว้างรูรับแสง f 7.1	 สัญญาณรบกวน 14555 จุด	 สัญญาณรบกวน 16276 จุด	 สัญญาณรบกวน 19132 จุด	 สัญญาณรบกวน 25587 จุด

ตารางที่ 4.11 แสดงภาพและค่าสัญญาณรบกวนที่เงื่อนไขการถ่ายภาพต่าง ๆ ที่ค่าความไวแสง (ISO) : 200

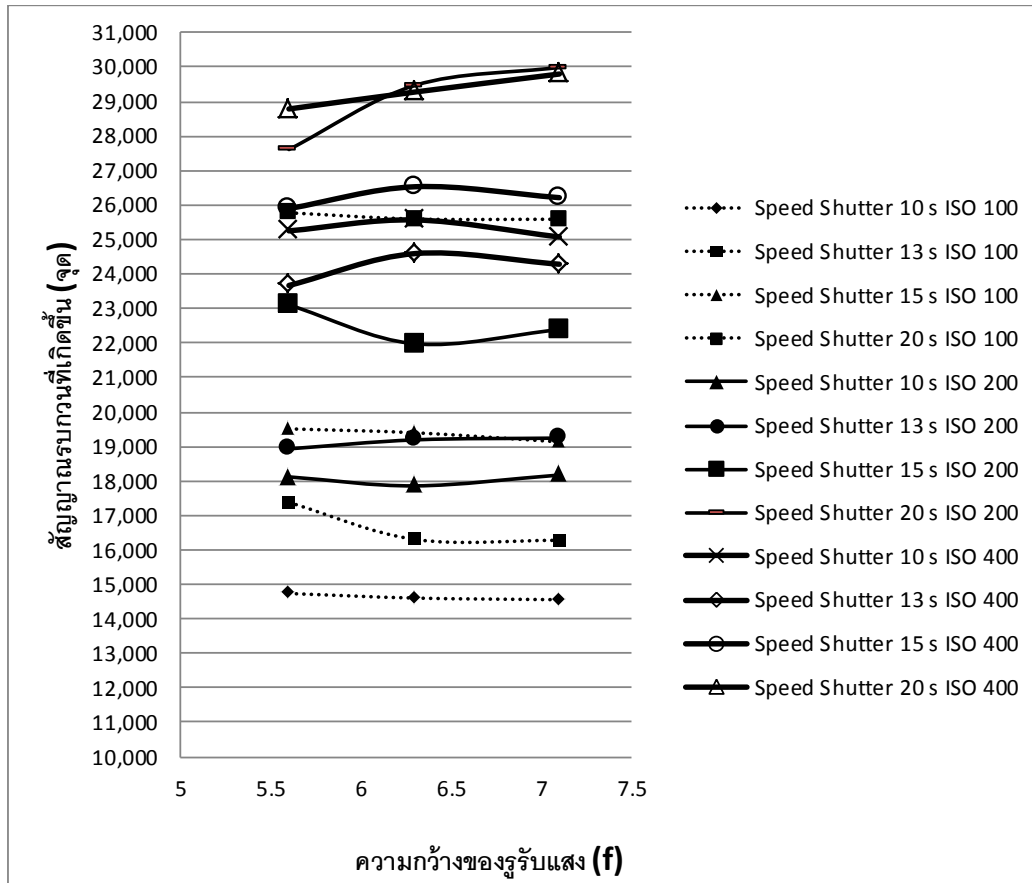
	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 10 วินาที	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 13 วินาที	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 15 วินาที	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 20 วินาที
ความกว้างรูรับแสง f 5.6	 สัญญาณรบกวน 18116 จุด	 สัญญาณรบกวน 18929 จุด	 สัญญาณรบกวน 23102 จุด	 สัญญาณรบกวน 27609 จุด
ความกว้างรูรับแสง f 6.3	 สัญญาณรบกวน 17856 จุด	 สัญญาณรบกวน 19190 จุด	 สัญญาณรบกวน 21976 จุด	 สัญญาณรบกวน 29469 จุด
ความกว้างรูรับแสง f 7.1	 สัญญาณรบกวน 18170 จุด	 สัญญาณรบกวน 19241 จุด	 สัญญาณรบกวน 22387 จุด	 สัญญาณรบกวน 29991 จุด

ตารางที่ 4.12 แสดงภาพและค่าสัญญาณรบกวนที่เงื่อนไขการถ่ายภาพต่าง ๆ ที่ค่าความไวแสง (ISO) : 400

	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 10 วินาที	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 13 วินาที	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 15 วินาที	ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 20 วินาที
ความกว้างรูรับแสง f 5.6	 สัญญาณรบกวน 25250 จุด	 สัญญาณรบกวน 23667 จุด	 สัญญาณรบกวน 25896 จุด	 สัญญาณรบกวน 28785 จุด
ความกว้างรูรับแสง f 6.3	 สัญญาณรบกวน 25566 จุด	 สัญญาณรบกวน 24591 จุด	 สัญญาณรบกวน 26530 จุด	 สัญญาณรบกวน 29277 จุด
ความกว้างรูรับแสง f 7.1	 สัญญาณรบกวน 25073 จุด	 สัญญาณรบกวน 24283 จุด	 สัญญาณรบกวน 26213 จุด	 สัญญาณรบกวน 29798 จุด

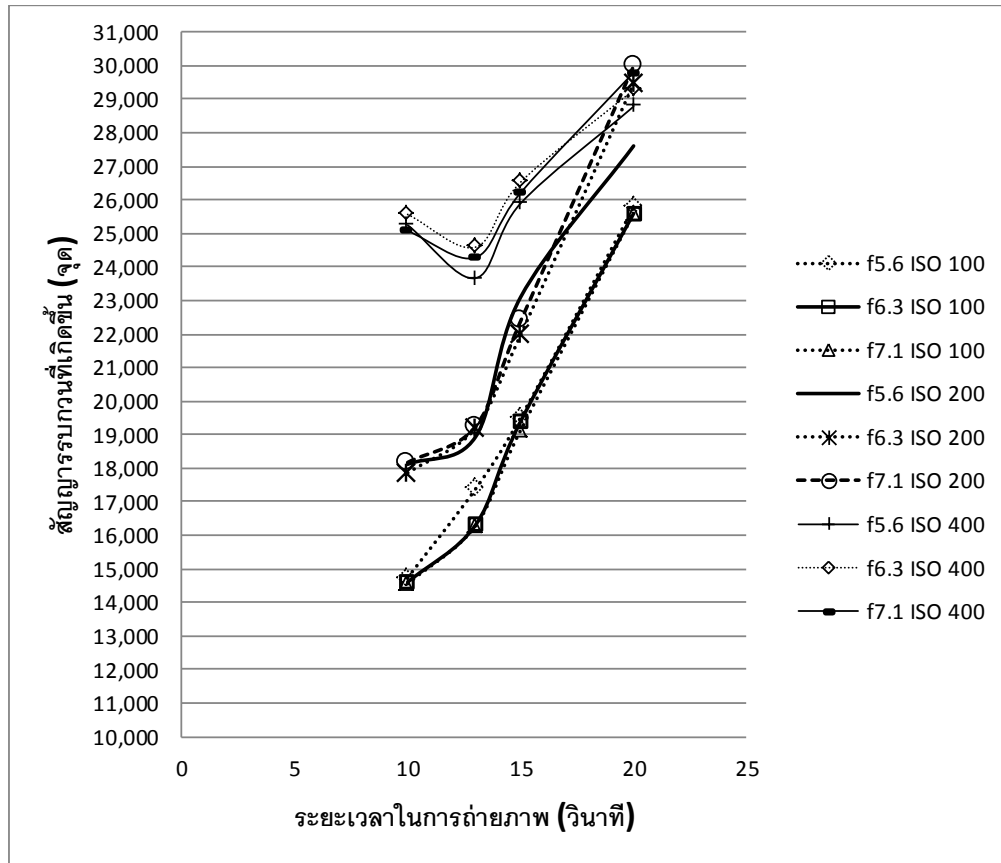
ได้ผลออกมาแสดงในกราฟดังนี้

เมื่อเปลี่ยนระยะเวลาในการถ่ายภาพและความกว้างรูรับแสง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนกับความกว้างของรูรับแสงที่ค่าต่างๆ เมื่อเปลี่ยนค่าความไวแสง 100, 200 และ 400

เมื่อเปลี่ยนค่าความไวแสงและระยะเวลาในการถ่ายภาพ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนกับระยะเวลาในการถ่ายภาพที่ค่าต่างๆ เมื่อเปลี่ยนค่าความไวแสง 100, 200 และ 400

จากรูปถ่ายด้วยเอกซเรย์ที่ได้และกราฟระหว่างสัญญาณรบกวนกับตัวแปรสามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพได้ดังนี้

- ความไวแสง (ISO)

เมื่อปรับค่าความไวแสงที่ 100 ภาพที่ได้จะให้ความสว่างที่ไม่เพียงพอถึงแม้จะสามารถปรับชดเชยได้ด้วยการเพิ่มระยะเวลาในการถ่ายภาพให้มากขึ้น แต่จะทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อปรับค่าความไวแสงเพิ่มขึ้นเป็น 200 ภาพที่ได้ก็จะมีแสงและแสดงรายละเอียดที่ดีขึ้นสามารถปรับแก้ได้ด้วยการเพิ่มระยะเวลาในการถ่ายภาพและการปรับค่ารู

รับแสง เมื่อปรับค่าความไวแสงเพิ่มขึ้นเป็น 400 ภาพที่ได้จะมีความสว่างชัดเจนที่สุดแต่ก็มีการเกิดสัญญาณรบกวนในภาพที่มากขึ้น สังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.1

- ระยะเวลาในการถ่ายภาพ (Speed Shutter)

เมื่อใช้เวลารับแสงมากขึ้น ข้อมแสดงว่ามีรังสีที่เข้ามากระทบต่อกล้องมากขึ้นและส่งผลทำให้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นได้มากกว่าการถ่ายภาพด้วยระยะเวลาที่สั้นกว่า สังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.2

- ความกว้างของรูรับแสง (f)

การปรับความกว้างของรูรับแสงนั้น มีผลต่อเนื่องกับระยะเวลาในการถ่ายภาพ เมื่อปรับความกว้างของรูรับแสงให้กว้างที่สุด (f 5.6) ระยะเวลาการถ่ายภาพก็จะลดลงแต่จะทำให้มีรังสีที่เข้าไปกระทบต่อกล้องมากขึ้น เมื่อทดลองปรับค่าความกว้างของรูรับแสงให้เล็กลงแล้วถ่ายภาพด้วยระยะเวลาเท่าเดิมพบว่าค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น มีค่าต่างกันไม่มาก แต่เมื่อปรับความกว้างของรูรับแสงแล้วใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.1

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ระบบการพัฒนาการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ สามารถนำไปใช้ถ่ายผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนอุตสาหกรรมเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลายและมีกระบวนการที่รวดเร็วกว่าการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบใช้ฟิล์มมาก ไม่ต้องมีการใช้น้ำยาล้างฟิล์มจึงประหยัดค่าใช้จ่ายและไม่มีของเสีย ถ้าเปรียบเทียบกับกระบวนการบันทึกภาพด้วยแผ่นบันทึกภาพ (imaging plate) ถึงแม้ว่าแผ่นบันทึกภาพมีความเร็ว (speed) สูง คือใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อยเช่นกัน แต่ต้องมีขั้นตอนการอ่านและลบข้อมูลภาพ รวมทั้งแผ่นบันทึกภาพและเครื่องอ่านข้อมูลภาพยังมีราคาสูง ถึงแม้ว่าผู้ผลิตอ้างว่าแผ่นบันทึกภาพสามารถใช้ซ้ำได้กว่า 1,000 ครั้งก็ตาม อย่างไรก็ตามคุณภาพของภาพที่ได้จากการรับภาพด้วยฉากเรืองรังสียังคงดีกว่าการรับภาพด้วยฟิล์มและแผ่นบันทึกภาพ เมื่อพิจารณาถึงการถ่ายภาพที่สองตำแหน่งเพื่อนำไปดูเป็นภาพ 3 มิติ เทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้ผลดีและสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายมากเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ อีกทั้งยังมีราคาถูกคือประมาณ 100,000 บาท และสามารถจัดหาหรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ประกอบได้ง่าย ไม่ว่าจะเป็นกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ฉากเรืองรังสี ไมโครคอมพิวเตอร์และจอแสดงภาพแบบสามมิติ

จากผลทดสอบที่ได้จากระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นทำให้สามารถสรุปประเด็นที่สำคัญ ๆ ของระบบได้ดังนี้

5.1.1 การปรับตั้งค่าต่าง ๆ ของกล้องต้องมีความเหมาะสม การใช้รังสีเอกซ์ความเข้มสูงใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อย แต่มีสัญญาณรบกวนชิปซีมอส (CMOS) ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์รับภาพที่อยู่ภายในกล้อง การใช้รังสีเอกซ์ความเข้มต่ำต้องถ่ายภาพเป็นเวลานาน การตั้งค่า ISO สูงมีสัญญาณรบกวนมากขึ้น การเปิดรับแสงกว้างขึ้นก็ทำให้มีสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากผลวิจัยนี้ได้ค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ ISO 200 - 400 f5.6 และใช้ระยะเวลาในการถ่ายภาพ 10 - 13 วินาที แต่การปรับตั้งค่ากล้องที่เหมาะสมให้เพื่อให้ได้คุณภาพของภาพที่ดีที่สุดควรถึงเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ขึ้นงานที่นำมาทดสอบ และชนิดฉากเรืองรังสีที่ใช้

5.1.2 การดูภาพถ่ายซ้ายและขวาพร้อมกันเพื่อให้เห็นเป็นภาพสามมิติสำหรับภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ได้จากระบบต้นแบบในงานวิจัยนี้ สามารถใช้วิธีรวมภาพเป็นแบบแอนะกลิฟและดูภาพสามมิติได้บนจอและบนแผ่นกระดาษที่พิมพ์ออกแล้วใช้แว่นตาสีที่สอดคล้องกันดูภาพ หรือรวมเป็น

ภาพแบบ MPO แล้วนำไปดูบนจอสามมิติเช่น LG 3D TV โดยใช้แว่นตาแบบโพลารไรซ์ เครื่องรับโทรทัศน์แบบจอภาพสามมิติที่หือและรุ่นอื่น ๆ สามารถใช้ได้เช่นกัน เพียงแต่ต้องแปลงรูปแบบของภาพให้เหมาะสมกับเครื่องรับนั้น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปดูในเครื่องเล่นมัลติมีเดีย (multimedia) กล้องถ่ายรูปและโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีจอภาพแบบสามมิติได้โดยไม่ต้องใส่แว่นตา วิธีถ่ายภาพและดูภาพตามที่นำเสนอในการวิจัยนี้ นับว่ามีความสะดวกรวดเร็วมาก สามารถนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งจะมีประโยชน์กับงานตรวจสอบวัสดุเพื่อหารอยบกพร่อง สิ่งแปลกปลอม และวัตถุซ่อนเร้น ในผลิตภัณฑ์ กล่องพัสดุไปรษณีย์และอื่น ๆ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ทั่วไปมีขนาดใหญ่ต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้า จึงไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปถ่ายชิ้นงานนอกสถานที่ได้ หากต้องใช้งานนอกสถานที่ต้องใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ขนาดเล็กที่สามารถใช้งานได้สะดวกในที่ที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งจะค่อนข้างแพงแบบเตอร์ก่อนนำไปใช้งานและสามารถใช้งานได้นานเป็นชั่วโมง

5.2.2 ขนาดของกล่องทึบแสงมีขนาดใหญ่และน้ำหนักค่อนข้างมากเนื่องจากแผ่นตะกั่วที่บุภายใน หากจำเป็นต้องลดขนาดและน้ำหนักของกล่องทึบแสงก็ยังสามารถทำได้โดยใช้วัสดุเบาทำตัวกล่อง เช่น เปลี่ยนจากไม้อัดหนา 1.5 ซม. ไปเป็นอะลูมิเนียม 1 – 1.5 มม. และเลือกใช้เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้นเพื่อลดระยะโฟกัส ซึ่งจะทำให้ความยาวของกล่องลดลงได้พอสมควร อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงความเพี้ยนของภาพเมื่อใช้เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้น นอกจากนี้ถ้าชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบมีขนาดเล็ก ฉากเรืองรังสีจึงไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ ขนาดของกล่องทึบแสงก็มีขนาดและน้ำหนักลดลงได้อีกมาก

5.2.3 การเคลื่อนของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เป็นการเคลื่อนบนรางเลื่อนที่เป็นเส้นตรง ซึ่งการเลื่อนจำเป็นจะต้องให้อยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับระยะทางระหว่างเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กับฉากเรืองรังสีเป็นระยะทาง 1 ต่อ 40 ถ้าหากเคลื่อนเครื่องเอกซ์เรย์ไปเกินระยะที่เหมาะสมแต่ก็สามารถปรับแก้ได้ในโปรแกรม StereoPhoto Maker

5.2.4 ภาพที่ได้มีสัญญาณรบกวนอันเป็นผลมาจากการที่รังสีเอกซ์ทำอันตรกิริยากับชิปซีมอสซึ่งเป็นเซ็นเซอร์รับภาพ จึงทำให้ภาพที่ได้ปรากฏลักษณะของสัญญาณรบกวนเป็นจุดเม็ดสีบนภาพ ซึ่งเมื่อใช้กล่องทึบแสงที่บุแผ่นตะกั่วเพื่อลดการกระเจิงของรังสีก็สามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้



5.3.3 ควรมีการพัฒนาระบบการถ่ายภาพ 3 มิตินี้ให้เป็นระบบเรียลไทม์(real-time) คือให้สามารถเห็นภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของชิ้นงานได้ทันที ซึ่งจะมีประโยชน์กับการตรวจสอบชิ้นงานในกระบวนการผลิต การตรวจกลองพัสดุไปรษณีย์ และกระเป๋าสัมภาระ เป็นต้น จึงต้องมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้มีการจัดการบันทึกและรวมภาพโดยอัตโนมัติและนำไปแสดงภาพบนจอภาพ 3 มิติ

## รายการอ้างอิง

- [1] Lee M. Klynn, Richard C. Barry, and Robert A. Buchanan STEREOSCOPIIC RADIOGRAPHIC INSPECTION SYSTEM Lockheed Missiles & Space Company. Inc., 1992.
- [2] Richard Aufrichtig, Jeffrey A. Kautzer. APPARATUS AND METHODS FOR STEREO RADIOGRAPHY INCLUDEING REMOTE CONTROL VIA NETWORK. General Electric Company, 2002
- [3] เกียรติกร รัชฎชนนกุล, อรรถพร ภัทรสุมันต์และสมยศ ศรีสถิตย์. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยใช้ซีไอเอสแบบแถว. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ,วิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [4] กิตติ ศรีฟ่องแก้ว, ชาญณรงค์ รัตนะ. การผลิตภาพถ่าย 3 มิติ เพื่อใช้ในการผลิตสื่อการเรียนการสอน. [ออนไลน์] 2547 แหล่งที่มา : [http://design.ipst.ac.th/docu/view\\_news.php?id\\_doc=1243](http://design.ipst.ac.th/docu/view_news.php?id_doc=1243)
- [5] ประรณนา วันนารี, เกียรติศรี พิมาณวัฒน์. การศึกษาการสร้างภาพ 3 มิติ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://www.kmitl.ac.th/dslabs/ksripima/readme/48/2/technical\\_report/Prattana/PDF/3%20D.pdf](http://www.kmitl.ac.th/dslabs/ksripima/readme/48/2/technical_report/Prattana/PDF/3%20D.pdf)
- [6] David C. Swift, Sadeg M. Faris. 3D STEREOSCOPIIC X-RAY SYSTEM. InvestQjaya Sdn. Bhd., 2005.
- [7] วิชาการ.com ภาพสามมิติ. [ออนไลน์]. 2550.  
แหล่งที่มา : <http://www.vcharkarn.com/vcafe/98904/1>
- [8] ชรรมวัตร ยันตะพลา, นเรศร์ จันทน์ขาวและเดโช ทองอร่าม. การพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ชนิดไมโครโฟกัสโดยใช้แผ่นบันทึกภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ,วิศวกรรม นิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

- [9] LG Electrics Thailand. แอกทีฟหรือโพล่าไลซ์ทางเลือกสำหรับยุคของภาพ 3 มิติ. [ออนไลน์]. 2555.แหล่งที่มา : <http://www.lg.com/th/press-release/3>
- [10] เกரியง ไกร ชาญชนนกุล, อรรถพร ภัทรสุมันต์และสมยศ ศรีสถิตย์. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยใช้ซีไอเอสแบบแถว. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ,วิศวกรรมนิเวศลิษฐ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอัครา อัครเนตร เกิดเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดสกลนครสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2552 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2553 สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย