

การพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ FOS ชนิดเทเปอร์ร่วมกับ CCD



นายเอกวิทย์ ฤทธิเนียม

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

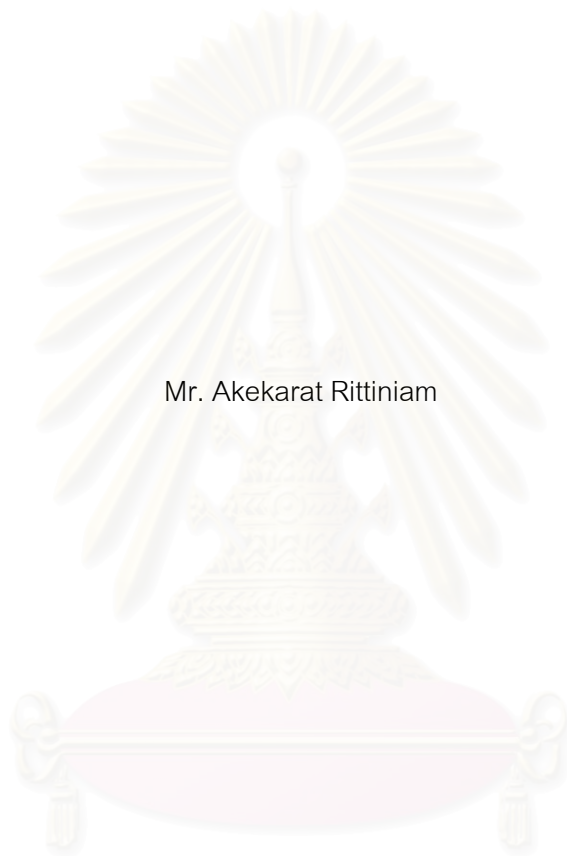
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6261-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF AN X-RAY CAMERA USING TAPERED FOS COUPLED WITH CCD



Mr. Akekarat Rittiniam

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6261-5

| | |
|----------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ FOS ชนิดเทเปอร์ร่วมกับ CCD |
| โดย | นายเอกรัฐ ฤทธิเนียม |
| สาขาวิชา | นิวเคลียร์เทคโนโลยี |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์เดโช ทองอร่าม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์เดโช ทองอร่าม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

เอกสาร ฤทธิเนียม : การพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ FOS ชนิดเทเปอร์ร่วมกับ CCD (DEVELOPMENT OF AN X-RAY CAMERA USING TAPERED FOS COUPLED WITH CCD) อ. ที่ปรึกษา : อ. เดโช ทองอร่าม, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว ; 124 หน้า. ISBN 974-17-6261-5.

การถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ฟิล์มได้ถูกใช้งานมาอย่างต่อเนื่องเพื่อสำหรับตรวจสอบตัวอย่างอุตสาหกรรมโดยไม่ทำลาย ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ซึ่งประกอบด้วย ไฟเบอร์ออปติกเทเปอร์ที่ถูกเคลือบด้วยสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ หรือที่เรียกว่า “Fiber Optic Scintillator (FOS)” พร้อมซีซีดีหล่อเย็นเพื่อสามารถแสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ในรูปแบบเรียลไทม์และในรูปแบบใกล้เคียงกับเรียลไทม์บนจอคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นยอมให้ผู้ใช้สามารถใช้งานในรูปแบบเรียลไทม์ในกรณีที่มีความเข้มแสงเพียงพอ และเมื่อความเข้มแสงมีน้อยซอฟต์แวร์ก็สามารถทำงานในโหมดอินทิเกรชันได้ ซึ่งการแสดงผลภาพจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มแสง นอกจากนี้ยังอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่าย รังสีเอกซ์ เช่น การปรับความเข้มและความคมชัด การตรวจหาขอบของภาพ การกรองความถี่ต่ำผ่าน การกรองความถี่สูงผ่าน และการใส่สีเพิ่มเติม

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อซีซีดีถูกทำให้อุณหภูมิลดลงถึง $16^{\circ}C$ ปริมาณ SNR ของภาพดีขึ้นประมาณ 25% เมื่อเทียบกับการทำงานที่ $40^{\circ}C$ ในที่สุดกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปใช้งานร่วมกับรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัสเพื่อการถ่ายภาพตัวอย่างที่มีขนาดเล็กซึ่งปรากฏผลเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470673321 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: X-RAY IMAGE/CCD CAMERA/X-RAY SCINTILLATOR/THERMOELECTRIC COOLS

AKEKARAT RITTINIAM : DEVELOPMENT OF AN X-RAY CAMERA USING TAPERED FOS COUPLED WITH CCD, THESIS ADVISOR : DECHO THONG-ARAM, THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. NARES CHANKOW, 124 pp. ISBN 974-17-6261-5.

Conventional film x-ray radiography has long been used for nondestructive testing of industrial specimens. In this research, an x-ray camera consisting of a tapered fiber optic coated with $Gd_2O_2S:Tb$ scintillator, so called "fiber optic scintillator (FOS)", and a cooled charge coupled device (CCD) was developed for real-time and near real-time viewing of x-ray image on a microcomputer monitor. The developed software allowed the user to view real-time image when the light intensity was sufficient. On contrary, when the light intensity was not sufficient the software could perform time integration then displayed the image within a few seconds depending on the light intensity. Furthermore, it allowed the user to perform image processing functions such as intensity and contrast adjustment, edge detection, low pass and high pass filtering, and pseudo coloring.

The test results showed that when the CCD was cooled down to a temperature of 16 degree celcius the signal to noise ratio (SNR) of an image was about 25 % better than at 40 degree celcius. Finally, the camera was used to view x-ray images of some small specimens taken by using a microfocuss x-ray tube. The results were found very satisfactory.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Nuclear Technology

Field of study Nuclear Technology

Academic year 2004

Student's signature.....

Advisor's signature

Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อาจารย์เดโช ทองอร่าม และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมรองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว ที่คอยให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และร่วมแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การอุดหนุนเงินทุนสำหรับการทำวิจัยบางส่วน และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในภาคที่ให้คำชี้แนะต่าง ๆ สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้การช่วยเหลือในงานวิจัย

ขอขอบคุณ Mr.Jon Grove ที่คอยให้คำแนะนำในการปรับปรุงการทำงานของซีซีดี

และสุดท้ายขอขอบคุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจสำหรับการทำวิทยานิพนธ์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ฎ |
| สารบัญรูป | ฏ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 3 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 3 |
| 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน | 3 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2. หลักการและการประยุกต์ใช้งานรังสีเอกซ์สำหรับการถ่ายภาพ | 6 |
| 2.1 รังสีเอกซ์ | 6 |
| 2.1.1 คุณสมบัติของรังสีเอกซ์ | 7 |
| 2.1.2 การเกิดรังสีเอกซ์ | 8 |
| 2.1.3 โครงสร้างหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ | 10 |
| 2.1.4 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ | 11 |
| 2.1.5 อันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับวัตถุ | 12 |
| 2.1.6 การลดทอนความเข้มรังสีเอกซ์ | 14 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.2 สารเรืองรังสีเอกซ์ | 16 |
| 2.3 การประยุกต์การใช้งานอุปกรณ์ชาร์จ์คัปเปิลสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ . | 21 |
| 2.3.1 การทำงานของซีซีดี | 22 |
| 2.3.2 ชนิดของซีซีดี | 23 |
| 2.3.3 สมรรถนะการทำงานของซีซีดี | 25 |
| 2.3.4 สัญญาณรบกวน | 27 |
| 2.4 การออกแบบการใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น | 31 |
| 2.5 ระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ | 35 |
| 2.5.1 หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ | 35 |
| 2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ | 39 |
| 2.5.2.1 แหล่งกำเนิดรังสีและคุณสมบัติของชิ้นงานตัวอย่าง | 42 |
| 2.5.2.2 อุปกรณ์รับภาพถ่ายรังสีเอกซ์ | 44 |
| 2.5.2.3 การจัดระบบถ่ายภาพรังสีเอกซ์ | 45 |
| 2.5.2.4 อุปกรณ์แสดงภาพรังสีเอกซ์ | 48 |
| 2.6 การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ | 48 |
| 2.6.1 การปรับปรุงความสว่างและความคมชัดของภาพ | 49 |
| 2.6.2 การปรับปรุงภาพโดยใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชัน | 49 |
| 2.7 การวิเคราะห์คุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ | 54 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3. การออกแบบและพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ | 57 |
| 3.1 ปรับปรุงการทำงานของซีซีดีสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ | 59 |
| 3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานของกล้อง | 61 |
| 3.2.1 วงจรส่วนควบคุมหลัก | 61 |
| 3.2.2 ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เทอร์โมอิเล็กทริก | 62 |
| 3.2.3 ส่วนควบคุมโหมดการทำงานของกล้อง | 62 |
| 3.2.4 โครงสร้างของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น | 63 |
| 3.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานและโปรแกรมแสดงผลภาพ | 65 |
| 3.3.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ | 66 |
| 3.3.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานหลัก | 68 |
| 3.3.2.1 การรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ต USB | 68 |
| 3.3.2.2 การแคปเจอร์ภาพจากวีดีโอแคปเจอร์การ์ด | 71 |
| 3.3.2.3 การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ | 74 |
| 3.3.2.4 การทำงานของโปรแกรมสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ | 74 |
| 4. การทดสอบการทำงานของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์และผลการทดสอบ | 77 |
| 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดสอบกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนา ขึ้น | 77 |
| 4.2 การทดสอบทางด้านฮาร์ดแวร์ | 78 |
| 4.2.1 ขั้นตอนและผลการทดสอบระบบหล่อเย็นซีซีดี | 78 |
| 4.2.2 ขั้นตอนและผลการทดสอบการทำงานของซีซีดีที่อุณหภูมิคงที่ | 80 |
| 4.2.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบการทำงานของกล้องทั้งในโหมดเรียลไทม์ และโหมดอินทิเกรชัน | 82 |
| 4.2.4 ขั้นตอนและผลการทดสอบหาขอบของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ | 86 |
| 4.2.5 ขั้นตอนและผลทดสอบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์กับตัวอย่างชนิดต่างๆ .. | 87 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.3 การทดสอบทางด้านซอฟต์แวร์ | 90 |
| 4.3.1 ขั้นตอนและผลการทดสอบปรับปรุงภาพโดยวิธีตรวจหาขอบของภาพ | 90 |
| 4.3.2 ขั้นตอนและผลการทดสอบปรับปรุงภาพโดยวิธีการกรองความ ถี่สูงผ่าน | 91 |
| 4.3.3 ทดสอบการปรับปรุงภาพโดยวิธีการกรองความถี่ต่ำผ่าน | 93 |
| 4.3.4 ทดสอบการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการลบ Background .. | 95 |
| 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 97 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 97 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 99 |
| รายการอ้างอิง | 101 |
| บรรณานุกรม | 102 |
| ภาคผนวก | |
| ก. | 104 |
| ข. | 117 |
| ค. | 120 |
| ง. | 121 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 124 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ตัวอย่างของสารเรืองรังสีแต่ละชนิด | 18 |
| 2.2 ตารางปริมาณ Dark Current สำหรับ TC271 (Normalized to 100 pA/cm ² at 27C) | 29 |
| 2.3 แสดงข้อจำกัดของพลังงานรังสีเอกซ์กับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ | 43 |
| 3.1 ตารางแสดงโหมดการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์ชุดเตอร์ของไอซี CXD2463R | 60 |
| 3.2 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชัน FT_Open | 69 |
| 3.3 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชัน FT_Close | 69 |
| 3.4 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชัน FT_Write | 70 |
| 3.5 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชัน FT_Read | 71 |
| 4.1 ผลการทดลองระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้ท่อโมอีเล็กตรีกกับคุณสมบัติการทำงานของซีซีดี (อุณหภูมิห้อง 25°C) | 79 |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบการถ่ายภาพที่อุณหภูมิต่างกันในรูปแบบที่ 4.3 | 81 |
| 4.3 เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลภาพที่ได้จากรูปที่ 4.9 | 84 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า | 7 |
| 2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน | 8 |
| 2.3 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว | 9 |
| 2.4 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง | 10 |
| 2.5 โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์ | 10 |
| 2.6 ตัวอย่างแสดงสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ได้จากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ | 11 |
| 2.7 เปรียบเทียบสเปกตรัมของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ที่เงื่อนไขต่าง ๆ | 12 |
| 2.8 แสดงการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก | 13 |
| 2.9 แสดงการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีเอกซ์ | 13 |
| 2.10 แสดงการเกิดอันตรกิริยาแฟร์โพรดักชันของรังสีเอกซ์ | 14 |
| 2.11 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของซิลิกอน | 15 |
| 2.12 แสดงความเข้มที่ลดลงของรังสีเอกซ์หลังจากผ่านตัวกลาง | 16 |
| 2.13 แสดงหลักการทำงานของสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิดOrganic(ก)และชนิดInorganic(ข) | 17 |
| 2.14 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำงานของสารเรืองรังสีแต่ละชนิดที่พลังงานต่างๆ | 19 |
| 2.15 แสดงความยาวของแสงที่ได้จากสารเรืองรังสีแต่ละชนิดและช่วงความยาว คลื่นที่ ตอบสนองของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด | 19 |
| 2.16 แสดงโครงสร้างของ Fiber Optic Scintillator | 20 |
| 2.17 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Fiber Optic Scintillator กับ Phosphor Screen ทั่วไป | 21 |
| 2.18 แสดงโครงสร้างตัวเก็บประจุแบบมอส | 21 |
| 2.19 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระเนื่องจากแสงที่ตกกระทบที่ซีซีดี | 22 |
| 2.20 หลักการถ่ายเทประจุระหว่างวีจีเอสเตอร์ | 22 |
| 2.21 แสดงการถ่ายเทประจุระหว่างวีจีเอสเตอร์ของซีซีดีแบบ 4 เฟส | 23 |
| 2.22 ซีซีดีชนิด Line | 24 |
| 2.23 ซีซีดีชนิด Area | 24 |
| 2.24 แสดงช่วงตอบสนองความยาวคลื่นของซีซีดีชนิด Exview HAD | 26 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.25 กราฟแสดงการลดลงของประจุหลังจากการถ่ายเทประจุที่จำนวนครั้งต่างๆ | 27 |
| 2.26 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Dark Current กับอุณหภูมิการทำงานของซีซีดี ... | 29 |
| 2.27 แสดงตัวอย่างการใช้งาน TEC สำหรับการลดอุณหภูมิการทำงานของซีซีดี | 30 |
| 2.28 แสดงการเกิด White Spot เนื่องมาจากรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับฟลักซ์ของซีซีดี โดยตรง | 30 |
| 2.29 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น | 32 |
| 2.30 แสดงการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น | 32 |
| 2.31 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด CZ1-1.0-127-1.27 | 34 |
| 2.32 แสดงการประกอบการใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น | 35 |
| 2.33 แสดงพื้นฐานการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ | 36 |
| 2.34 แสดงการจัดระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้เทคนิคฟิล์ม | 37 |
| 2.35 แสดงโครงสร้างของฟิล์มสำหรับถ่ายภาพรังสีเอกซ์ | 37 |
| 2.36 แสดงการจัดระบบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้กล้องดิจิตอลร่วมกับสารเรืองรังสี .. | 39 |
| 2.37 เปรียบเทียบความคมชัดของภาพ | 40 |
| 2.38 เปรียบเทียบความเปรียบต่างของภาพ | 40 |
| 2.39 แสดงภาพถ่ายที่มีความบิดเบือนจากความเป็นจริง | 41 |
| 2.40 แสดงการเปรียบเทียบความดำของภาพ | 41 |
| 2.41 แสดงความคมชัดของภาพที่ถ่ายจากแหล่งกำเนิดรังสีชนิด (ก) แบบไมโครโฟกัส และ (ข) แบบทั่วไป | 43 |
| 2.42 กราฟแสดงคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มแต่ละชนิด | 44 |
| 2.43 แสดงขนาดของโฟกัสของแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ต่อคุณภาพของภาพที่ได้ | 45 |
| 2.44 เปรียบเทียบขนาดโฟกัสของแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์กับการถ่ายภาพแบบขยาย | 46 |
| 2.45 แสดงการกระเจิงของรังสีเอกซ์ภายในวัตถุที่นำมาถ่ายภาพ | 47 |
| 2.46 แสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งผ่านแสงไปยังซีซีดีโดยใช้ไฟเบอร์ออปติก | 48 |
| 2.47 แสดงการ Sampling สัญญาณวิดีโอเพื่อแปลงเป็นค่าดิจิตอล | 49 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.48 เมตริกขนาด 3X3 สำหรับการกรองความถี่สูงผ่าน | 50 |
| 2.49 แสดงภาพที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการกรองความถี่สูงผ่าน (ก) ภาพปกติ (ข) ภาพที่ได้หลังจากการปรับปรับปรุง..... | 51 |
| 2.50 เมตริกขนาด 3X3 สำหรับการกรองความถี่ต่ำผ่าน | 51 |
| 2.51 แสดงภาพที่ได้จากกระบวนการกรองความถี่ต่ำผ่าน (ก) ภาพปกติ (ข) ภาพที่ได้หลังจากปรับปรุง | 52 |
| 2.52 แสดงตัวดำเนินการของ Sobel Operators | 52 |
| 2.53 แสดงการพิจารณาค่าสีแต่ละพิกเซล | 52 |
| 2.54 แสดงภาพที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการ Sobel Operators (ก) ภาพก่อนการปรับปรุง (ข) ภาพหลังการปรับปรุง | 53 |
| 2.55 แสดงตัวดำเนินการของ Robert Operators | 54 |
| 2.56 แสดงภาพถ่ายที่ใช้สำหรับการพิจารณาความแตกต่างของภาพ | 54 |
| 2.57 กราฟแสดงการแจกแจงแบบ Poisson ระหว่าง Background กับ Target | 56 |
| 2.58 แสดงรูปแบบการหาค่า MTF ของการถ่ายภาพ | 56 |
| 3.1 แผงวงจรกล้องซีซีดีรุ่น 1004X (ก)ด้านหน้า (ข)ด้านหลัง | 57 |
| 3.2 โครงสร้างสร้างการทำงานของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ | 58 |
| 3.3 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ ที่ได้จากกล้องที่ยังไม่ได้ปรับปรุง (ก) และภาพถ่ายที่ได้จาก การปรับปรุงแล้ว (ข) | 58 |
| 3.4 โครงสร้างการทำงานของแผงวงจรซีซีดีรุ่น 1004X | 59 |
| 3.5 โครงสร้างของไอซี CXD2463R | 59 |
| 3.6 แสดงการถ่ายเทประจุของซีซีดีแบบ 4 เฟส | 61 |
| 3.7 แสดงโครงสร้างการทำงานของส่วนควบคุมหลักของระบบกล้อง | 62 |
| 3.8 แสดงวงจรที่ใช้ควบคุมโหมดการทำงานของกล้อง | 63 |
| 3.9 โครงสร้างภายในของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น (ก) ไม่อาศัยเลนส์ในการ โฟกัส (ข) อาศัยเลนส์ในการโฟกัส | 64 |
| 3.10 แสดงตัวกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่ทำการพัฒนาขึ้น | 64 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.11 แสดงชุดควบคุมการทำงานของกล้องที่สร้างเสร็จแล้ว | 65 |
| 3.12 แสดงการใช้งานกล้องที่พัฒนาขึ้นกับระบบถ่ายภาพรังสีเอกซ์ | 65 |
| 3.13 แผนผังเวลาของการควบคุมโหมดการทำงานของกล้อง | 66 |
| 3.14 แผนผังแสดงลำดับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 | 67 |
| 3.15 แสดงโครงสร้างการทำงานของไอซีเบอร์ FT245AM | 68 |
| 3.16 แสดงโครงสร้างการเขียนโปรแกรมติดต่อวีดีโอแคปเจอร์การ์ด | 72 |
| 3.17 แผนผังแสดงการแคปเจอร์ภาพในโหมดอินทิเกรชัน | 73 |
| 3.18 แสดงแผนผังการจัดการข้อมูลภาพ | 74 |
| 3.19 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรมหลัก | 75 |
| 3.20 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานในส่วนของ Video Source | 76 |
| 3.21 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานในส่วนของ Video Format | 76 |
| 3.22 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานในส่วนของ Compression | 76 |
| 4.1 แสดงการจัดระบบการทดสอบระบบหล่อเย็นซีซีดี | 78 |
| 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับศักย์ดาไฟฟ้าที่จ่ายให้อุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กทริก | 79 |
| 4.3 เปรียบเทียบภาพที่ได้จากการถ่ายภาพที่อุณหภูมิต่างกัน (ก) 16°C เวลา 20วินาที (ข) 40°C เวลา 20 วินาที | 80 |
| 4.4 กราฟความแจ่มแจ้งความถี่ระหว่างค่าสีในระดับ Gray Scale กับจำนวนพิกเซลของ ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพที่อุณหภูมิต่างกัน | 81 |
| 4.5 แสดงการจัดระบบการถ่ายภาพเพื่อทดสอบการทำงานของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่ พัฒนาขึ้น | 82 |
| 4.6 เปรียบเทียบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์กับวัตถุตัวอย่างที่เวลาเปิดรับแสงต่างกันรังสี เอกซ์ 25kV ,25µA และ 12°C (ก) เรียบไหม้ (ข) 1.4 sec | 83 |
| 4.7 กราฟแสดงค่าสีเฉลี่ยต่อพิกเซลที่พื้นที่เดียวกันกับเวลาที่เปิดรับแสง | 84 |
| 4.8 แสดงโปรไฟล์ที่ตำแหน่งเดียวกัน(เส้นที่ 177)ของรูปถ่ายในรูปที่ 4.6 | 84 |

สารบัญญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.9 ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของตัวอย่างที่ 30kV, 25 μ A และ 12 $^{\circ}$ C เวลาเปิดรับแสง (ก) 1วินาที (ข) 3 วินาที (ค) 5 วินาที | 85 |
| 4.10 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่ 66 ช่วงที่180-220)ของภาพที่ในรูปที่ 4.9 | 85 |
| 4.11 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของชิ้นงานที่เป็นอะลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร (25kV, 25 μ A,3sec,15 $^{\circ}$ C) | 86 |
| 4.12 แสดงโปรไฟล์ของเส้นที่ 142 (ช่วงข้อมูล 100-200) ของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ใน รูปที่ 4.11 | 87 |
| 4.13 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของเส้นลายวงจร (25kV, 50 μ A, 4sec และ 15 $^{\circ}$ C) | 88 |
| 4.14 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของไอซีแบบ SMD (35kV, 25 μ A, 4sec และ 15 $^{\circ}$ C) | 88 |
| 4.15 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของตัวต้านทานปรับค่าได้(45kV, 25 μ A, 4sec และ 13 $^{\circ}$ C) | 89 |
| 4.16 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของปลาทองนกยูง (12kV, 20 μ A, 4sec และ 20 $^{\circ}$ C) | 89 |
| 4.17 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของเส้นลวดที่มีขนาดต่างๆ (20kV, 25 μ A, 10sec และ 14 $^{\circ}$ C)..... | 90 |
| 4.18 แสดงผลของการตรวจหาขอบภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยใช้ Sobel Function (ก) ก่อน ทำการปรับปรง (ข) หลังทำการปรับปรง | 91 |
| 4.19 แสดงผลของการปรับปรงภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยใช้ High Pass Filter (ก) ก่อนทำ การปรับปรง (ข) หลังทำการปรับปรง | 92 |
| 4.20 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่ 67)ของภาพในรูปที่ 4.19 (ก) ก่อนผ่านการทำ High pass Filter | 92 |
| 4.21 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่ 67)ของภาพในรูปที่ 4.19 (ข) หลังผ่านการทำ High pass Filter | 93 |
| 4.22 แสดงผลของการปรับปรงภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยใช้ Low Pass Filter (ก) ก่อนทำ การปรับปรง (ข)หลังทำการปรับปรง | 94 |
| 4.23 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่ 90)ของภาพในรูปที่ 4.22 (ก) ก่อนผ่านการทำ Low pass Filter | 94 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.24 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่ 90)ของภาพในรูปที่ 4.22 (ข) หลังผ่านการทำ Low pass filter | 95 |
| 4.25 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่138) ของภาพในรูปที่ 4.26 | 96 |
| 4.26 แสดงผลของภาพที่ได้หลังจากการปรับปรุงโดยการลบ Background (ก) ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ก่อนทำการลบ Background (ข) ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่เป็น Background (ค) ภาพถ่ายรังสีเอกซ์หลังทำการลบ Background | 96 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประโยชน์จากรังสีเอกซ์สำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีมีการพัฒนาและคิดค้นวิธีการใหม่ ๆ มาอย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่ได้มีการค้นพบรังสีเอกซ์โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อ Wilhelm Conrad Roentgen เมื่อ พฤศจิกายน ค.ศ. 1895 (ในปี 1901 เรินต์เก้นได้รับรางวัลโนเบล สาขา ฟิสิกส์ จากผลงานการค้นพบรังสีเอกซ์) [1][2] ซึ่งในตอนนั้นถือว่าเป็นการค้นพบโดยบังเอิญจากการทดลองเรื่อง หลอดรังสีแคโทด ซึ่ง เรินต์เก้น ก็ไม่ทราบเหมือนกันว่ารังสีที่เกิดขึ้นจากการทดลองนั้นเป็นรังสีชนิดใดก็เลยตั้งชื่อรังสีชนิดนั้นว่า “รังสีเอกซ์ (X-ray)” ต่อมามีการศึกษาเพิ่มเติม ทำให้ทราบว่ารังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง $10^{-5}\text{nm} - 10\text{nm}$ มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง และไม่มีประจุ

การประยุกต์การใช้งานรังสีเอกซ์สำหรับการถ่ายภาพนั้นได้มีมาพร้อม ๆ กับการค้นพบรังสีเอกซ์ ภาพถ่ายที่เกิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ภาพแรกนั้นก็คือภาพถ่ายมือกรรยาของ เรินต์เก้น ในยุคแรก ๆ การถ่ายภาพนั้นจะใช้การบันทึกภาพด้วยฟิล์มที่ทำมาจากเงินโบรไมด์ (AgBr) โดยอาศัยการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบบนฟิล์มในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน ความดำที่เกิดขึ้นบนฟิล์มก็จะแตกต่างกันจะเกิดเป็นภาพแฝงบนแผ่นฟิล์ม เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์มด้วยน้ำยาเคมีสำหรับการล้างฟิล์มจะได้ภาพของวัตถุ ซึ่งจากภาพที่ได้นี้ทำให้สามารถที่จะวิเคราะห์โครงสร้างภายในของวัตถุในแบบสองมิติได้ ดังนั้นจึงได้มีการประยุกต์การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์สำหรับใช้วิเคราะห์หาความผิดปกติของวัตถุโดยไม่จำเป็นต้องทำลายวัตถุนั้นในงานด้านต่าง ๆ อันได้แก่

- ด้านการแพทย์ใช้สำหรับหาตรวจความผิดปกติของอวัยวะภายในของร่างกาย ทำให้แพทย์สามารถที่จะวินิจฉัยโรคได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วซึ่งถือว่ามีค่าเป็นอย่างมากสำหรับการแพทย์ในปัจจุบัน
- ด้านอุตสาหกรรมได้นำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ไปใช้สำหรับการตรวจสอบความบกพร่องของชิ้นงานที่ผลิต

- ด้านระบบความปลอดภัยใช้การถ่ายภาพด้วยรังสีสำหรับการตรวจสอบวัตถุที่สงสัยโดยไม่จำเป็นต้องเปิดออกดู เช่น การตรวจสอบสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ การตรวจสอบกล่องพัสดุของไปรษณีย์ และการตรวจสอบกระเป๋าเดินทางที่สนามบิน เป็นต้น

ในเวลาต่อมาได้มีการคิดค้นเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่มีความถูกต้องมากขึ้นและสามารถที่จะถ่ายภาพในส่วนที่ต้องการได้ รวมถึงการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการนำวิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ เข้ามาผนวกในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ เช่น การคิดค้นฟิล์มสำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ การพัฒนาต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ให้เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพในกรณีต่าง ๆ การคิดค้นสารเรืองรังสีเอกซ์เพื่อใช้ร่วมกับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ทำให้ได้ประสิทธิภาพดีขึ้น รวมถึงการคิดค้นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เพื่อใช้สำหรับการบันทึกและแสดงภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

ในปี ค.ศ. 1970 ได้มีการคิดค้นอุปกรณ์ชาร์จคัปเปิล (Charge Couple Devices: CCDs) โดย Boyle และ Smith [3][4] ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการถ่ายภาพแบบเรียลไทม์ (Real Time) ซึ่งต่อมาได้มีการประยุกต์ใช้ซีซีดีเป็นเซ็นเซอร์ (Sensor) สำหรับการรับแสงจากสารเรืองรังสีเอกซ์ที่ทำอันตรกิริยากับรังสีเอกซ์และผ่านกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ไปแสดงเป็นภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ หลักการทำงานของซีซีดี คือ จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า ปัจจุบันได้นำซีซีดีมาใช้ในการถ่ายภาพกันอย่างแพร่หลาย เพราะความรวดเร็วของการถ่ายภาพที่สูงกว่าการถ่ายภาพที่ใช้ระบบฟิล์ม สามารถที่จะเลือกรูปที่ต้องการได้ทำให้ไม่จำเป็นต้องสิ้นเปลืองในส่วนของการบันทึกภาพ ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา และสามารถที่จะจัดการกับข้อมูลภาพที่ได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพเพิ่มขึ้น

การตรวจสอบวัตถุแบบเรียลไทม์ (Real Time) มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แต่เดิมจะใช้ฟิล์มสำหรับการบันทึกภาพซึ่งต้องเสียเวลาในส่วนของขั้นตอนการล้างฟิล์มและไม่สามารถที่จะคาดเดาภาพที่จะเกิดได้เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้องตั้งแต่ในส่วนของภาพถ่ายไปจนถึงขั้นตอนของการล้างฟิล์ม เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงคิดค้นพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยอาศัยเทคโนโลยีการทำงานของซีซีดียี่ห้อไซเทรอน EXview HAD ขนาด 500x582 (290k Pixel) ร่วมกับ Fiber Optic Scintillator (FOS) ชนิดเทเปอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใหญ่ 25 มิลลิเมตร และด้านเล็กขนาด 7.3 มิลลิเมตร ซึ่งมีสารเรืองรังสีชนิด Gd₂O₂S:Tb เคลือบอยู่บน Fiber Optic แสดงภาพโดยโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยเฉพาะผ่านทาง Video Capture Card

ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์และควบคุมการทำงานผ่านพอร์ต USB ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 สามารถที่จะถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้เวลาไม่ถึงหนึ่งนาทีเมื่อเทียบกับระบบฟิล์มที่ใช้เวลามากกว่า 30 นาทีจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของการเกิดภาพ การจัดการข้อมูลของภาพก็จะสามารถที่ทำได้ทันทีด้วยโปรแกรมที่ออกแบบขึ้น เช่น การแสดงภาพ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ การจัดเก็บภาพ และการวิเคราะห์ภาพ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ Fiber Optic Scintillator (FOS) ชนิดเทเปเปอร์ ร่วมกับ Charge Couple Device (CCD)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 พัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ Fiber Optic Scintillator (FOS) ชนิดเทเปเปอร์ ร่วมกับ Charge Couple Device (CCD) พร้อมระบบควบคุมการทำงานและระบบสร้างภาพ

1.3.2 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงาน และโปรแกรมสร้างภาพของระบบกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์

1.3.3 ทดสอบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ของวัสดุชิ้นงานที่เงื่อนไขต่าง ๆ เช่น พลังงานของรังสีเอกซ์ การหล่อเย็นซีซีดี เป็นต้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบและพัฒนา กล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์

1.4.3 ออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานและโปรแกรมสร้างภาพของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์

1.4.4 ทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์จากกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่เงื่อนไขต่าง ๆ

1.4.5 เปรียบเทียบและปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ ที่เงื่อนไขต่าง ๆ

1.4.6 สรุปผลและเขียนรายงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้กล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่ใช้อุปกรณ์ FOS ชนิดเทเปอร์ร่วมกับ CCD สำหรับงานถ่ายภาพรังสีเอกซ์เพื่อตรวจสอบวัสดุ

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 D CAVOURAS, I KANDARAI, A BAKAS, D TRAITIS.C D NOMICOS และ G S PANAYIOTAKIS (1998) 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 kV ของสารเรืองรังสีเอกซ์ 4 อย่างด้วยกันคือ $Gd_2O_2S:Tb$, $Y_2O_2S:Tb$, $ZnSCdS:Ag$ และ $CsI:Na$ จากงานวิจัยทำให้ทราบถึงการทำงานของสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิดว่ามีประสิทธิภาพการทำงานเป็นอย่างไรที่พลังงานของรังสีเอกซ์ค่าต่าง ๆ และความยาวของคลื่นแสงที่ได้จากสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิด

1.6.2 I.Kandarakis และ D.Cavouras (2001) แห่ง Technology Educational Institution of Athens ทำวิจัยเรื่อง *Experimental and theoretical assessment of the performance of $Gd_2O_2S:Tb$ and $La_2O_2S:Tb$ phosphors and $Gd_2O_2S:TB-La_2O_2S:Tb$ mixtures for X-ray imaging.* ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารเรืองรังสีสองอย่างคือ $La_2O_2S:Tb$ และ $Gd_2O_2S:Tb$ นำมาผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยนำไปทดสอบกับรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 40 – 120 kV จากงานวิจัยทำให้ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิดต่าง ๆ ว่าเป็นอย่างไร เช่น ผลของพลังงานของรังสีเอกซ์กับประสิทธิภาพการทำงาน ความหนาแน่นของสารเรืองรังสีเอกซ์กับ ประสิทธิภาพการทำงาน เป็นต้น

1.6.3 M. Antonakios และ V. Lapougs, PhD (2000) แห่ง CEA Technology ทำวิจัยเรื่อง *CCD Base High Energy Large Field X-ray Digital Radiographic System* ได้ศึกษาการถ่ายภาพรังสีเอกซ์พลังงานตั้งแต่ 500 kV ขึ้นไป โดยใช้กล้องซีซีดีรับแสงที่เกิดจากสารเรืองรังสีชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ จากงานวิจัยทำให้ทราบถึงลักษณะการออกแบบการใช้งานร่วมกันระหว่างสาร

เรื่องรังสีเอกซ์กับซีซีดี สำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายภาพรังสีเอกซ์

1.6.4 K.Wells, E.Kokkinou, M.Petrou, A.Ranicar, T.Spinks และ R.J.Ott (2001) ทำวิจัยเรื่อง "Development in CCD-Base beta/x-ray Imaging" เป็นการพัฒนาการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ และรังสีเบต้า โดยอาศัยซีซีดีที่ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพรังสีที่มีความเข้มต่ำ จากงานวิจัยทำให้ทราบถึงการออกแบบกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์รังสีเบต้าสำหรับการถ่ายภาพในกรณีที่มีความเข้มรังสีต่ำ รวมถึงการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก Dark Current

1.6.5 ปี 2002 Sol M. Gruner, Mark W. Tate และ Eric F. Eikenberry ทำวิจัยเรื่อง "Charge-coupled device area x-ray detector" เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยอาศัยอุปกรณ์ชาร์จคัปเปิล จากงานวิจัยทำให้ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ซีซีดีร่วมกับสารเรืองรังสีเอกซ์ เช่น ชนิดของสารเรืองรังสีเอกซ์ ชนิดของ ซีซีดี การจัดระบบ การเลือกใช้งานซีซีดี และสารเรืองรังสีเอกซ์ เป็นต้น

บทที่ 2

หลักการและการประยุกต์การใช้งานรังสีเอกซ์สำหรับการถ่ายภาพ

2.1 รังสีเอกซ์ (X-RAY)

ในปี ค.ศ. 1895 รังสีเอกซ์ได้ถูกค้นพบ โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) [1][2] ซึ่งเป็นการค้นพบโดยบังเอิญจากการทดลองเกี่ยวกับหลอดแคโทด Röntgen พบว่ามีรังสีชนิดหนึ่งเกิดขึ้นหลังจากที่จ่ายความต่างศักย์ค่าหนึ่งให้หลอดแคโทด โดยทำให้แร่แบเรียมแพลตทินไซยาไนด์เรืองแสงซึ่งโดยปกติจะเรืองแสงในกรณีที่ได้รับรังสีอุลตราไวโอเล็ต ดังนั้น Röntgen จึงคิดว่าน่าจะเป็นผลมาจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ได้จากการทดลองเรื่องหลอดรังสีแคโทด จึงตั้งชื่อรังสีชนิดนี้ว่า “รังสีเอกซ์ (X-ray)” จากการศึกษาเพิ่มเติมในเวลาต่อมาทำให้ทราบว่ารังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-5} nm – 10nm ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานของอิเล็กตรอน มีอำนาจทะลุทะลวงสูงไม่มีประจุและมวล แต่สามารถที่จะแสดงพฤติกรรมเป็นทั้งคลื่นและอนุภาคเพราะฉะนั้นความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีเอกซ์กับความยาวคลื่นเป็นไปตามสมการที่ 2.1

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

เมื่อ E = พลังงานของรังสีเอกซ์

h = ค่าคงที่ของพลังค์ (6.626×10^{-34} J.s, 4.135×10^{-15} eV.s)

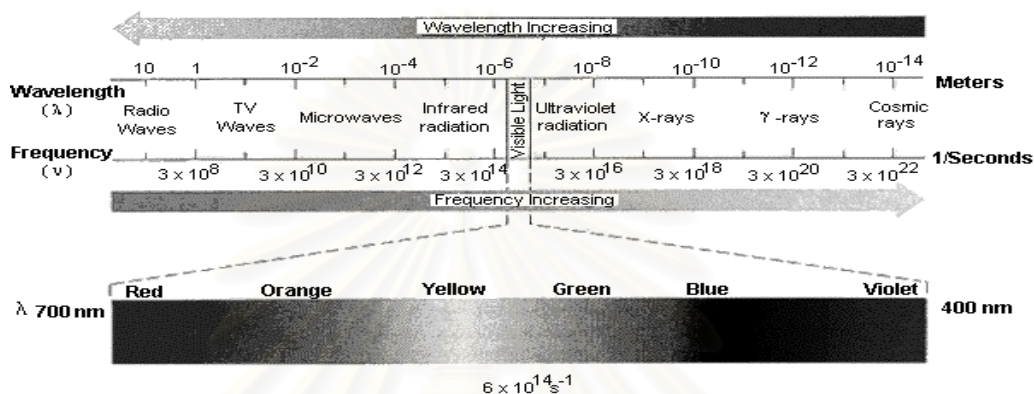
ν = ความถี่ของคลื่น

λ = ความยาวคลื่น

c = ความเร็วแสง (3×10^8 m/s)

2.1.1 คุณสมบัติของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งเหมือนกับแสงที่ตามนุษย์มองเห็น แต่มีความถี่สูงกว่า และความยาวคลื่นสั้นกว่าแสงที่ตามนุษย์มองเห็นและคลื่นวิทยุแสดงตามรูปที่ 2.1 พลังงานของรังสีเอกซ์จะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.1



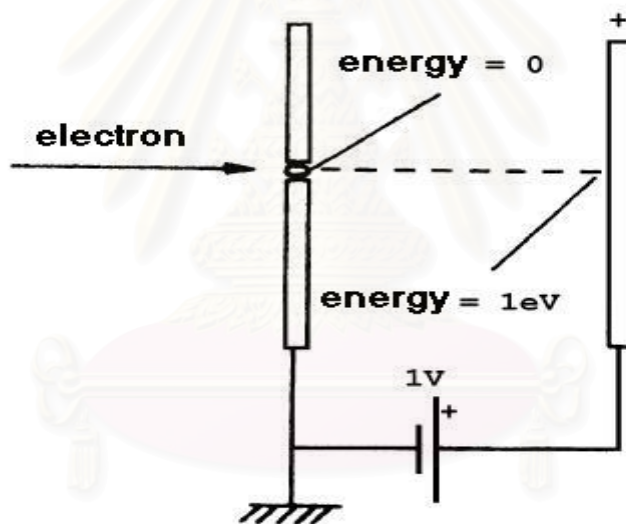
รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โดยทั่วไปแล้วจะรู้จักรังสีเอกซ์ว่าเป็นคลื่นแต่จากการศึกษาเรื่อง การกระเจิงของคอมป์ตันพบว่ารังสีเอกซ์มีคุณสมบัติเป็นเสมือนอนุภาคได้เช่นกัน รังสีเอกซ์ไม่สามารถที่จะเลี้ยวเบนได้ด้วยสนามไฟฟ้าและโฟกัสด้วยเลนส์ ช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์สามารถที่จะแบ่งแยกพลังงานออกเป็นช่วงตามระดับพลังงานดังนี้

- (1) รังสีเอกซ์พลังงานสูงมาก (Ultrasoft X-ray) โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.1 Å (124 kV) ลงมา
- (2) รังสีเอกซ์พลังงานสูง (Hard X-ray) โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1.0 Å ถึง 0.1 Å (12.4 kV – 124 kV) ลงมา
- (3) รังสีเอกซ์พลังงานต่ำ (Soft X-ray) โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10 Å ถึง 1.0 Å (1.24 kV – 12.4 kV) ลงมา
- (4) รังสีเอกซ์พลังงานต่ำมาก (Ultrasoft X-ray) โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10 Å ขึ้นไป (1.24 kV) ลงมา

2.1.2 การเกิดรังสีเอกซ์ (Generation of X-Ray)

พิจารณาอิเล็กตรอนที่ขั้วแคโทด (-) มีพลังงานเท่ากับศูนย์ ตามรูปที่ 2.2 ถ้าให้ความต่างศักย์มีค่า 1 โวลต์ ระหว่างขั้วแอโนด (+) กับขั้วแคโทด (-) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนดด้วยพลังงานจลน์ มีค่าเท่ากับ 1 อิเล็กตรอนโวลต์ (1.602×10^{-19} J) เพราะฉะนั้นถ้าให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทดมีค่าความต่างศักย์เป็น 1000 โวลต์ อิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์เท่ากับ 1000 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งการสร้างหลอดรังสีเอกซ์ก็อาศัยหลักการนี้ โดยแรงอิเล็กตรอนที่เกิดจากการเผาไส้หลอดที่ขั้วแคโทดให้เคลื่อนที่ชนเป้าโลหะที่ขั้วแอโนด พลังงานที่สูญเสียไประหว่างการชนก็จะอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์และความร้อน โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์แสดงดังรูปที่ 2.5 การเกิดรังสีเอกซ์จากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับเป้าโลหะนั้นมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

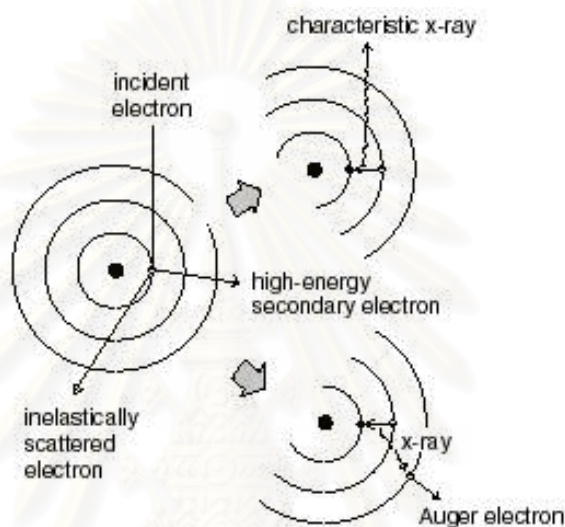


รูปที่ 2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

(1) รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-ray)

รังสีเอกซ์เฉพาะตัวเกิดจากการชนแบบยืดหยุ่นระหว่างอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งกับอิเล็กตรอนของอะตอมที่ใช้ทำเป้าที่ขั้วแอโนด (Elastic Scattering With Atomic Electrons) คือจากทฤษฎีของบอร์ (Bohr) ที่กล่าวถึงโครงสร้างของอะตอมพบว่า การเรียงตัวของอิเล็กตรอนในอะตอมจะมีเป็นชั้น ๆ และแต่ละชั้นจะมีค่าพลังงานเฉพาะ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนที่ถูกเร่งด้วยความต่างศักย์เคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์ค่าหนึ่ง ถ้าพลังงานมีมากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนในชั้นพลัง

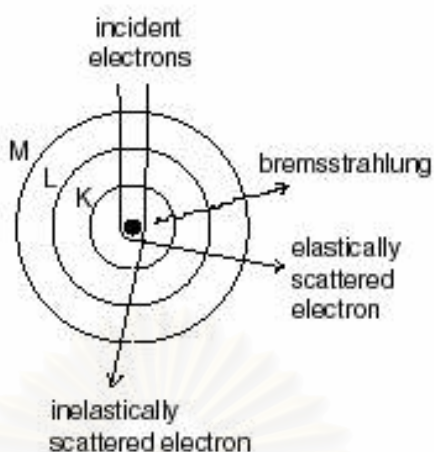
งานหลุดออกไป ก็จะเกิดเป็นที่ว่างเกิดขึ้นในระดับพลังงานนั้น ๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าก็จะเคลื่อนที่ลงมาแทนที่ แต่เนื่องจากอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับที่สูงกว่ามีพลังงานที่มากกว่าจึงต้องปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาซึ่งจะอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์ แสดงตามรูปที่ 2.3 โดยพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ได้จะมีค่าเฉพาะตามระดับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอม รังสีเอกซ์ที่ได้จากกระบวนการนี้จึงเรียกว่า “รังสีเอกซ์เฉพาะ (Characteristic X-Ray)”



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

(2) รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (Continuous X-ray)

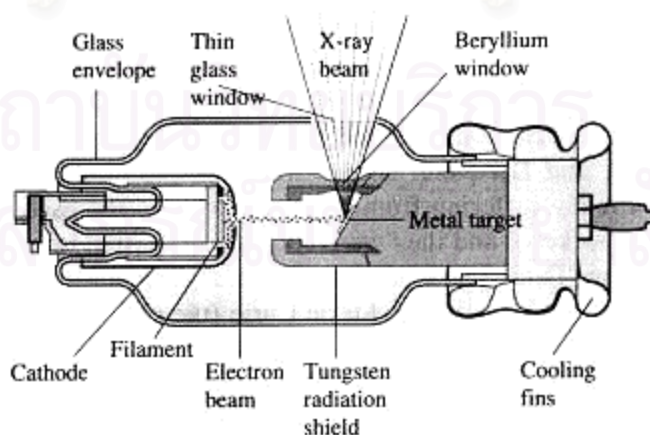
รังสีเอกซ์ต่อเนื่องเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งกับนิวเคลียสของอะตอมที่ใช้ทำเป้า (Coulomb Interaction) กล่าวคือ ถ้าพิจารณานิวเคลียสของอะตอมจะเห็นว่ามีค่าประจุเป็นบวก เพราะฉะนั้นเมื่ออิเล็กตรอนซึ่งมีประจุเป็นลบถูกเร่งด้วยความต่างศักย์เคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์ค่าหนึ่ง เคลื่อนที่เข้าใกล้นิวเคลียสก็จะเกิดอันตรกิริยากับนิวเคลียสภายในอะตอมทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่เปลี่ยนไป เพราะฉะนั้นพลังงานจลน์ก็จะมีบางส่วนสูญเสียไปอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์ เรียกรังสีเอกซ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ว่า “รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (Continuous X-ray)” หรือ “Bremsstrahlung X-ray” แสดงตามรูปที่ 2.4 พลังงานของรังสีเอกซ์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีค่าพลังงานตั้งแต่ศูนย์ถึงพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่ง



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง

2.1.3 โครงสร้างหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

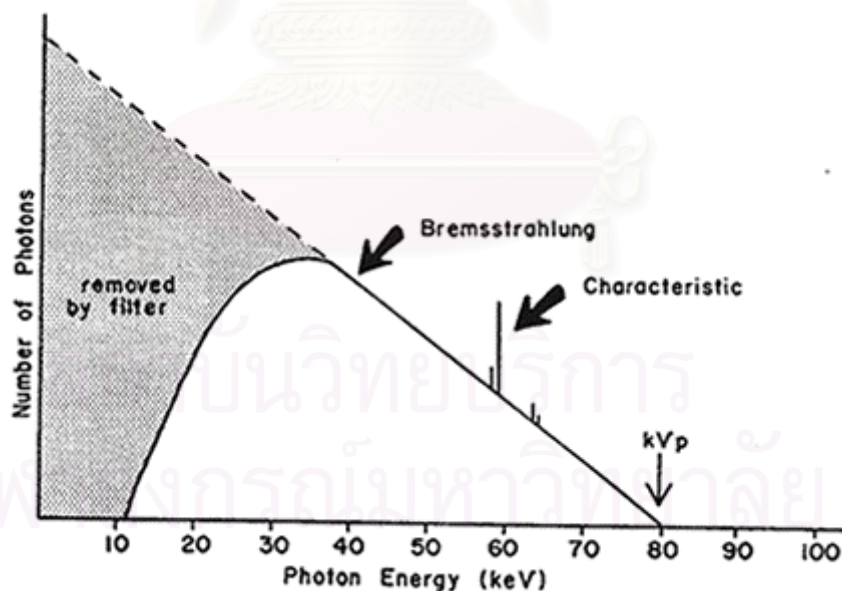
หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์เป็นหลอดสุญญากาศประกอบด้วย ขั้วคาโทดซึ่งเป็นขั้วบวก และขั้วแอโนดซึ่งเป็นขั้วลบ อิเล็กตรอนที่เกิดจากการให้ความร้อนแก่ไส้หลอดด้วยกระแสไฟฟ้าที่ขั้วแอโนดถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ระหว่างขั้วแอโนดและคาโทดเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์เข้าชนเป้าที่ขั้วคาโทดทำให้มีการสูญเสียพลังงานจลน์โดยเปลี่ยนไปเป็นรังสีเอกซ์และความร้อน รูปโครงสร้างของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์แสดงในรูปที่ 2.5



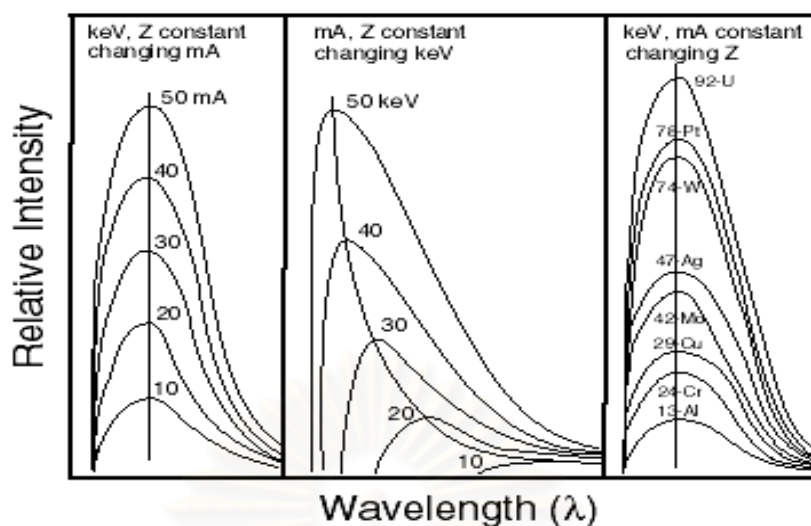
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์

2.1.4 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ (The X-ray Spectrum)

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้ทราบว่ารังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจากหลอดรังสีเอกซ์นั้นมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ รังสีเอกซ์ต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะตัว ถ้าพิจารณารังสีเอกซ์ต่อเนื่องที่เกิดขึ้นจะพบว่าพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะมีค่าพลังงานตั้งแต่ 0 ถึงพลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอน ถ้าอิเล็กตรอนพลังงาน E เคลื่อนที่เข้าชนเป้าโลหะที่มีความบางมากจนทำให้เกิดอันตรกิริยาได้เพียงครั้งเดียว จะทำให้โอกาสในการที่จะเกิดรังสีเอกซ์มีค่าเท่ากันตั้งแต่พลังงานตั้งแต่ 0 ถึงพลังงานสูงสุด แต่ถ้าพิจารณากรณีที่เป้ามี่มีความหนาแน่นมาก ๆ อิเล็กตรอนที่เกิดอันตรกิริยาจะสามารถที่จะเกิดได้หลาย ๆ ครั้งเพราะฉะนั้นความน่าจะเป็นที่จะเกิดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำจึงมีมากกว่าพลังงานสูง และในกรณีเดียวกันการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวก็สามารถที่จะเกิดได้เช่นกัน ซึ่งสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะแสดงได้ตามรูป 2.6 พลังงานของรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดกับแอโนด ค่าความเข้มของรังสีจะมีค่าตามกระแสที่จ่ายให้กับหลอดรังสีเอกซ์ นอกจากนั้นความเข้มของรังสีเอกซ์ยังขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุที่ใช้ทำเป้าที่ขั้วแอโนดด้วยตามแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ได้จากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบสเปกตรัมของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ที่เงื่อนไขต่าง ๆ

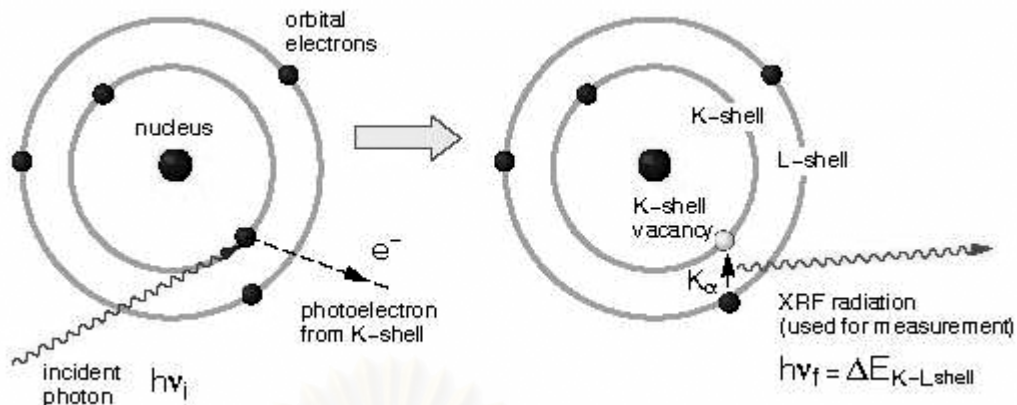
2.1.5 อันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับวัตถุ (Interactions of X-rays with Matter)

เมื่อพิจารณาความเข้มของรังสีเอกซ์ I_0 และมีพลังงาน E พบว่าหลังจากที่รังสีเอกซ์ผ่านวัตถุ ก็จะมีการลดความเข้มความเข้มของรังสีเอกซ์ลง เพราะรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับวัตถุตัวกลางที่รังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งอันตรกิริยาที่สำคัญของรังสีเอกซ์กับวัตถุมีด้วยกัน 4 แบบ คือ

(1) ปฏิกิริยาการณโฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric Effect)

พลังงานของรังสีเอกซ์จะถูกดูดกลืนโดยอิเล็กตรอนภายในอะตอม และอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานก็จะหลุดออกจากวงโคจรเกิดเป็นช่องว่างขึ้นแสดงตามรูปที่ 2.8 อิเล็กตรอนที่หลุดออกก็จะเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์เท่ากับผลต่างของพลังงานของรังสีเอกซ์กับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้นอะตอมตามสมการที่ 2.1 โดยที่ความน่าจะเป็นของการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อธาตุที่เกิดอันตรกิริยากับรังสีเอกซ์มีค่าเลขอะตอมเพิ่มขึ้น

$$T = h\nu - B_K \quad (2.1)$$

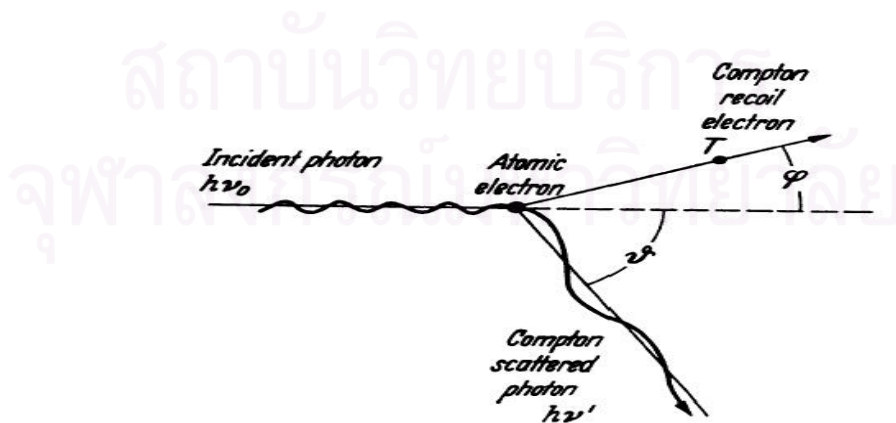


รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

(2) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton Scattering)

การกระเจิงแบบคอมป์ตันเกิดขึ้นเมื่อโฟตอนของรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ชนกับอิเล็กตรอนภายในอะตอมแล้วเกิดการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและรังสีเอกซ์ แสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งการชนจะเป็นแบบยืดหยุ่นคือมีการอนุรักษ์พลังงานเพราะฉะนั้นถ้าพิจารณาพลังงานของรังสีเอกซ์หลังจากเกิดการชนก็จะเป็นไปตามสมการที่ 2.2

$$h\nu' = \frac{h\nu_0}{1 + \frac{h\nu_0}{m_0c}(1 - \cos\theta)} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.9 แสดงการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีเอกซ์

จากสมการที่ (2.2) จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงพลังงานของรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับมุมของรังสีเอกซ์ที่เปลี่ยนไปจากแนวเดิม

(3) แพร่โปรดักชัน (Pair Production)

ปรากฏการณ์แพร่โปรดักชันจะเกิดขึ้นเมื่อรังสีเอกซ์มีพลังงานมากกว่า 1.022 MeV เคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าของอะตอมทำให้รังสีเอกซ์เปลี่ยนแปลงสภาพกลายเป็น อิเล็กตรอนและโพสิตรอน ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการเกิดอันตรกิริยาแพร่โปรดักชันของรังสีเอกซ์

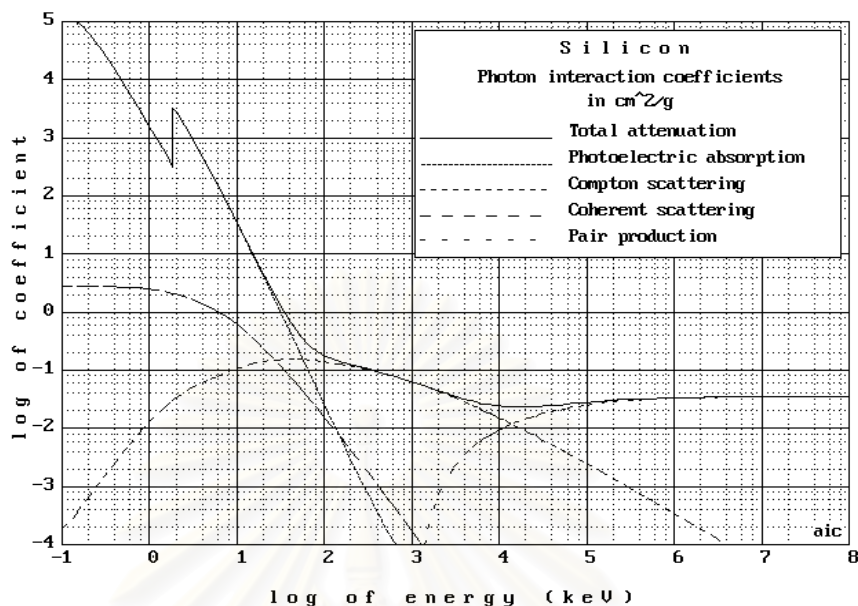
(4) การกระเจิงแบบเรย์เลย์ (Rayleigh Scattering)

เป็นอันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนแล้วทำให้รังสีเอกซ์กระเจิงออกมาโดยที่รังสีเอกซ์ไม่มีการสูญเสียพลังงาน

2.1.6 การลดทอนความเข้มรังสีเอกซ์

การลดทอนความเข้มรังสีเอกซ์โดยตัวกลางที่รังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่าน เป็นผลมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับตัวกลางดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรวมของรังสีเอกซ์ เกิดจากผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาต่าง ๆ จากที่กล่าวมาแล้ว และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 2.3 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของซิลิกอนที่พลังงานต่าง ๆ ของรังสีเอกซ์แสดงในรูปที่ 2.11

$$\mu_{total}(E) = \mu_{rt}(E) + \mu_{pp}(E) + \mu_{pe}(E) + \mu_{cs}(E) \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของซิลิกอน

เนื่องจากว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับธาตุที่เป็นองค์ประกอบและพลังงานของรังสีเอกซ์ ดังนั้นการอธิบายค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์จึงมักเขียนอยู่ในรูปค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล ตามสมการที่ 2.4 และในกรณีที่มีวัตถุประกอบด้วยธาตุหลายชนิดก็สามารถที่เขียนความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ 2.5

$$\tau = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{cm}^2/\text{g}) \quad (2.4)$$

$$\tau = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \tau_i \quad (2.5)$$

โดยที่ τ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น

ρ คือ ความหนาแน่น

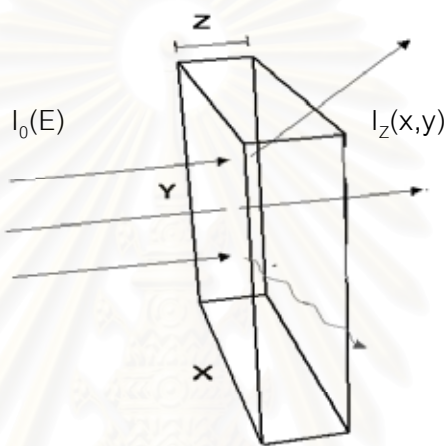
M คือ มวลรวม

m_i คือ มวลของธาตุที่ i

τ_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล ของธาตุที่ i

ถ้าพิจารณารังสีเอกซ์ที่มีสเปกตรัมพลังงานตั้งแต่ 0 ถึง E โดยเริ่มต้นมีความเข้ม $I_0(E)$ เคลื่อนผ่านวัตถุขนาดตามแสดงในรูปที่ 2.12 โดยวัตถุมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนมีค่าเป็น $\mu(x,y,z,E)$ เพราะฉะนั้นความเข้มที่ลดลงของรังสีเอกซ์จะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.6

$$I_z(x,y) = \int_0^E I_0(E) \exp\left(-\int \mu(x,y,z,E) dz\right) dE \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.12 แสดงความเข้มที่ลดลงของรังสีเอกซ์หลังจากผ่านตัวกลาง

2.2 สารเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray Scintillators) [2][5]

สารเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray Scintillator) ทำหน้าที่เปลี่ยนความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ไปเป็นความยาวคลื่นอื่น ๆ ตามชนิดของสารเรืองรังสีเอกซ์ โดยทั่วไปคุณสมบัติของสารเรืองรังสีที่ได้นั้นจำเป็นที่จะต้องมามีคุณสมบัติดังนี้

- ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์ไปเป็นพลังงานอีกค่าหนึ่งที่อุปกรณ์วัดสามารถที่จะวัดได้อย่างครอบคลุมและเหมาะสม
- ความสามารถของสารเรืองรังสีจะต้องตอบสนองต่อพลังงานของรังสีในช่วงพลังงานที่กว้าง
- เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นนั้นจะต้องสั้น

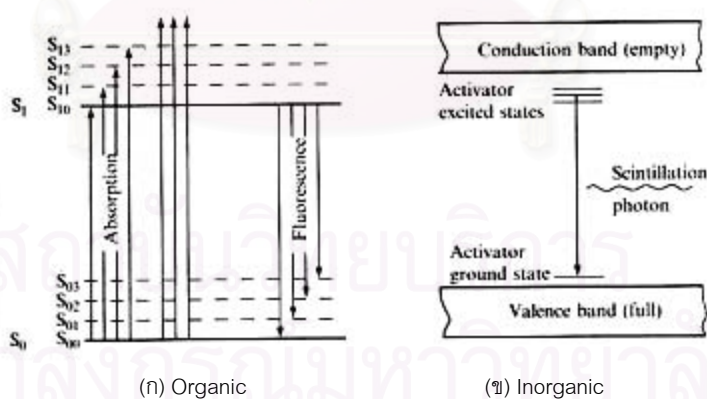
สารเรืองรังสีสามารถที่จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Organic Scintillator กับ Inorganic Scintillator ซึ่งหลักการการทำงานของสารเรืองรังสีแต่ละชนิดจะมีดังต่อไปนี้

(1) สารเรืองรังสีชนิดอินทรีย์ (Organic Scintillator)

จะประกอบด้วยโมเลกุลของของสารอินทรีย์ เมื่อโฟตอนของรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของสารเรืองรังสีก็จะถูกกระตุ้นจากสถานะพื้น (Ground State) ไปสู่สถานะกระตุ้น (Excite State) เพราะฉะนั้นเมื่อโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นกลับลงสู่สถานะพื้นก็จะมี การปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาอยู่ในรูปของโฟตอนของแสง แสดงตามรูปที่ 2.13 (ก)

(2) สารเรืองรังสีชนิดอนินทรีย์ (Inorganic Scintillator)

สารเรืองรังสีชนิดนี้จะอาศัยการกระตุ้นอิเล็กตรอนที่วาเลนซ์แบน (Valence Band) ไปยังชั้นคอนดักชันแบน (Conduction Band) โดยโฟตอนของรังสีเอกซ์ และเมื่ออิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นกลับลงมาสู่ชั้นวาเลนซ์แบน ก็จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนของแสง แสดงตามรูปที่ 2.13 (ข)



รูปที่ 2.13 แสดงหลักการการทำงานของสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิด Organic (ก) และชนิด Inorganic (ข) [2]

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของสารเรืองรังสีแต่ละชนิด [2]

| Name | Type | Density (gcm ⁻³) | Maximum emission wevelength (nm) | Time Constant (ns) | Light Output ^a |
|----------------------|----------------------------|---------------------------------|---|-----------------------|---------------------------|
| Stilbene | Organic Solid | 1.16 | 384 | 3-8 | 0.20 |
| NE 102A ^b | Plastic (organic solid) | 1.03 | 425 | 2.5 | 0.28 |
| NE 213 ^b | Organic liquid | 0.87 | 425 | 3.7 | 0.34 |
| Nal(Tl) | Inorganics Crystal | 3.67 | 410 | 250 | 1.00 |
| BGO | Inorganics Crystal | 7.13 | 480 | 300 | 0.10 |

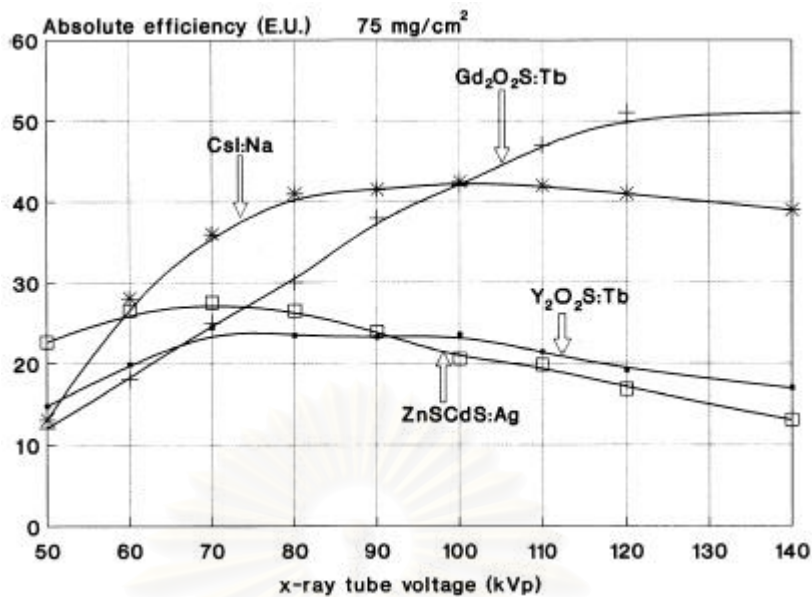
^a Relative to Nal(Tl)

^b Nuclear Enterprises Ltd,Edinbergh,UK.

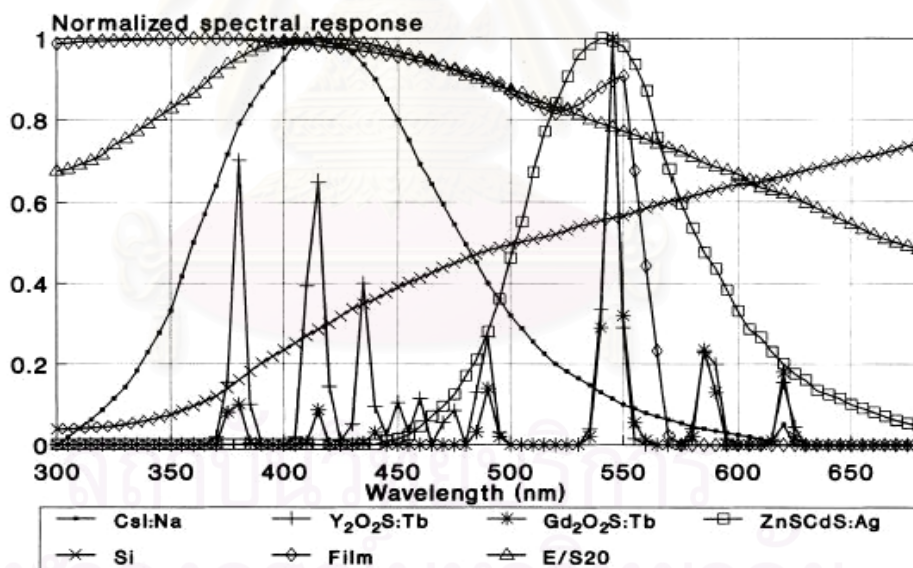
สำหรับการประยุกต์ใช้งานของสารเรืองรังสีเอกซ์สำหรับงานถ่ายภาพรังสีเอกซ์จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของสารเรืองรังสีแต่ละชนิด ตัวอย่างสารเรืองรังสีเอกซ์ที่ใช้งานในปัจจุบัน เช่น Gd₂O₂S:Tb Y₂O₂S:Tb ZnSCdS:Ag La₂O₂S:Tb และ CaI:Na ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานั้นมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ในทางปฏิบัติการเลือกใช้งานสารเรืองรังสีเอกซ์นั้นจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพ

พลังงานของรังสีเอกซ์เป็นตัวแปรสำคัญของข้อจำกัดสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ เพราะว่าพลังงานของรังสีเอกซ์จะเป็นตัวบอกความสามารถในการทะลุผ่านวัตถุแต่ละชนิด โดยความหนาของวัตถุที่รังสีเอกซ์ทะลุผ่านได้นั้นจะขึ้นอยู่กับธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการเลือกสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิดจะต้องเลือกที่ตอบสนองต่อช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ใช้ถ่ายภาพ เนื่องจากว่าสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิดจะตอบสนองต่อพลังงานของรังสีเอกซ์ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำงานของสารเรืองรังสีแต่ละชนิดที่พลังงานต่าง ๆ [6]



รูปที่ 2.15 แสดงความยาวคลื่นของแสงที่ได้จากสารเรืองรังสีแต่ละชนิด และช่วงความยาวคลื่นที่ตอบสนองของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด [6]

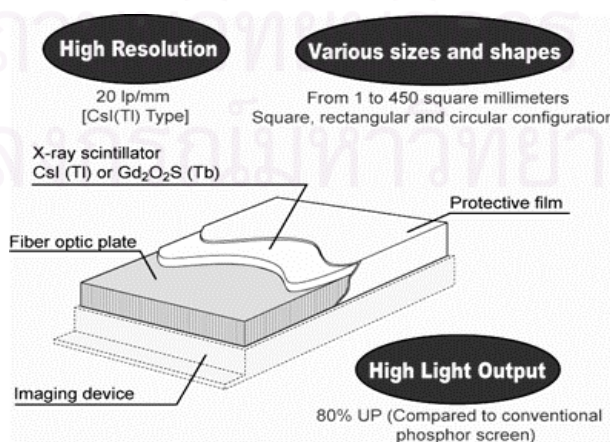
จากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ จะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิดอื่น ๆ ที่พลังงานของรังสีเอกซ์ 100kV ขึ้นไป แต่ถ้าพลังงานต่ำกว่า 100kV จะพบว่าประสิทธิภาพการตอบสนองของสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิด CsI:Na จะให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่าสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิดอื่น

(2) ความยาวคลื่นของแสงที่ได้จากสารเรืองรังสีเอกซ์

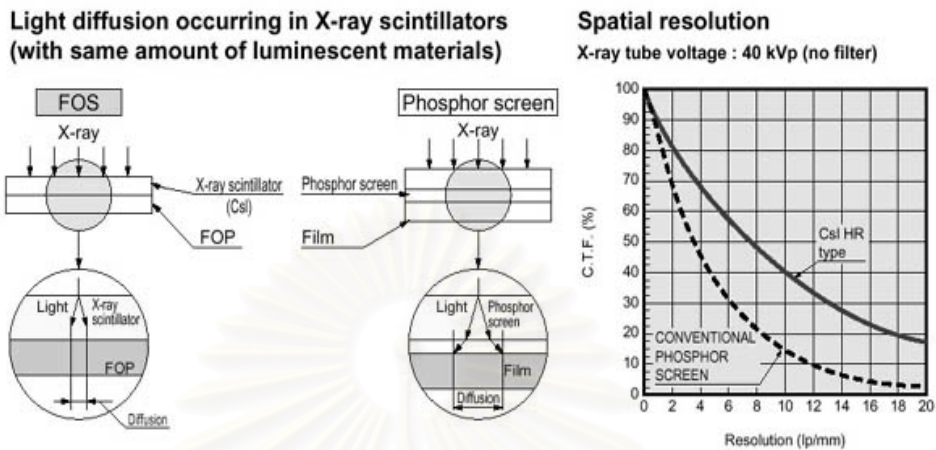
ความยาวคลื่นของแสงที่ได้จากสารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิดจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันแสดงในรูปที่ 2.15 ดังนั้นการเลือกใช้สารเรืองรังสีเอกซ์จึงจำเป็นต้องพิจารณาความยาวคลื่นแสงที่ได้ให้เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับแสงที่นำมาใช้งาน

(3) ขนาดของอนุภาคของสารเรืองรังสีเอกซ์ (Particle size of X-rays Scintillator)

ขนาดของอนุภาคของสารเรืองรังสีเอกซ์เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อความคมชัดของภาพที่ได้จากระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ตัวอย่างเช่นถ้าเลือกสารเรืองรังสีเอกซ์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ก็จะทำให้ได้ความละเอียดของภาพน้อยกว่าสารเรืองรังสีเอกซ์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่า นอกจากนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเรืองรังสีเอกซ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นนิยมนำมาเคลือบบน Fiber Optic ซึ่งเรียกว่า "Fiber optic scintillator (FOS)" ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และถ้าพิจารณาถึงการกระจายตัวของแสงที่เกิดขึ้นที่สารเรืองรังสีเอกซ์ที่ได้จาก FOS กับฉากเรืองแสงทั่ว ๆ ไปพบว่า การกระจายตัวของแสงที่เกิดขึ้นที่ FOS จะมีน้อยกว่าฉากเรืองแสง ตามแสดงในรูปที่ 2.17 ดังนั้นทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้นเมื่อทำการถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ FOS



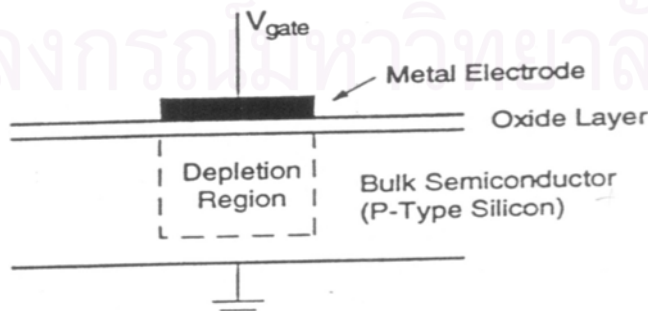
รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของ Fiber Optic Scintillator [7]



รูปที่ 2.17 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Fiber Optic Scintillator กับ Phosphor Screen ทั่วไป [7]

2.3 การประยุกต์การใช้อุปกรณ์ชาร์จ์คัปเปิลสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์

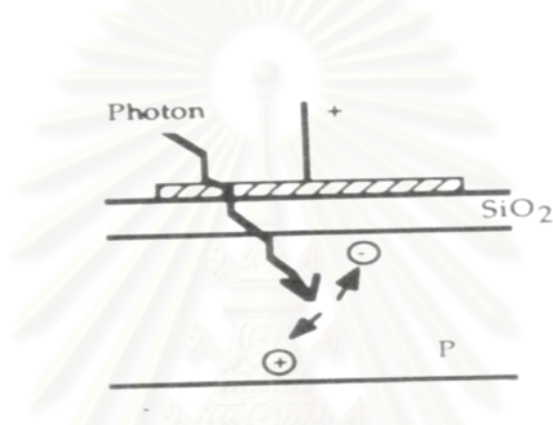
อุปกรณ์ชาร์จ์คัปเปิล (Charge Couple Device) หรือ ซีซีดี(CCD) ได้ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1970 โดย Boyel และ Smith [5] การใช้งานของซีซีดีสำหรับการถ่ายภาพจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนโฟตอนของแสงไปเป็นประจุไฟฟ้าแล้วถูกเก็บสะสมอยู่ในตัวเก็บประจุแบบมอส (Metal Oxide Semiconductor capacitor, MOS) โดยที่โครงสร้างของตัวเก็บประจุแบบมอสประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ชั้นโลหะ (Metal layer) ชั้นออกไซด์ (Oxide layer) ซึ่งเป็นฉนวน และชั้นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor layer) แสดงตามรูปที่ 2.18



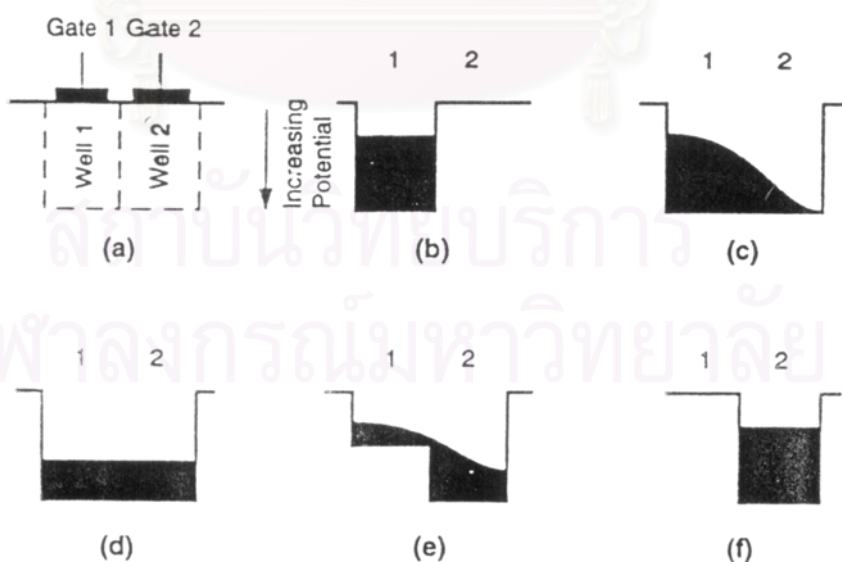
รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของตัวเก็บประจุแบบมอส [4]

2.3.1 การทำงานของซีซีดี

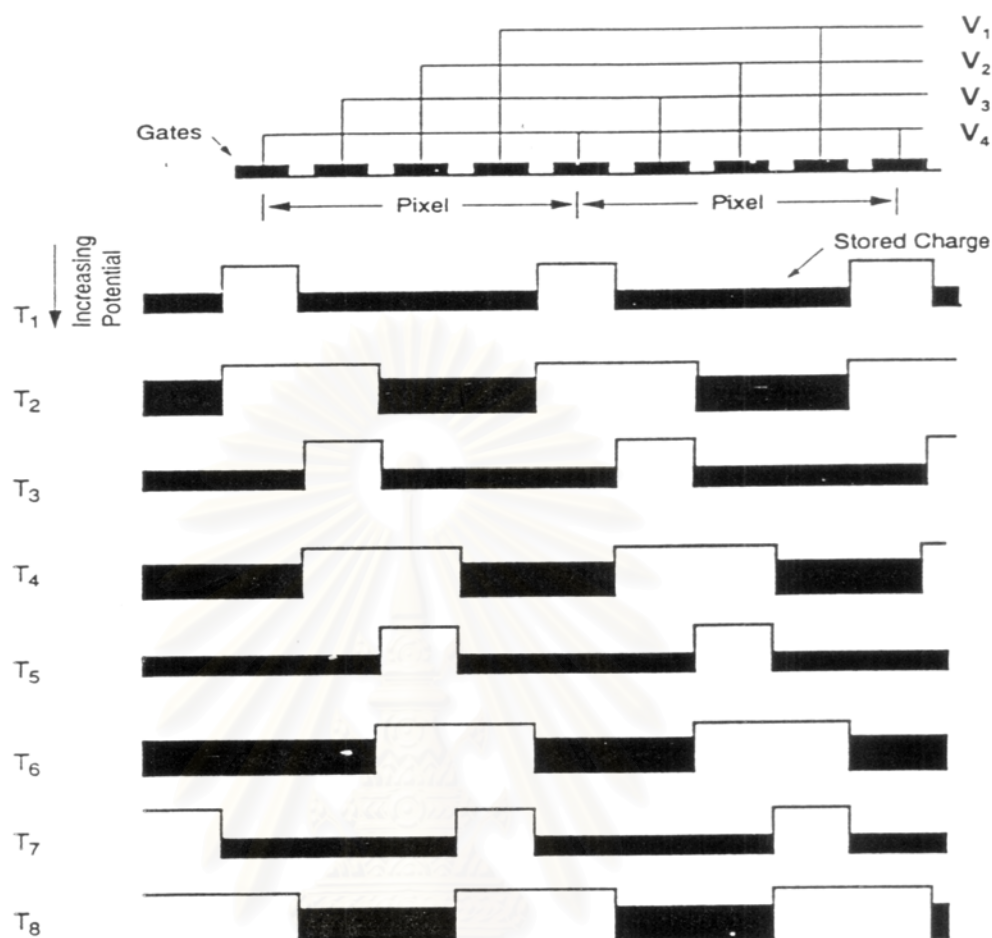
การทำงานของซีซีดีจะทำหน้าที่แปลงข้อมูลแสงที่กระทบแต่ละพิกเซลของซีซีดีให้อยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้า โดยแสงที่กระทบแต่ละพิกเซลของซีซีดีก่อให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้นแล้วถูกเก็บสะสมไว้ในตัวเก็บประจุแบบมอส ปริมาณประจุที่ได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ตกกระทบที่ซีซีดี และเวลาที่เปิดรับแสงดังแสดงในรูปที่ 2.19 หลังจากนั้นประจุที่เก็บสะสมไว้จะถูกถ่ายเทไปยังส่วนที่เป็น รีจิสเตอร์ (Register) ต่อไป ในกระบวนการถ่ายเทประจุจากรีจิสเตอร์หนึ่งไปยังอีกรีจิสเตอร์หนึ่งทำโดยการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่ขาคอกของซีซีดีดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระเนื่องจากแสงที่ตกกระทบที่ซีซีดี



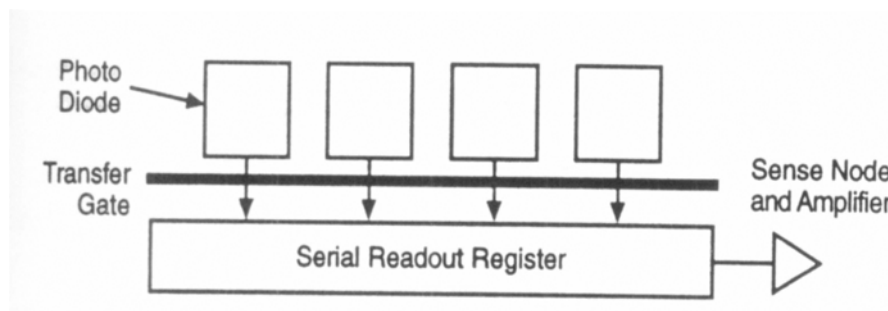
รูปที่ 2.20 หลักการถ่ายเทประจุระหว่างรีจิสเตอร์ [4]



รูปที่ 2.21 แสดงการถ่ายเทประจุระหว่างวีจิสเตอร์ของซีซีดีแบบ 4 เฟส [4]

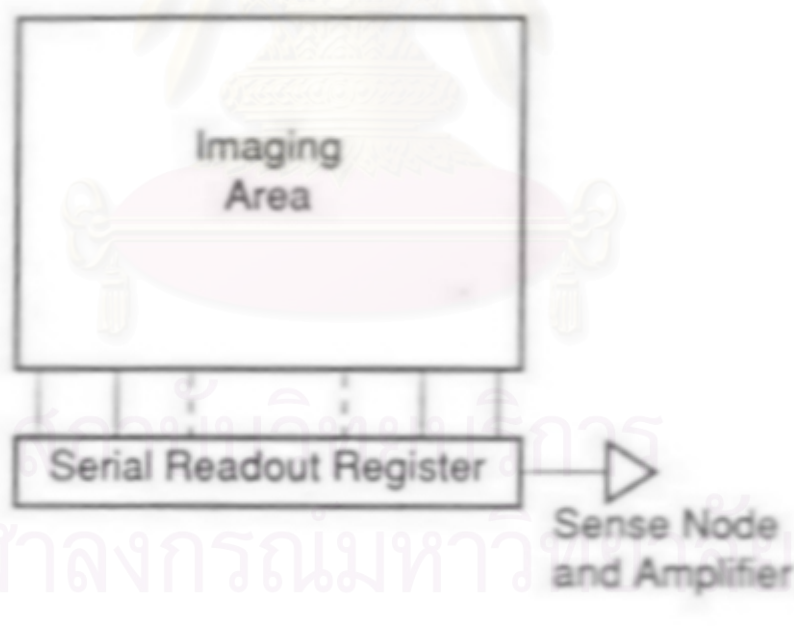
2.3.2 ชนิดของซีซีดี (Type of CCD)

2.3.2.1 ซีซีดีชนิดแถว (Line CCD) โครงสร้างของซีซีดีชนิดนี้จะประกอบด้วยส่วนที่รับแสง (Photosensitive) เรียงกันเป็นแถวเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 2.22 โดยเมื่อแสงตกกระทบที่ Photosensitive ก็จะทำให้เกิดประจุสะสมขึ้นหลังจากนั้นก็ถูกเคลื่อนย้ายไปยังวีจิสเตอร์แล้วจะถูกส่งต่อไปยังส่วนการสร้างและขยายสัญญาณไปอยู่ในรูปแบบของสัญญาณวิดีโอ ซึ่งในการนำไปประยุกต์กับระบบถ่ายภาพจึงเหมาะสำหรับในกรณีวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพเคลื่อนที่ หรือว่าทำการสแกนภาพโดยการเคลื่อนซีซีดีไปที่ละส่วนจนครบภาพ ตัวอย่างเช่น ซีซีดีที่ใช้งานกับเครื่องสแกนเนอร์



รูปที่ 2.22 ซีซีดีชนิด Line [4]

2.3.2.2 ซีซีดีชนิดพื้นที่ (Area CCD) ถูกออกแบบมาสำหรับใช้งานในกรณีที่ต้องการความเร็วในการถ่ายภาพและการถ่ายภาพในกรณีที่แสงน้อยซึ่งต้องเปิดรับแสงนานขึ้น ถ้าใช้ซีซีดี ชนิด Line CCD ก็จะทำให้เสียเวลาในการถ่ายภาพดังนั้น Area CCD จึงออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาเรื่องเวลาถ่ายภาพเพราะไม่จำเป็นที่จะต้องสแกนซีซีดีเพื่อการถ่ายภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ซีซีดีชนิด Area [4]

2.3.3 สมรรถนะการทำงานของซีซีดี (CCD Performance)

(1) ประสิทธิภาพการตอบสนองต่อโฟตอนของแสง (Quantum Efficiency)

เป็นการพิจารณาความสามารถตรวจจับโฟตอนของแสงที่ตกกระทบบนซีซีดี ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.7

$$QE = \frac{N_{\text{detect}}}{N_{\text{Photon}}} \quad (2.7)$$

โดย QE = Quantum Efficiency

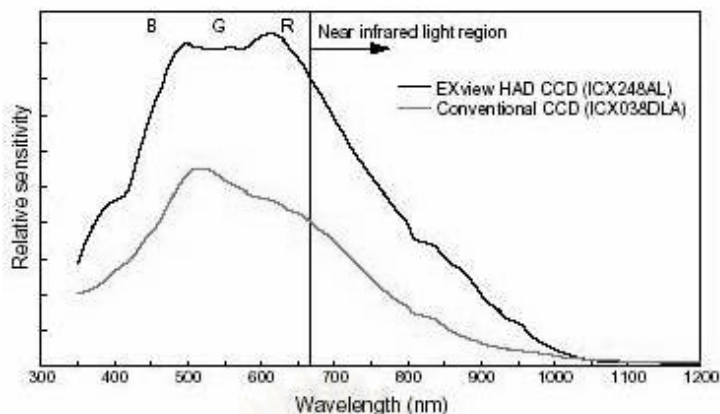
N_{detect} = ปริมาณโฟตอนของแสงที่สามารถที่จะตรวจจับได้

N_{photon} = ปริมาณของโฟตอนของแสงที่ตกกระทบซีซีดี

การใช้ซีซีดีเป็นอุปกรณ์รับภาพนั้นสิ่งสำคัญ คือซีซีดีจำเป็นต้องมีความสามารถตรวจจับทุกโฟตอนของแสงที่ตกกระทบบนซีซีดีได้แต่ในทางปฏิบัติไม่เป็นเช่นนั้นเพราะจะมีบางโฟตอนของแสงที่ซีซีดีไม่สามารถที่จะตรวจจับได้ ดังนั้นจึงทำให้ค่า Quantum Efficiency ของซีซีดีโดยทั่วไปอยู่ที่ 40% ถึง 80% แต่ก็ยังสูงมากเมื่อเทียบกับฟิล์มที่มี Quantum Efficiency อยู่ที่ 2% ถึง 4%[3]

(2) การตอบสนองความยาวคลื่น (Wavelength Response)

การพัฒนาซีซีดีสำหรับการถ่ายภาพ โดยทั่วไปจะทำการพัฒนาซีซีดีให้มีการตอบสนองความยาวคลื่นอยู่ในช่วงที่ตาของมนุษย์มองเห็น (Visible light) เพราะฉะนั้นการออกแบบซีซีดีสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงช่วงความยาวคลื่นที่ซีซีดีตอบสนอง ซึ่งถ้าพิจารณาซีซีดีของไซนิรูน ICX248AL จะพบว่าการตอบสนองต่อความยาวคลื่นที่ดีจะอยู่ในช่วง 450 ถึง 700 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกสารเรืองรังสีเอกซ์ที่ให้ยาวคลื่นอยู่ในช่วงเดียวกับความยาวคลื่นที่ซีซีดีตอบสนองเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่สูงสุด



รูปที่ 2.24 แสดงช่วงตอบสนองความยาวคลื่นของซีซีดีโซนี่รุ่น Exview HAD

(3) ประสิทธิภาพการถ่ายเทประจุ (Charge Transfer Efficiency ,CTE)

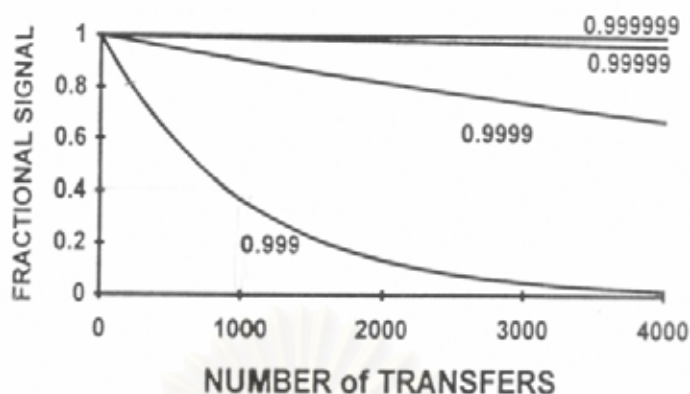
ประจุที่เกิดขึ้นในแต่ละพิกเซลของซีซีดีจะถูกถ่ายเทจากรีจิสเตอร์หนึ่งไปยังอีก รีจิสเตอร์หนึ่ง ซึ่งในระหว่างการถ่ายเทประจุก็จะมี การสูญเสียประจุเกิดขึ้น เพราะฉะนั้นถ้า พิจารณาประจุที่เกิดขึ้นที่พิกเซลของซีซีดีก่อนและหลังการถ่ายเทประจุจะมีค่าเป็น N_0 และ N_t ตาม ลำดับ ดังนั้นประสิทธิภาพการถ่ายเทประจุ (CTE) สามารถที่จะเขียนอยู่ในรูปความสัมพันธ์ตาม สมการที่ 2.8 [5]

$$CTE = 1 - \frac{N_0 - N_t}{N_t} \quad (2.8)$$

ตัวอย่างในกรณีที่มีประจุเกิดขึ้นที่พิกเซลของซีซีดีจำนวน 800 ประจุและมีค่าประสิทธิ ภาพการถ่ายเทประจุเท่ากับ 0.9995 เพราะฉะนั้นหลังจากมีการถ่ายเทประจุไปแล้ว 100 ครั้งก็จะมี ประจุเหลืออยู่จำนวน 760 ประจุ ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างประจุเริ่มต้น (N_0) กับประจุที่ ได้หลังจากการถ่ายเทประจุไปแล้วเป็นจำนวน n ครั้ง โดยมีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทประจุเป็น \mathcal{E} ก็สามารที่จะเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ 2.9

$$\frac{N_0}{N_n} = \mathcal{E}^n \quad (2.9)$$

ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนประจุก่อนการถ่ายเทกับจำนวนประจุที่ได้หลังจากการ ถ่ายเทไปแล้ว n ครั้งก็จะแสดงได้ตามรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 กราฟแสดงการลดลงของประจุนหลังจากการถ่ายเทประจุที่จำนวนครั้งต่าง ๆ [4]

(4) สเปเชียล เรโซลูชัน (Spatial Resolution)

คือความสามารถของซีซีดีในการแยกความแตกต่างรายละเอียดของภาพถ่ายวัตถุ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของพิกเซลซีซีดี ถ้าพิกเซลของซีซีดีมีขนาดเล็กความสามารถในการแยกความแตกต่างรายละเอียดของซีซีดีก็จะทำได้สูงขึ้น ดังนั้นภาพถ่ายที่ได้ก็จะให้รายละเอียดของภาพได้อย่างชัดเจน

2.3.4 สัญญาณรบกวน (Noise)

ในเรื่องของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยการใช้ซีซีดีเป็นอุปกรณ์รับภาพ มีจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนตลอดจนการหาหนทางที่จะทำการแก้ไข เพราะว่าสัญญาณรบกวนจะมีผลต่อคุณภาพของภาพที่ได้ ซึ่งแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

(1) ดาร์กเคอร์เรนท์ (Dark Current)

เกิดจากการที่อะตอมของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำซีซีดีได้รับพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมแล้วก่อให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระไปสะสมอยู่ที่พิกเซลของซีซีดี ซึ่งปริมาณประจุนนี้เป็นปริมาณประจุนที่ไม่ได้เกิดจากโฟตอนแสงและแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิ โดย Dark Current นี้จะส่งผลกระทบต่อปริมาณสัญญาณที่เกิดขึ้นที่พิกเซลของซีซีดี ตัวอย่างเช่นถ้าพิกเซลของซีซีดีสามารถที่รองรับประจุน

ได้สูงสุด 360,000 อิเล็กตรอน แต่ประจุที่เกิดขึ้นจาก Dark Current จำนวน 36,000 อิเล็กตรอน/พิกเซล/วินาที ดังนั้นแต่ละพิกเซลจะมีประจุเต็มหลังจากเวลาผ่านไป 10 วินาทีเป็นต้น โดยทั่วไปการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์มีปริมาณโฟตอนแสงเกิดขึ้นน้อยมาก ทำให้ต้องควบคุมการเปิดรับโฟตอนแสงของซีซีดีนานขึ้นจึงจะได้ปริมาณประจุสะสมที่พิกเซลของซีซีดีเพียงพอที่จะนำไปใช้สร้างสัญญาณภาพ (ค่าประจุที่เกิดขึ้นบนซีซีดีจะแปรผันตรงกับเวลาที่เปิดรับแสง) แต่เนื่องประจุที่เกิดขึ้นที่พิกเซลซีซีดีไม่ได้มาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนแสงกับชั้นสารกึ่งตัวนำของซีซีดีอย่างเดียวแต่ยังมีปัญหา Dark Current เพิ่มเข้ามาทำให้การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในกรณีที่มีแสงน้อยทำได้ยาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาความสัมพันธ์ของประจุที่เกิดขึ้นที่พิกเซลของซีซีดีเนื่องจากคุณสมบัติที่แสดงไว้ตามสมการที่ 2.10 [4]

$$n_{DARK} = \frac{J_D A_D t_{INT}}{q} \quad (2.10)$$

โดยที่ J_D คือความหนาแน่นกระแส Dark Current ที่เกิดขึ้นที่เขตปลอดพาหะประจุซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.11

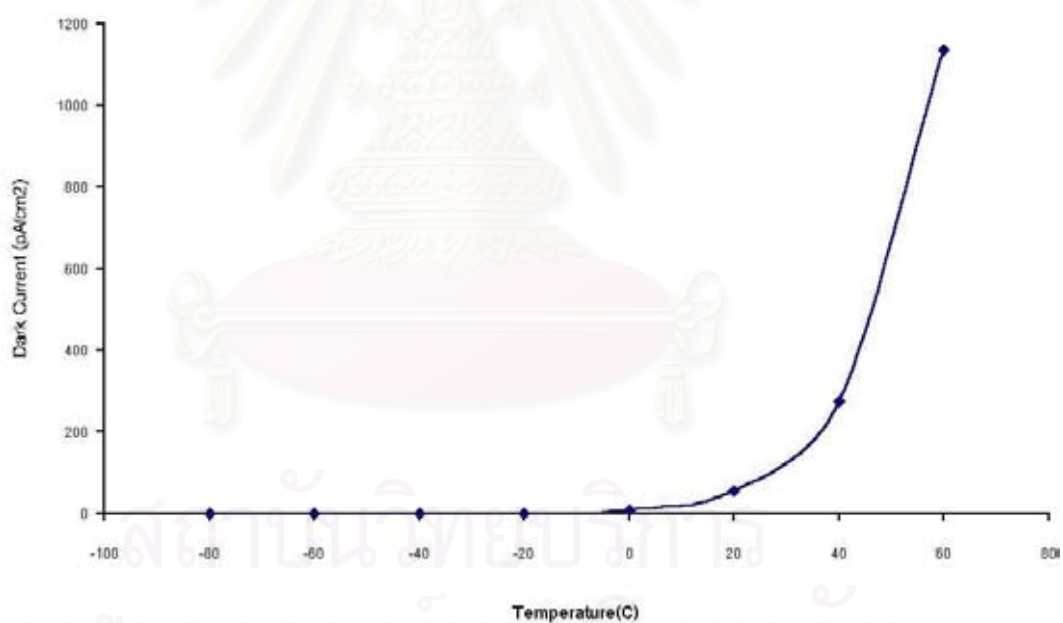
$$J_D \propto T^2 e^{-\frac{(E_G - E_T)}{kT}} \quad (2.11)$$

โดยที่
 T คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Kenvil)
 k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)
 E_G คือ Band Gab
 E_T คือ Impurity Energy Gab

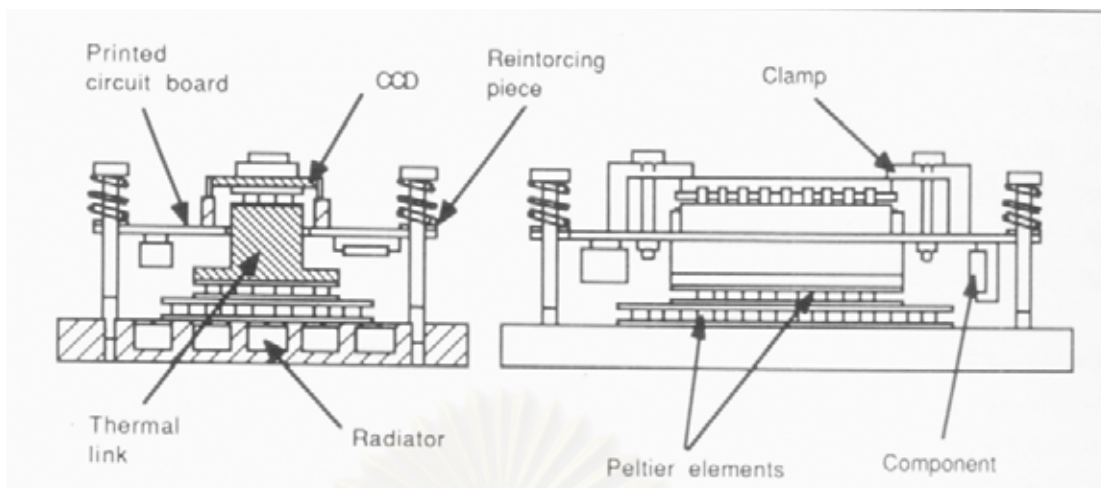
Dark Current จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการทำงานของซีซีดีลดลง โดยการลดลงจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งทุก ๆ 8 ถึง 9°C [4] ตามสมการที่ 2.11 ซึ่งตัวอย่างการลดลงของ Dark Current แสดงตามตารางที่ 2.2 และในรูปที่ 2.26 ในการแก้ปัญหาเรื่องอุณหภูมิการทำงานของซีซีดีมีหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมคือ การใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น (Thermoelectric Cools: TEC) หลักการทำงานของ TEC คือเมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ TEC ก็เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง เป็นผลมาจากกระแสที่ไหลใน TEC ตามแสดงในรูปที่ 2.30 ดังนั้นเมื่อนำด้านที่เย็นไปประกบเข้ากับซีซีดีก็จะทำให้อุณหภูมิการทำงานของซีซีดีต่ำลง ตัวอย่างการใช้งาน TEC สำหรับการลดอุณหภูมิการทำงานของซีซีดีแสดงตามรูปที่ 2.27

ตารางที่ 2.2 ตารางปริมาณ Dark Current สำหรับ TI TC271 (Normalized to 100 pA/cm² at 27C)[4]

| Temperature (C) | Dark Current (pA/cm ²) | Percent Change for 1C | Doubling Temperature |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 60 | 1136 | 6.9 | 10.8 |
| 40 | 276 | 7.7 | 9.5 |
| 20 | 55.8 | 8.6 | 8.4 |
| 0 | 9.02 | 10.2 | 7.2 |
| -20 | 1.11 | 11.2 | 6.2 |
| -40 | 9.58×10^{-2} | 14.1 | 5.3 |
| -60 | 5.33×10^{-3} | 17.0 | 4.4 |
| -80 | 1.66×10^{-4} | 20.9 | 3.6 |



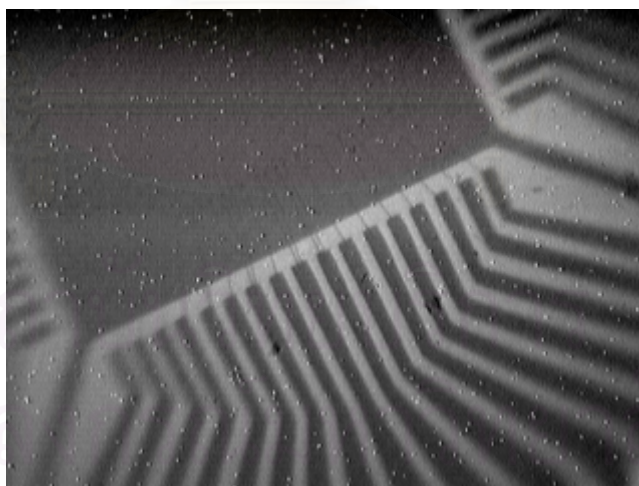
รูปที่ 2.26 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Dark Current กับอุณหภูมิทำงานของซีซีดี



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างการใช้งาน TEC เพื่อลดอุณหภูมิการทำงานของซีซีดี [3]

(2) ไวท์สปอต (White Spot)

เป็นผลมาจากรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับพิกเซลของซีซีดีโดยตรงส่งผลให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเป็นจำนวนมากที่พิกเซลของซีซีดีทำให้สัญญาณที่ได้จากพิกเซลนั้นมีค่าสูงกว่าปกติ ตัวอย่างในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แสดงการเกิด White Spot เนื่องมาจากรังสีเอกซ์
เกิดอันตรกิริยากับพิกเซลของซีซีดีโดยตรง

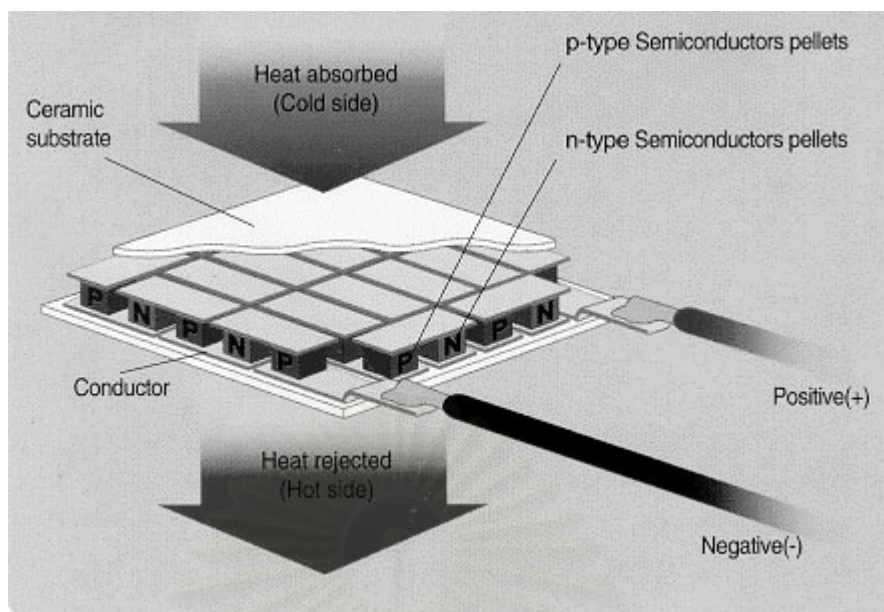
การแก้ปัญหาในส่วนนี้สามารถทำได้โดยการหลีกเลี่ยงไม่ให้ซีซีดีรับรังสีเอกซ์โดยตรง ซึ่งอาจใช้กระจกเป็นตัวสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นที่สารเรืองรังสีเอกซ์มายังซีซีดีแทน หรืออาจจะใช้วัตถุกำบังรังสีเอกซ์ในการกำบังรังสีเอกซ์ไม่ให้โดนซีซีดี หรืออาจแก้ไขด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ หลังจากการถ่ายภาพเสร็จแล้ว

2.4 การออกแบบใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น (Thermoelectric Cools: TEC)

การพัฒนาอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 โดยนักวิทยาศาสตร์ 2 คน โดยคนแรกชื่อ Thomas Seebeck ได้ศึกษาปรากฏการณ์การไหลของกระแสเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นที่จุดเชื่อมต่อของวัสดุสองชนิดโดยกระแสที่ไหลนี้เรียกว่า "Seebeck Current" ซึ่งจากปรากฏการณ์นี้ทำให้พัฒนามาเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์ (Sensor) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ นักวิทยาศาสตร์คนที่ 2 ชื่อ Jean Peltier ได้ศึกษาในปรากฏการณ์ที่ตรงกันข้ามกับ Thomas Seebeck โดยได้จ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังสารตัวนำพบว่ากระแสไฟฟ้าจะส่งผลให้มีการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งซึ่งทราบว่าปรากฏการณ์นี้เป็นผลมาจากการไหลของประจุจึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "Peltier Effect" [10][11]

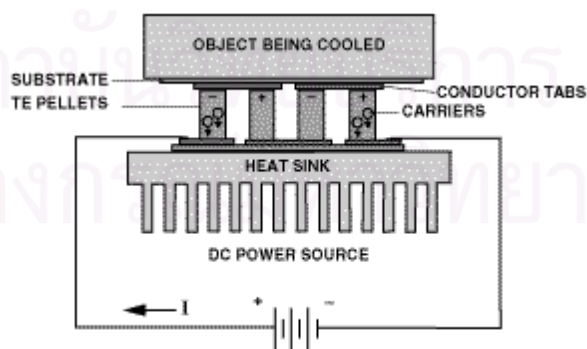
ต่อมามีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำจึงได้มีการออกแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับหล่อเย็นโดยประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด Bismuth Telluride โดยได้ไปให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N แล้วนำมาต่ออนุกรมกันโดยมีแผ่นเซรามิกป้องกันการกระแทกกระเทือนและทำหน้าที่ในการนำความร้อนด้วย ซึ่งนับว่าเป็นโครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็นที่อาศัยปรากฏการณ์ของ Peltier ที่ใช้งานในปัจจุบันแสดงในรูปที่ 2.29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น

การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็นเกิดจากการนำความร้อนโดยประจุที่ไหลในสารกึ่งตัวนำ ถ้าพิจารณาการไหลของกระแสที่เกิดขึ้นที่สารกึ่งตัวนำที่ต่ออนุกรมกันพบว่าการไหลของประจุบวกและประจุลบจะมีการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งตามทิศทางเคลื่อนที่ของประจุ ตามที่แสดงในรูป 2.30 และพบว่าเมื่อจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่งให้กับ TEC จะเกิดมีกระแสไหลขึ้นทำให้ความร้อนจากด้านหนึ่งถูกส่งผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งโดยอาศัยประจุที่ไหลในสารกึ่งตัวนำจึงทำให้อุณหภูมิที่ด้านหนึ่งลดต่ำลงและด้านที่ตรงกันข้ามก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 2.30 แสดงการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น

การใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็นก็เพื่อทำการลดอุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ซีพียู เลเซอร์ไดโอด อุปกรณ์ทำความเย็น เป็นต้น ซึ่งจะต้องมีส่วนประกอบหลัก ดังนี้ คือ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก แผ่นระบายความร้อน พัดลมระบายความร้อน โคนล์ฟิงเกอร์ (Cold Finger) ที่ทำหน้าที่นำความเย็นไปยังอุปกรณ์และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ในการออกแบบใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็นจะต้องพิจารณาถึงตัวแปรต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การออกแบบสำหรับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ทำงานที่อุณหภูมิ 25°C (T_C) โดยอุณหภูมิปกติ (T_A) จะทำงานที่ 50°C และมีค่า Heat load (Q) ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็น 15 วัตต์ เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ด้านร้อนทั้งหมดจะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.12

$$Q = 15 \text{ Watt (heat load from electronics component)}$$

$$T_A = 50^{\circ}\text{C (Maximum ambient air temperature)}$$

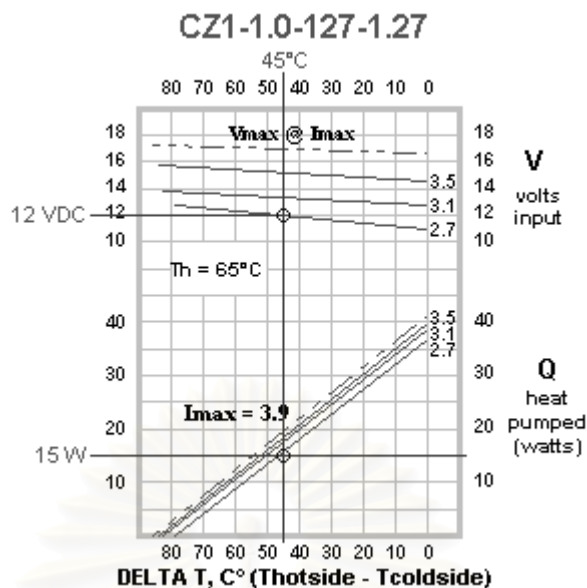
$$T_C = 25^{\circ}\text{C (required temperature of electronic component)}$$

$$R_T = \text{Thermal resistance of heat sink } ^{\circ}\text{C/W}$$

$$T_H = T_A + ((V \times I) + Q)R_T \quad (2.12)$$

$$T_H = 50^{\circ}\text{C} + 15^{\circ}\text{C} = 65^{\circ}\text{C} \quad (2.13)$$

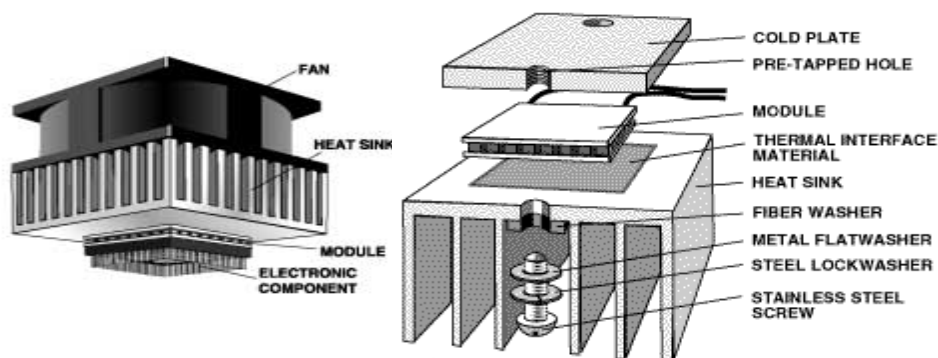
$$\Delta T = T_H - T_C = 40^{\circ}\text{C} \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.31 แสดงแสดงประสิทธิภาพการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก
ชนิด CZ1-1.0-127-1.27 [11]

ดังนั้นเมื่อได้ค่าต่าง ๆ แล้วจึงมาพิจารณาการใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกจากกราฟแสดงประสิทธิภาพการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละตัว ในที่นี้จะยกตัวอย่างเทอร์โมอิเล็กทริก ชนิด CZ1-1.0-127-1.27 ที่มีกราฟแสดงประสิทธิภาพดังรูปที่ 2.31 ซึ่งจากกราฟจะเลือกใช้งานที่ ΔT เท่ากับ 45°C และเลือก Heat Load ที่ 15 วัตต์ ซึ่งจากกราฟจะพบว่ากระแสที่ช่วงนั้นจะเท่ากับ 2.7A และมีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 12V_{DC} เพราะฉะนั้นทำให้ทราบว่าจะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12V_{DC} ที่ 2.7A เป็นอย่างน้อย และในการเลือกใช้แผ่นระบายความร้อน (Heat sink) จะต้องพิจารณาค่า Thermal resistance ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.15 การใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบเสร็จแล้วแสดงได้ตามรูปที่ 2.32

$$R_T = (T_H - T_L) / ((V \times I) + Q) = (15^{\circ}\text{C} / 32.4\text{W}) + 15\text{W} = 0.32^{\circ}\text{C} / \text{W} \quad (2.15)$$



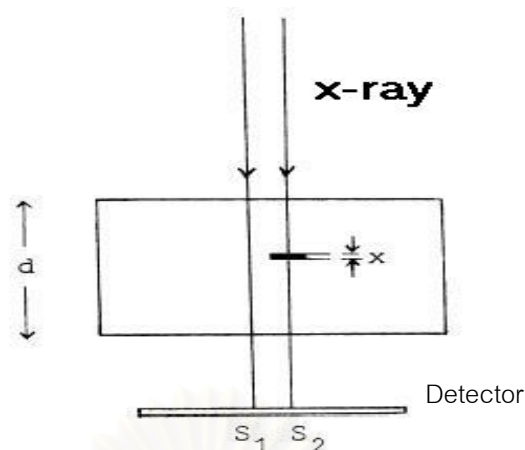
รูปที่ 2.32 แสดงการประกอบการใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น [11]

2.5 ระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

2.5.1 หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านวัตถุจะถูกลดทอนความเข้มรังสีเอกซ์โดยตัวกลาง พิจารณารูปที่ 2.33 กำหนดให้ชิ้นงานประกอบด้วยวัตถุสองชนิดโดยที่วัตถุที่อยู่ตรงกลางเป็นวัตถุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์มากกว่าวัตถุที่อยู่รอบ ๆ เพราะฉะนั้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรวมในแนว S1 จะมีค่าน้อยกว่าในแนว S2 ซึ่งหมายความว่าความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุในแนว S1 จะมีความเข้มรังสีมากกว่าในแนว S2 เมื่อนำฟิล์มไปรับรังสีเอกซ์ที่ด้านหลังวัตถุ อันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับฟิล์มก็จะทำให้เกิดภาพแฝงขึ้นบนฟิล์ม และสามารถคำนวณหาค่าความเปรียบต่าง (Contrast) ของภาพที่ได้ตามสมการที่ 2.16

$$C = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.33 แสดงพื้นฐานการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

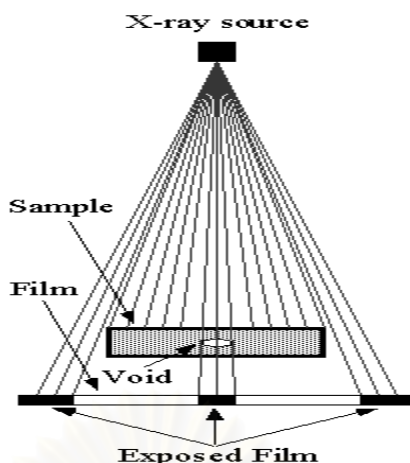
เมื่อพิจารณาการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานเดียว (Monoenergetic Photon) โดยไม่มีการกระเจิงของรังสีเอกซ์เกิดขึ้น ค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ได้หลังจากผ่านวัตถุในรูปที่ 2.33 จะมีค่าเป็นไปตามสมการที่ 2.17 สำหรับความเข้มที่จุด S_1 และ สมการที่ 2.18 สำหรับความเข้มที่จุด S_2 เพราะฉะนั้นค่าความเปรียบต่าง (Contrast) จะเป็นไปตามสมการที่ 2.19

$$I_{S_1} = I_0 e^{-\mu_1 x} \quad (2.17)$$

$$I_{S_2} = I_0 e^{-\mu_2 x} e^{-\mu_1 (d-x)} \quad (2.18)$$

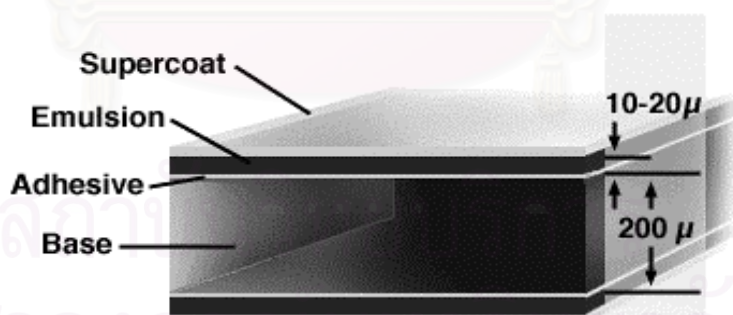
$$\text{Contrast} = 1 - e^{-(\mu_2 - \mu_1)x} \quad (2.19)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.34 แสดงการจัดระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้เทคนิคฟิล์ม

การจัดระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในยุคแรก ๆ จะใช้ฟิล์มเป็นตัวบันทึกภาพ ซึ่งระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้เทคนิคฟิล์มแสดงได้ดังรูปที่ 2.34 โดยที่ฟิล์มสำหรับถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์มีโครงสร้างที่ประกอบด้วย ชั้นนอกสุดเป็นส่วนของเจลาตินบาง ๆ ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อชั้นอิมัลชันซึ่งเป็นชั้นที่ถัดลงมาจากชั้นเจลาตินในชั้นนี้ประกอบไปด้วยผลึกของเงินโปรไมด์ (Silver Bromide, AgBr) ผสมกับเจลาตินที่มีเงินไอโอดด์ (Silver Iodide, AgI) ผสมอยู่เพื่อเพิ่มความไวของฟิล์มโดยชั้นนี้จะเป็นชั้นที่ทำให้เกิดภาพ ชั้นซับสตราตัม (Substratum) จะเป็นชั้นที่ทำหน้าที่ยึดเกาะชั้นอิมัลชันเข้ากับแผ่นพลาสติกใสที่อยู่ตรงกลาง แสดงในรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 แสดงโครงสร้างของฟิล์มสำหรับถ่ายภาพรังสีเอกซ์



ภาพบนฟิล์มนั้นเกิดจากรังสีเอกซ์ทำปฏิกิริยากับฟิล์มตามแสดงในสมการที่ 2.20 ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดบนฟิล์มจะแปรผันตรงกับความเข้มของรังสีเอกซ์ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะส่งผลทำให้ฟิล์มมีสีดำ หลังจากผ่านกระบวนการล้างฟิล์มก็จะทำให้เกิดเป็นภาพขึ้นบนฟิล์ม ขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่การถ่ายภาพจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของการเกิดภาพบนฟิล์มมีขั้นตอนดังนี้ [1]

(1) ดีเวลอปิง (Developing) เป็นกระบวนการรีดิวซ์เงินฮาลอเจนที่เกิดจากเงินโปรไมด์ไอออนรังสีเอกซ์ให้เป็นโลหะเงินซึ่งมีสีดำ โดยใช้สารละลายที่เป็นด่าง

(2) สต๊อปบาธ (Stop Bath) เป็นกระบวนการทำให้สารละลายดีเวลอปเปอร์ที่ตกค้างอยู่ให้กลายเป็นกลางโดยใช้สารละลายที่เป็นกรด น้ำยาสต๊อปบาธนี้จะเป็นส่วนผสมระหว่างน้ำกับกรดอะซิติก (acetic acid) หรือ อาจจะใช้ น้ำเปล่าไหลผ่านก็ได้

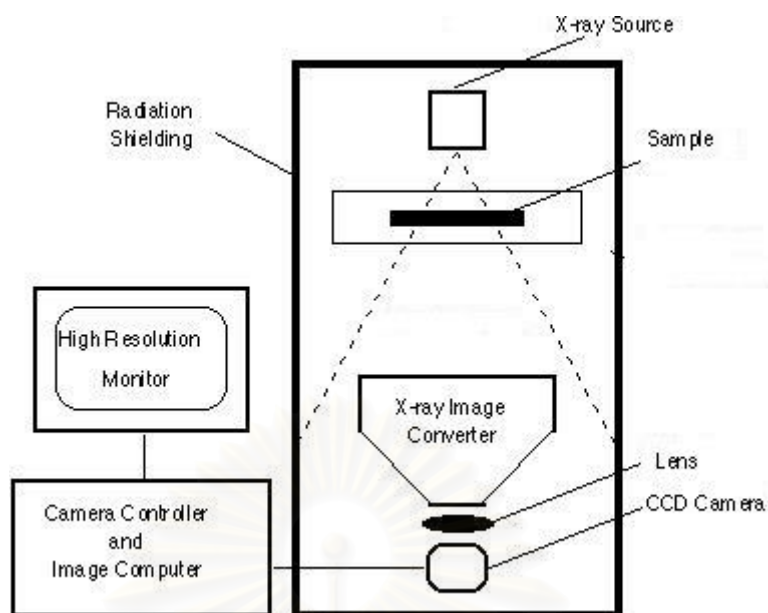
(3) ฟิกซิง (Fixing) เป็นกระบวนการล้างผลึกของเงินโปรไมด์ที่ไม่ถูกรังสีเอกซ์ทำปฏิกิริยาออกจากแผ่นฟิล์ม โดยใช้สารละลายที่เป็นกรด นอกจากนี้ยังช่วยให้เจลาตินในฟิล์มยึดตัวและช่วยให้สารละลายดีเวลอปเปอร์ที่ตกค้างอยู่มีสภาพเป็นกลาง

(4) ล้างน้ำ เป็นขั้นตอนที่ล้างเอาสารละลายที่ตกค้างออกด้วยน้ำ

(5) เวตติง (Wetting) เป็นกระบวนการแช่ฟิล์มในสารละลายลดความตึงผิว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดหยดน้ำเกาะบนฟิล์ม เพราะถ้ามีหยดน้ำเกาะบนฟิล์มเวลาฟิล์มแห้งจะทำให้มีคราบปรากฏอยู่บนฟิล์ม

คุณภาพของภาพที่ได้จากการถ่ายภาพในระบบฟิล์มจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของฟิล์ม พลังงานของรังสีเอกซ์และความเข้มของรังสีเอกซ์ ความคมชัดของภาพจะขึ้นอยู่กับขนาดของผลึกเงินโปรไมด์ของฟิล์มโดยฟิล์มที่มีผลึกเงินโปรไมด์ขนาดโตกว่าก็จะให้ภาพที่หยากกว่าภาพที่มีผลึกเงินโปรไมด์ที่มีขนาดเล็กกว่า แต่ใช้เวลาในการถ่ายภาพสั้นกว่า ส่วนความเปรียบต่างของภาพนั้นจะขึ้นอยู่กับความชันกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มกับรังสีเอกซ์ ซึ่งการตอบสนองของฟิล์มจะไม่เป็นเชิงเส้น แสดงในรูปที่ 2.42 นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับกระบวนการล้างฟิล์มเพราะถ้าไม่ควบคุมเวลาในขั้นตอนต่าง ๆ คุณสมบัติของน้ำยาเคมีที่ใช้ รวมถึงห้องที่ใช้สำหรับล้างฟิล์มก็จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของภาพที่ได้

การถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลพร้อมกับสารเรืองรังสีเอกซ์ มีการจัดระบบถ่ายภาพคล้ายกับการถ่ายภาพระบบฟิล์มเพียงแต่เปลี่ยนจากฟิล์มมาเป็นกล้องดิจิทัลแทน โดยกล้องดิจิทัลจะทำหน้าที่รับแสงที่เกิดขึ้นที่สารเรืองรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.36



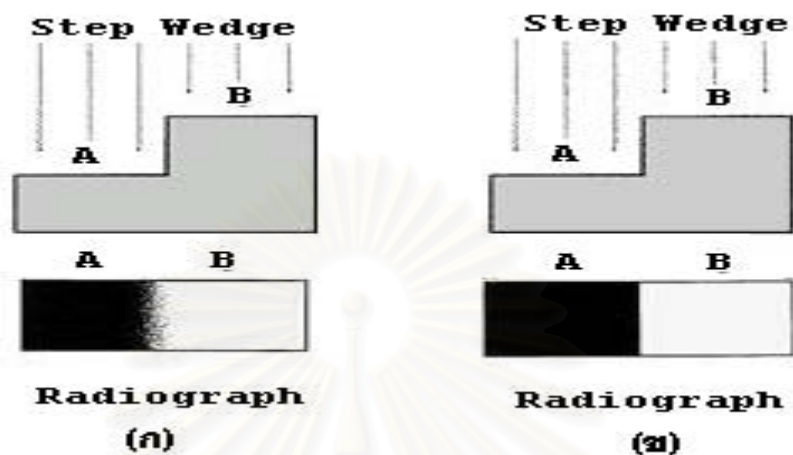
รูปที่ 2.36 แสดงการจัดระบบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้กล้องดิจิตอลร่วมกับสารเรืองรังสี

หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ คือ เมื่อรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านจากวัตถุตัวอย่างเกิดอันตรกิริยากับฉากเรืองรังสีเอกซ์ หรือสารเรืองรังสีเอกซ์จะเกิดแสงสว่างขึ้น แสงสว่างที่ได้จะถูกตรวจจับโดยซีซีดีผ่านกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ไปแสดงเป็นภาพบนหน้าจอต่อไป สำหรับการเก็บบันทึกภาพที่ได้จะเก็บอยู่ในฟอร์แมตของรูปภาพต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อมูลตัวเลข ทำให้ง่ายสำหรับการวิเคราะห์ภาพ หรือปรับปรุงภาพด้วยซอฟต์แวร์ คุณภาพของภาพที่ได้จากการถ่ายภาพในเทคนิคนี้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของซีซีดี สารเรืองรังสีเอกซ์ที่ใช้เป็นฉากเรืองแสง ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแคปเจอร์ (Capture) ภาพ และรูปแบบของการเก็บข้อมูลภาพรวมถึงอุปกรณ์แสดงผลภาพ

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์

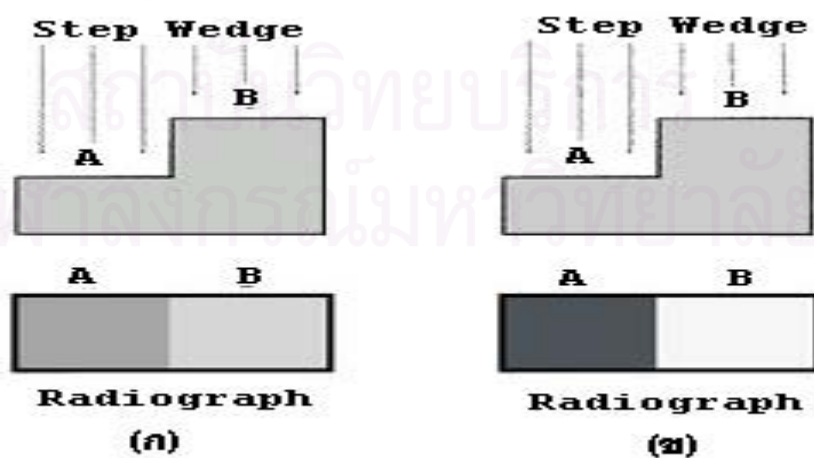
การตรวจสอบแบบไม่ทำลายมีจุดประสงค์เพื่อต้องการตรวจหาความผิดปกติภายในวัตถุที่ไม่สามารถจำแนกความผิดปกติได้ด้วยตาเปล่า การถ่ายภาพรังสีเอกซ์เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งซึ่งจะได้ภาพถ่ายในระบบภาพสองมิติ ดังนั้นคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์จึงมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการวิเคราะห์ เนื่องจากภาพถ่ายที่ถูกต้องจะสามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้องเกี่ยวกับวัตถุที่นำมาตรวจสอบ การพิจารณาคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์นั้นจะมีหลักเกณฑ์การพิจารณาดังนี้ [1]

(1) ความคมชัดของภาพ (Sharpness) หมายถึง ภาพถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จะต้องแสดงรายละเอียดของขอบภาพอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.37 (ข) จะเห็นว่ามีความคมชัดของขอบภาพที่สูงกว่าภาพในรูปที่ 2.37 (ก)



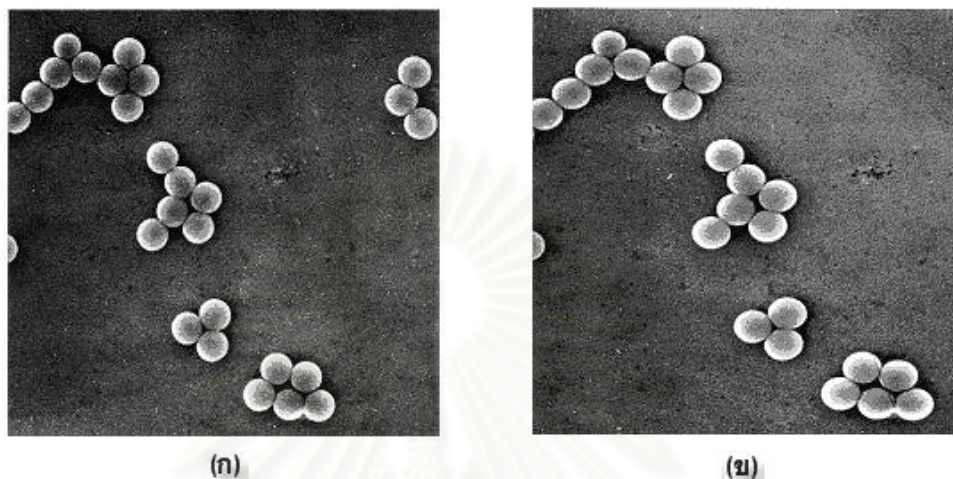
รูปที่ 2.37 เปรียบเทียบความคมชัดของภาพ

(2) ภาพที่ได้ต้องมีความเปรียบต่างสูง (High Contrast) หมายถึง ความเข้มของระดับสีในบริเวณที่ต้องการพิจารณานั้นมีความแตกต่างกับบริเวณรอบ ๆ อย่างชัดเจน ซึ่งถ้ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนก็จะทำให้สามารถที่จะจำแนกรายละเอียดของภาพได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่น ภาพในรูปที่ 2.38 จะเห็นว่าภาพที่แสดงในรูป 2.38(ข) ให้ความเปรียบต่างที่ดีกว่าภาพในรูปที่ 2.38(ก)



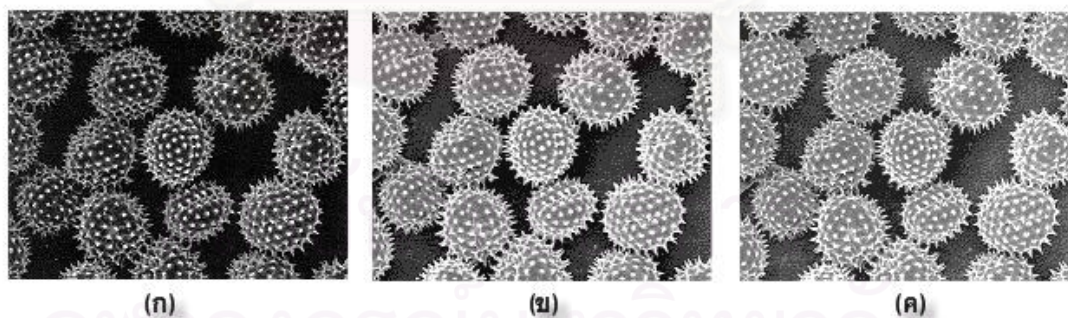
รูปที่ 2.38 เปรียบเทียบความเปรียบต่างของภาพ

(3) ภาพที่ได้จะต้องมีความบิดเบือนน้อยที่สุด (Minimum Distortion) หมายถึง ข้อมูลของภาพที่ได้จากการถ่ายภาพจะต้องมีข้อมูลที่ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.39 (ก) และ (ข)



รูปที่ 2.39 (ก) เป็นภาพที่ไม่มีการบิดเบือน รูปที่ 2.39 (ข) ภาพที่เกิดการบิดเบือนในแนวนอน

(4) ระดับความดำพอเหมาะ (Aduqate Density) หมายถึง ภาพที่ได้ต้องไม่ดำหรือขาวเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 2.40 (ก) เป็นภาพที่มีความดำมากเกินไป ในรูปที่ 2.40 (ข) เป็นภาพที่มีความดำพอเหมาะ ในขณะที่รูปที่ 2.40 (ค) มีความขาวของภาพมากเกินไป



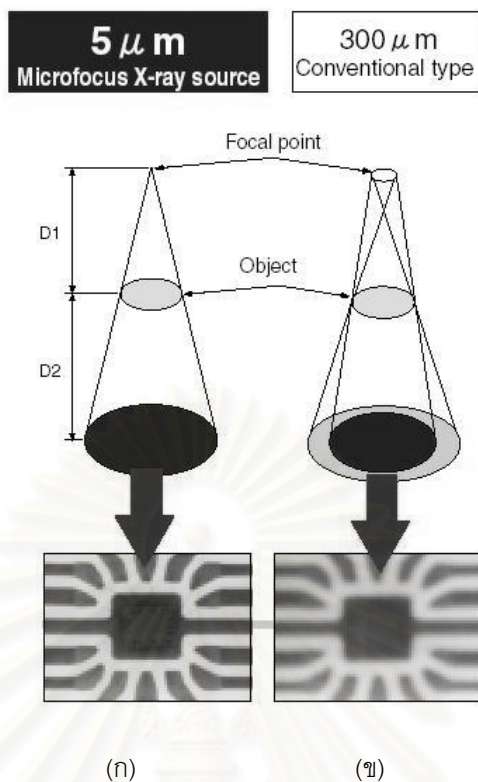
รูปที่ 2.40 แสดงการเปรียบเทียบความดำของภาพ

แต่ในทางปฏิบัติการถ่ายภาพรังสีเอกซ์นั้นจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของภาพที่ได้ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

2.5.2.1 แหล่งกำเนิดรังสีและคุณสมบัติของชิ้นงานตัวอย่าง

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีขึ้นอยู่กับค่าของเลขอะตอม ดังนั้นการถ่ายภาพรังสีเอกซ์จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาธาตุที่เป็นส่วนประกอบของชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาถ่าย เช่น ในกรณีที่ต้องการถ่ายภาพสิ่งมีชีวิต โดยส่วนมากต้องการที่จะศึกษาความผิดปกติของกล้ามเนื้อและการศึกษาโครงสร้างภายใน ซึ่งในชิ้นส่วนต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยธาตุหลาย ๆ ชนิดประกอบเข้าด้วยกัน เพราะฉะนั้นถ้าต้องการถ่ายภาพรังสีเอกซ์เพื่อศึกษาความผิดปกติของกระดูกภาพที่ได้ก็ต้องให้รายละเอียดของกระดูกอย่างชัดเจน คือสามารถที่จะแยกความแตกต่างของกระดูกกับกล้ามเนื้อรอบ ๆ ได้ ซึ่งการเลือกพลังงานรังสีเอกซ์สำหรับการถ่ายภาพจำเป็นที่จะต้องเลือกในจุดที่ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ระหว่างสิ่งที่ต้องการศึกษากับสิ่งที่อยู่รอบ ๆ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน การเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับชิ้นงานตัวอย่างและชนิดของรังสีเอกซ์ก็จะส่งผลกระทบต่อความคมชัดของภาพที่ได้เพราะถ้ารังสีเอกซ์เกิดทำอันตรกิริยากับชิ้นงานตัวอย่างหลายครั้งก็จะทำให้ความคมชัดของภาพลดลง ขณะเดียวกันถ้าถ่ายภาพด้วยแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัสก็จะให้ภาพที่คมชัดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.41 นอกเหนือไปจากนั้นพลังงานของรังสีเอกซ์ยังถูกใช้เป็นข้อกำหนดที่สำคัญสำหรับการถ่ายภาพ เพราะถ้าพลังงานรังสีเอกซ์ไม่เพียงพอที่จะทะลุผ่านชิ้นงานตัวอย่างก็จะไม่สามารถที่จะเกิดเป็นภาพได้ ซึ่งในตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงข้อกำหนดสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ในทำนองเดียวกันถ้าความเข้มของรังสีเอกซ์มีค่าต่ำก็จำเป็นที่จะต้องใช้ฉากเรืองรังสีเอกซ์เข้ามาช่วยในการถ่ายภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.41 แสดงความคมชัดของภาพที่ถ่ายจากแหล่งกำเนิดรังสีชนิด

(ก) แบบไมโครโฟกัส

(ข)แบบทั่วไป [7]

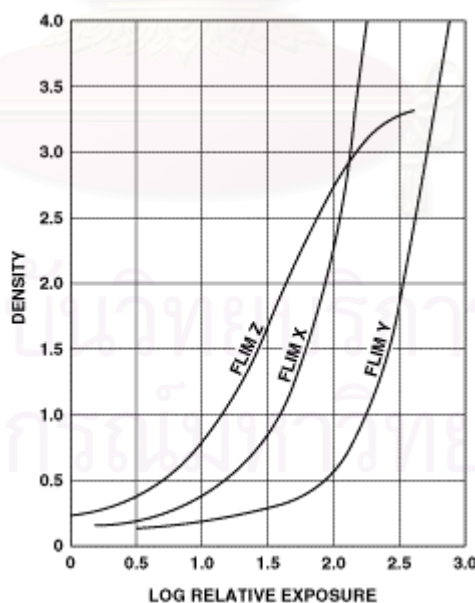
ตารางที่ 2.3 แสดงข้อกำหนดของพลังงานรังสีเอกซ์กับงานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ [10]

| Maximum voltage (kV) | Screens | Applications and Approximate Thickness Limits |
|----------------------|-------------------|--|
| 50 | None | Thin sections of most metals; moderate thickness of graphite and beryllium; small electronic components; wood, plastics, etc |
| 150 | None or lead foil | 5-inch aluminum or equivalent. 1-inch steel or equivalent |
| | Fluorescent | 1 ¹ / ₂ -inch steel or equivalent. |
| 300 | Lead foil | 3-inch steel or equivalent |
| | Fluorescent | 4-inch steel or equivalent |
| 400 | Lead foil | 3 ¹ / ₂ -inch steel or equivalent. |
| | Fluorescent | 4 ¹ / ₂ -inch steel or equivalent. |
| 1000 | Lead foil | 5-inch steel or equivalent. |
| | Fluorescent | 8-inch steel or equivalent. |
| 2000 | Lead foil | 8-inch steel or equivalent. |
| 8 to 25 MeV | Lead foil | 16-inch steel or equivalent. |
| | Fluorescent | 20-inch steel or equivalent |

2.5.2.2 อุปกรณ์รับภาพถ่ายรังสีเอกซ์

การถ่ายภาพรังสีเอกซ์เป็นการตรวจวัดปริมาณรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งโดยทั่วไปมนุษย์ไม่สามารถที่จะสังเกตเห็นความแตกต่างของปริมาณรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านชิ้นงานตัวอย่างออกมาได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถในการตรวจวัดระดับความแตกต่างของปริมาณรังสีเอกซ์ สำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ในยุคแรกจะใช้ฟิล์มเป็นอุปกรณ์บันทึกภาพ แต่ปัจจุบันการถ่ายภาพแบบดิจิทัลเข้ามามีบทบาทมากขึ้นทำให้มีการเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์วัดที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์

ในระบบฟิล์มคุณภาพของภาพถ่ายจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของฟิล์ม ดังนั้นการเลือกฟิล์มให้เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ในเงื่อนไขต่าง ๆ ก็ส่งผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ ในกรณีที่ต้องการความรวดเร็วในการถ่ายภาพก็ต้องเลือกฟิล์มที่มีขนาดเกรนของเงินโบรไมด์ใหญ่ขึ้นเป็นผลให้ความละเอียดของภาพที่ได้นั้นลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าต้องการความละเอียดของภาพที่เพิ่มขึ้นก็ต้องเลือกฟิล์มที่มีขนาดเกรนของเงินโบรไมด์ที่มีขนาดเล็กลงแต่ก็ต้องใช้เวลาในการถ่ายภาพนานขึ้น สำหรับเรื่องความคมชัดของภาพนั้นสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์ม ดังแสดงในรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 กราฟแสดงคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มแต่ละชนิด [10]

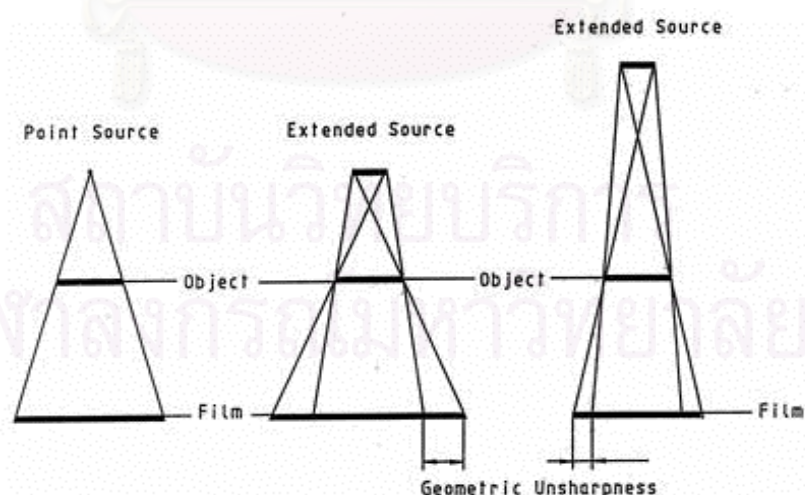
ในการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ด้วยกล้องซีซีดีคุณภาพของภาพจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของซีซีดีโดยตรง เช่นความละเอียดของภาพก็จะขึ้นอยู่กับขนาดของพิกเซลของซีซีดี การตอบสนองของแสงก็จะมีความสัมพันธ์กับค่า Quantum Efficiency ของซีซีดีแต่ละรุ่น และปัญหาของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการทำงานที่อุณหภูมิของซีซีดีแต่ละรุ่นก็จะไม่เท่ากัน ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานั้นจะส่งผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์

2.5.2.3 การจักระบบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์

การจักระบบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์มีผลต่อความคมชัดของภาพรังสีเอกซ์ที่ได้ เพราะการถ่ายภาพรังสีเอกซ์บางครั้งจำเป็นที่จะต้องจักระบบให้เหมาะสมเพื่อจะได้ข้อมูลของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ตรงตามความต้องการ การจักระบบที่ผิดพลาดจะทำให้ได้ข้อมูลที่ผิดหรือมีความบิดเบือนจากความเป็นจริงตามไปด้วย ซึ่งข้อจำเป็นที่ควรพิจารณาในการจักระบบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์มีดังต่อไปนี้

(1) ขนาดโฟกัสของแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์

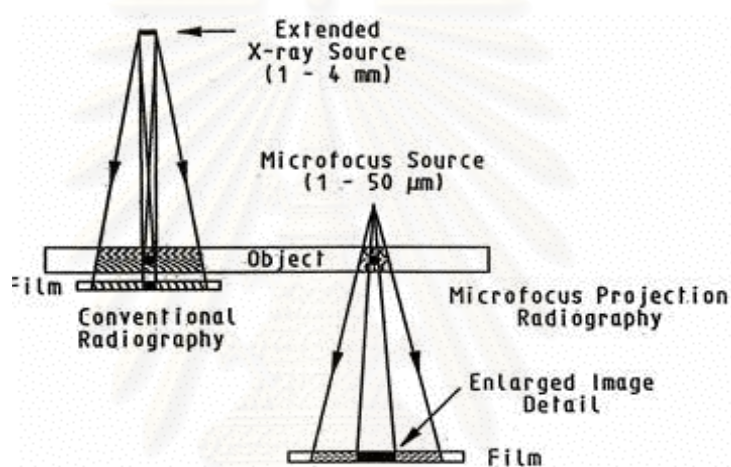
ในการเลือกใช้งานแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงขนาดโฟกัสของรังสีเอกซ์ เพราะว่าถ้าขนาดโฟกัสของแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์มีขนาดใหญ่จะทำให้ส่วนขอบของภาพถ่ายที่ได้เบลอมากขึ้น และส่งผลให้ภาพถ่ายที่ได้ไม่คมชัด ดังแสดงในรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 แสดงขนาดของโฟกัสของแหล่งกำเนิดรังสีต่อคุณภาพของภาพที่ได้

(2) ระยะห่างระหว่างชิ้นงานตัวอย่างกับอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีเอกซ์

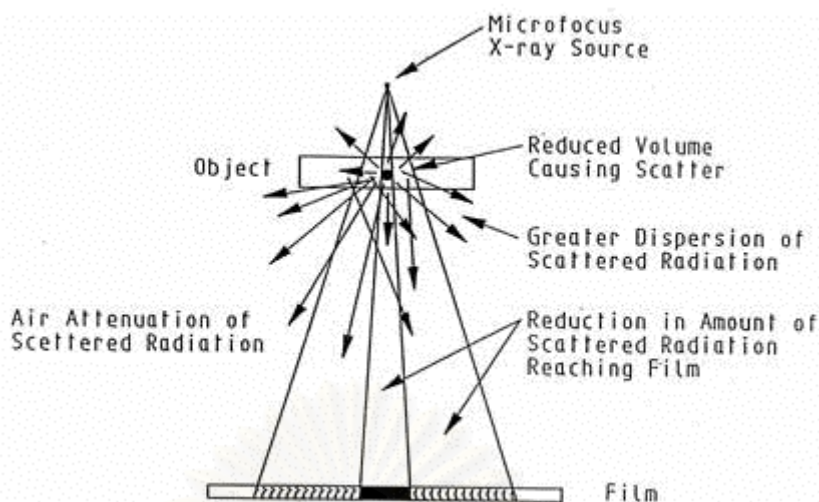
ในกรณีที่ต้องการที่จะขยายภาพถ่ายรังสีเอกซ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้นจำเป็นที่จะต้องจัดระบบให้ระยะห่างระหว่างวัตถุกับอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดของแหล่งกำเนิดรังสีมีขนาดใหญ่ก็จะส่งผลให้ส่วนของขอบภาพเบลอมากขึ้นกว่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.43 และรูปที่ 2.44 เพราะฉะนั้นการขยายภาพถ่ายรังสีเอกซ์จึงจำเป็นที่จะต้องให้ขนาดของแหล่งกำเนิดรังสีมีขนาดเล็ก ในปัจจุบันได้ใช้แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัสซึ่งขนาดของโฟกัสจะอยู่ในระดับไมโครเมตรทำให้เหมาะสำหรับการถ่ายภาพแบบขยาย



รูปที่ 2.44 เปรียบเทียบขนาดโฟกัสของแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์กับการถ่ายภาพแบบขยาย

(3) เกิดจากการกระเจิงของรังสีเอกซ์ภายในชิ้นงานตัวอย่าง

รังสีเอกซ์ที่เคลื่อนผ่านชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาถ่ายภาพมีการกระเจิงของรังสีเอกซ์ในทุกทิศทาง ทำให้รังสีเอกซ์ที่ตกกระทบอุปกรณ์ตรวจวัดไม่มีความเป็นระเบียบส่งผลให้ความคมชัดและความเปรียบต่างของภาพที่ได้ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.45



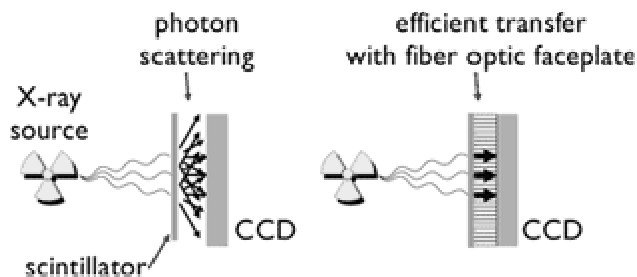
รูปที่ 2.45 แสดงการกระเจิงของรังสีเอกซ์ภายในวัตถุที่นำมาถ่ายภาพ

(4) ลักษณะการวางชิ้นงานตัวอย่าง

การจัดวางชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์จำเป็นที่จะต้องพิจารณา เพราะการวางชิ้นงานตัวอย่างในรูปแบบต่างกันจะให้ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่ต่างกัน และอาจจะไม่ ได้ข้อมูลที่ต้องการจากภาพถ่าย ดังนั้นก่อนที่จะถ่ายภาพรังสีเอกซ์จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงรายละเอียดที่ต้องการจะศึกษา เช่น การที่จะศึกษารายละเอียดของการเชื่อมต่อนของเส้นลวดในไอซี ซึ่ง ถ้าจัดรูปแบบการวางชิ้นงานตัวอย่างผิดไป ก็จะทำให้รายละเอียดที่ต้องการนั้นไม่สามารถที่จะ แสดงให้เห็นได้จากภาพถ่ายรังสีเอกซ์ เป็นต้น

(5) ลักษณะของสารเรืองรังสีเอกซ์

สารเรืองรังสีเอกซ์เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ไปเป็น ความยาวคลื่นของแสงตามแต่ชนิดของสารเรืองรังสี ซึ่งการตอบสนองของสารเรืองรังสีเอกซ์นั้นจะ ไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อเทียบกับพลังงาน สารเรืองรังสีเอกซ์แต่ละชนิดจะให้ความยาวคลื่นของแสงที่ แตกต่างกัน และความเข้มของแสงก็แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการเลือกสารเรืองรังสีเอกซ์จำเป็นที่จะต้องพิจารณา พลังงานของรังสีเอกซ์ที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพ และความยาวคลื่นของแสงที่ได้จาก สารเรืองรังสีเอกซ์เพื่อให้สอดคล้องกับอุปกรณ์รับแสง และนอกจากนั้นลักษณะโครงสร้างของสาร เรืองรังสีเอกซ์ยังมีผลต่อคุณภาพของภาพที่ได้แสดงตามรูปที่ 2.46



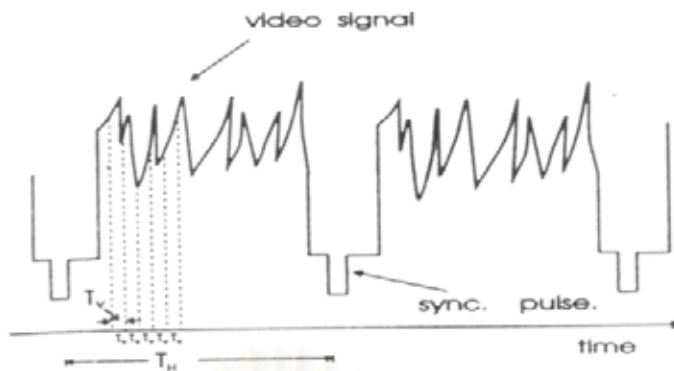
รูปที่ 2.46 แสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งผ่านแสงไปยังซีซีดี
โดยใช้ไฟเบอร์ออปติก

2.5.2.4 อุปกรณ์แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์

อุปกรณ์แสดงภาพนับว่าเป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง เพราะเป็นสื่อกลางที่จะนำภาพที่ได้จากการถ่ายภาพแสดงให้ผู้วิเคราะห์ เช่น การแสดงภาพทางจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจอแต่ละประเภทก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันถ้าในกรณีที่ใช้จอที่มีคุณภาพต่ำก็จะทำให้ภาพที่ได้มีการผิดเพี้ยนไปได้ซึ่งจะส่งผลต่อการวิเคราะห์หาความผิดพลาดของวัตถุ

2.6 การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์

การตรวจสอบวัตถุโดยใช้การถ่ายภาพรังสีเอกซ์ ภาพที่ได้จะเป็นภาพ 2 มิติซึ่งมีข้อมูลของภาพในส่วนที่เล็กที่สุดเรียกว่า “พิกเซล (Pixel)” ซึ่งแต่ละพิกเซลจะเก็บข้อมูลของภาพที่เป็นค่าสีของพิกเซลนั้น ๆ ซึ่งในกรณีของการถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้กล้องซีซีดีค่าสีแต่ละพิกเซลจะมาจากการแปลงระดับของสัญญาณวิดีโอให้เป็นข้อมูลตัวเลข (Analog to Digital Converter) โดยใช้วิดีโอแคปเจอร์การ์ด ซึ่งความละเอียดของภาพจะขึ้นอยู่กับการแบ่งย่อยสัญญาณในหนึ่งเส้นสแกน (Sampling Rate) ยิ่งแบ่งมากข้อมูลของภาพก็ยิ่งมีความละเอียดมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 แสดงการ Sampling สัญญาณวิดีโอเพื่อแปลงเป็นค่าดิจิทัล [4]

การปรับปรุงคุณภาพของภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแต่ละพิกเซลของภาพตามความต้องการของผู้ใช้ เช่น การเพิ่มความคมชัดของภาพ การปรับความสว่างของภาพ การตรวจสอบขอบของภาพหรืออาจจะเป็นการออกแบบฟังก์ชันพิเศษสำหรับการปรับปรุงภาพ ซึ่งจะอธิบายเป็นข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

2.6.1 การปรับปรุงความสว่างและความคมชัดของภาพ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงความสว่างของภาพหมายถึงการเปลี่ยนแปลงระดับค่าของสีในอัตราที่เท่ากันทุกพิกเซลของภาพ ถ้าค่าสีที่ทำการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นภาพที่ได้ก็จะสว่างเพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีต่ำลงภาพที่ได้ก็จะสว่างน้อยลง หรือมืดขึ้น ส่วนในการปรับปรุงความคมชัดของภาพก็เพื่อเพิ่มความแตกต่างของค่าสีให้มากขึ้น

2.6.2 การปรับปรุงภาพโดยใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชัน

การออกแบบฟังก์ชันฟิลเตอร์เพื่อการปรับปรุงภาพนั้นจะสามารถที่กระทำได้สองแบบคือทำการปรับปรุงภาพใน Frequency Domain และ Spatial Domain แต่เนื่องจากว่าการทำงานใน Frequency Domain นั้นการเขียนโปรแกรมจัดการค่อนข้างยุ่งยากจึงเลือกใช้แบบ Spatial Domain ซึ่งสามารถที่จะเขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่า การปรับปรุงวิธีนี้บางที่เรียกว่า “Area Processing” โดยอาศัยตัวดำเนินการ (operator) หรือที่เรียกว่า “Mask” ซึ่งเป็นเมตริกขนาด $M \times M$ เป็นตัวจัดการ เช่น ถ้ากำหนดให้ $h(m,m)$ เป็นเมตริกขนาด $M \times M$ และ $f(x,y)$ เป็นของ

มูลเชิงตัวเลขของภาพดั่งนั้นข้อมูลของภาพที่ได้หลังจากการปรับปรุงจะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.21

$$g(X, Y) = h(m, m) \otimes f(x, y) \quad (2.21)$$

การปรับปรุงภาพใน Spatial Domain นั้นมีหลายแบบ เช่น การกรองความถี่สูงผ่าน (high pass filter) การกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter) หรืออาจจะเป็นการตรวจหาขอบของภาพ (edge detection) เช่น แบบ Sobel Operators แบบ Robert Operator ซึ่งอธิบายดังต่อไปนี้

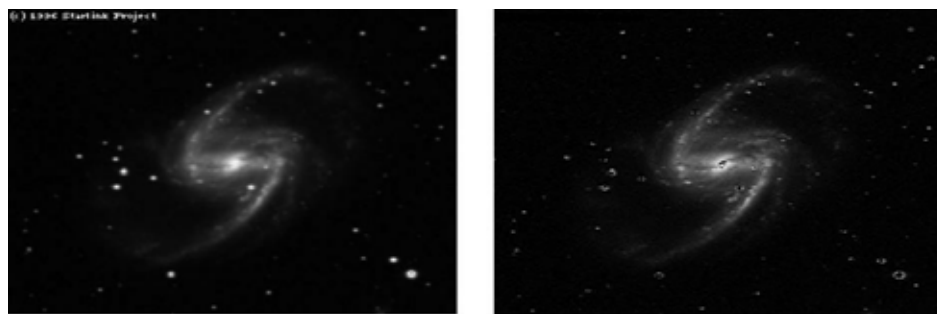
(1) การกรองความถี่สูงผ่าน (high pass filter) [11][12]

การปรับปรุงภาพโดยวิธีการกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter) จุดประสงค์เพื่อต้องการเน้นขอบของภาพให้มีความชัดเจนมากขึ้น ภาพที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีความคมชัดมากขึ้นที่ แต่ในกรณีที่ภาพมีสัญญาณรบกวนมากก็อาจจะส่งผลให้สัญญาณรบกวนมีความชัดเจนมากขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการกรองความถี่สูงผ่าน ตัวอย่างเมตริกตัวดำเนินการแสดงในรูปที่ 2.48 และตัวอย่างของภาพที่ได้หลังจากการทำ High pass filter แสดงในรูปที่ 2.49

| | | |
|----|----|----|
| 0 | -1 | 0 |
| -1 | 5 | -1 |
| 0 | -1 | 0 |

รูปที่ 2.48 เมตริกขนาด 3X3 สำหรับ High pass filter

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.49 แสดงภาพที่ได้จากกระบวนการ High pass filter

(ก)ภาพปกติ (ข)ภาพที่ได้หลังจากปรับปรุง

(2) การกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter) [11][12]

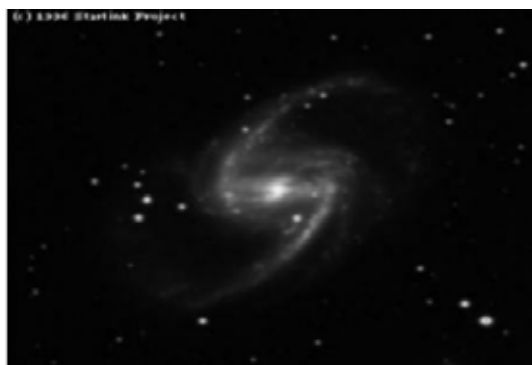
การปรับปรุงภาพวิธีนี้จุดประสงค์เพื่อให้ภาพมีความนุ่มนวลมากขึ้น ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ในกรณีที่ต้องการแก้ไขภาพที่มีสัญญาณรบกวนให้ลดลง ภาพที่ได้จากกระบวนการกรองความถี่ต่ำผ่านจะมีความนุ่มนวลมากขึ้นแต่จะสูญเสียความคมชัดของภาพ ตัวอย่างเมตริกตัวนำเนนการแสดงในรูปที่ 2.50 และตัวอย่างของภาพที่ได้หลังจากการทำ Low pass filter แสดงในรูปที่ 2.51

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

รูปที่ 2.50 เมตริกขนาด 3X3 สำหรับ Low pass filter



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.51 แสดงภาพที่ได้จากกระบวนการ Low pass filter

(ก)ภาพปกติ (ข)ภาพที่ได้หลังจากปรับปรุง

(3) การตรวจหาขอบของภาพแบบ Sobel Operators [11]

วิธีการของ Sobel Operator จะใช้ตัวดำเนินการสองตัวด้วยกัน ในการตรวจจับภาพในแนวนอนและแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.52 หลังจากนั้นก็นำมาทำการหาขนาดตามสมการที่ 2.24 แล้วแปลงกลับไปเป็นภาพต่อไป

$$s_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad s_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.52 แสดงตัวดำเนินการของ Sobel Operators

| | | |
|-------|-------|-------|
| a_0 | a_1 | a_2 |
| a_3 | a_4 | a_5 |
| a_6 | a_7 | a_8 |

รูปที่ 2.53 แสดงการพิจารณาค่าสี่แต่ละพิกเซลของภาพ

ถ้าสมมติให้ข้อมูลของภาพเป็นไปตามรูปที่ 2.53 ดังนั้นผลของข้อมูลของภาพที่ได้หลังจากใช้ตัวดำเนินการ S_x S_y เป็นดังสมการที่ 2.22 และสมการที่ 2.23 ตามลำดับ ซึ่งภาพที่ได้แสดงในรูปที่ 2.54

$$S_1 = (a_2 + 2a_5 + a_8) - (a_0 + 2a_3 + a_6) \quad (2.22)$$

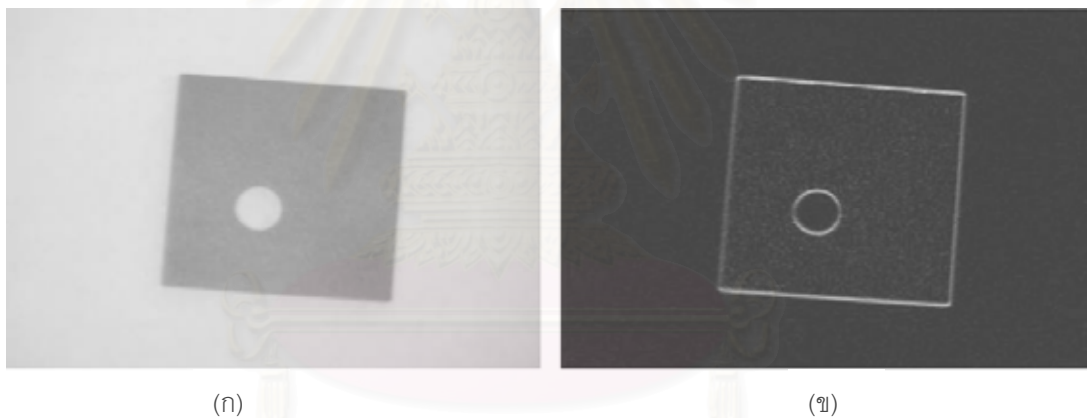
$$S_2 = (a_0 + 2a_1 + a_2) - (a_6 + 2a_7 + a_8) \quad (2.23)$$

$$S = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \quad (2.24)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{S_1}{S_2} \right] \quad (2.25)$$

โดยที่ S คือ ขนาด (magnitude)

α คือ ทิศทาง (direction)



รูปที่ 2.54 แสดงภาพที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการ Sobel Operators

(ก) ภาพก่อนการปรับปรุง (ข) ภาพหลังการปรับปรุง

(4) การตรวจหาขอบของภาพแบบ Robert Operators [11]

หลักการคล้ายกับหลักการของ Sobel แต่จะเปลี่ยนแปลงตัวดำเนินการไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งตามแสดงในรูปที่ 2.55

| | | | |
|----|---|----|---|
| 0 | 1 | -1 | 0 |
| -1 | 0 | 0 | 1 |

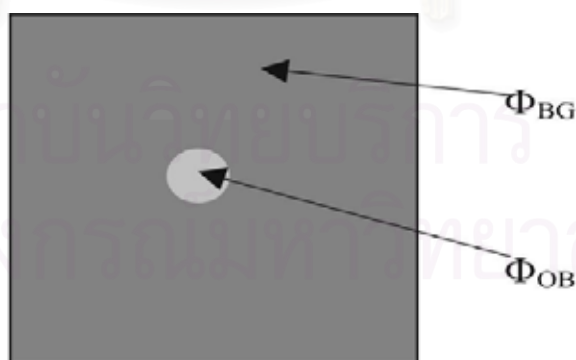
W1 **W2**

รูปที่ 2.55 แสดงตัวดำเนินการของ Robert Operators

2.7 การวิเคราะห์คุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์

การพิจารณาถึงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ สิ่งที่ต้องการทราบโดยส่วนมากก็จะมี ค่าความเปรียบต่าง (Contrast) ค่าความสามารถในการแยกแยะรายละเอียด (Resolution) ปริมาณสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) ในการอธิบายความหมายของแต่ละส่วนนั้นมีวิธีการที่แตกต่างกัน

สำหรับการอธิบายความเปรียบต่างของภาพวิธีหนึ่งที่ใช้ในการอธิบาย คือ วิธีการของ Rose Model ซึ่งเป็นการพิจารณาภาพถ่ายในส่วนที่ต้องการที่ศึกษากับส่วนที่เป็น background ดังแสดงในรูปที่ 2.56



รูปที่ 2.56 แสดงภาพถ่ายที่ใช้สำหรับการพิจารณาความแตกต่างของภาพ

จากรูปที่ 2.56 ในส่วนที่เป็นสีขาววงกลมเป็นส่วนที่ต้องการศึกษา และรอบนอกเป็น background ดังนั้นถ้ากำหนดให้ ϕ_{BG} เป็นความเข้มของกระแสฟोटอนของพื้นหลัง และ ϕ_{OB} เป็น

ความเข้มของกระแสโฟตอนของส่วนที่สนใจ ดังนั้นค่าความเปรียบต่าง (Contrast) ก็จะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.26

$$\text{Contrast } (C) = \frac{\phi_{OB}}{\phi_{OB} - \phi_{BG}} \quad (2.26)$$

ถ้าพิจารณาจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบบนพื้นที่เดียวกันก็จะได้ว่าจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบบริเวณพื้นที่ในส่วนที่สนใจ (target) จะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.27 และจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบบนส่วนของ background คิดที่พื้นที่ (A) เท่ากันจะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.28

$$N_{OB} = A \times \phi_{OB} \quad (2.27)$$

$$N_{BG} = A \times \phi_{BG} \quad (2.28)$$

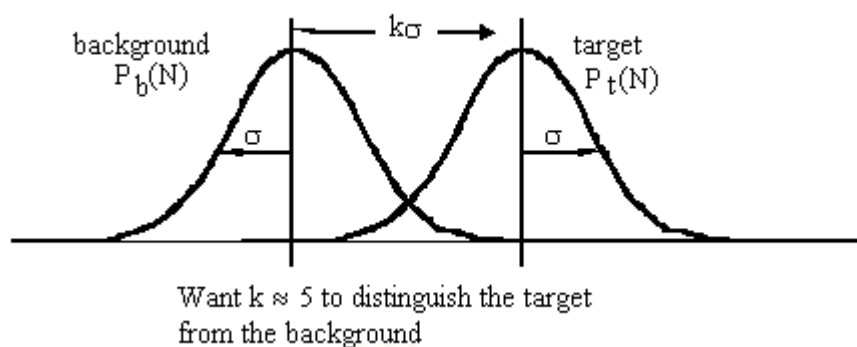
ถ้าพิจารณาค่าความแตกต่างก็จะมีสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.29 โดยที่สัญญาณรบกวน (Noise) ก็จะมีสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.30

$$\text{Signal} = \frac{\Delta N}{N} \quad (2.29)$$

$$\text{Noise} = \sqrt{N} \quad (2.30)$$

$$\text{SNR} = \frac{\Delta N / N}{\sqrt{N}} = C \sqrt{N} = C \sqrt{\phi \times A} \quad (2.31)$$

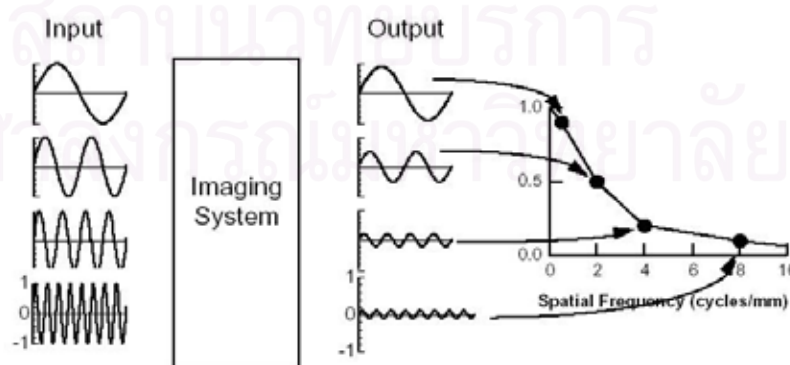
ซึ่งถ้านำข้อมูลทั้งส่วนที่สนใจและในส่วนที่เป็น background มาเขียนกราฟการแจกแจงของ Poisson ก็จะได้กราฟดังรูปที่ 2.57 ซึ่งจะเห็นว่าระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของกราฟทั้งสองมีค่าเท่ากับ $k\sigma$ โดยที่ k คือค่าคงที่ จากการศึกษารายงานของ Dr. Rose (ผู้ที่คิดค้นวิธี Rose Model) พบว่าความสามารถการแยกแยะความแตกต่างของตาคนปกติที่จะสามารถแยกแยะความแตกต่างของรายละเอียดของภาพได้จะต้องมีค่าคงที่ k อย่างน้อยที่สุดตั้งแต่ 5 ถึง 7



รูปที่ 2.57 กราฟแสดงการแจกแจงแบบ Poisson ระหว่าง background กับ Target

การวิเคราะห์ภาพอีกวิธีหนึ่งคือการหาค่า Modulation Transfer Function (MTF) ของภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดของความถี่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นหลังจากการถ่ายภาพ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความสามารถของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ว่าสามารถที่จะแจกแจงรายละเอียดของภาพได้น้อยสุดเป็นเท่าใด นอกจากนั้นยังทำให้สามารถที่จะวางแผน หรือแก้ไขระบบถ่ายภาพรังสีเอกซ์ได้อีกด้วย การหาความความสัมพันธ์ของ MTF นั้นมีวิธีการหลายวิธีวิธีที่ง่ายที่สุดคือ การถ่ายภาพของวัตถุตัวอย่างที่มีความหนาแน่นของสิ่งที่น่าสนใจต่าง ๆ กัน เช่น การถ่ายภาพเส้นลวดที่มีความหนาแน่นต่างกัน หลักการหาค่า MTF จะแสดงในรูปที่ 2.58 โดยการคำนวณหาค่า MTF มีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.32

$$MTF = \frac{A_{input}}{A_{output}} \quad (2.32)$$



รูปที่ 2.58 แสดงรูปแบบการหาค่า MTF ของการถ่ายภาพ

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์

การถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยอค์ยกล้องซีซีดีโดยปกติไม่สามารถที่จะนำซีซีดีไปรับรังสีเอกซ์ได้โดยตรงเพราะว่าซีซีดีไม่สามารถตอบสนองกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ได้ ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ให้อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ซีซีดีสามารถตอบสนองได้ด้วยการใช้สารเรืองรังสีเอกซ์หรือรู้จักกันในชื่อของ “X-ray Scintillator” ซึ่งมีอยู่หลายชนิดดังที่กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ ในการออกแบบกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ได้ใช้ $Gd_2O_2S:Tb$ เป็นตัวเปลี่ยนความยาวคลื่นรังสีเอกซ์เพื่อให้เหมาะสมกับการตอบสนองต่อความยาวคลื่นของซีซีดี โดยความยาวคลื่นที่ได้หลังจากเกิดอันตรกิริยาของสารเรืองรังสีจะอยู่ในช่วงแสงสีเขียว (ประมาณ 540nm) เพราะฉะนั้นการเลือกใช้งานซีซีดีก็ต้องเลือกชนิดที่ตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นแสงสีเขียว ในที่นี้ได้เลือกใช้ซีซีดีชิปของโซนี่เบอร์ ICX255AL ซึ่งเป็นเทคโนโลยี Exview HAD ที่มีจุดเด่นคือมี Quantum Efficiency (QE) สูงกว่าชิปรุ่นอื่น ๆ ที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป แผงวงจรของกล้องซีซีดีได้ใช้ รุ่น 1004x ดังแสดงในรูปที่ 3.1 มีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง. สำหรับการออกแบบกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์มีโครงสร้างแสดงตามรูปที่ 3.2

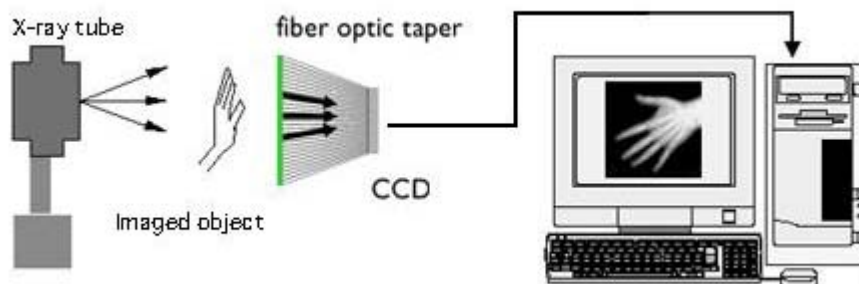


(ก)



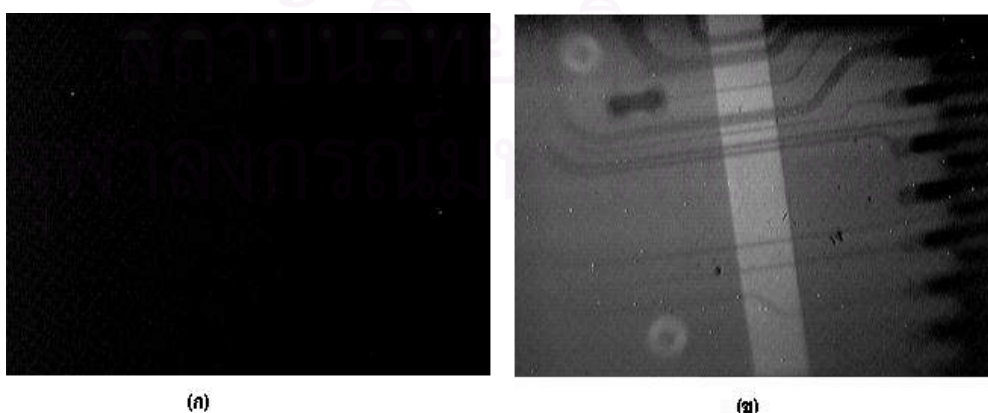
(ข)

รูปที่ 3.1 แผงวงจรกล้องซีซีดีรุ่น 1004X (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง



รูปที่ 3.2 โครงสร้างการทำงานของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์

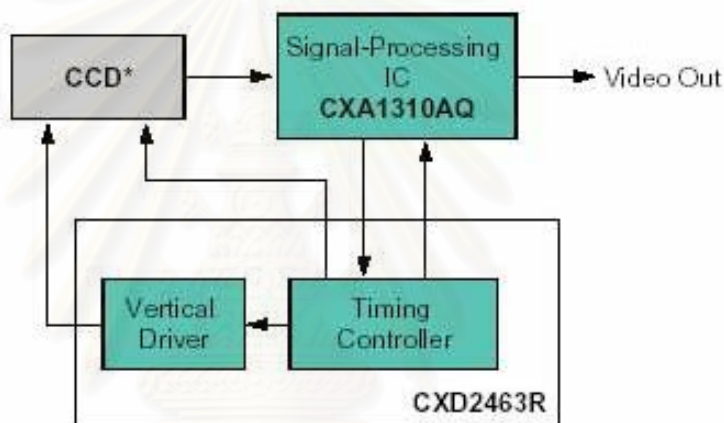
การเปลี่ยนระบบการรับภาพจากระบบฟิล์มมาเป็นการรับภาพโดยใช้กล้องซีซีดีนั้น จุดประสงค์ก็เพื่อการทำงานที่รวดเร็วและการจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ความถูกต้องนั้นก็เป็นสิ่งสำคัญสำหรับภาพถ่ายที่ได้เพราะฉะนั้นความสำคัญในส่วนนี้จึงจำเป็นต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกของการออกแบบ จากการศึกษาการทำงานของกล้องซีซีดีที่ใช้งานพบว่า ความเร็วของชัตเตอร์ต่ำสุดอยู่ที่ $1/100$ วินาที ซึ่งถ้าใช้การถ่ายภาพปกติโดยใช้เงื่อนไชนี่ภาพที่ได้ก็จะให้รายละเอียดที่ดี แต่เมื่อนำไปถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้เงื่อนไชนี่เดียวกันนี้ภาพที่ได้ไม่สามารถที่จะแยกแยะระดับความเปรียบต่างของภาพได้ เนื่องจากว่าความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นที่สารเรืองรังสีเอกซ์มีความเข้มน้อยส่งผลให้ภาพที่ได้ไม่มีระดับความเปรียบต่างของภาพแสดงในรูปที่ 3.3 (ก) แต่เมื่อทำการควบคุมเวลาเปิดรับแสงของซีซีดีให้นานขึ้นก็จะทำให้สามารถถ่ายภาพที่มีความเข้มของแสงน้อย ๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ข) โดยปกติการทำงานของแผงวงจรซีซีดีรุ่น $1004\times$ ไม่สามารถกำหนดระยะเวลาเปิดรับแสงของซีซีดีได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงในส่วนของวงจรอิเล็คทรอนิกส์ พร้อมทั้งโปรแกรมควบคุมและโปรแกรมสร้างภาพเพิ่มเติมขึ้น



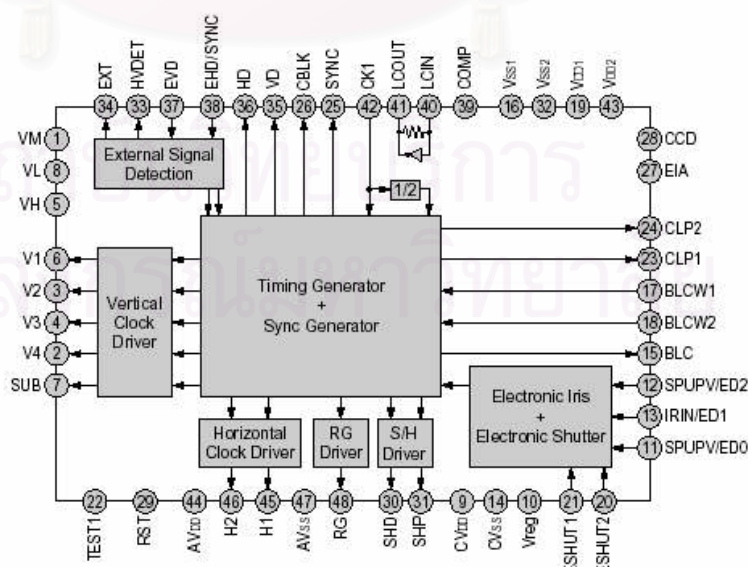
รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ ที่ได้จากกล้องที่ยังไม่ได้ปรับปรุง (ก) และภาพถ่ายที่ได้จากการปรับปรุงแล้ว (ข)

3.1 ปรับปรุงการทำงานของซีซีดีสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์

เนื่องจากแผงวงจรที่ใช้เป็นแผงวงจรสำเร็จรูปรุ่น 1004x ที่มีซีซีดีของโซนี่เบอร์ ICX255AL เป็นตัวรับภาพ ดังนั้นในการปรับปรุงการทำงานของซีซีดีจึงจำเป็นต้องเข้าใจโครงสร้างและรายละเอียดในการทำงานของแผงวงจรควบคุมว่ามีฟังก์ชันการทำงานเป็นอย่างไร ซึ่งจากการศึกษาโครงสร้างตลอดจนหลักการทำงานเป็นไปตามรูปที่ 3.4 โดยมีไอซีควบคุมการทำงานหลักอยู่สองตัว คือ CXA1310AQ ทำหน้าที่จัดการสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากซีซีดีให้อยู่ในรูปของสัญญาณวิดีโอ และ CXD2463R ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ควบคุมการทำงานของซีซีดีซึ่งมีสัญญาณเป็นไปตามในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 โครงสร้างการทำงานของแผงวงจรซีซีดีรุ่น 1004X



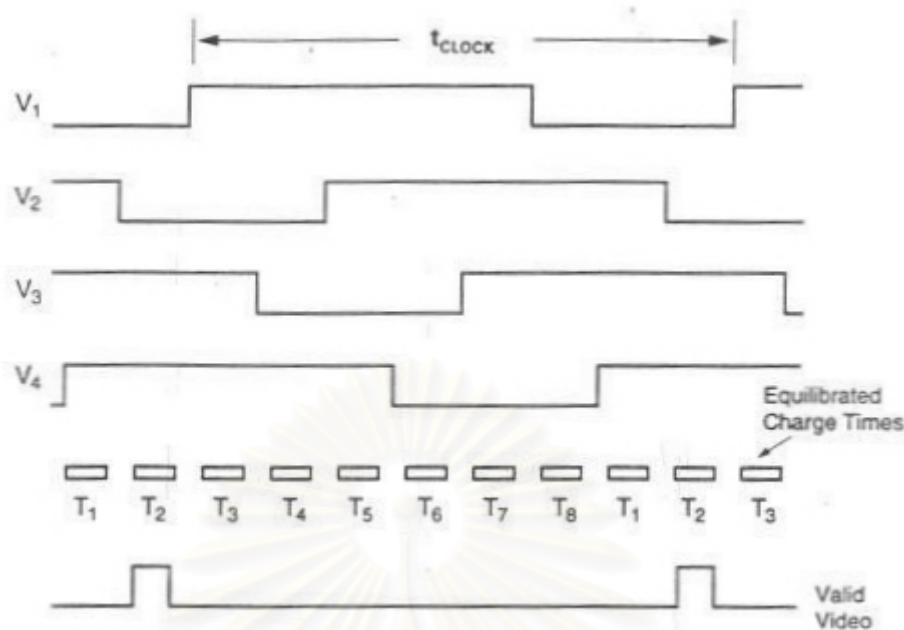
รูปที่ 3.5 โครงสร้างของไอซี CXD2463R

จากหลักการการทำงานของซีซีดีที่ได้กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้ ทำให้ทราบว่าการเคลื่อนย้ายประจุที่ถูกเก็บสะสมอยู่ในแต่ละพิกเซลของซีซีดีจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณนาฬิกาสองส่วนด้วยกัน คือสัญญาณนาฬิกาในแนวตั้ง (Vertical Clock) และสัญญาณนาฬิกาในแนวนอน (Horizontal Clock) จากรูปที่ 3.5 ขาที่ 5 ของไอซี CXD2463R เป็นขาที่จ่ายไฟเลี้ยงสำหรับสัญญาณนาฬิกาในแนวตั้ง โดยมีขาที่ 20 และ 21 เป็นขาที่ใช้กำหนดโหมดการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์ชุดเตอร์ซึ่งมีรูปแบบการทำงานแสดงในตารางที่ 3.1 ส่วนขาที่ 2 ของซีซีดีซึ่งเป็นขาสัญญาณ V3 ที่ทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาสำหรับคุมการถ่ายเทประจุในแนวตั้ง

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงโหมดการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์ชุดเตอร์ของไอซี CXD2463R

| ESHUT1 PIN21 | ESHUT1 PIN20 | Operating Mode |
|-----------------|-----------------|--|
| L | L | Electronic iris without limiter |
| H | L | Electronic iris with limiter EIA:1/100(s),CCIR: 1/120(s) |
| L | H | Electronic Shutter mode |
| H | H | Sup pulse stopped |

เพราะฉะนั้นการออกแบบการทำงานของซีซีดีให้สามารถควบคุมเวลาเปิดรับแสงได้นั้น จำเป็นที่ต้องควบคุมการทำงานของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนย้ายประจุ จากหลักการเคลื่อนย้ายประจุที่เกิดขึ้นในแต่ละพิกเซลของซีซีดีเป็นแบบ 4 เฟส ที่มีลำดับการทำงานของสัญญาณนาฬิกาตามแสดงในรูปที่ 3.6 ดังนั้นถ้าหยุดการทำงานของสัญญาณนาฬิกาส่วนนี้ทั้งหมดประจุที่เกิดขึ้นในแต่ละพิกเซลของซีซีดีก็จะถูกสะสมอยู่ที่เดิมซึ่งหมายถึงเปิดให้ซีซีดีได้รับแสงนานขึ้น และเมื่อต้องการให้มีการเคลื่อนย้ายประจุเกิดขึ้นอีกก็ทำได้โดยการบ่อนสัญญาณนาฬิกาส่วนนี้แก่ซีซีดี สำหรับขั้นตอนการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอธิบายรูปแบบการทำงานได้ดังแสดงในรูปที่ 3.13



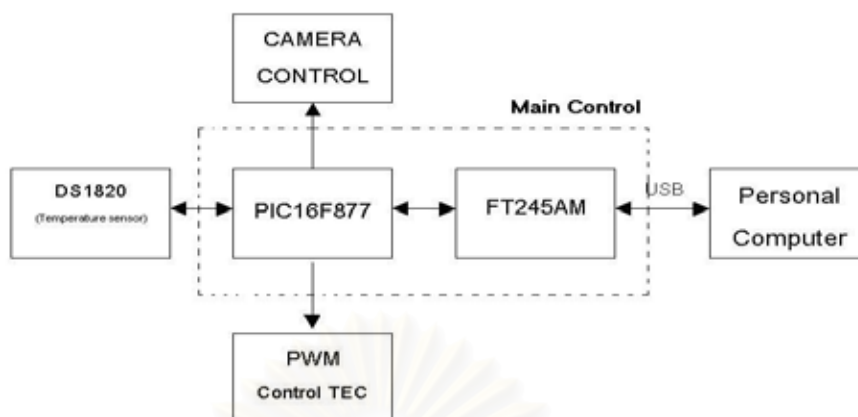
รูปที่ 3.6 แสดงการถ่ายเทประจุของซีซีดีแบบ 4 เฟส

หลังจากที่ได้ปรับปรุงการทำงานของแผงวงจรซีซีดีให้สามารถทำการถ่ายภาพในโหมดอินทิเกรชันได้แล้วก็ต้องมาพิจารณาถึงปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน (Noise) ของซีซีดีที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของภาพที่ได้ ในที่นี้จะเลือกพิจารณาสัญญาณรบกวนในส่วนของที่เรียกว่า “Dark Current” ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิการทำงานของซีซีดี ตามสมการที่ 2.11 เพราะฉะนั้นในการที่จะลด Dark Current ลงจำเป็นต้องลดอุณหภูมิการทำงานของซีซีดีลงให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานของกล้อง

3.2.1 วงจรส่วนควบคุมหลัก

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบกล้อง โดยอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างไอซีเบอร์ FT245AM กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 โดยที่ไอซีเบอร์ FT245AM จะเป็นตัวรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ที่เป็นตัวรับคำสั่งที่ถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์ให้ทำงานตามฟังก์ชันที่มีอยู่ในตัวโดยผ่านทางพอร์ต USB ซึ่งโครงสร้างการทำงานของชุดควบคุมหลักจะแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.7 และมีรายละเอียดของวงจรทั้งหมดแสดงอยู่ในภาคผนวก ค.



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างการทำงานของส่วนควบคุมหลักของระบบกล้อง

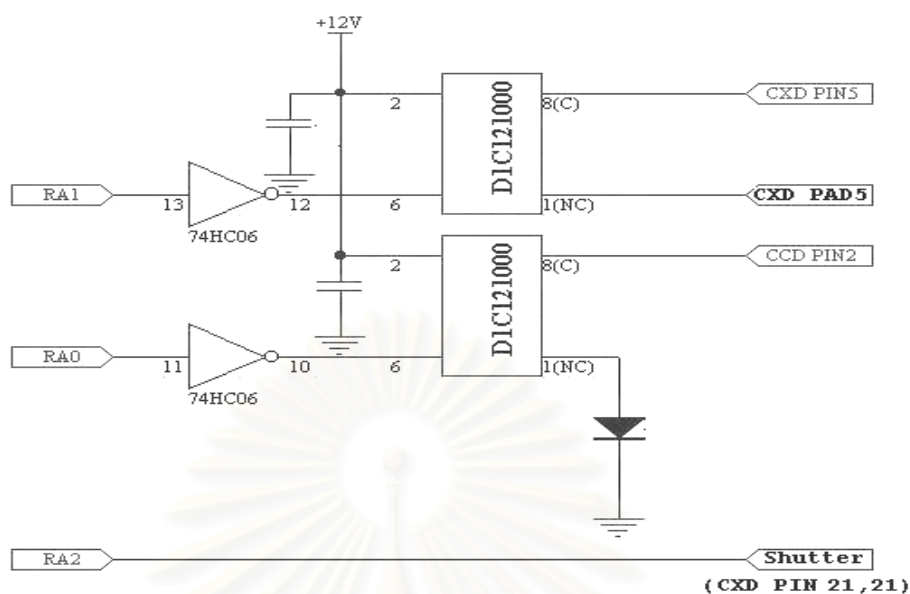
3.2.2 ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

การควบคุมอุณหภูมิของซีซีดีทำได้โดยการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งอาศัยฟังก์ชันการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ในส่วนที่เป็น Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกจะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.1 จากสมการจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับค่า Duty Cycle และค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา โดยที่รายละเอียดของวงจรแสดงในภาคผนวก ค.

$$V_{out} = V_{in} \times Duty\ cycle \times Frequency \quad (3.1)$$

3.2.3 ส่วนควบคุมโหมดการทำงานของกล้อง

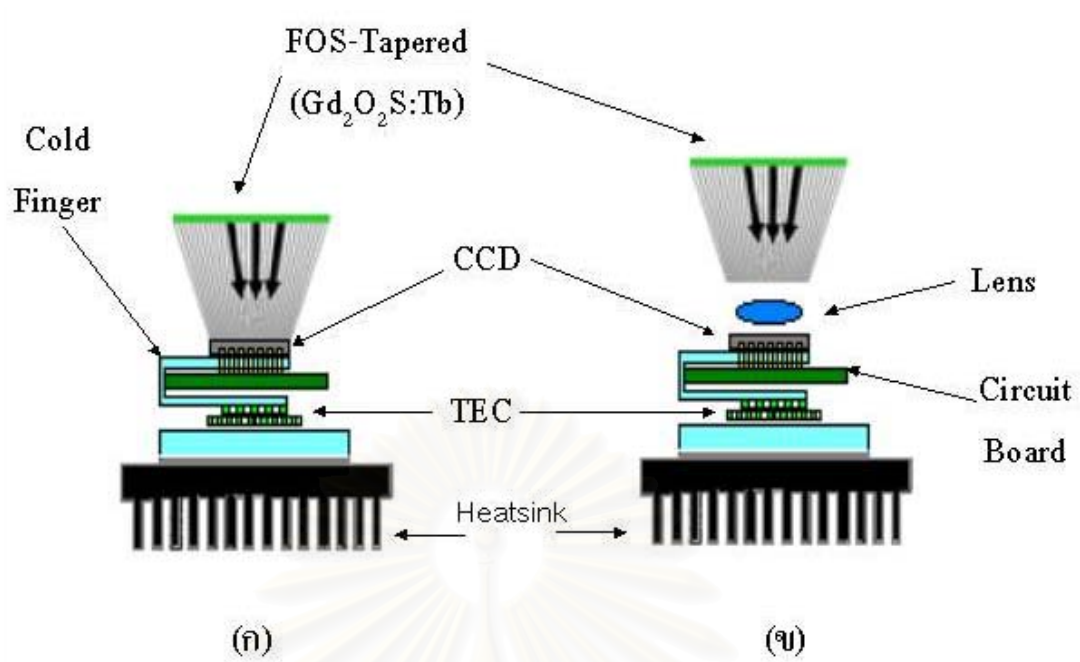
ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการติดต่อขาสัญญาณควบคุมของซีซีดี ทำให้สามารถเลือกโหมดการทำงานของกล้องได้ทั้งแบบที่เป็นเรียลไทม์และอินทิเกรชัน ซึ่งทำได้โดยใช้รีเลย์เบอร์ D1C121000 ทำหน้าที่ร่วมกับไอซีอินเวอร์เตอร์แบบคอลแลคเตอร์เปิดเบอร์ 74C06 และไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ทำการติดต่อสัญญาณจากแผงวงจรซีซีดีที่ได้รับการปรับปรุงแล้วให้มีลำดับของสัญญาณเป็นไปตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ก่อนหน้านี้และมีแผนผังวงจรแสดงในรูปที่ 3.8



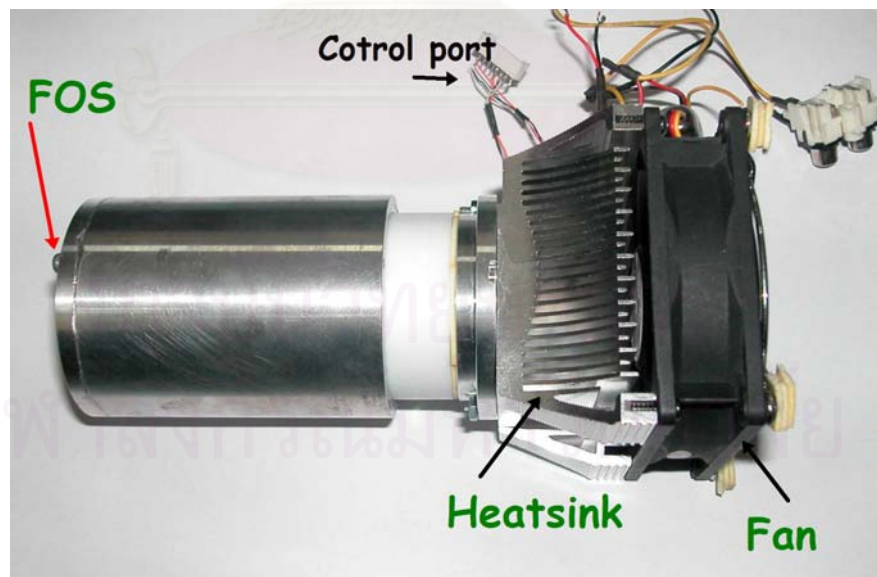
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรที่ใช้ควบคุมโหมดการทำงานของกล้อง

3.2.4 โครงสร้างของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น

โครงสร้างของกล้องที่ออกแบบในตอนแรกแสดงดังรูปที่ 3.9(ก) แต่เนื่องจากไม่สามารถทำให้แสงที่เกิดจาก FOS เทเปอร์ไปโฟกัสลงบนพื้นที่รับแสงของซีซีดีได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างของกล้องเป็นดังรูปที่ 3.9(ข) โดยอาศัยเลนส์มาช่วยในการโฟกัสแสงที่ได้จาก FOS เทเปอร์ให้ตกกระทบบนซีซีดี ตัวกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ ชุดควบคุมการทำงานและการจัดระบบถ่ายภาพ แสดงดังรูปที่ 3.10 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ



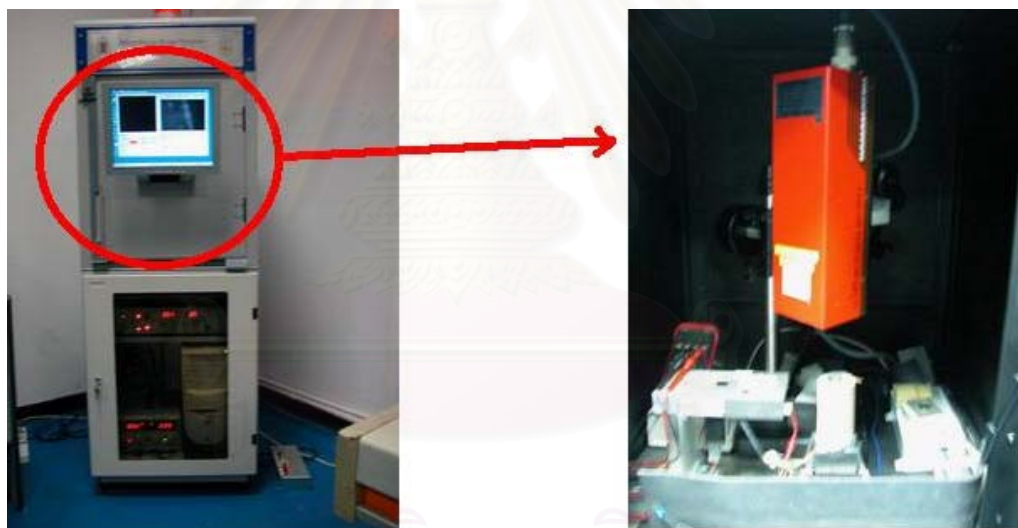
รูปที่ 3.9 โครงสร้างภายในของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น
 (ก) ไม่อาศัยเลนส์ในการโฟกัส (ข) อาศัยเลนส์ในการโฟกัส



รูปที่ 3.10 แสดงตัวกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่ทำการพัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.11 แสดงชุดควบคุมการทำงานของกล่องที่สร้างเสร็จแล้ว



รูปที่ 3.12 แสดงการใช้งานกล่องที่พัฒนาขึ้นกับระบบถ่ายภาพรังสีเอกซ์

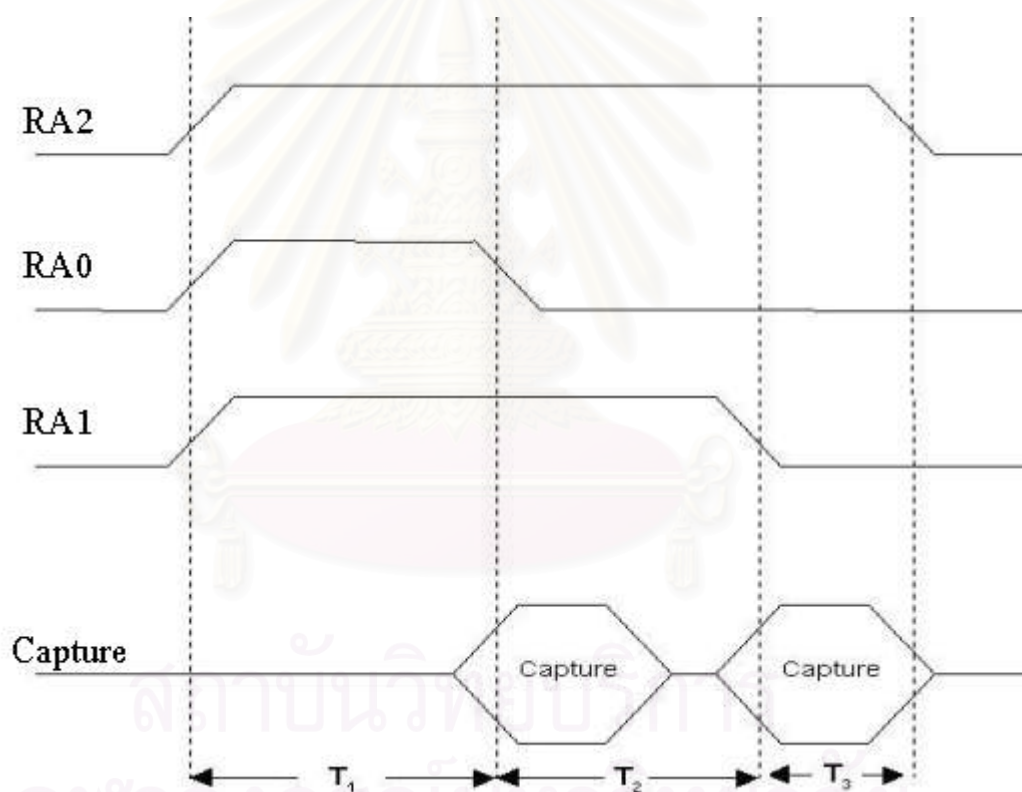
3.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานและโปรแกรมแสดงผลภาพ

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของกล่องจะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ โปรแกรมควบคุมสัญญาณลอจิกเพื่อกำหนดโหมดการทำงานของกล่องที่จะใช้สำหรับการถ่ายภาพรวมทั้งควบคุมอุณหภูมิการทำงานของซีซีดี ซึ่งโปรแกรมทั้งหมดจะถูกกำหนดโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ส่วนที่สองเป็นโปรแกรมสำหรับการทำงานหลักซึ่งในส่วนนี้

จะเป็นตัวควบคุมการถ่ายภาพ การแสดงผลภาพที่ได้หลังจากถ่ายรวมถึงการปรับปรุงภาพถ่ายที่ได้ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญดังต่อไปนี้

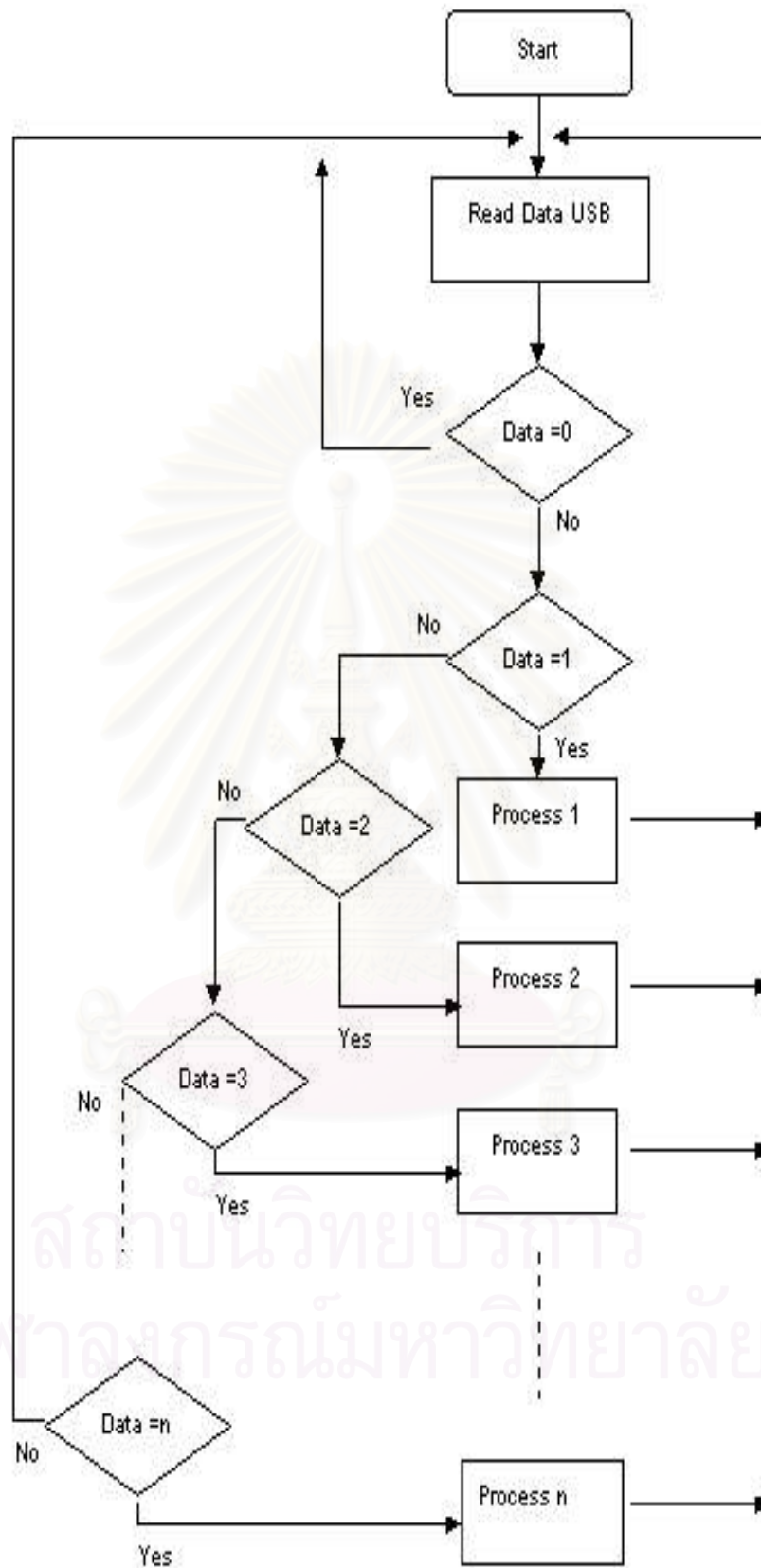
3.3.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

การควบคุมการทำงานของกล้องสามารถทำได้โดยอาศัยโปรแกรมหลักในการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่านพอร์ต USB มายังไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำงานตามคำสั่งต่าง ๆ เช่น ควบคุมโหมดการทำงานของกล้อง วัดและควบคุมอุณหภูมิของซีซีดี เป็นต้น ซึ่งรูปแบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 3.14 ถ้าพิจารณาเฉพาะส่วนของการควบคุมโหมดการทำงานของกล้องสามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปของแผนผังเวลาได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แผนผังเวลาของการควบคุมโหมดการทำงานของกล้อง

จากรูปที่ 3.13 T_1 เป็นเวลาที่ใช้ในการเปิดรับแสงของซีซีดี โดยที่ T_2 และ T_3 เป็นเวลาที่ใช้ในการแคปเจอร์ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนเฟรมที่ทำการแคปเจอร์ และอัตราการแคปเจอร์ใน 1 วินาที (เฟรมต่อวินาที)



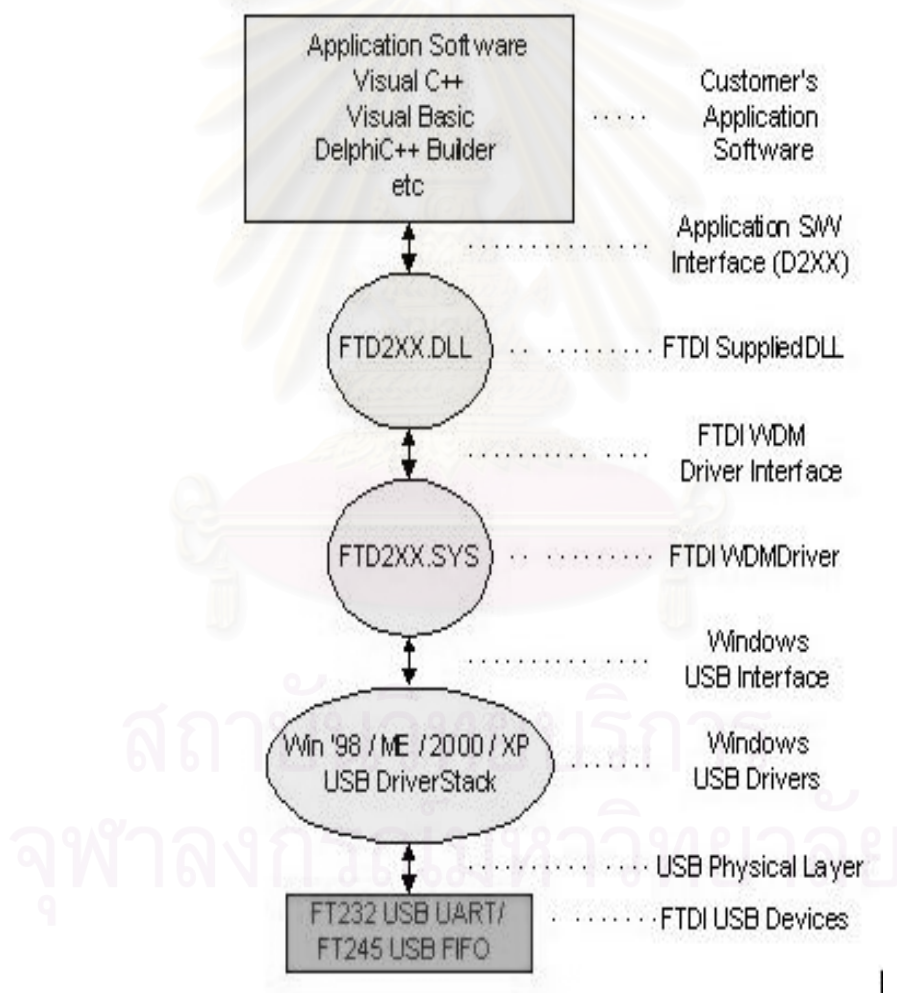
รูปที่ 3.14 แผนผังแสดงลำดับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

3.3.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานหลัก

ในส่วนโปรแกรมหลักนี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ซึ่งเขียนโปรแกรมด้วย VB5.0 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.3.2.1 การรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ต USB

การรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ต USB จะอาศัยฟังก์ชันการทำงานที่มีอยู่ในไฟล์ FTD2XX.DLL ซึ่งเป็นไดรเวอร์สำหรับการทำงานของไอซีเบอร์ FT245AM โดยมีโครงสร้างการทำงานตามแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงโครงสร้างการทำงานของไอซีเบอร์ FT245AM

รายละเอียดฟังก์ชันต่างๆจะแสดงในภาคผนวก ข. แต่ฟังก์ชันที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน FT245AM ที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

(1) ฟังก์ชันการเปิดการใช้งาน

เป็นฟังก์ชันเริ่มแรกสำหรับการใช้งาน FT245AM ก่อนที่จะมีการติดต่อรับส่งข้อมูลจำเป็นที่จะต้องมีการเปิดการติดต่อการใช้งานโดยใช้ฟังก์ชัน FT_Open ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชัน FT_Open

| | |
|--------------|--|
| Function | FT_STATUS FT_Open (int <i>iDevice</i> , FT_HANDLE <i>*ftHandle</i>) |
| Parameter | <i>Idevice</i> Must be 0 if only one device is attached. For multiple devices 1, 2 etc. <i>FtHandle</i> Pointer to a variable of type FT_HANDLE where the handle will be stored. This handle must be used to access the device. |
| Return Value | FT_OK if successful, otherwise the return value is an FT error code. |

(2) ฟังก์ชันการปิดการใช้งาน

เมื่อหยุดการติดต่อกับ FT245AM จำเป็นที่จะต้องปิดการติดต่อซึ่งจะใช้ฟังก์ชัน FT_Close มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชัน FT_Close

| | |
|--------------|--|
| Function | FT_STATUS FT_Close (FT_HANDLE <i>ftHandle</i>) |
| Parameter | <i>FtHandle</i> Handle of the device to close |
| Return Value | FT_OK if successful, otherwise the return value is an FT error code. |

(3) ฟังก์ชันการส่งข้อมูล

สำหรับการส่งข้อมูลไปยัง FT245AM ไปยังอุปกรณ์ภายนอกนั้นจะใช้ฟังก์ชัน FT_Write ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชัน FT_Write

| | |
|--------------|---|
| Function | FT_STATUS FT_Write (FT_HANDLE <i>ftHandle</i> , LPVOID <i>lpBuffer</i> , DWORD <i>dwBytesToWrite</i> , LPDWORD <i>lpdwBytesWritten</i>) |
| Parameter | <p><i>FtHandle</i> Handle of the device to close</p> <p><i>LpBuffer</i> Pointer to the buffer that contains the data to be written to the device.</p> <p><i>DwBytesToWrite</i> Number of bytes to write to the device.</p> <p><i>LpdwBytesWritten</i> Pointer to a variable of type DWORD which receives the number of bytes written to the device.</p> |
| Return Value | FT_OK if successful, otherwise the return value is an FT error code. |

(4) ฟังก์ชันการอ่านข้อมูล

สำหรับการอ่านข้อมูลจากภายนอกมายังส่วนของโปรแกรมจะใช้ฟังก์ชัน FT_Read ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชัน FT_Read

| | |
|--------------|--|
| Function | FT_STATUS FT_Read (FT_HANDLE <i>ftHandle</i> , LPVOID <i>lpBuffer</i> , DWORD <i>dwBytesToRead</i> , LPDWORD <i>lpdwBytesReturned</i>) |
| Parameter | <p><i>FtHandle</i> Handle of the device to close</p> <p><i>LpBuffer</i> Pointer to the buffer that receives the data from the device.</p> <p><i>DwBytesToRead</i> Number of bytes to be read from the device.</p> <p><i>LpdwBytesReturned</i> Pointer to a variable of type DWORD which receives the number of bytes read from the device.</p> |
| Return Value | FT_OK if successful, otherwise the return value is an FT error code. |

3.3.2.2 การแคปเจอร์ภาพจากวีดีโอแคปเจอร์การ์ด

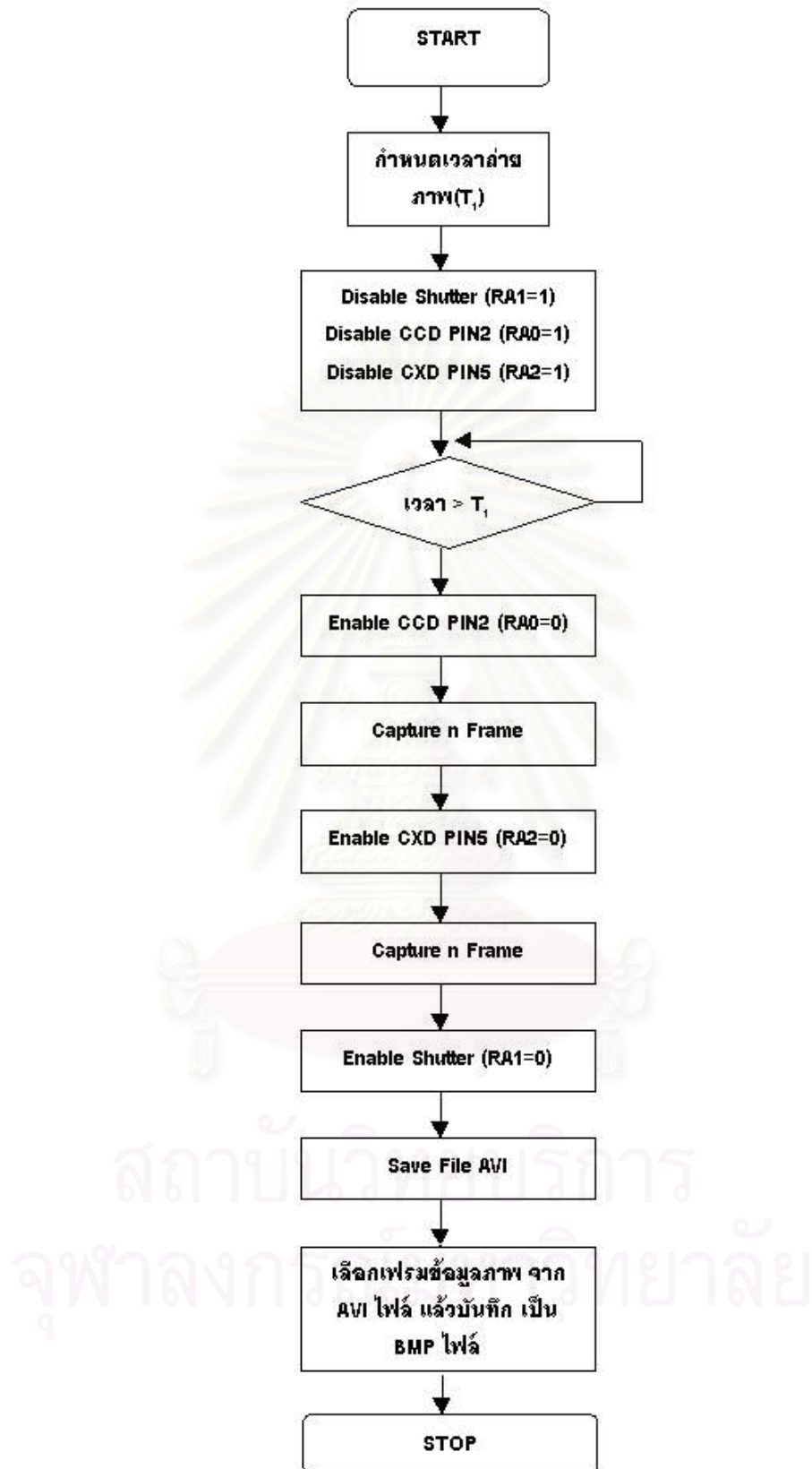
การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจัดการกับวีดีโอแคปเจอร์การ์ดโดยใช้ VB5.0 นั้น จะต้องอาศัยฟังก์ชันที่มีอยู่ในไฟล์ msvfw32.dll และ avicap32.dll ซึ่งใช้เทคนิค API (Application Programming Interface) เป็นตัวช่วยในการเข้าถึงฟังก์ชันต่าง ๆ แสดงตามรูปที่ 3.16 และรายละเอียดของฟังก์ชันต่าง ๆ แสดงในภาคผนวก ก.

สำหรับการแคปเจอร์ภาพจากกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ในกรณีที่ทำกรถ่ายภาพในโหมดถ่ายภาพแบบอินทิเกรชันนั้นจะค่อนข้างที่จะยุ่งยากและซับซ้อน จากรูปที่ 3.13 จะเห็นว่า

จะต้องทำการแคปเจอร์ข้อมูลภาพสองครั้งต่อการถ่ายภาพหนึ่งครั้ง โดยแต่ละครั้งในการแคปเจอร์ เพื่อเป็นการป้องกันข้อมูลของภาพสูญหายจำเป็นต้องเก็บข้อมูลหลาย ๆ เฟรมแล้วบันทึกในไฟล์นามสกุล .AVI และเมื่อได้ข้อมูลของภาพเรียบร้อยแล้วก็ต้องมาทำการแยกเฟรมข้อมูลภาพจริงออกมาโดยการตรวจสอบความแตกต่างของข้อมูลภาพในแต่ละเฟรม หลังจากนั้นก็จะทำการรวมข้อมูลภาพทั้งสองเฟรมที่ได้ให้เป็นภาพเดียวกัน ซึ่งจะบันทึกภาพในฟอร์แมตไฟล์ของ BMP โดยมีขั้นตอนการทำงานแสดงดังแผนผังตามรูปที่ 3.17 แต่ในกรณีที่ต้องการแคปเจอร์ข้อมูลภาพในโหมดปกติสามารถทำได้โดยตรงผ่านฟังก์ชันที่มีอยู่ โดยไฟล์ที่นำมาใช้สามารถอยู่ในฟอร์แมตของ AVI หรือ BMP ก็ได้



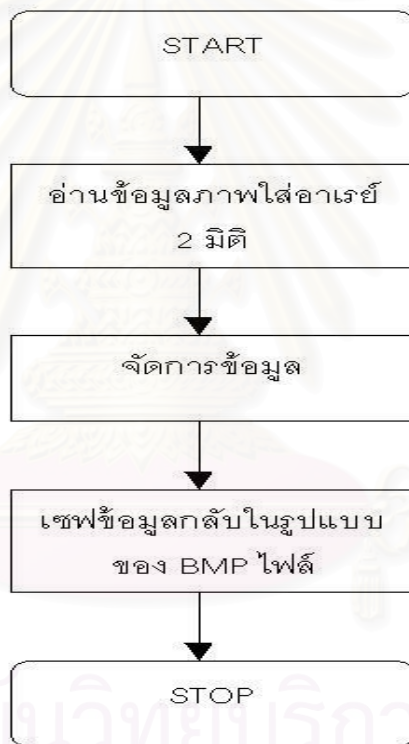
รูปที่ 3.16 แสดงโครงสร้างการเขียนโปรแกรมติดต่อวีดีโอแคปเจอร์การ์ด



รูปที่ 3.17 แผนผังแสดงการแคปเจอร์ภาพในโหมดอินทิเกรชัน

3.3.2.3 การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์

สำหรับภาพที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีเอกซ์จะถูกเก็บอยู่ในรูปของไฟล์นามสกุล .BMP เป็นภาพชนิด Gray Scale ซึ่งการเข้าไปอ่านข้อมูลที่เป็นตัวเลขของภาพนั้นจะใช้เทคนิค API เป็นตัวเรียกใช้ฟังก์ชันที่มีอยู่ในไฟล์ชนิด .dll โดยการเขียนโปรแกรมด้วย VB5.0 ซึ่งค่าสีแต่ละจุดจะถูกเก็บอยู่ในอาร์เรย์ 2 มิติ เพื่อใช้สำหรับการประมวลผลต่อไป หลังจากที่มีการจัดการกับข้อมูลของภาพเสร็จแล้วก็จะมีการเขียนไฟล์ตามฟอร์เมตของไฟล์ชนิด BMP ซึ่งกระบวนการจัดการข้อมูลของภาพแสดงดังรูปที่ 3.18

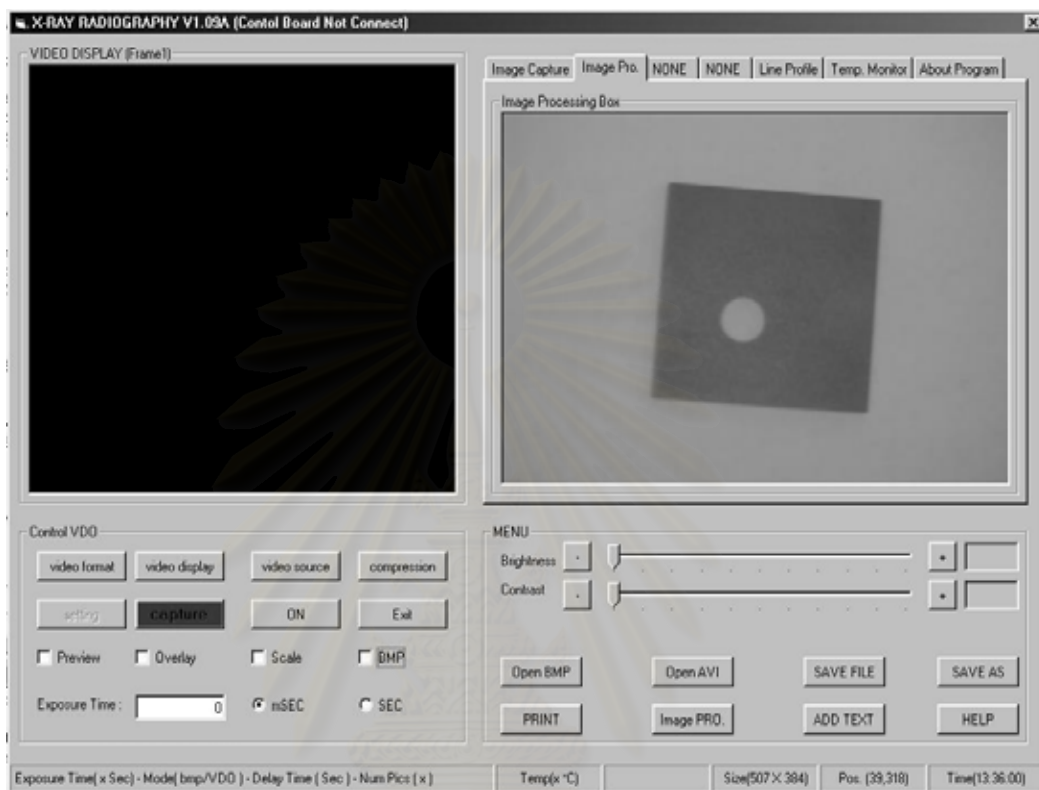


รูปที่ 3.18 แสดงแผนผังการจัดการข้อมูลภาพ

3.3.2.4 การทำงานของโปรแกรมสำหรับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์

ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดจะทำการควบคุมผ่านโปรแกรมที่สร้างโดย VB5.0 โดยโปรแกรมจะสามารถถ่ายภาพรังสีเอกซ์ทั้งในโหมดเรียลไทม์ และในโหมดอินทิเกรชัน สำหรับการถ่ายภาพ นอกจากนั้นยังสนับสนุนการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ เช่น การ

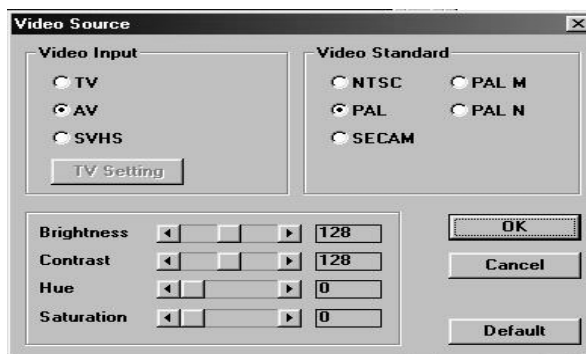
ปรับความสว่าง ความคมชัด การเลือกใช้ฟิลเตอร์สำหรับการปรับปรุงภาพตามที่ต้องการโดยมีรูปแบบหน้าต่างการทำงานของโปรแกรมที่สร้างเสร็จแล้วแสดงดังรูปที่ 3.19 ในส่วนของการทำงานที่สำคัญสามารถอธิบายได้ดังนี้



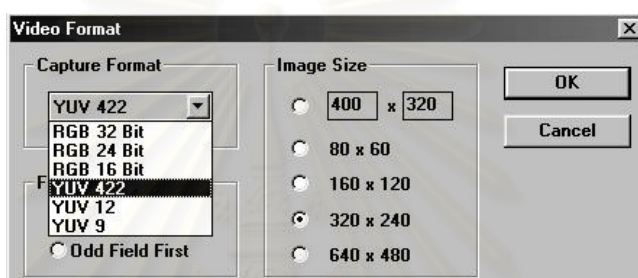
รูปที่ 3.19 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรมหลัก

(1) การตั้งค่าเริ่มต้นก่อนการใช้งาน

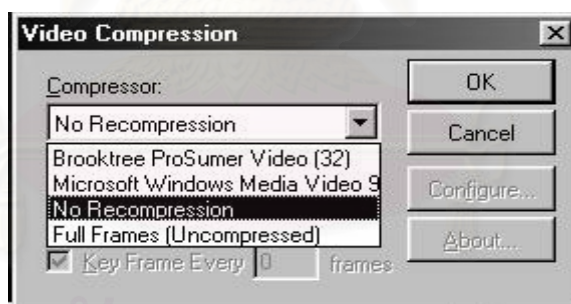
ก่อนการใช้งานจะต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นและคุณสมบัติของวีดีโอแคปเจอร์การ์ด ในส่วนของ Video Source ต้องทำการกำหนดค่าต่าง ๆ ให้เป็นไปตามรูปที่ 3.20 และในส่วนของ Video Format ต้องกำหนดค่าต่าง ๆ ตามแสดงในรูปที่ 3.21 สำหรับส่วนสุดท้าย Compression ก็จะต้องทำการกำหนดค่าตามแสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งรูปแบบการเซตค่าเริ่มต้นต่าง ๆ นั้นมีหน้าต่างการทำงานไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับชนิดและรุ่นของวีดีโอแคปเจอร์การ์ดที่ใช้ แต่รูปแบบการกำหนดค่าต่าง ๆ จะคล้ายกัน



รูปที่ 3.20 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานในส่วนของ Video Source



รูปที่ 3.21 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานในส่วนของ Video Format



รูปที่ 3.22 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานในส่วนของ Compression

(2) การถ่ายภาพรังสีเอกซ์

หลังจากที่กำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับการทำงานแล้ว ในขั้นตอนการถ่ายภาพก็สามารถทำได้โดยการกำหนดเวลาสำหรับการถ่ายภาพแล้วกดปุ่ม “Capture” ภาพที่ถ่ายได้ก็จะไปปรากฏที่ ส่วนของการแสดงภาพด้านขวามือ

บทที่ 4

การทดสอบการทำงานของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์และผลการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ การทดสอบทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบการทำงานของระบบหล่อเย็นที่ดี การทดสอบการทำงานของกล้องที่อุณหภูมิการทำงานคงที่ การทดสอบการทำงานของกล้องถ่ายภาพในโหมดอินทิเกรชัน (Integration) และทำการทดสอบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์กับตัวอย่างชนิดต่าง ๆ ส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบทางด้านซอฟต์แวร์ (Software) ประกอบด้วย ทดสอบการตรวจจับขอบของภาพ (Edge Detection) การปรับปรุงภาพโดยวิธีกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) การปรับปรุงภาพโดยวิธีกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) และการลบ Background ซึ่งรายละเอียดของการทดสอบการทำงานของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์มีดังต่อไปนี้

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น

- 4.1.1 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ BRYMEN รุ่น BM201
- 4.1.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12V 17A
- 4.1.3 ออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS 360
- 4.1.4 กล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น
- 4.1.5 ชุดแผงวงจรควบคุมการทำงานของกล้องที่พัฒนาขึ้น
- 4.1.6 แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไมโครโฟกัส Hamamatsu Model 6732-01 80kV
0.1mA (ขนาดโฟกัส 8 ไมโครเมตร)
- 4.1.7 ไมโครคอมพิวเตอร์
- 4.1.8 วีดีโอแคปเจอร์การ์ด LifeView Flyvideo 98
- 4.1.9 ซอร์ฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น

4.2 การทดสอบทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware)

4.2.1 ขั้นตอนและผลการทดสอบระบบหล่อเย็นซีซีดี

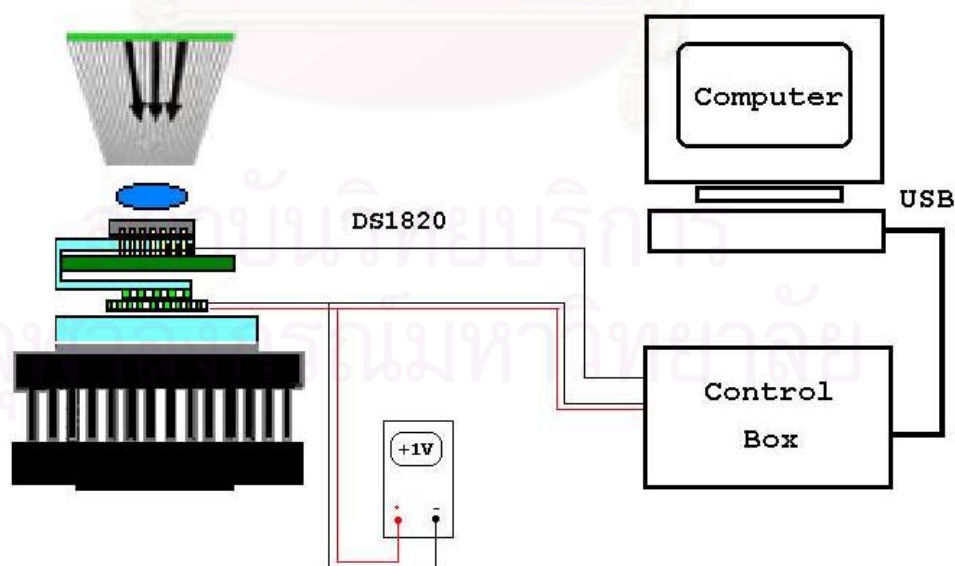
ทดสอบการทำงานและสมรรถนะของระบบหล่อเย็นที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับหล่อเย็นว่าสามารถที่จะลดอุณหภูมิการทำงานของซีซีดีให้ต่ำกว่าการทำงานปกติที่อุณหภูมิห้องได้เท่าใด โดยมีขั้นตอนและผลการทดสอบการดังนี้

4.2.1.1 จัดระบบทดสอบการทำงานของระบบหล่อเย็นซีซีดี ดังแสดงในรูปที่ 4.1

4.2.1.2 บันทึกค่าของอุณหภูมิทำงานของซีซีดีก่อนทำการจ่ายศักย์ไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

4.2.1.3 จ่ายศักย์ไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแล้วรอจนอุณหภูมิการทำงานของซีซีดีคงที่ จดบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

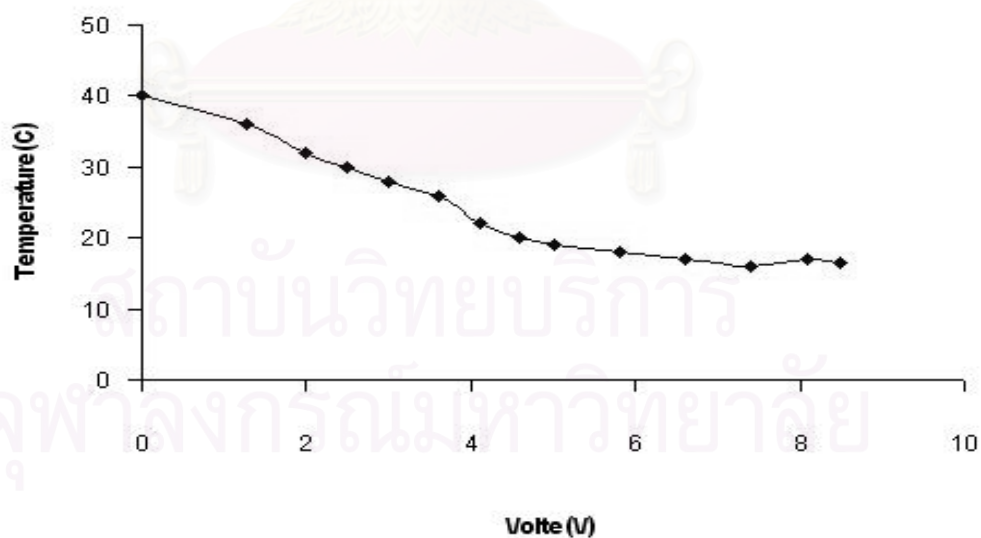
4.2.1.4 ทำการทดลองซ้ำข้อ 4.2.1.3 โดยเปลี่ยนค่าของศักย์ไฟฟ้าตามตารางที่ 4.1 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกกับอุณหภูมิการทำงานของซีซีดี ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ตามตารางที่ 4.1 และในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดระบบการทดสอบระบบหล่อเย็นซีซีดี

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระหว่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก กับอุณหภูมิการทำงานของซีซีดี

| ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) | อุณหภูมิ (°C) |
|------------------------|---------------|
| 0 | 40 |
| 1.28 | 36 |
| 2.00 | 32 |
| 2.50 | 30 |
| 3.00 | 28 |
| 3.60 | 26 |
| 4.10 | 22 |
| 4.60 | 20 |
| 5.00 | 19 |
| 5.80 | 18 |
| 6.60 | 17 |
| 7.40 | 16 |
| 8.10 | 17 |
| 8.50 | 16.5 |



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

4.2.2 ขั้นตอนและผลการทดสอบการทำงานของซีซีดีที่อุณหภูมิคงที่

ทดสอบการทำงานของซีซีดีที่อุณหภูมิทำงานต่าง ๆ กันก็เพื่อศึกษาการลดลงของปริมาณสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก Dark Current ซึ่งจะสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (SNR) โดยมีขั้นตอนการทดลองและผลการทดลองดังต่อไปนี้

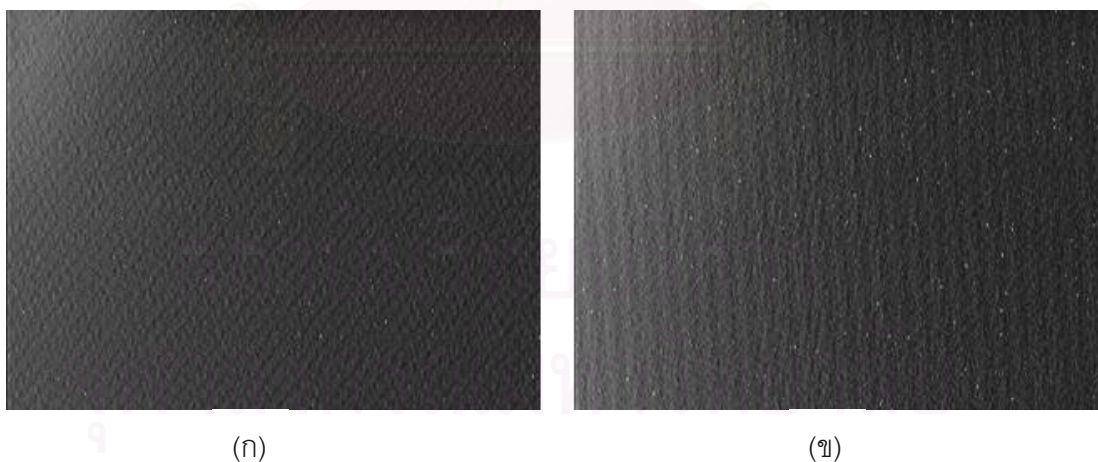
4.2.2.1 จัดระบบตามรูปที่ 4.5 โดยให้อยู่ในที่มืดและไม่เปิดรังสีเอกซ์

4.2.2.2 กำหนดค่าอุณหภูมิการทำงานของซีซีดีเป็น 40°C 30°C และ 16°C แล้วถ่ายภาพที่แต่ละอุณหภูมิเก็บเป็นไฟล์ชนิด BMP ด้วยเวลาเปิดรับแสงหรืออินทิเกรชันไทม์ที่เท่ากัน

4.2.2.3 เปรียบเทียบภาพถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพที่อุณหภูมิการทำงานต่างกัน ตามแสงในรูปที่ 4.3

4.2.2.4 ทำการคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยของค่าสีในระดับ Gray Scale และอัตราส่วนสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (SNR) ตามแสดงในตารางที่ 4.2

4.2.2.5 นำภาพที่ได้จากการถ่ายที่อุณหภูมิการทำงานของซีซีดีต่าง ๆ มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพิกเซลกับค่าสีในระดับ Gray Scale ดังแสดงในรูปที่ 4.4

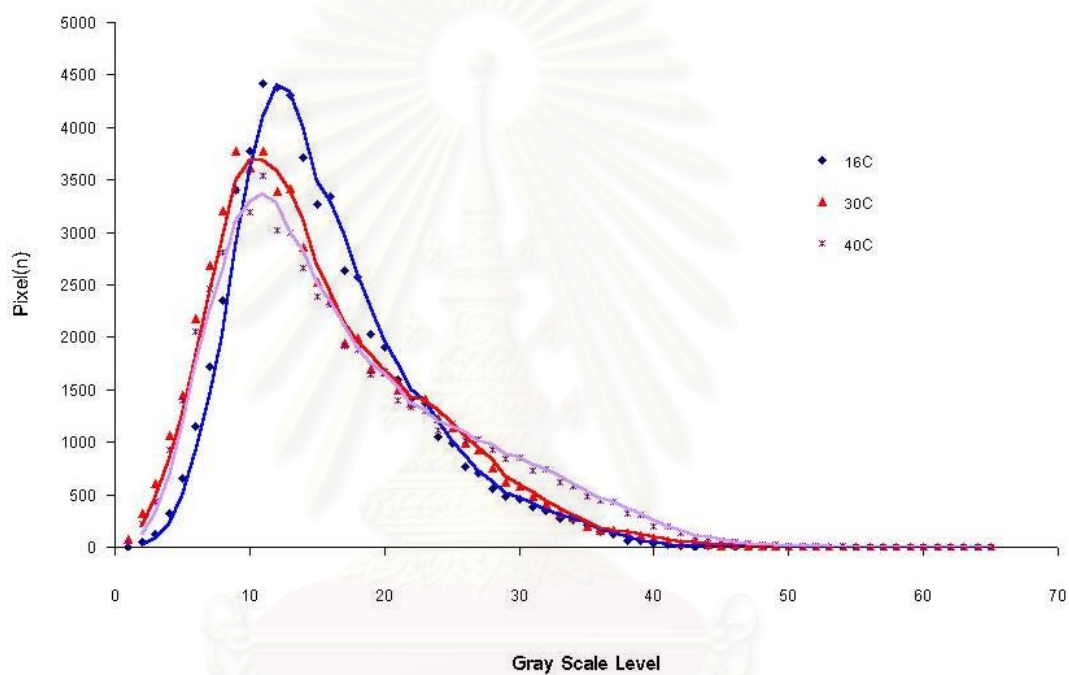


รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบภาพถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพที่อุณหภูมิต่างกัน

(ก) 16°C เวลา 20 วินาที (ข) 40°C เวลา 20 วินาที

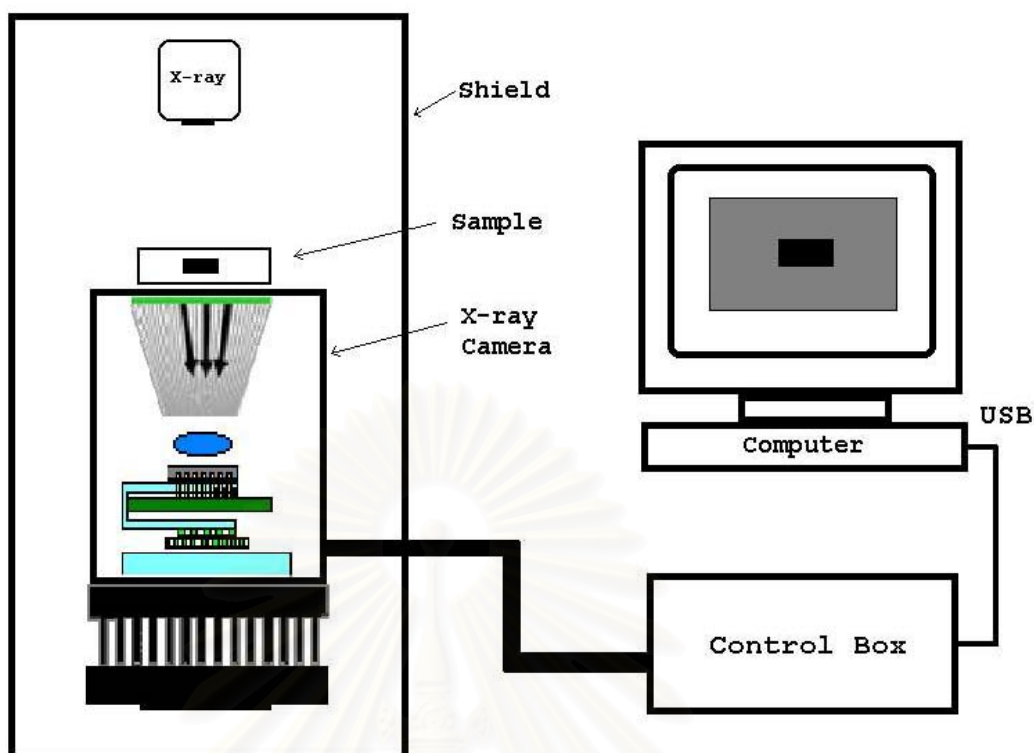
ตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์จากการทดสอบถ่ายภาพที่อุณหภูมิต่างกันในรูปแบบที่ 4.3

| รูปที่ | ค่าเฉลี่ยพิกเซล | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | SNR |
|--------|-----------------|----------------------|------|
| A | 28.85 | 13.23 | 2.18 |
| B | 31.33 | 18.25 | 1.71 |



รูปที่ 4.4 กราฟความแจกแจงความถี่ระหว่างค่าสีในระดับ Gray Scale กับจำนวนพิกเซลของภาพที่ได้จากการถ่ายภาพที่อุณหภูมิต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงการจัดระบบการถ่ายภาพเพื่อทดสอบการทำงานของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น

4.2.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบการทำงานของกล้องทั้งในโหมดเรียลไทม์และโหมดอินทิเกรชัน

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบการทำงานของกล้องเพื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ในโหมดเรียลไทม์กับการถ่ายภาพในโหมดอินทิเกรชัน ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่ได้ระหว่างโหมดเรียลไทม์กับโหมดอินทิเกรชัน ทดสอบเพื่อหาระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพถ่ายรังสีเอกซ์กับเวลาที่ใช้ในการเปิดรับแสง และทดสอบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความคมชัดของภาพถ่ายรังสีเอกซ์กับเวลาที่ใช้ในการเปิดรับแสง มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

4.2.3.1 จัดระบบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ดังรูปที่ 4.5

4.2.3.2 กำหนดคุณหมุมิการทำงาน of กล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ดังนี้

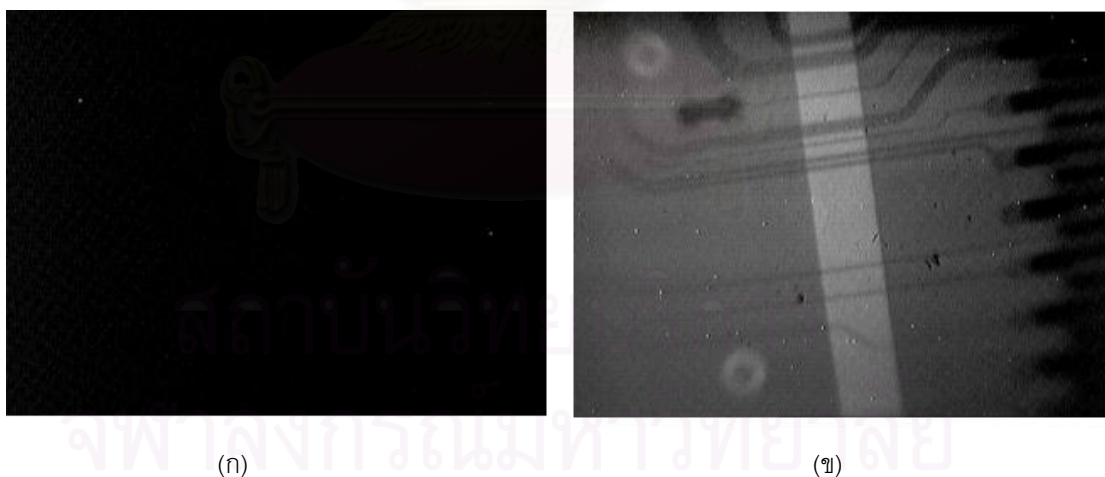
4.2.3.3 กำหนดค่าพลังงานและความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เหมาะสมกับชิ้นงานตัวอย่างแล้วทำการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ในโหมดเรียลไทม์และในโหมดอินทิเกรชัน เพื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายรังสีเอกซ์ซึ่งผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.6

4.2.3.4 กำหนดค่าพลังงานและความเข้มของรังสีเอกซ์เป็น 25kV 25 μ A ตามลำดับ ทำการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่เวลาเปิดรับแสงต่าง ๆ กันบันทึกภาพที่ได้เป็นไฟล์ชนิด BMP

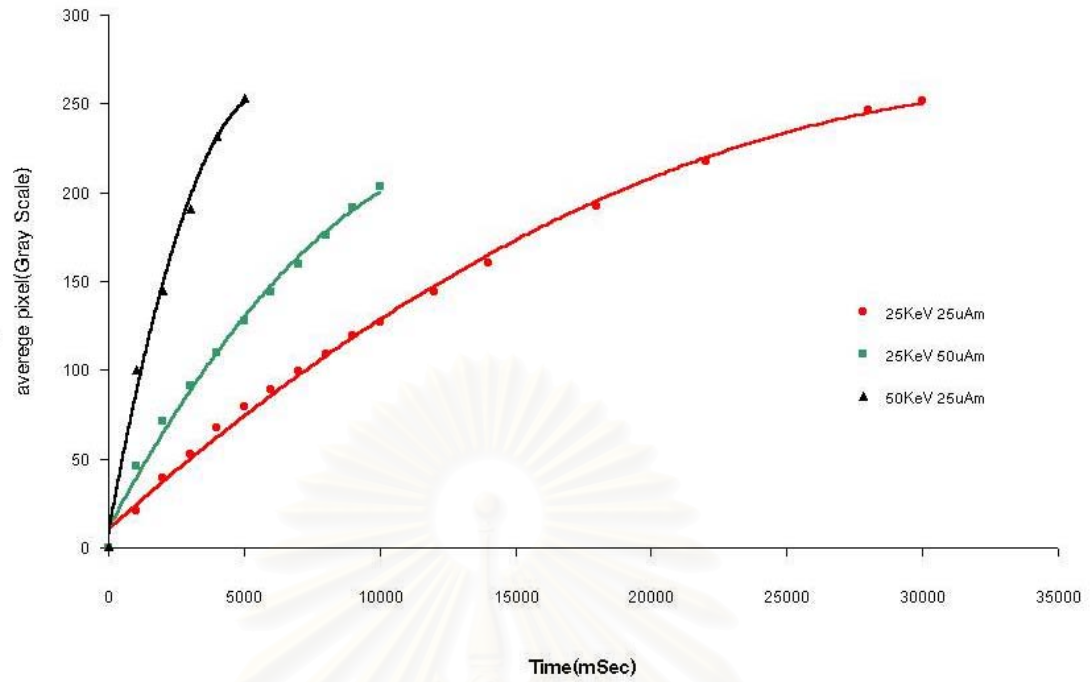
4.2.3.5 ทำการทดสอบเหมือนในข้อที่ 4.2.3.4 แต่เปลี่ยนพลังงานและความเข้มของรังสีเอกซ์เป็น 50kV 25 μ A และที่ 25kV 50 μ A ตามลำดับ

4.2.3.6 นำภาพที่ได้จากการทดสอบในข้อที่ 4.2.3.4 และ 4.2.3.5 มาหาค่าสีเฉลี่ยในระดับ Gray Scale แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยกับเวลาที่เปิดรับแสงเพื่อดูระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.7

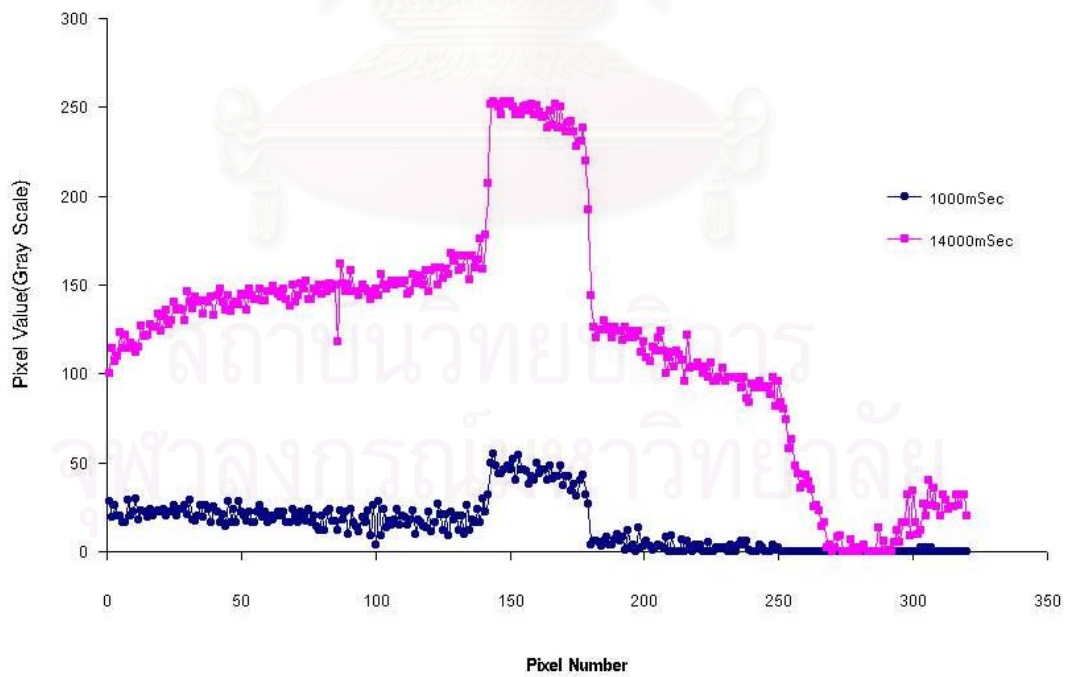
4.2.3.7 ทดการทดสอบถ่ายภาพรังสีเอกซ์เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความเปรียบต่างของภาพ (Contrast) ที่พลังงานและความเข้มของรังสีเอกซ์ 25kV 50 μ A ตามลำดับแล้วทำการถ่ายภาพด้วยการตั้งเวลาการเปิดรับแสงของกล้องเป็น 1 วินาที 3 วินาที และ 5 วินาที จากนั้นนำภาพที่ได้ไปหาโปรไฟล์ที่บริเวณเดียวกันแล้วคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความเปรียบต่าง และค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (SNR) ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.3



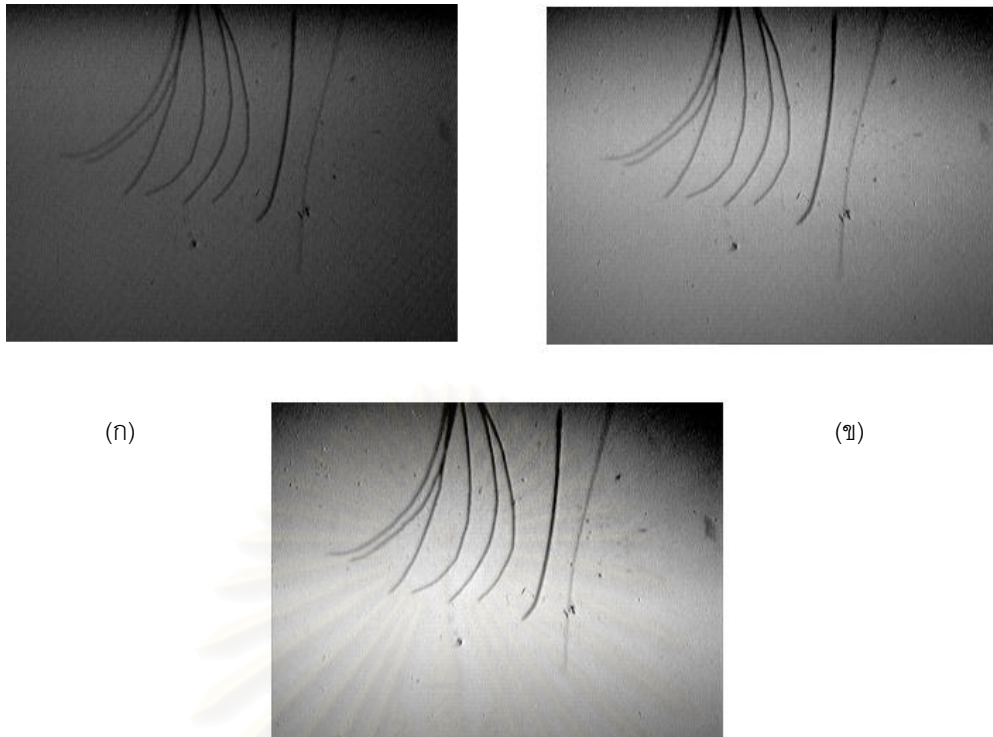
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์กับวัตถุตัวอย่างที่เวลาเปิดรับแสงต่างกัน
รังสีเอกซ์ 25kV ,25 μ A และ 12 $^{\circ}$ C (ก) เรียลไทม์ (ข) 1.4 sec



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าสีเฉลี่ยต่อพิกเซลที่พื้นที่เดียวกันกับเวลาที่เปิดรับแสง

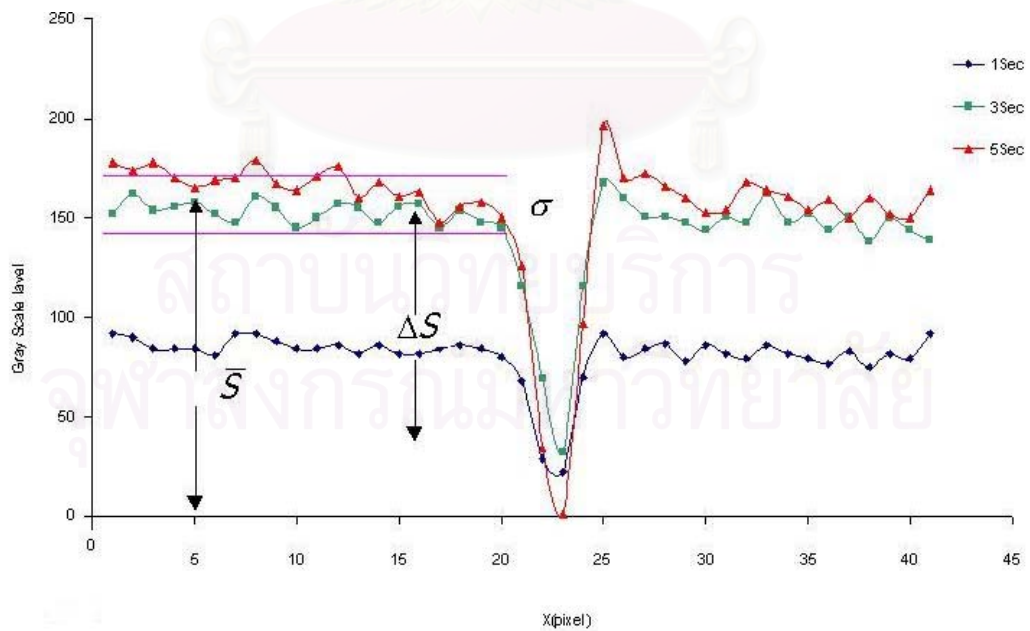


รูปที่ 4.8 แสดงโปรไฟล์ที่ตำแหน่งเดียวกัน(เส้นที่ 177)ของรูปถ่ายในรูปที่ 4.6



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของตัวอย่างที่ 30kV, 25 μ A และ 12 $^{\circ}$ C
เวลาเปิดรับแสง (ก) 1 วินาที (ข) 3 วินาที (ค) 5 วินาที



รูปที่ 4.10 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่ 66 ช่วงที่180-220)ของภาพที่ในรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลภาพที่ได้จากรูปที่ 4.9

| Time | σ | Contrast | SNR |
|------|----------|----------|--------|
| 1sec | 4.933 | 0.737 | 16.966 |
| 3sec | 8.667 | 0.787 | 17.374 |
| 5sec | 14.779 | 0.993 | 10.995 |

$$Contrast = \frac{\Delta S}{S} \quad (4.1)$$

4.2.4 ขั้นตอนและผลการทดสอบหาขอบของภาพถ่ายรังสีเอกซ์

4.2.4.1 จัดระบบทดสอบถ่ายภาพรังสีเอกซ์ตามรูปที่ 4.5

4.2.4.2 เลือกตัวอย่างที่นำมาถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่มีขอบของภาพอย่างชัดเจน

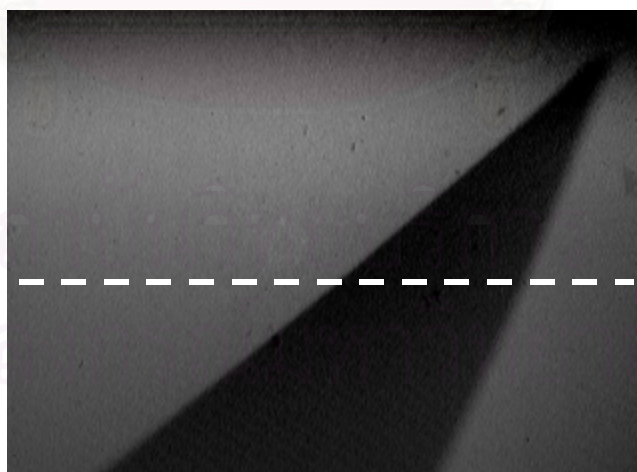
4.2.4.3 กำหนดค่าพลังงานและความเข้มรังสีเอกซ์ และเวลาที่เปิดรับแสงที่เหมาะสม

4.2.4.4 ถ่ายภาพรังสีเอกซ์แล้วบันทึกภาพในไฟล์ชนิด BMP

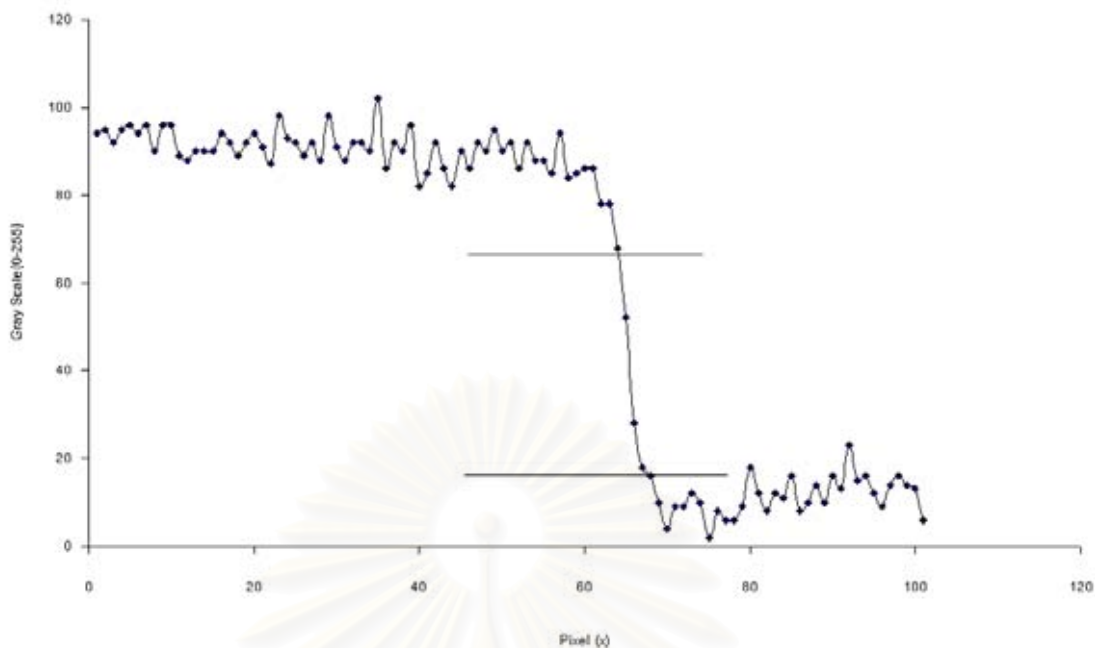
4.2.4.5 นำภาพที่ได้มาอ่านค่าสีในระดับ Gray Scale ด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้น

4.2.4.6 พิจารณาจำนวนพิกเซลที่ขอบของภาพช่วง 25% ถึง 75% เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง

สำหรับการหาขีดความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของภาพ



รูปที่ 4.11 แสดงภาพรังสีเอกซ์ของชิ้นงานที่เป็นอะลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร
(25kV, 25 μ A, 3sec, 15 $^{\circ}$ C)



รูปที่ 4.12 แสดงโปรไฟล์ของเส้นที่ 142 (ช่วงข้อมูล 100-200)
ของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ในรูปที่ 4.11

จากรูปที่ 4.12 พิจารณาจำนวนพิกเซลของขอบภาพที่ 25% ถึง 75% พบว่ามีจำนวนพิกเซล อยู่ 3 พิกเซล เมื่อนำกลับไปคำนวณหาความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของขอบภาพ ได้ค่าเท่ากับ $45.94\mu\text{m}$ (1 พิกเซล เท่ากับ $15.31\mu\text{m}$)

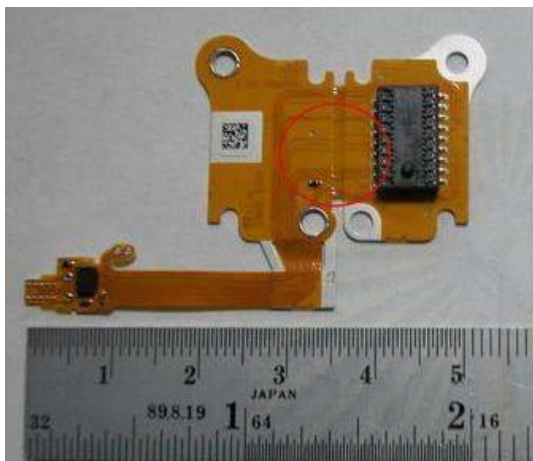
4.2.5 ขั้นตอนและผลทดสอบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์กับตัวอย่างชนิดต่าง ๆ

การทดสอบการทำงานของกล้องในการถ่ายภาพกับตัวอย่างชนิดต่าง ๆ ก็เพื่อต้องการดูคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่เกิดจากตัวอย่างแต่ละชนิดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ต่างกัน เพื่อหาความเหมาะสมในการถ่ายภาพตัวอย่างแต่ละชนิดที่จะใช้ทดสอบ โดยมีขั้นตอนและผลการทดสอบดังนี้

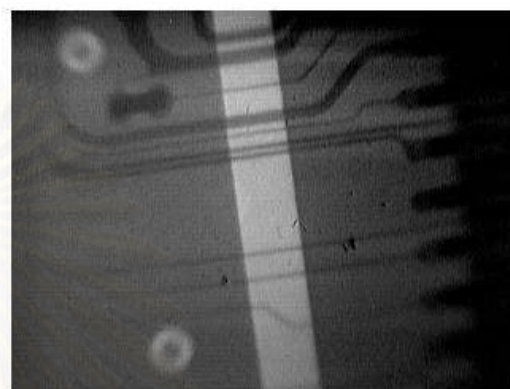
4.2.5.1 เตรียมวัตถุตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบโดยจัดระบบการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

4.2.5.2 แล้วทำการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น พลังงานของรังสีเอกซ์ ความเข้มของรังสีเอกซ์ เวลาที่ใช้ในการเปิดรับแสง และอุณหภูมิการทำงานของซีซีดี

4.2.5.3 บันทึกภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่อยู่ในรูปแบบไฟล์ชนิด BMP แล้วนำไปเปรียบเทียบ
เทียบกับภาพถ่ายตัวอย่างจริง โดยมีผลการทดสอบตามแสดงในรูปที่ 4.13 4.14 4.15 4.16 และ
4.17

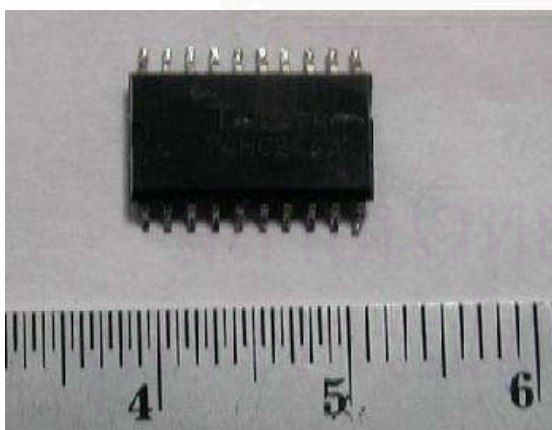


(ก)

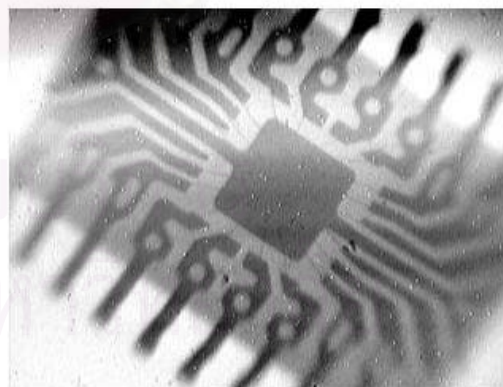


(ข)

รูปที่ 4.13 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของเส้นลายวงจร (25kV, 50 μ A, 4sec และ 15 $^{\circ}$ C)

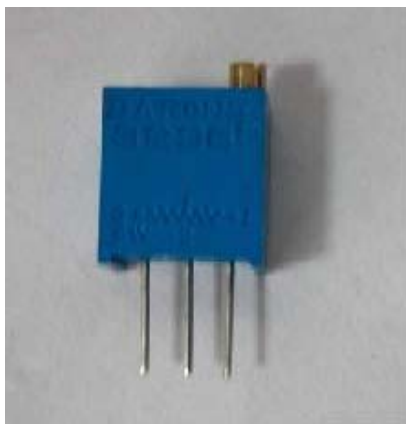


(ก)

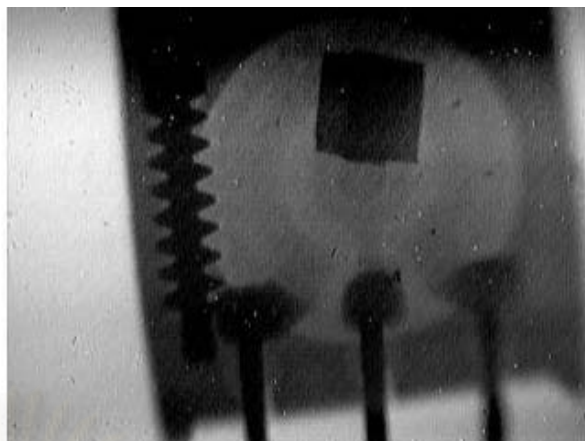


(ข)

รูปที่ 4.14 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของไอซีแบบ SMD (35kV, 25 μ A, 4sec และ 15 $^{\circ}$ C)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของตัวต้านทานปรับค่าได้ (45kV, 25 μ A, 4sec และ 13 $^{\circ}$ C)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของปลาหางนกยูง (12kV, 20 μ A, 4sec และ 20 $^{\circ}$ C)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของเส้นลวดที่มีขนาดต่างๆ (20kV, 25 μ A, 10sec และ 14 $^{\circ}$ C)

4.3 การทดสอบทางด้านซอฟต์แวร์ (Software)

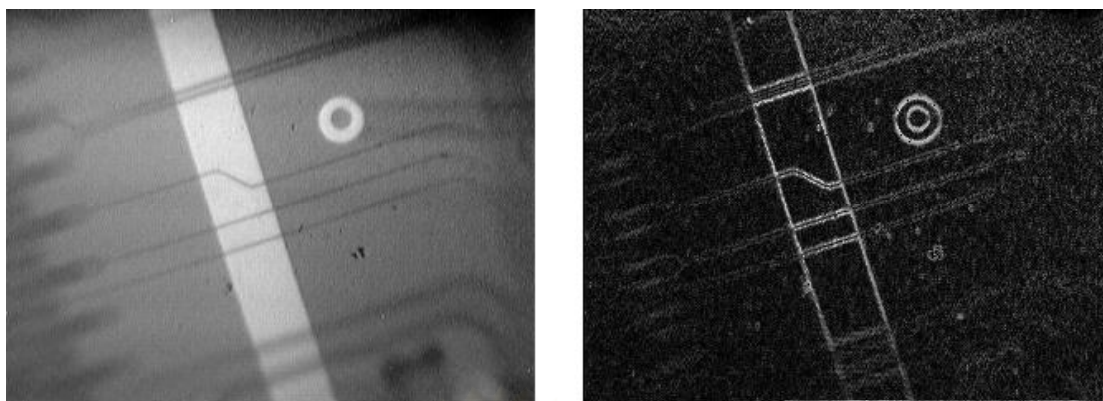
4.3.1 ขั้นตอนและผลการทดสอบปรับปรุงภาพโดยวิธีตรวจหาขอบของภาพ (Edge Detection)

การปรับปรุงภาพด้วยกระบวนการตรวจหาขอบของภาพก็เพื่อที่จะเน้นขอบของภาพให้มีความเด่นชัดขึ้น มีการทดสอบดังต่อไปนี้

4.3.1.1 เลือกภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่ต้องการทดสอบตรวจหาขอบของภาพโดยวิธีการของ Sobel Operator ด้วยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น

4.3.1.2 ผลการเปรียบเทียบภาพที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการตรวจหาขอบของภาพกับภาพที่นำมาทดสอบตามแสดงในรูปที่ 4.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.18 แสดงผลของการตรวจหาขอบภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยใช้ Sobel Function

(ก) ก่อนทำการปรับปรุง (ข) หลังทำการปรับปรุง

4.3.2 ขั้นตอนและผลทดสอบการปรับปรุงภาพโดยวิธีการกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

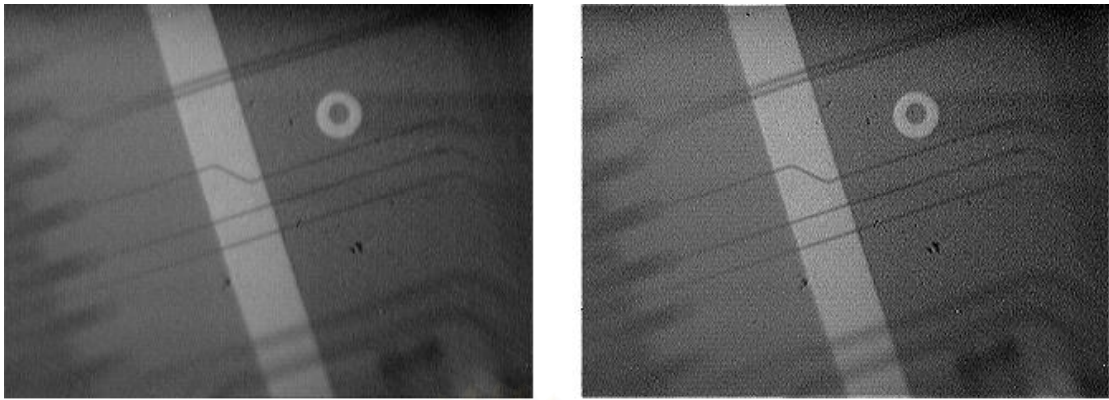
การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ด้วยการกรองความถี่สูงผ่านก็เพื่อปรับปรุงค่าความเปรียบต่างของภาพซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

4.3.2.1 เลือกภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่ต้องการทดสอบที่เป็นไฟล์ชนิด BMP

4.3.2.2 ทำการปรับปรุงภาพโดยกระบวนการกรองความถี่สูงผ่านด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

4.3.2.3 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ก่อนและหลังทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.19 4.20 และ 4.21

สงวนลิขสิทธิ์บริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

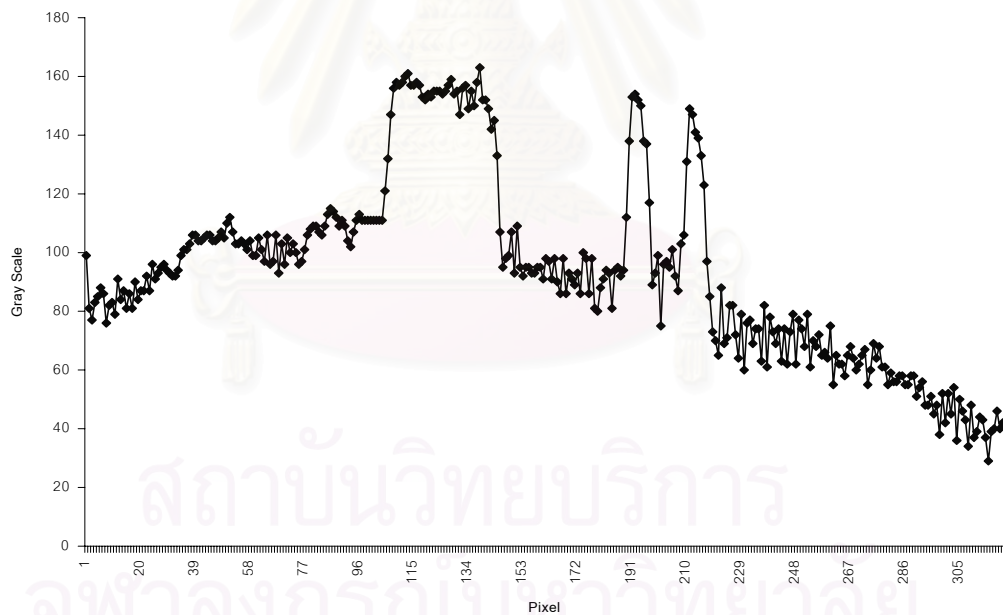


(ก)

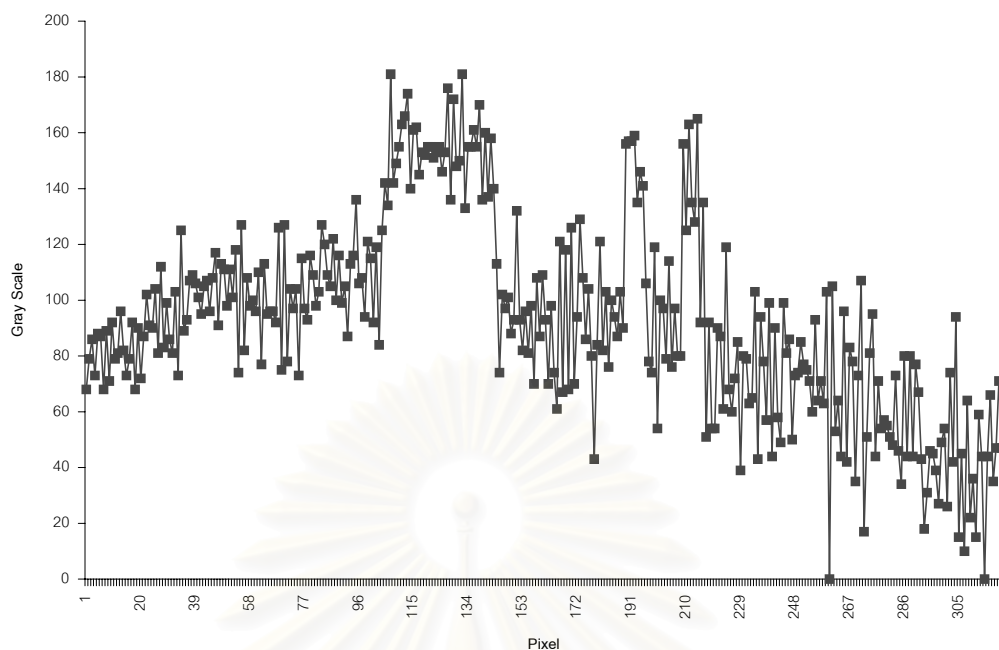
(ข)

รูปที่ 4.19 แสดงผลของการปรับปรุงภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยใช้ High Pass Filter

(ก) ก่อนทำการปรับปรุง (ข) หลังทำการปรับปรุง



รูปที่ 4.20 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่ 67)ของภาพในรูปที่ 4.19 (ก) ก่อนผ่านการทำ High pass filter



รูปที่ 4.21 แสดงโปรไฟล์ (เส้นที่ 67)ของภาพในรูปที่ 4.19 (ข) หลังผ่านการทำ High pass filter

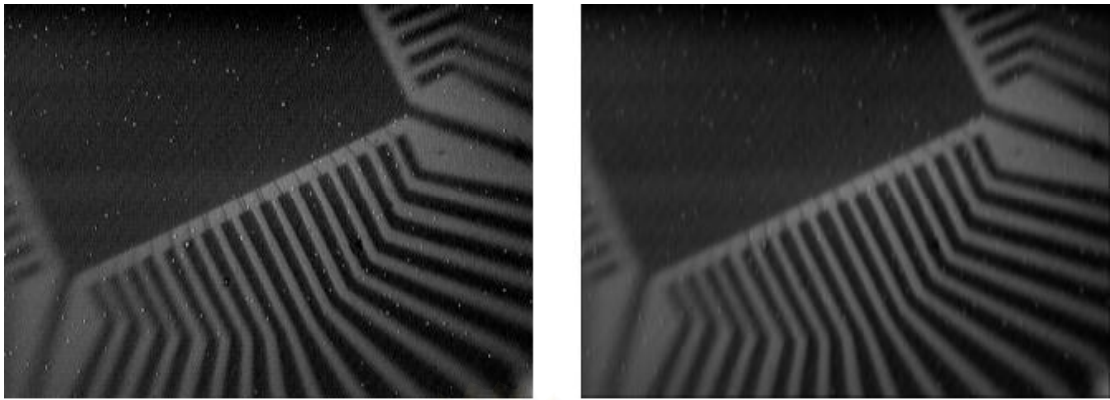
4.3.3 ทดสอบการปรับปรุงภาพโดยวิธีการกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

การปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยวิธีการกรองความถี่ต่ำผ่านมีจุดประสงค์ก็เพื่อที่จะลดสัญญาณรบกวนของภาพ ซึ่งภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่ผ่านกระบวนการนี้จะมีความนุ่มนวลมากขึ้นจึงถูกใช้สำหรับการแก้ปัญหาเรื่อง White Spot โดยมีขั้นตอนและผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.3.3.1 เลือกภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่ต้องการทดสอบไฟล์รูปแบบ BMP

4.3.3.2 แล้วมาทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยกระบวนการกรองความถี่ต่ำผ่านด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

4.3.3.3 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ก่อนและหลังทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.22 4.23 และ 4.24

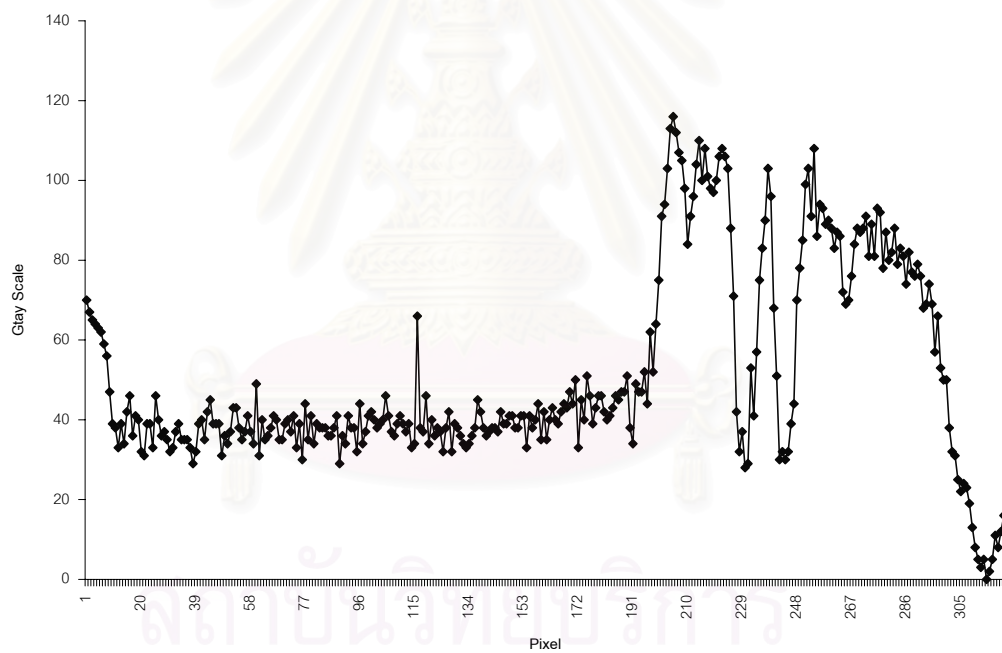


(ก)

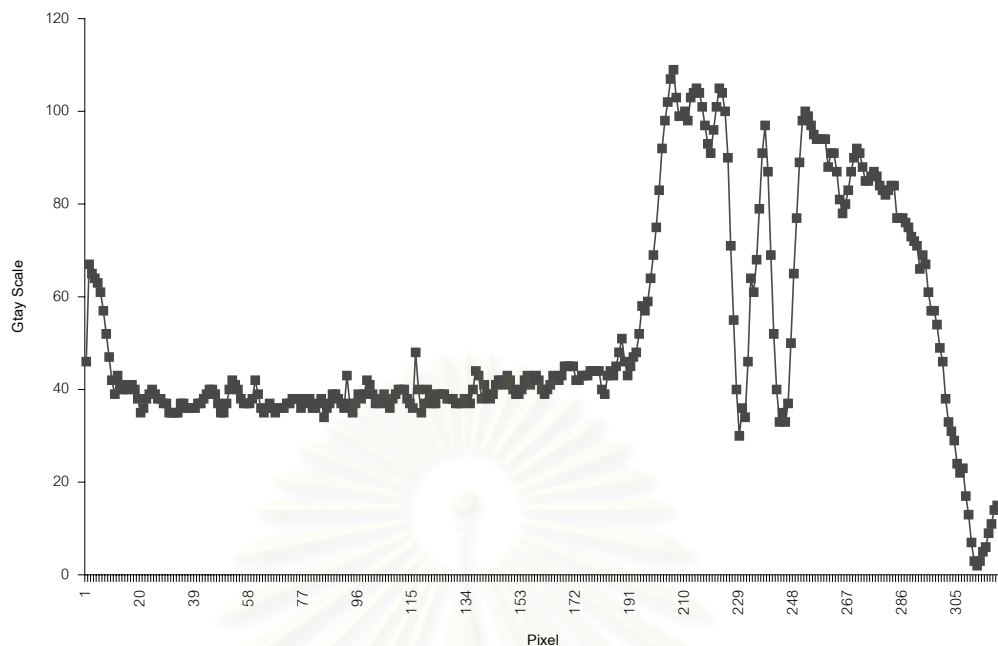
(ข)

รูปที่ 4.22 แสดงผลของการปรับปรุงภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยใช้ Low Pass Filter

(ก) ก่อนทำการปรับปรุง (ข) หลังทำการปรับปรุง



รูปที่ 4.23 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่ 90)ของภาพในรูปที่ 4.22 (ก) ก่อนผ่านการทำ Low pass filter



รูปที่ 4.24 แสดงโปรไฟล์(เส้นที่ 90)ของภาพในรูปที่ 4.22 (ข) หลังผ่านการทำ Low pass filter

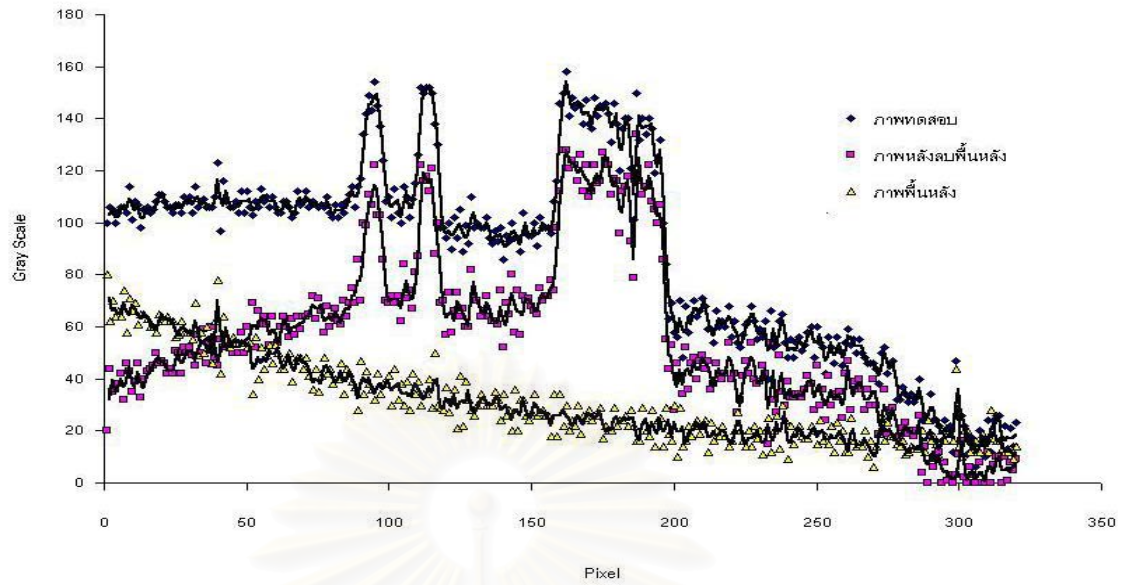
4.3.4 ทดสอบการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการลบ Background

การทดสอบการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยวิธีการลบ Background ก็เพื่อแก้ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบถ่ายภาพ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

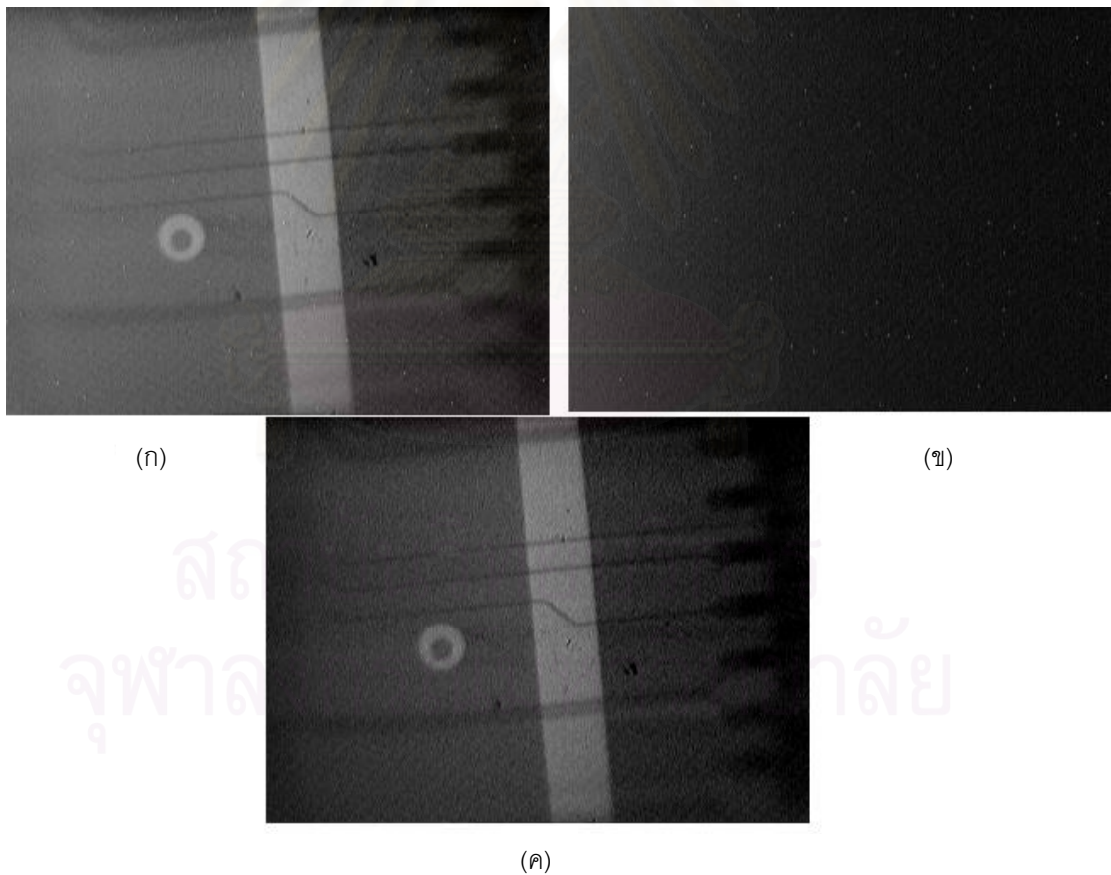
4.3.4.1 ทำการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ขณะที่ยังไม่มีชิ้นงานตัวอย่างแล้วบันทึกในไฟล์แบบ BMP เพื่อใช้เป็น Background

4.3.4.2 ทำการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่มีชิ้นงานตัวอย่างโดยต้องมีเงื่อนไขการถ่ายภาพเหมือนกับข้อที่ 4.3.4.1 แล้วบันทึกในไฟล์แบบ BMP

4.3.4.3 แล้วนำภาพที่ได้ทั้งสองภาพมาประมวลผลเชิงตัวเลขเพื่อปรับระดับค่าสีใน Gray Scale ของแต่ละพิกเซลจากนั้นนำภาพทั้งสองมาลบกัน โดยต้องเป็นตำแหน่งเดียวกันซึ่งมีผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ



รูปที่ 4.25 แสดงโปรไฟล์ (เส้นที่138) ของภาพในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แสดงผลของภาพที่ได้หลังจากการปรับปรุงโดยการลบ Background
 (ก) ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ก่อนทำการลบ Background (ข) ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่เป็น Background
 (ค) ภาพถ่ายรังสีเอกซ์หลังทำการลบ Background

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ทดสอบการทำงานของระบบหล่อเย็นซีซีดี

จากการทดสอบการทำงานของระบบหล่อเย็นซีซีดีพบว่า การลดลงของอุณหภูมิของซีซีดีลดลงอย่างไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบหล่อเย็นไม่ได้ทำงานภายใต้บรรยากาศที่เป็นสุญญากาศจึงส่งผลความร้อนจากภายนอกเข้าไปรบกวนระบบ และด้วยขนาดของอะลูมิเนียมที่ใช้ทำโคลด์ฟิงเกอร์ (Cold Finger) สำหรับนำความเย็นไปยังซีซีดีมีขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดเป็นโหลดเพิ่มขึ้น ซึ่งในส่วนนี้เป็นข้อจำกัดในการออกแบบโครงสร้างของตัวกล่อง รวมทั้งความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวของเทอร์โมอิเล็กทริกเองตามปรากฏการณ์ Joulian Effect [10]

5.1.2 ทดสอบการทำงานของกล่องที่อุณหภูมิต่างกัน

จากผลการทดลองการทำงานของกล่องที่อุณหภูมิต่างกันพบว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวนจาก Dark Current จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิ โดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของ SNR ที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีค่าที่ต่ำ แต่ที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าสูงขึ้น

5.1.3 ทดสอบการทำงานของกล่องในโหมดเรียลไทม์และโหมดอินทิเกรชัน

ผลการทดสอบการถ่ายภาพในโหมดเรียลไทม์ต้องใช้พลังงานและความเข้มที่สูงถึง 60 kV กระแส 50 μA จึงสามารถเห็นภาพได้ แต่ถ้าใช้เป็นโหมดอินทิเกรชันสำหรับการถ่ายภาพไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานและความเข้มที่สูงเพราะข้อมูลของภาพที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ในโหมดนี้เกิดจากการเปิดรับแสงซีซีดีที่นานขึ้นทำให้ได้สัญญาณข้อมูลของภาพมากขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับเวลาที่เปิดรับแสง การถ่ายภาพโดยวิธีนี้จะช่วยให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากกว่าการถ่ายภาพในแบบเรียลไทม์ (Real Time) จึงสามารถใช้แก้ปัญหาในกรณีที่มีความเข้มของรังสีเอกซ์มี

ปริมาณที่น้อย นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับการถ่ายภาพที่พลังงานของรังสีเอกซ์ต่ำเพราะความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นที่สารเรืองรังสีเอกซ์มีน้อย

5.1.4 ทดสอบการถ่ายภาพที่พลังงานและความเข้มของรังสีเอกซ์ต่างกัน

พลังงานและความเข้มของรังสีเอกซ์มีผลต่อภาพถ่ายรังสีเอกซ์ เพราะพลังงานของรังสีเอกซ์จะเป็นตัวที่ชี้ถึงความสามารถในการทะลุผ่านวัตถุตัวกลางและความเข้มของรังสีเอกซ์จะเป็นตัวบอกถึงปริมาณรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบต่อพื้นที่ซึ่งความเข้มของรังสีเอกซ์จะเป็นไปตามกฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square law) ดังนั้นการถ่ายภาพรังสีเอกซ์จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาการกำหนดพลังงานของรังสีเอกซ์เพราะจะส่งผลต่อความคมชัดของภาพที่ได้ตลอดจนการกำหนดความเข้มของรังสีเอกซ์จะมีผลต่อความสว่างของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ เป็นต้น

5.1.5 ความสามารถในการแยกรายละเอียดของกล้องที่พัฒนาขึ้น

สำหรับความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของกล้องที่ได้พัฒนาขึ้นไม่สามารถทำการทดสอบได้โดยตรงเนื่องจากว่าไม่สามารถที่จะเตรียมตัวอย่างที่มีขนาดเล็กมากได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาความสามารถของการแยกแยะรายละเอียดของกล้องโดยอาศัย Spatial Resolution ของ FOS ซึ่งเท่ากับ 14lp/min และขึ้นอยู่กับขนาดของฟิสิกเซลของซีซีดีที่มีขนาด $9.8\mu\text{m} \times 6.8\mu\text{m}$ จากการทดสอบการถ่ายภาพกับตัวอย่างไอซีพบว่าสามารถที่จะมองเห็นเส้นลวดภายในไอซีได้ และจากหาขอบของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่ 25% ถึง 75% จะมีขนาด $45.94\mu\text{m}$

5.1.6 ทดสอบการถ่ายภาพกับตัวอย่างต่าง ๆ

จากการทดสอบทำการถ่ายภาพกับตัวอย่างต่าง ๆ พบว่าการถ่ายภาพกับตัวอย่างที่มีความหนาต่าง ๆ ไม่สามารถที่จะทำได้เนื่องจากจำกัดด้วยแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ที่สามารถที่จะทำงานได้สูงสุดที่ 80kV 100 μA นอกจากนั้นการถ่ายภาพก็สามารถที่จะถ่ายภาพได้กับตัวอย่างที่มีขนาดเล็กเพราะขนาดของพื้นที่ของสารเรืองรังสีเอกซ์มีขนาดเล็ก

5.1.7 การปรับปรุงภาพถ่ายที่ได้หลังจากทำการถ่ายภาพ

การปรับปรุงภาพถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในแต่ละงาน ซึ่งวิธีการปรับปรุงมีหลายวิธี แต่บางครั้งการปรับปรุงภาพอาจจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการปรับปรุงภาพจะต้องรู้ถึงผลที่ตามมาและความเหมาะสมของภาพที่นำมาปรับปรุง เช่น ในการปรับปรุงภาพโดยใช้การตรวจหาขอบภาพแบบ Sobel อาจก่อปัญหาเรื่องความเด่นชัดของสัญญาณรบกวนหลังจากทำการการปรับปรุงคุณภาพของภาพในกรณีที่ภาพเดิมเป็นภาพที่มีสัญญาณรบกวนอยู่มาก ในส่วนของการปรับปรุงภาพด้วยการกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter) ก็อาจจะส่งผลต่อสัญญาณรบกวนเพราะการปรับปรุงภาพแบบนี้ถึงแม้จะเพิ่มความคมชัดของภาพ แต่ก็จะทำให้ส่วนของสัญญาณรบกวนมีความเด่นชัดมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการเลือกวิธีการปรับปรุงภาพจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาภาพที่จะนำไปปรับปรุงก่อนว่าเหมาะสมกับการปรับปรุงในรูปแบบใดและสิ่งที่ต้องการหลังการปรับปรุง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปกติการใช้งาน FOS ชนิดเทอร์ปอร์ก็เพื่อลดปัญหาเรื่องการสูญเสียและกระเจิงของแสงอันเนื่องมาจากเลนส์ซึ่งทำให้คุณภาพของภาพที่ได้ลดลง แต่จากการออกแบบพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ได้เลือกใช้ซีซีดีที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้ไม่สามารถนำไฟเบอร์ออปติกเทอร์ปอร์ไปเชื่อมต่อกับซีซีดีได้โดยตรง ดังนั้นจำเป็นต้องอาศัยเลนส์ช่วยในการโฟกัสแสงที่เกิดขึ้นที่สารเรืองรังสีเอกซ์ให้ตกกระทบบนซีซีดี และเพื่อชดเชยปริมาณแสงที่สูญเสียไปจึงได้ออกแบบกล้องให้มีการทำงานในโหมดอินทิเกรชัน ซึ่งการทำงานในโหมดนี้ช่วยแก้ปัญหาเรื่องปริมาณแสงที่น้อยและนอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณการได้รับรังสีของผู้ที่ใช้งานลงได้เพราะไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานและความเข้มเกินความจำเป็น ในส่วนของปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นที่ซีซีดียังเป็นปัญหาที่สำคัญที่จะต้องพิจารณา โดยเฉพาะปัญหาเรื่อง Dark Current ที่สัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิการทำงานของซีซีดี ซึ่งในการแก้ปัญหานี้ได้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการหล่อเย็น (Thermoelectric Cools) โดยปกติการลดอุณหภูมิการทำงานของซีซีดีจะต้องทำการลดอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C แต่ระบบที่ออกแบบไม่สามารถที่จะลดได้ถึงจุดนั้นเนื่องจากระบบที่ออกแบบไม่ได้เป็นระบบที่ทำงานภายใต้สภาวะสุญญากาศ และตัวนำความเย็นไปยังซีซีดีก็มีขนาดใหญ่เกินไปจึงทำให้ความร้อนจากระบบภายนอกเข้ามาจนเป็นผลให้ไม่สามารถทำให้อุณหภูมิจึงต่ำลงกว่า 0°C ได้ และการพิจารณาความละเอียดของภาพจะให้ความถูกต้องแม่นยำนั้นจำเป็นที่จะต้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์กับตัวอย่างที่เป็นมาตรฐานแน่นอน

การประยุกต์การใช้งานของกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถที่จะดัดแปลงเพื่อทำการเก็บข้อมูลของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่มุมต่างๆ ของวัตถุเพื่อไปทำการประมวลผลภาพเป็นภาพ Computer Tomography (CT) และอาจจะออกแบบสำหรับการถ่ายภาพในกรณีที่มีวัตถุมีขนาดใหญ่ โดยการเพิ่มส่วนของการเคลื่อนที่วัตถุให้สามารถจะทำการถ่ายภาพที่ตำแหน่งต่างๆ ได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. นเรศร์ จัณฑ์ขาว. การถ่ายภาพรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาในงานอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการสอนวิชา 2111626 การประยุกต์ใช้งานรังสีในทางอุตสาหกรรม. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
2. J.S. LILLEY. NUCLEAR PHYSICS PRINCIPLES AND APPLICATION. Department of Physics and astronomy The University of Manchester: John Wiley & Sons, 2001.
3. Christian Buil. CCD Astronomy Construction and Use of an Astronomical CCD Camera. Washington USA: Willmann-Bell,1991.
4. Gerald C. Holst. CCD ARRAYS, CAMERAS, and DISPLAYS. 2nd ed. SPI- The International Society for Optical Engineering : JCD Publishing, 1998.
5. Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. 3th ed. NY: John Wiley & Sons,2000.
6. D CAVOURAS, PhD, I KANDARAKIS, PhD, A BAKAS, MSc, D TRIANTIS, PhD, C D NOMICOS, PhD and G S PANYIOTAKIS, PhD. 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 71(1998): 766-772.
7. An X-ray imaging device for the next generation. Available from:
<http://www.hpk.co.jp>
8. Sara Godfrey. An introduction to thermoelectric coolers. Available from:
http://www.electronics-cooling.com/Resource/EC_Articles/SEP96
9. TELLUREX CORPORATTION. An Introduction to Thermoelectric. Available from:
<http://www.tellurex.com/cthermo.html>
10. Radiography in Modern Industry. Available from: <http://www.koduk.com>
11. Maher A. Sid-Ahmed. Image Processing Theory, Algorithms, and Architectures. Singapore: McGraw-Hill, 1995.
12. Rod Stephens. Visual Basic Graphics Programming: Hand-on Applications and Advanced Color Development. 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, 2000.

บรรณานุกรม

- Euclid Seeram. COMPUTED TOMOGRAPHY: PHYSICAL PRINCIPLES, CLINICAL APPLICATIONS, AND QUALITY CONTROL. 2nd ed. Philadelphia USA: W.B. SAUNDERS COMPANY, 2001.
- I. Kandarakis, D. Cavouras, E. Kanellopoulos, C.D. Nomicos, G.S. Panayiotakis. Experiment determination of detector gain, zero frequency detective quantum efficiency, and spectrum compatibility of phosphor screen: comparison of CsI:Na and Gd₂O₂S:Tb for Medical imaging application. Journal of Nuclear Instruments & methods in physics research section A 417 (1998) : 86-94.
- Jack Lancaster, PhD. Advanced Diagnostic Imaging. Available from: <http://ric.uthscsa.edu/personalpages/lancaste>
- Richard Berry. CHOOSING AND USING A CCD CAMERA. USA: Willmann-Bell, 2000.
- Richard Berry, Veikko Kanto, John Munger. THE CCD Camera Cookbook. USA: Willmann-Bell, 2000.
- Richard Berry. Introduction Astronomical Image Processing. USA: Willmann-Bell, 1991.
- Sol M. Gruner, Mark W. Tate, Eric F. Eikenberry. Charge-Coupled device and x-ray detectors. Journal of Review Of Science Instruments. Volume73, Number 8 , August 2002 : 2815-2842.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

แสดงฟังก์ชันต่างๆสำหรับการติดต่อวีดิโอแคปเจอร์การ์ด

```
// -----  
// Windows API Constants / Types / Declarations  
// -----  
Public Const WM_USER = &H400  
Type POINTAPI  
    x As Long  
    y As Long  
End Type  
Declare Function SendMessage Lib "user32" Alias "SendMessageA" (ByVal hWnd As Long, ByVal  
wMsg As Long, ByVal wParam As Integer, ByVal lParam As Long) As Long  
Declare Function SendMessageS Lib "user32" Alias "SendMessageA" (ByVal hWnd As Long, ByVal  
wMsg As Long, ByVal wParam As Integer, ByVal lParam As String) As Long  
  
// -----  
// Window Messages WM_CAP... which can be sent to an AVICAP window  
// -----  
  
// Defines start of the message range  
Public Const WM_CAP_START = WM_USER  
  
Public Const WM_CAP_GET_CAPSTREAMPTR = WM_CAP_START + 1  
  
Public Const WM_CAP_SET_CALLBACK_ERROR = WM_CAP_START + 2  
Public Const WM_CAP_SET_CALLBACK_STATUS = WM_CAP_START + 3  
Public Const WM_CAP_SET_CALLBACK_YIELD = WM_CAP_START + 4  
Public Const WM_CAP_SET_CALLBACK_FRAME = WM_CAP_START + 5  
Public Const WM_CAP_SET_CALLBACK_VIDEOSTREAM = WM_CAP_START + 6  
Public Const WM_CAP_SET_CALLBACK_WAVESTREAM = WM_CAP_START + 7  
Public Const WM_CAP_GET_USER_DATA = WM_CAP_START + 8  
Public Const WM_CAP_SET_USER_DATA = WM_CAP_START + 9
```

Public Const WM_CAP_DRIVER_CONNECT = WM_CAP_START + 10

Public Const WM_CAP_DRIVER_DISCONNECT = WM_CAP_START + 11

Public Const WM_CAP_DRIVER_GET_NAME = WM_CAP_START + 12

Public Const WM_CAP_DRIVER_GET_VERSION = WM_CAP_START + 13

Public Const WM_CAP_DRIVER_GET_CAPS = WM_CAP_START + 14

Public Const WM_CAP_FILE_SET_CAPTURE_FILE = WM_CAP_START + 20

Public Const WM_CAP_FILE_GET_CAPTURE_FILE = WM_CAP_START + 21

Public Const WM_CAP_FILE_ALLOCATE = WM_CAP_START + 22

Public Const WM_CAP_FILE_SAVEAS = WM_CAP_START + 23

Public Const WM_CAP_FILE_SET_INFOCHUNK = WM_CAP_START + 24

Public Const WM_CAP_FILE_SAVEDIB = WM_CAP_START + 25

Public Const WM_CAP_EDIT_COPY = WM_CAP_START + 30

Public Const WM_CAP_SET_AUDIOFORMAT = WM_CAP_START + 35

Public Const WM_CAP_GET_AUDIOFORMAT = WM_CAP_START + 36

Public Const WM_CAP_DLG_VIDEOFORMAT = WM_CAP_START + 41

Public Const WM_CAP_DLG_VIDEOSOURCE = WM_CAP_START + 42

Public Const WM_CAP_DLG_VIDEODISPLAY = WM_CAP_START + 43

Public Const WM_CAP_GET_VIDEOFORMAT = WM_CAP_START + 44

Public Const WM_CAP_SET_VIDEOFORMAT = WM_CAP_START + 45

Public Const WM_CAP_DLG_VIDEOCOMPRESSION = WM_CAP_START + 46

Public Const WM_CAP_SET_PREVIEW = WM_CAP_START + 50

Public Const WM_CAP_SET_OVERLAY = WM_CAP_START + 51

Public Const WM_CAP_SET_PREVIEWRATE = WM_CAP_START + 52

Public Const WM_CAP_SET_SCALE = WM_CAP_START + 53

Public Const WM_CAP_GET_STATUS = WM_CAP_START + 54

Public Const WM_CAP_SET_SCROLL = WM_CAP_START + 55

Public Const WM_CAP_GRAB_FRAME = WM_CAP_START + 60

Public Const WM_CAP_GRAB_FRAME_NOSTOP = WM_CAP_START + 61

```

Public Const WM_CAP_SEQUENCE = WM_CAP_START + 62
Public Const WM_CAP_SEQUENCE_NOFILE = WM_CAP_START + 63
Public Const WM_CAP_SET_SEQUENCE_SETUP = WM_CAP_START + 64
Public Const WM_CAP_GET_SEQUENCE_SETUP = WM_CAP_START + 65
Public Const WM_CAP_SET_MCI_DEVICE = WM_CAP_START + 66
Public Const WM_CAP_GET_MCI_DEVICE = WM_CAP_START + 67
Public Const WM_CAP_STOP = WM_CAP_START + 68
Public Const WM_CAP_ABORT = WM_CAP_START + 69

Public Const WM_CAP_SINGLE_FRAME_OPEN = WM_CAP_START + 70
Public Const WM_CAP_SINGLE_FRAME_CLOSE = WM_CAP_START + 71
Public Const WM_CAP_SINGLE_FRAME = WM_CAP_START + 72

Public Const WM_CAP_PAL_OPEN = WM_CAP_START + 80
Public Const WM_CAP_PAL_SAVE = WM_CAP_START + 81
Public Const WM_CAP_PAL_PASTE = WM_CAP_START + 82
Public Const WM_CAP_PAL_AUTOCREATE = WM_CAP_START + 83
Public Const WM_CAP_PAL_MANUALCREATE = WM_CAP_START + 84

'// Following added post VFW 1.1
Public Const WM_CAP_SET_CALLBACK_CAPCONTROL = WM_CAP_START + 85

'// Defines end of the message range
Public Const WM_CAP_END = WM_CAP_SET_CALLBACK_CAPCONTROL

'// -----
'// Structures
'// -----

Type CAPDRIVERCAPS
    wDeviceIndex As Long ' // Driver index in system.ini
    fHasOverlay As Long ' // Can device overlay?
    fHasDlgVideoSource As Long ' // Has Video source dlg?
    fHasDlgVideoFormat As Long ' // Has Format dlg?
    fHasDlgVideoDisplay As Long ' // Has External out dlg?

```

```

fCaptureInitialized As Long ' // Driver ready to capture?
fDriverSuppliesPalettes As Long ' // Can driver make palettes?
hVideoIn As Long ' // Driver In channel
hVideoOut As Long ' // Driver Out channel
hVideoExtIn As Long ' // Driver Ext In channel
hVideoExtOut As Long ' // Driver Ext Out channel

```

End Type

Type CAPSTATUS

```

uiImageWidth As Long // Width of the image
uiImageHeight As Long // Height of the image
fLiveWindow As Long // Now Previewing video?
fOverlayWindow As Long // Now Overlaying video?
fScale As Long // Scale image to client?
ptScroll As POINTAPI // Scroll position
fUsingDefaultPalette As Long // Using default driver palette?
fAudioHardware As Long // Audio hardware present?
fCapFileExists As Long // Does capture file exist?
dwCurrentVideoFrame As Long // # of video frames cap'td
dwCurrentVideoFramesDropped As Long // # of video frames dropped
dwCurrentWaveSamples As Long // # of wave samples cap'td
dwCurrentTimeElapsedMS As Long // Elapsed capture duration
hPalCurrent As Long // Current palette in use
fCapturingNow As Long // Capture in progress?
dwReturn As Long // Error value after any operation
wNumVideoAllocated As Long // Actual number of video buffers
wNumAudioAllocated As Long // Actual number of audio buffers

```

End Type

Type CAPTUREPARMS

```

dwRequestMicroSecPerFrame As Long // Requested capture rate
fMakeUserHitOKToCapture As Long // Show "Hit OK to cap" dlg?
wPercentDropForError As Long // Give error msg if > (10%)
fYield As Long // Capture via background task?
dwIndexSize As Long // Max index size in frames (32K)

```

```

wChunkGranularity As Long      '// Junk chunk granularity (2K)
fUsingDOSMemory As Long        '// Use DOS buffers?
wNumVideoRequested As Long     '// # video buffers, If 0, autocalc
fCaptureAudio As Long          '// Capture audio?
wNumAudioRequested As Long     '// # audio buffers, If 0, autocalc
vKeyAbort As Long              '// Virtual key causing abort
fAbortLeftMouse As Long        '// Abort on left mouse?
fAbortRightMouse As Long       '// Abort on right mouse?
fLimitEnabled As Long          '// Use wTimeLimit?
wTimeLimit As Long             '// Seconds to capture
fMCIControl As Long           '// Use MCI video source?
fStepMCIDevice As Long         '// Step MCI device?
dwMCIStartTime As Long         '// Time to start in MS
dwMCIStopTime As Long          '// Time to stop in MS
fStepCaptureAt2x As Long       '// Perform spatial averaging 2x
wStepCaptureAverageFrames As Long  '// Temporal average n Frames
dwAudioBufferSize As Long      '// Size of audio bufs (0 = default)
fDisableWriteCache As Long     '// Attempt to disable write cache
End Type

```

Type CAPINFOCHUNK

```

fccInfolD As Long              '// Chunk ID, "ICOP" for copyright
lpData As Long                 '// pointer to data
cbData As Long                 '// size of lpData
End Type

```

Type VIDEOHDR

```

lpData As Long                '// address of video buffer
dwBufferLength As Long        '// size, in bytes, of the Data buffer
dwBytesUsed As Long           '// see below
dwTimeCaptured As Long       '// see below
dwUser As Long                '// user-specific data
dwFlags As Long               '// see below
dwReserved(3) As Long         '// reserved; do not use}
End Type

```

```

// The two functions exported by AVICap
Declare Function capCreateCaptureWindowA Lib "avicap32.dll" ( _
    ByVal lpszWindowName As String, _
    ByVal dwStyle As Long, _
    ByVal x As Long, ByVal y As Long, ByVal nWidth As Long, ByVal nHeight As Integer, _
    ByVal hWndParent As Long, ByVal nID As Long) As Long
Declare Function capGetDriverDescriptionA Lib "avicap32.dll" ( _
    ByVal wDriver As Integer, _
    ByVal lpszName As String, _
    ByVal cbName As Long, _
    ByVal lpszVer As String, _
    ByVal cbVer As Long) As Boolean

// -----
// String IDs from status and error callbacks
// -----

Public Const IDS_CAP_BEGIN = 300      /* "Capture Start" */
Public Const IDS_CAP_END = 301      /* "Capture End" */

Public Const IDS_CAP_INFO = 401      /* "%s" */
Public Const IDS_CAP_OUTOFMEM = 402  /* "Out of memory" */
Public Const IDS_CAP_FILEEXISTS = 403 /* "File '%s' exists -- overwrite it?" */
Public Const IDS_CAP_ERRORPALOPEN = 404 /* "Error opening palette '%s'" */
Public Const IDS_CAP_ERRORPALSAVE = 405 /* "Error saving palette '%s'" */
Public Const IDS_CAP_ERRORDIBSAVE = 406 /* "Error saving frame '%s'" */
Public Const IDS_CAP_DEFAVIEXT = 407  /* "avi" */
Public Const IDS_CAP_DEFPALEXT = 408  /* "pal" */
Public Const IDS_CAP_CANTOPEN = 409  /* "Cannot open '%s'" */
Public Const IDS_CAP_SEQ_MSGSTART = 410 /* "Select OK to start capture\nof video
sequence\nto %s." */
Public Const IDS_CAP_SEQ_MSGSTOP = 411 /* "Hit ESCAPE or click to end capture" */

Public Const IDS_CAP_VIDEDITERR = 412 /* "An error occurred while trying to run VidEdit." */

```

```

Public Const IDS_CAP_READONLYFILE = 413    /* "The file '%s' is a read-only file." */
Public Const IDS_CAP_WRITEERROR = 414     /* "Unable to write to file '%s'.\nDisk may be full." */
Public Const IDS_CAP_NODISKSPACE = 415    /* "There is no space to create a capture file on
the specified device." */
Public Const IDS_CAP_SETFILESIZE = 416     /* "Set File Size" */
Public Const IDS_CAP_SAVEASPERCENT = 417   /* "SaveAs: %2ld%% Hit Escape to abort." */

Public Const IDS_CAP_DRIVER_ERROR = 418   /* Driver specific error message */

Public Const IDS_CAP_WAVE_OPEN_ERROR = 419 /* "Error: Cannot open the wave input
device.\nCheck sample size, frequency, and channels." */
Public Const IDS_CAP_WAVE_ALLOC_ERROR = 420 /* "Error: Out of memory for wave buffers." */
Public Const IDS_CAP_WAVE_PREPARE_ERROR = 421 /* "Error: Cannot prepare wave buffers." */
Public Const IDS_CAP_WAVE_ADD_ERROR = 422  /* "Error: Cannot add wave buffers." */
Public Const IDS_CAP_WAVE_SIZE_ERROR = 423 /* "Error: Bad wave size." */

Public Const IDS_CAP_VIDEO_OPEN_ERROR = 424 /* "Error: Cannot open the video input device."
*/
Public Const IDS_CAP_VIDEO_ALLOC_ERROR = 425 /* "Error: Out of memory for video buffers." */
Public Const IDS_CAP_VIDEO_PREPARE_ERROR = 426 /* "Error: Cannot prepare video buffers." */
Public Const IDS_CAP_VIDEO_ADD_ERROR = 427  /* "Error: Cannot add video buffers." */
Public Const IDS_CAP_VIDEO_SIZE_ERROR = 428 /* "Error: Bad video size." */

Public Const IDS_CAP_FILE_OPEN_ERROR = 429 /* "Error: Cannot open capture file." */
Public Const IDS_CAP_FILE_WRITE_ERROR = 430 /* "Error: Cannot write to capture file. Disk may
be full." */
Public Const IDS_CAP_RECORDING_ERROR = 431 /* "Error: Cannot write to capture file. Data
rate too high or disk full." */
Public Const IDS_CAP_RECORDING_ERROR2 = 432 /* "Error while recording" */
Public Const IDS_CAP_AVI_INIT_ERROR = 433  /* "Error: Unable to initialize for capture." */
Public Const IDS_CAP_NO_FRAME_CAP_ERROR = 434 /* "Warning: No frames captured.\nConfirm
that vertical sync interrupts\nare configured and enabled." */
Public Const IDS_CAP_NO_PALETTE_WARN = 435 /* "Warning: Using default palette." */
Public Const IDS_CAP_MCI_CONTROL_ERROR = 436 /* "Error: Unable to access MCI device." */
Public Const IDS_CAP_MCI_CANT_STEP_ERROR = 437 /* "Error: Unable to step MCI device." */

```

```

Public Const IDS_CAP_NO_AUDIO_CAP_ERROR = 438 /* "Error: No audio data captured.\nCheck
audio card settings." */
Public Const IDS_CAP_AVI_DRAWDIB_ERROR = 439 /* "Error: Unable to draw this data format." */
Public Const IDS_CAP_COMPRESSOR_ERROR = 440 /* "Error: Unable to initialize compressor." */
Public Const IDS_CAP_AUDIO_DROP_ERROR = 441 /* "Error: Audio data was lost during capture,
reduce capture rate." */

/* status string IDs */
Public Const IDS_CAP_STAT_LIVE_MODE = 500 /* "Live window" */
Public Const IDS_CAP_STAT_OVERLAY_MODE = 501 /* "Overlay window" */
Public Const IDS_CAP_STAT_CAP_INIT = 502 /* "Setting up for capture - Please wait" */
Public Const IDS_CAP_STAT_CAP_FINI = 503 /* "Finished capture, now writing frame %ld" */
Public Const IDS_CAP_STAT_PALETTE_BUILD = 504 /* "Building palette map" */
Public Const IDS_CAP_STAT_OPTPAL_BUILD = 505 /* "Computing optimal palette" */
Public Const IDS_CAP_STAT_I_FRAMES = 506 /* "%d frames" */
Public Const IDS_CAP_STAT_L_FRAMES = 507 /* "%ld frames" */
Public Const IDS_CAP_STAT_CAP_L_FRAMES = 508 /* "Captured %ld frames" */
Public Const IDS_CAP_STAT_CAP_AUDIO = 509 /* "Capturing audio" */
Public Const IDS_CAP_STAT_VIDEOCURRENT = 510 /* "Captured %ld frames (%ld dropped)
%d.%03d sec." */
Public Const IDS_CAP_STAT_VIDEOAUDIO = 511 /* "Captured %d.%03d sec. %ld frames (%ld
dropped) (%d.%03d fps). %ld audio bytes (%d,%03d sps)" */
Public Const IDS_CAP_STAT_VIDEOONLY = 512 /* "Captured %d.%03d sec. %ld frames (%ld
dropped) (%d.%03d fps)" */

Function capSetCallbackOnError(ByVal hwnd As Long, ByVal lpProc As Long) As Boolean
    capSetCallbackOnError = SendMessage(hwnd, WM_CAP_SET_CALLBACK_ERROR, 0, lpProc)
End Function

Function capSetCallbackOnStatus(ByVal hwnd As Long, ByVal lpProc As Long) As Boolean
    capSetCallbackOnStatus = SendMessage(hwnd, WM_CAP_SET_CALLBACK_STATUS, 0, lpProc)
End Function

Function capSetCallbackOnYield(ByVal hwnd As Long, ByVal lpProc As Long) As Boolean
    capSetCallbackOnYield = SendMessage(hwnd, WM_CAP_SET_CALLBACK_YIELD, 0, lpProc)
End Function

Function capSetCallbackOnFrame(ByVal hwnd As Long, ByVal lpProc As Long) As Boolean
    capSetCallbackOnFrame = SendMessage(hwnd, WM_CAP_SET_CALLBACK_FRAME, 0, lpProc)

```



```
End Function

Function capSetCallbackOnVideoStream(ByVal hwnd As Long, ByVal lpProc As Long) As Boolean
    capSetCallbackOnVideoStream = SendMessage(hwnd,
        WM_CAP_SET_CALLBACK_VIDESTREAM, 0, lpProc)
End Function

Function capSetCallbackOnWaveStream(ByVal hwnd As Long, ByVal lpProc As Long) As Boolean
    capSetCallbackOnWaveStream = SendMessage(hwnd,
        WM_CAP_SET_CALLBACK_WAVESTREAM, 0, lpProc)
End Function

Function capSetCallbackOnCapControl(ByVal hwnd As Long, ByVal lpProc As Long) As Boolean
    capSetCallbackOnCapControl = SendMessage(hwnd, WM_CAP_SET_CALLBACK_CAPCONTROL,
        0, lpProc)
End Function

Function capSetUserData(ByVal hwnd As Long, ByVal IUser As Long) As Boolean
    capSetUserData = SendMessage(hwnd, WM_CAP_SET_USER_DATA, 0, IUser)
End Function

Function capGetUserData(ByVal hwnd As Long) As Long
    capGetUserData = SendMessage(hwnd, WM_CAP_GET_USER_DATA, 0, 0)
End Function

Function capDriverConnect(ByVal hwnd As Long, ByVal i As Integer) As Boolean
    capDriverConnect = SendMessage(hwnd, WM_CAP_DRIVER_CONNECT, i, 0)
End Function

Function capDriverDisconnect(ByVal hwnd As Long) As Boolean
    capDriverDisconnect = SendMessage(hwnd, WM_CAP_DRIVER_DISCONNECT, 0, 0)
End Function

Function capDriverGetName(ByVal hwnd As Long, ByVal szName As Long, ByVal wSize As Integer)
    As Boolean
    capDriverGetName = SendMessage(hwnd, YOURCONSTANTMESSAGE, wSize, szName)
End Function

Function capDriverGetVersion(ByVal hwnd As Long, ByVal szVer As Long, ByVal wSize As Integer)
    As Boolean
    capDriverGetVersion = SendMessage(hwnd, WM_CAP_DRIVER_GET_VERSION, wSize, szVer)
End Function

Function capDriverGetCaps(ByVal hwnd As Long, ByVal s As Long, ByVal wSize As Integer) As
    Boolean
```

```

    capDriverGetCaps = SendMessage(lwnd, WM_CAP_DRIVER_GET_CAPS, wSize, s)
End Function
Function capFileSetCaptureFile(ByVal lwnd As Long, szName As String) As Boolean
    capFileSetCaptureFile = SendMessageS(lwnd, WM_CAP_FILE_SET_CAPTURE_FILE, 0, szName)
End Function
Function capFileGetCaptureFile(ByVal lwnd As Long, ByVal szName As Long, wSize As String) As
Boolean
    capFileGetCaptureFile = SendMessageS(lwnd, WM_CAP_FILE_SET_CAPTURE_FILE, wSize,
szName)
End Function
Function capFileAlloc(ByVal lwnd As Long, ByVal dwSize As Long) As Boolean
    capFileAlloc = SendMessage(lwnd, WM_CAP_FILE_ALLOCATE, 0, dwSize)
End Function
Function capFileSaveAs(ByVal lwnd As Long, szName As String) As Boolean
    capFileSaveAs = SendMessageS(lwnd, WM_CAP_FILE_SAVEAS, 0, szName)
End Function
Function capFileSetInfoChunk(ByVal lwnd As Long, ByVal lpInfoChunk As Long) As Boolean
    capFileSetInfoChunk = SendMessage(lwnd, WM_CAP_FILE_SET_INFOCHUNK, 0, lpInfoChunk)
End Function
'Function capFileSaveDIB(ByVal lwnd As Long, ByVal szName As Long) As Boolean
' capFileSaveDIB = SendMessage(lwnd, WM_CAP_FILE_SAVEDIB, 0, szName)
'End Function
Function capFileSaveDIB(ByVal lwnd As Long, ByVal FilePath As String) As Boolean
    capFileSaveDIB = SendMessageS(lwnd, WM_CAP_FILE_SAVEDIB, 0&, FilePath)
End Function
Function capEditCopy(ByVal lwnd As Long) As Boolean
    capEditCopy = SendMessage(lwnd, WM_CAP_EDIT_COPY, 0, 0)
End Function
Function capSetAudioFormat(ByVal lwnd As Long, ByVal s As Long, ByVal wSize As Integer) As
Boolean
    capSetAudioFormat = SendMessage(lwnd, WM_CAP_SET_AUDIOFORMAT, wSize, s)
End Function
Function capGetAudioFormat(ByVal lwnd As Long, ByVal s As Long, ByVal wSize As Integer) As
Long
    capGetAudioFormat = SendMessage(lwnd, WM_CAP_GET_AUDIOFORMAT, wSize, s)

```

End Function

Function capGetAudioFormatSize(ByVal lwnd As Long) As Long

capGetAudioFormatSize = SendMessage(lwnd, WM_CAP_GET_AUDIOFORMAT, 0, 0)

End Function

Function capDlgVideoFormat(ByVal lwnd As Long) As Boolean

capDlgVideoFormat = SendMessage(lwnd, WM_CAP_DLG_VIDEOFORMAT, 0, 0)

End Function

Function capDlgVideoSource(ByVal lwnd As Long) As Boolean

capDlgVideoSource = SendMessage(lwnd, WM_CAP_DLG_VIDEOSOURCE, 0, 0)

End Function

Function capDlgVideoDisplay(ByVal lwnd As Long) As Boolean

capDlgVideoDisplay = SendMessage(lwnd, WM_CAP_DLG_VIDEODISPLAY, 0, 0)

End Function

Function capDlgVideoCompression(ByVal lwnd As Long) As Boolean

capDlgVideoCompression = SendMessage(lwnd, WM_CAP_DLG_VIDEOCOMPRESSION, 0, 0)

End Function

Function capGetVideoFormat(ByVal lwnd As Long, ByVal s As Long, ByVal wSize As Integer) As Long

capGetVideoFormat = SendMessage(lwnd, WM_CAP_GET_VIDEOFORMAT, wSize, s)

End Function

Function capGetVideoFormatSize(ByVal lwnd As Long) As Long

capGetVideoFormatSize = SendMessage(lwnd, WM_CAP_GET_VIDEOFORMAT, 0, 0)

End Function

Function capSetVideoFormat(ByVal lwnd As Long, ByVal s As Long, ByVal wSize As Integer) As Boolean

capSetVideoFormat = SendMessage(lwnd, WM_CAP_SET_VIDEOFORMAT, wSize, s)

End Function

Function capPreview(ByVal lwnd As Long, ByVal f As Boolean) As Boolean

capPreview = SendMessage(lwnd, WM_CAP_SET_PREVIEW, f, 0)

End Function

Function capPreviewRate(ByVal lwnd As Long, ByVal wMS As Integer) As Boolean

capPreviewRate = SendMessage(lwnd, WM_CAP_SET_PREVIEWRATE, wMS, 0)

End Function

Function capOverlay(ByVal lwnd As Long, ByVal f As Boolean) As Boolean

capOverlay = SendMessage(lwnd, WM_CAP_SET_OVERLAY, f, 0)

End Function

Function capPreviewScale(ByVal hWnd As Long, ByVal f As Boolean) As Boolean

capPreviewScale = SendMessage(hWnd, WM_CAP_SET_SCALE, f, 0)

End Function

Function capGetStatus(ByVal hWnd As Long, ByVal s As Long, ByVal wSize As Integer) As Boolean

capGetStatus = SendMessage(hWnd, WM_CAP_GET_STATUS, wSize, s)

End Function

Function capSetScrollPos(ByVal hWnd As Long, ByVal lpP As Long) As Boolean

capSetScrollPos = SendMessage(hWnd, WM_CAP_SET_SCROLL, 0, lpP)

End Function

Function capGrabFrame(ByVal hWnd As Long) As Boolean

capGrabFrame = SendMessage(hWnd, WM_CAP_GRAB_FRAME, 0, 0)

End Function

Function capGrabFrameNoStop(ByVal hWnd As Long) As Boolean

capGrabFrameNoStop = SendMessage(hWnd, WM_CAP_GRAB_FRAME_NOSTOP, 0, 0)

End Function

Function capCaptureSequence(ByVal hWnd As Long) As Boolean

capCaptureSequence = SendMessage(hWnd, WM_CAP_SEQUENCE, 0, 0)

End Function

Function capCaptureSequenceNoFile(ByVal hWnd As Long) As Boolean

capCaptureSequenceNoFile = SendMessage(hWnd, WM_CAP_SEQUENCE_NOFILE, 0, 0)

End Function

Function capCaptureStop(ByVal hWnd As Long) As Boolean

capCaptureStop = SendMessage(hWnd, WM_CAP_STOP, 0, 0)

End Function

Function capCaptureAbort(ByVal hWnd As Long) As Boolean

capCaptureAbort = SendMessage(hWnd, WM_CAP_ABORT, 0, 0)

End Function

Function capCaptureSingleFrameOpen(ByVal hWnd As Long) As Boolean

capCaptureSingleFrameOpen = SendMessage(hWnd, WM_CAP_SINGLE_FRAME_OPEN, 0, 0)

End Function

Function capCaptureSingleFrameClose(ByVal hWnd As Long) As Boolean

capCaptureSingleFrameClose = SendMessage(hWnd, WM_CAP_SINGLE_FRAME_CLOSE, 0, 0)

End Function

Function capCaptureSingleFrame(ByVal hWnd As Long) As Boolean

```

    capCaptureSingleFrame = SendMessage(lwnd, WM_CAP_SINGLE_FRAME, 0, 0)
End Function
Function capCaptureGetSetup(ByVal lwnd As Long, ByVal s As Long, ByVal wSize As Integer) As
Boolean
    capCaptureGetSetup = SendMessage(lwnd, WM_CAP_GET_SEQUENCE_SETUP, wSize, s)
End Function
Function capCaptureSetSetup(ByVal lwnd As Long, ByVal s As Long, ByVal wSize As Integer) As
Boolean
    capCaptureSetSetup = SendMessage(lwnd, WM_CAP_SET_SEQUENCE_SETUP, wSize, s)
End Function
Function capSetMCIDeviceName(ByVal lwnd As Long, ByVal szName As Long) As Boolean
    capSetMCIDeviceName = SendMessage(lwnd, WM_CAP_SET_MCI_DEVICE, 0, szName)
End Function
Function capGetMCIDeviceName(ByVal lwnd As Long, ByVal szName As Long, ByVal wSize As
Integer) As Boolean
    capGetMCIDeviceName = SendMessage(lwnd, WM_CAP_GET_MCI_DEVICE, wSize, szName)
End Function
Function capPaletteOpen(ByVal lwnd As Long, ByVal szName As Long) As Boolean
    capPaletteOpen = SendMessage(lwnd, WM_CAP_PAL_OPEN, 0, szName)
End Function
Function capPaletteSave(ByVal lwnd As Long, ByVal szName As Long) As Boolean
    capPaletteSave = SendMessage(lwnd, WM_CAP_PAL_SAVE, 0, szName)
End Function
Function capPalettePaste(ByVal lwnd As Long) As Boolean
    capPalettePaste = SendMessage(lwnd, WM_CAP_PAL_PASTE, 0, 0)
End Function
Function capPaletteAuto(ByVal lwnd As Long, ByVal iFrames As Integer, ByVal iColor As Long) As
Boolean
    capPaletteAuto = SendMessage(lwnd, WM_CAP_PAL_AUTOCREATE, iFrames, iColors)
End Function
Function capPaletteManual(ByVal lwnd As Long, ByVal fGrab As Boolean, ByVal iColors As Long) As
Boolean
    capPaletteManual = SendMessage(lwnd, WM_CAP_PAL_MANUALCREATE, fGrab, iColors)
End Function

```

ภาคผนวก ข.

แสดงฟังก์ชันต่างๆภายในไฟล์ FTD2XX.DLL

```
' for usb function FT245AM/BM
Dim bManufacturer(32) As Byte
Dim bManufacturerID(16) As Byte
Dim bDescription(64) As Byte
Dim bSerialNumber(16) As Byte
' Purge rx and tx buffers
Const FT_PURGE_RX = 1
Const FT_PURGE_TX = 2
Private Declare Function FT_Open Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal intDeviceNumber As Integer, ByRef
IngHandle As Long) As Long
Private Declare Function FT_Close Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long) As Long
Private Declare Function FT_Read Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByVal IpszBuffer As
String, ByVal IngBufferSize As Long, ByRef IngBytesReturned As Long) As Long
Private Declare Function FT_Write Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByVal IpszBuffer As
String, ByVal IngBufferSize As Long, ByRef IngBytesWritten As Long) As Long
Private Declare Function FT_SetBaudRate Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByVal
IngBaudRate As Long) As Long
Private Declare Function FT_SetDataCharacteristics Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long,
ByVal byWordLength As Byte, ByVal byStopBits As Byte, ByVal byParity As Byte) As Long
Private Declare Function FT_SetFlowControl Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByVal
intFlowControl As Integer, ByVal byXonChar As Byte, ByVal byXoffChar As Byte) As Long
Private Declare Function FT_ResetDevice Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long) As Long
Private Declare Function FT_SetDtr Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long) As Long
Private Declare Function FT_ClrDtr Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long) As Long
Private Declare Function FT_SetRts Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long) As Long
Private Declare Function FT_ClrRts Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long) As Long
Private Declare Function FT_GetModemStatus Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByRef
IngModemStatus As Long) As Long
Private Declare Function FT_Purge Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByVal IngMask As
Long) As Long
```

```

Private Declare Function FT_GetStatus Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByRef
IngRxBytes As Long, ByRef IngTxBytes As Long, ByRef IngEventsDWord As Long) As Long
Private Declare Function FT_GetQueueStatus Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByRef
IngRxBytes As Long) As Long
Private Declare Function FT_GetEventStatus Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByRef
IngEventsDWord As Long) As Long
Private Declare Function FT_SetChars Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByVal
byEventChar As Byte, ByVal byEventCharEnabled As Byte, ByVal byErrorChar As Byte, ByVal
byErrorCharEnabled As Byte) As Long
Private Declare Function FT_SetTimeouts Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByVal
IngReadTimeout As Long, ByVal IngWriteTimeout As Long) As Long
Private Declare Function FT_SetBreakOn Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long) As Long
Private Declare Function FT_SetBreakOff Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long) As Long

```

```
'=====
```

```
'Declarations for the EEPROM-accessing functions in FTD2XX.dll:
```

```
'=====
```

```

Private Declare Function FT_EE_Program Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByRef lpData
As FT_PROGRAM_DATA) As Long
Private Declare Function FT_EE_Read Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByRef lpData As
FT_PROGRAM_DATA) As Long
Private Declare Function FT_EE_UASize Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByRef
lpdwSize As Long) As Long
Private Declare Function FT_EE_UAWrite Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByVal
pucData As String, ByVal dwDataLen As Long) As Long
Private Declare Function FT_EE_UARead Lib "FTD2XX.DLL" (ByVal IngHandle As Long, ByVal
pucData As String, ByVal dwDataLen As Long, ByRef lpdwBytesRead As Long) As Long

```

```
Private Type FT_PROGRAM_DATA
```

| | |
|------------------------|----------------------------------|
| VendorId As Integer | '0x0403 |
| ProductId As Integer | '0x6001 |
| Manufacturer As Long | '32 "FTDI" |
| ManufacturerId As Long | '16 "FT" |
| Description As Long | '64 "USB HS Serial Converter" |
| SerialNumber As Long | '16 "FT000001" if fixed, or NULL |

```
MaxPower As Integer      ' // 0 < MaxPower <= 500
PnP As Integer           ' // 0 = disabled, 1 = enabled
SelfPowered As Integer   ' // 0 = bus powered, 1 = self powered
RemoteWakeup As Integer  ' // 0 = not capable, 1 = capable

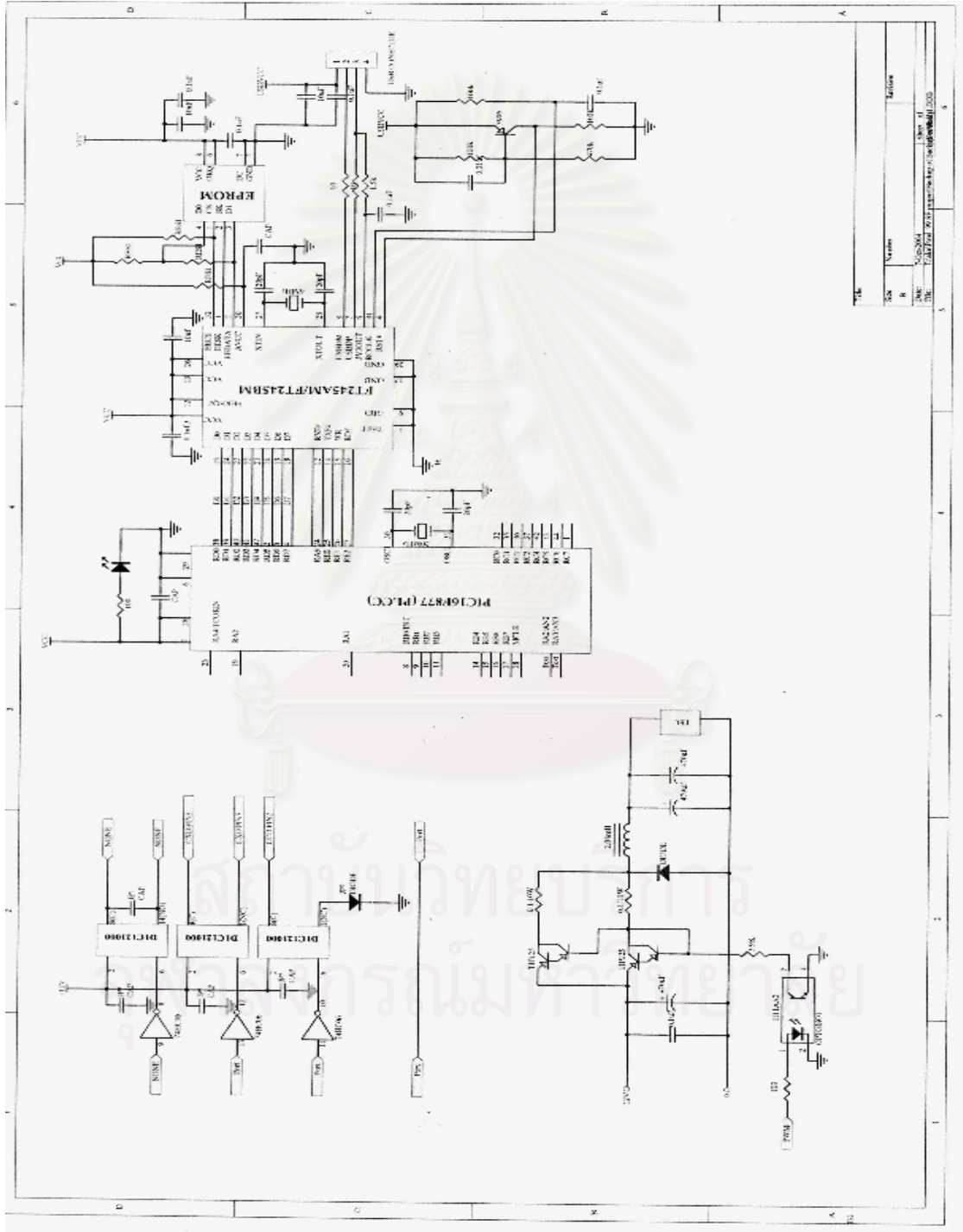
' Rev4 extensions:
Rev4 As Boolean           ' // true if Rev4 chip, false otherwise
IsoIn As Boolean          ' // true if in endpoint is isochronous
IsoOut As Boolean         ' // true if out endpoint is isochronous
PullDownEnable As Boolean ' // true if pull down enabled
SerNumEnable As Boolean   ' // true if serial number to be used
USBVersionEnable As Boolean ' // true if chip uses USBVersion
USBVersion As Integer     ' // BCD (0x0200 => USB2)

End Type

' Return codes
Const FT_OK = 0
Const FT_INVALID_HANDLE = 1
Const FT_DEVICE_NOT_FOUND = 2
Const FT_DEVICE_NOT_OPENED = 3
Const FT_IO_ERROR = 4
Const FT_INSUFFICIENT_RESOURCES = 5
Const FT_INVALID_PARAMETER = 6
Const FT_INVALID_BAUD_RATE = 7
Const FT_DEVICE_NOT_OPENED_FOR_ERASE = 8
Const FT_DEVICE_NOT_OPENED_FOR_WRITE = 9
Const FT_FAILED_TO_WRITE_DEVICE = 10
Const FT_EEPROM_READ_FAILED = 11
Const FT_EEPROM_WRITE_FAILED = 12
Const FT_EEPROM_ERASE_FAILED = 13
Const FT_EEPROM_NOT_PRESENT = 14
Const FT_EEPROM_NOT_PROGRAMMED = 15
Const FT_INVALID_ARGS = 16
Const FT_OTHER_ERROR = 17
```


ภาคผนวก ค.

วงจรอิเล็กทรอนิกส์



| Rev. | Version | Revision |
|------|---------|----------|
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 3 |
| 4 | 4 | 4 |
| 5 | 5 | 5 |
| 6 | 6 | 6 |
| 7 | 7 | 7 |
| 8 | 8 | 8 |
| 9 | 9 | 9 |
| 10 | 10 | 10 |
| 11 | 11 | 11 |
| 12 | 12 | 12 |
| 13 | 13 | 13 |
| 14 | 14 | 14 |
| 15 | 15 | 15 |
| 16 | 16 | 16 |
| 17 | 17 | 17 |
| 18 | 18 | 18 |
| 19 | 19 | 19 |
| 20 | 20 | 20 |
| 21 | 21 | 21 |
| 22 | 22 | 22 |
| 23 | 23 | 23 |
| 24 | 24 | 24 |
| 25 | 25 | 25 |
| 26 | 26 | 26 |
| 27 | 27 | 27 |
| 28 | 28 | 28 |
| 29 | 29 | 29 |
| 30 | 30 | 30 |
| 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 |
| 33 | 33 | 33 |
| 34 | 34 | 34 |
| 35 | 35 | 35 |
| 36 | 36 | 36 |
| 37 | 37 | 37 |
| 38 | 38 | 38 |
| 39 | 39 | 39 |
| 40 | 40 | 40 |
| 41 | 41 | 41 |
| 42 | 42 | 42 |
| 43 | 43 | 43 |
| 44 | 44 | 44 |
| 45 | 45 | 45 |
| 46 | 46 | 46 |
| 47 | 47 | 47 |
| 48 | 48 | 48 |
| 49 | 49 | 49 |
| 50 | 50 | 50 |

ภาคผนวกที่ ง.

แสดงข้อมูลของบอร์ดซีซีดีรุ่น 1004X

B/W CCD CAMERA MODULE

SK-1004X

CATEGORY

SONY EXview HAD CCD Board Type Camera module.

SK-1004X

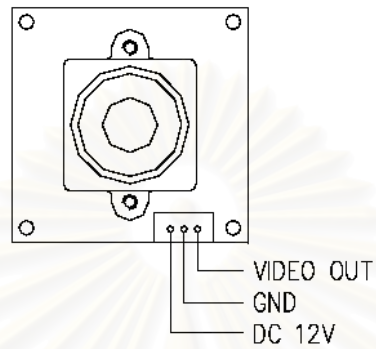


SPECIFICATION

- ** Image Sensor : 1/3" EXview HAD CCD SONY
- ** Effective Pixel : 510(H) X 492(V)(EIA) , 500(H) X 582(V)(CCIR)
- ** Cell Size : 9.6* (H) X 7.5* (V)(EIA) , 9.8* (H) X 6.3* (V)(CCIR)
- ** Resolution : HORI. 400 TV LINE
- ** TV Type : EIA , CCIR
- ** Sync. Type : Internal
- ** Scanning System : 2:1 Interlace
- ** Scanning Frequency Horizontal : 15.934 KHz(EIA) , 15.625 KHz(CCIR)
- ** Scanning Frequency Vertical : 59.94 Hz(EIA) , 49.95 Hz(CCIR)
- ** Video Output : 1.0 Vp-p (Sync. Negative) Termination 75* *
- ** Gamma Characteristic : 0.45 typ.
- ** Min. Illumination : 0.003 Lux EXview HAD CCD SONY
(F/#2.0 , f=3.6mm Video signal output 40 IRE)
- ** S/N Ratio : 45dB or More (AGC OFF)
- ** Gain Control : Automatic
- ** Shutter Speed : 1/60 ~ 1/100,000 second(EIA) , 1/50 ~ 1/100,000 second(CCIR)
- ** Test Illuminance Area : Average test illuminance by front view
- ** Power Supply : Regulated DC 12.0V
- ** Consumption Current : 110mA (At DC 12V) Max.
- ** Reverse Polarity Protection : Yes
- ** Lens Mount : Fixed Lens mount
- ** Operation Temp. : -10* *~ 50* *
- ** Preservation Temp. : -30* *~ 80* *
- ** Dimension : 32(W) X 32(D) X 27.2(H) mm
- ** Weight : Approx. 30g

OPTION

optional lens(mm) : 2.45, 2.96, 3.2, 3.6, 4.3, 6, 8, 12, 16 normal lens

B/W CCD CAMERA MODULE**SK-1004X****INTERFACE SPECIFICATION**

When the connector is located as shown in the above picture, monitor gives upright picture.

I/O Connector Function

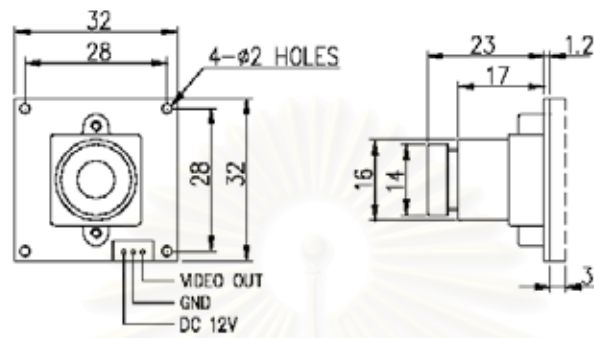
Usage : Composite video signal out for power input

| | | |
|-------------|--------------------|-------------------------------------|
| Pin Array : | DC 12V (RED) | DC Power input (Regulated DC 12.0V) |
| | GND (BLACK) | Power and Video signal in common |
| | Video Out (YELLOW) | Video signal output |

I/O CABLE

I/O Harness is necessary for the product.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

B/W CCD CAMERA MODULE**SK-1004X****DIMENSION****BIG SIZE IMAGE**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเอกรัฐ ฤทธิเนียม เกิดเมื่อวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดพัทลุง ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์ จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2543 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2544 ในสาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย