

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างภาพจากตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบทางอ้อมโดยใช้กล้องหลายตัว

INDIRECT X-RAY DETECTOR IMAGING USING MULTIPLE CAMERAS



T110515



ตงหมุ่.....
เลขทะเบียน..... 110515
วัน,เดือน,ปี..... -4 110. 2553

b..... 12259263
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-EN-M-040-031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDIRECT X-RAY DETECTOR IMAGING USING MULTIPLE CAMERAS



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

KMITL-2010-EN-M-040-031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างภาพจากตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบทางอ้อมโดยใช้กล้องหลายตัว
นักศึกษา	นางสาวน้ำทิพย์ ศรีสุข
รหัสนักศึกษา	50060414
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบทางอ้อมโดยใช้กล้องดิจิตอลหลายตัว โดยเป็นการประยุกต์ใช้งานกล้องดิจิตอลร่วมกับแผ่นเรืองแสงชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ ซึ่งทำหน้าที่แปลงเอกซเรย์ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าให้เป็นแสงในย่านที่สามารถตรวจจับได้ และใช้ซอฟต์แวร์ในการประมวลผลภาพ เพื่อสร้างภาพเอกซเรย์ 2 มิติ และสร้างภาพตัดขวาง ซึ่งจากการทดลองสร้างภาพตัดขวางนั้น พบว่า ภาพตัดขวางที่ได้มีค่าความผิดพลาดร้อยละ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับและสามารถนำไปใช้งานได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้น พบว่า ค่าความสม่ำเสมอของภาพเอกซเรย์ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 0.91 และความละเอียดของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์อยู่ที่ 1 lp/mm ซึ่งอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ นอกจากนั้น ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นยังสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการติดตั้งกล้องได้หลายรูปแบบให้เหมาะสมกับวัตถุที่จะทำการถ่ายเอกซเรย์ เพื่อให้สามารถถ่ายภาพเอกซเรย์วัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและภาพเอกซเรย์ที่ได้มีความละเอียดเพิ่มมากขึ้นได้

ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแสงปกติ เพื่อทำการหาปริมาตรของร่างกายคนและสร้างเป็นภาพสามมิติได้อีกด้วย ซึ่งจากการทดลองหาปริมาตรคนจำนวน 4 ตัวอย่างด้วยการคำนวณจากภาพตัดขวาง เปรียบเทียบกับปริมาตรที่ได้จากการวัดด้วยหลักการแทนที่น้ำ พบว่า การวัดปริมาตรด้วยวิธีคำนวณจากภาพตัดขวางมีค่าความผิดพลาดจากวิธีการวัดปริมาตรด้วยหลักการแทนที่น้ำเท่ากับร้อยละ 10 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

อย่างไรก็ดี ผู้วิจัยยังคงพบข้อจำกัดหลายประการของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้น ในงานวิจัยนี้ ซึ่งผู้วิจัยได้เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงและแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว โดยมุ่งหวังให้สามารถพัฒนาระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ให้รายละเอียดของภาพสูงขึ้น และสามารถนำมาผลิตเพื่อใช้งานได้จริงในอนาคตอันใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Indirect X-ray Detector Imaging using Multiple Cameras
Student	Miss. Namthip Srisuk
Student ID	50060414
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Chuchart Pintavirooj

ABSTRACT

This thesis presents the design and construction of an indirect X-ray detector by using the multiple digital cameras coupled with an image intensifying screen ($Gd_2O_2S:Tb$) which was used to convert X-ray into visible light. The acceptable cross-sectional images with 2 percentage error were performed in this study. The uniformity and resolution of the X-ray detector were determined. For a uniformity test, the results show that a standard deviation (SD) of a background pixel intensity profile equals to 2 percent. Moreover, a resolution of the X-ray detector is 1 lp/mm. It is acceptable. For the application of X-ray detector with the visible light, the total body volume of human was performed in 4 samples. The results show that the accuracy of the total body volume calculation as compare with Eureka method is approximately 90 percent (10 percent error). It is very satisfy.

However, limitations of the X-ray detector were considered and analyzed. Discussions and suggestions were described in this thesis. Also, the image resolution should be improved for the further X-ray detector development in variety applications.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณแม่อันเป็นที่รักและเคารพยิ่งของข้าพเจ้า พ่อ น้องทั้งสอง และทุกคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจกันมาตลอดเวลา

ขอขอบพระคุณอาอี ที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุนทางการเงินตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ ที่ให้คำปรึกษาในการวิจัยและดูแลมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์ ที่ให้คำปรึกษาและสั่งสอนในเรื่องต่าง

ขอขอบพระคุณคุณครู และ อาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้แก่ลูกศิษย์คนนี้

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ทำให้ข้าพเจ้าได้เป็นคนที่มีสมรรถนะยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณรุ่นพี่และรุ่นน้องทุกคนในแล็บที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณนายณิธิพล ทองทวี ที่คอยเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ร่วมทุกข์ร่วมสุข ไม่ว่าจะเกิดสิ่งใดๆขึ้น ขอขอบคุณกำลังใจที่มีให้

ขอขอบคุณทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่ทำให้ข้าพเจ้าเข้มแข็ง อดทนและเป็นผู้ใหญ่ขึ้น

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดา ผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนจนครุอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้อบรม สอนสั่ง มอบวิชาความรู้ ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า และมอบให้แก่สังคมแห่งการเรียนรู้ทั้งหลาย

นำทิพย์ ศรีสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.3 คำถามงานวิจัย.....	6
1.4 สมมติฐานของการศึกษา.....	7
1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	7
1.6 ขอบเขตของงานวิจัย.....	7
1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเอกซเรย์.....	9
2.2 หลักการและคุณสมบัติของสารเรืองแสงและแผ่นเรืองแสง.....	11
2.3 หลักการและคุณสมบัติของอุปกรณ์รับภาพในกล้องดิจิตอล.....	15
2.4 ทฤษฎีการปรับเทียบกล้อง.....	22
2.5 การแก้ไขความบิดเบือนของภาพ.....	25
2.6 การต่อภาพ.....	28
2.7 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของเอกซเรย์.....	32
2.8 การลดสัญญาณรบกวน.....	34
2.9 ทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	39
3.1 การออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 กล้องดิจิทัล	39
3.1.2 แผ่นเรืองแสง.....	39
3.1.3 กระจกตะกั่ว.....	40
3.2 การเตรียมระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์.....	40
3.2.1 การปรับเทียบกล้อง.....	41
3.2.2 การแก้ไขความบิดเบือนของภาพ	43
3.2.3 การต่อภาพ	43
3.2.4 การลบรอยต่อของภาพ.....	44
3.3 การทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์.....	46
3.3.1 การออกแบบการทดลองเพื่อถ่ายภาพเอกซเรย์สองมิติ	46
3.3.2 เก็บภาพเอกซเรย์สองมิติด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์	48
3.3.3 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์เพื่อสร้างภาพเอกซเรย์.....	48
3.3.4 การกำจัดสัญญาณรบกวน	49
3.3.5 ขั้นตอนการสร้างภาพตัดขวาง.....	49
3.4 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของตัวตรวจจับเอกซเรย์.....	53
3.4.1 ทดสอบความสม่ำเสมอของภาพเอกซเรย์.....	53
3.4.2 ทดสอบความละเอียดของภาพ	53
3.5 การประยุกต์ใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อหาปริมาตร ของร่างกายคน	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	57
4.1 ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์.....	57
4.1.1 ภาพเอกซเรย์สองมิติที่สมบูรณ์ซึ่งสร้างขึ้นด้วยระบบ ตัวตรวจจับเอกซเรย์	57
4.1.2 ภาพเอกซเรย์สองมิติที่ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว.....	59
4.1.3 ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์จากการติดตั้งกล้องหลายรูปแบบ	60
4.1.4 ภาพตัดขวางของวัตถุที่สร้างขึ้นด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์.....	65
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์.....	67

เอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1	การทดสอบความสม่ำเสมอของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์	67
4.2.2	การทดสอบความละเอียดของภาพ	67
4.3	ผลการประยุกต์ใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อหาปริมาตร ของร่างกายคนและสร้างภาพสามมิติ	69
4.3.1	การทดลองสร้างภาพตัดขวางเพื่อหาปริมาตรและสร้างภาพสามมิติ	69
4.3.2	ผลการวัดปริมาตรคนด้วยทฤษฎีอะคิมิติส (การวัดปริมาตร ด้วยการแทนที่น้ำ) และทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับ การวัดปริมาตรด้วยวิธีการคำนวณภาพตัดขวาง	74
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	75
เอกสารอ้างอิง	77
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	78
ประวัติผู้แต่ง	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางแสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกล้อง 3 ตัว.....	42
3.2 ตารางแสดงเพศ น้ำหนักและส่วนสูงของคนที่ทำกรทดลองทั้ง 4 ตัวอย่าง.....	56
4.1 ตารางแสดงขนาดภาพที่ได้จากการติดตั้งกล้องในรูปแบบต่างๆ.....	65
4.2 ตารางแสดงค่าปริมาตรของคนจากการคำนวณปริมาตรจริงที่ได้จากทฤษฎีของอะคิมิดิส และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้.....	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ จะเห็นว่าเอกซเรย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก อยู่ระหว่างอุลตราไวโอเล็ตและแกมมา.....	1
1.2 แสดงการนำเอกซเรย์มาใช้ในการถ่ายภาพอวัยวะของคนไข้ จากรูปแสดงการถ่ายภาพเอกซเรย์ปอด (Chest X-ray) สองมิตินั่นเอง.....	2
1.3 แสดงการนำเอกซเรย์มาใช้ในการสร้างภาพตัดขวาง (Cross Sectional Image) อวัยวะของคนไข้ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomography).....	2
1.4 แสดงการนำเอกซเรย์มาใช้ในการงานด้านรักษาความปลอดภัย โดยใช้เป็นเครื่องสแกนหาวัตถุระเบิดหรืออาวุธที่ใช้ภายในสนามบิน.....	3
1.5 ตัวตรวจจับเอกซเรย์ดิจิทัลที่นำมาใช้ในทางการแพทย์ โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเอกซเรย์เป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่งไปทำการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ และแสดงภาพออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์.....	4
2.1 (a) ผู้ที่ค้นพบเอกซเรย์เป็นคนแรก วิลเฮม คอนราด เรินท์เก้น (Wilhelm Conrad Roentgen) (b) ภาพเอกซเรย์ภาพแรก.....	10
2.2 แสดงการเปลี่ยนสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนหลังจากได้รับกระตุ้นด้วยเอกซเรย์.....	12
2.3 แสดงค่า Emission Spectra ของ CaWO_4 (กราฟเส้น) และ $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ (กราฟแท่ง).....	13
2.4 จากภาพแสดงให้เห็นว่า CaWO_4 ปล่อยแสงออกมาในช่วงที่เหมาะสมกับ Blue film แต่ $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ มีค่าสูงสุดของสเปกตรัมของแสงที่ปล่อยออกมาเหมาะสมกับฟิล์มชนิด Green film.....	13
2.5 (a) แสดงลักษณะของแผ่นสกรีนที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งโดยทั่วไปจะติดอยู่กับCassette (b) แสดงโครงสร้างภายในของแผ่นเรืองแสงทั้ง 4 ชั้น.....	15
2.6 ปฏิกริยาของโฟตอนกับซิลิกอน (Photon Interaction with Silicon).....	16
2.7 แสดงส่วนประกอบของซีดีซีชนิด Potential Wells and Barriers.....	17
2.8 Color sequential capture.....	18
2.9 Integral Color Filter Array Patterns.....	18
2.10 Normal and Thinned CCD.....	19
2.11 แสดงส่วนประกอบของ Interline CCD.....	20
2.12 แสดงส่วนประกอบของ Interline CCD กับ Microlenticular Array.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.13 แสดงสเปกตรัมของแสงที่ปล่อยออกมาจากแผ่นเรืองแสงชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้ จะเห็นว่าช่วงสูงสุดของสเปกตรัมอยู่ที่ประมาณ 540 nm.....	21
2.14 แสดงสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงของตามนุษย์และอิมเมจเซนเซอร์ชนิดซีซีดี ซึ่งจะเห็นได้ว่าซีซีดีจะมีการตอบสนองต่อแสงสีเขียวประมาณ 45%-56%.....	21
2.15 (a) การเกิดภาพในกรณีที่พักัดของโลก (X,Y,Z) ไม่ซ้อนทับกับพักัดของกล้อง (x,y,z) (b) การเกิดภาพในกรณีที่พักัดของโลกซ้อนทับกับพักัดของกล้อง.....	22
2.16 (a) แสดงภาพที่เกิดความบิดเบือนในลักษณะเหมือนถัง (Barrel) (b) ภาพที่เกิดความบิดเบือนในลักษณะเหมือนหมอน (Pin-cushion).....	26
2.17 (a) ภาพที่เกิดความบิดเบือนจากเลนส์ของกล้อง (b) ภาพที่ได้รับการแก้ไขด้วยวิธีการแปลงโพลีโนเมียล.....	28
2.18 (a) ภาพต้นฉบับ (b) ภาพทดสอบ (c) และ (d) แสดงการหาจุดเด่นมาร์คบนภาพทั้งสอง.....	30
2.19 แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเรขาคณิตจากจุดเด่นมาร์ค.....	31
2.20 จากรูปแสดงฟังก์ชันที่ใช้ในการลบรอยต่อของภาพ โดยค่า T คือ ค่า Transition Zone ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญในการลบรอยต่อ.....	31
2.21 แสดงตัวอย่างการลบรอยต่อของภาพโดยใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก.....	32
2.22 แสดงการลดทอนของเอกซเรย์ในวัตถุที่มีความหนา X.....	33
2.23 ฉายรังสีไปยังวัตถุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนหลายค่า.....	34
2.24 (a) แสดงภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์ (b) แสดงภาพที่ผ่านการกรองแบบค่ามีเดีย.....	35
2.25 แสดงระบบถ่ายภาพที่ใช้หลักการหมุนวัตถุของ วิทวัส วิทย์ชานาญกุล.....	36
2.26 แสดงระบบถ่ายภาพที่ใช้หลักการหมุนวัตถุและการเลื่อนกล้องขึ้นลงทำให้การเคลื่อนที่ โดยรวมมีลักษณะเป็นการเคลื่อนที่แบบเกลียวของ วลิตะ นาคบัวแก้ว.....	37
2.27 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับแสงแบบลิเนียร์ซีซีดี และแผ่นเรืองแสง ที่ใช้ในงานวิจัยของ ชูศักดิ์ จันทโค.....	38
3.1 ตัวอย่างของกล้องดิจิทัลแบบเว็บแคมที่ใช้ในงานวิจัย.....	40
3.2 แสดงองค์ประกอบภายในอย่างง่ายของตัวตรวจจับเอกซเรย์.....	40
3.3 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการเตรียมระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 (a) แสดงภาพตารางหมากรุกที่ถ่ายที่ระยะและมุมต่างๆ (b) แสดงการหาจุดมุมของตารางสี่เหลี่ยมเพื่อใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ภายในและภายนอกของกล้อง.....	42
3.5 (a) แสดงภาพที่มีความบิดเบือน และ(b) แสดงภาพที่แก้ไขความบิดเบือนแล้ว.....	43
3.6 ภาพสองภาพที่จะนำมาต่อกันโดยมีความเหลื่อมล้ำกันประมาณ 25% ของภาพ.....	44
3.7 (a) แสดงภาพที่นำมาใช้หาจุดสอดคล้องและหาเมตริกซ์การแปลงเพื่อใช้ในการต่อภาพ (b) แสดงภาพที่ได้จากการต่อกันของภาพสองภาพทางด้านซ้ายมือ.....	44
3.8 (a) แสดงภาพที่มีรอยต่อชัดเจน และ(b) แสดงภาพที่ลบรอยต่อแล้ว โดยแต่ละภาพจะมีกราฟแสดงความแตกต่างของความเข้มของภาพบริเวณรอยต่อซึ่งจะเห็นได้ว่ากราฟของภาพที่มีรอยต่อจะมีความชันมากกว่ากราฟของภาพที่ทำการลบรอยต่อแล้ว.....	45
3.9 ระบบที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์.....	46
3.10 แสดงระบบกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์โดยมีกล้อง 4 ตัว วางเรียงกันแบบ 2 x 2.....	47
3.11 แสดงระบบกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์โดยมีกล้อง 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1 x 6.....	47
3.12 แสดงระบบกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์โดยมีกล้อง 9 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 3.....	48
3.13 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการออกแบบการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์.....	49
3.14 แสดงระบบกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์เพื่อสร้างภาพตัดขวางโดยมีกล้อง 3 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 1 กล้องแต่ละตัวห่างกัน 10 เซนติเมตร และอยู่ห่างจากแผ่นเรืองแสง 20 เซนติเมตร.....	50
3.15 แสดงระบบการถ่ายภาพเอกซเรย์เพื่อสร้างภาพตัดขวาง.....	50
3.16 แสดง Calibration Phantom ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย อะคริลิกสองแผ่น แต่ละแผ่นฝังด้วยหมุดตะกั่วจำนวน 5 ลูก โดยภาพหมุดตะกั่วที่ลูกชี้ด้วยลูกศรคือหมุดตะกั่วของแผ่นอะคริลิกด้านหลังนั่นเอง.....	51
3.17 แสดงการจัดกึ่งกลางลำแสงเอกซเรย์ให้อยู่ตรงกับหมุดตะกั่วเม็ดกลางพอดี โดยสมมติให้เส้นประเป็นตำแหน่งของกึ่งกลางลำแสงเอกซเรย์.....	51
3.18 แสดงภาพเอกซเรย์ที่ได้จากขั้นตอนการปรับเทียบระบบ จากรูปจะเห็นว่า เม็ดตะกั่วเม็ดกลางจะซ้อนทับกันสนิทเห็นเป็นเม็ดเดียว ส่วนเม็ดตะกั่วอีก 4 เม็ดที่เหลือเมื่อวัดระยะจากจุดกึ่งกลางของเม็ดหน้ากับเม็ดหลังนั้น (ระยะ a, b, c, d) จะต้องมีค่าเท่ากัน ($a=b=c=d$).....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 แสดงให้เห็นตำแหน่งกึ่งกลางของลำแสงเอกซเรย์ (Center Ray) และตำแหน่งกึ่งกลางของตัวตรวจจับเอกซเรย์ (Center of X-Ray Detector) ซึ่งจะเห็นว่าตอนนี้ยังเป็นคนละจุดอยู่ เราจะต้องปรับให้เป็นจุดเดียวกัน โดยปรับให้จุดกึ่งกลางลำแสงเอกซเรย์ไปอยู่ตำแหน่งเดียวกับจุดกึ่งกลางของตัวตรวจจับเอกซเรย์โดยใช้ซอฟต์แวร์.....	52
3.20 แสดงแฟนทอมที่ใช้ในการทดลองสร้างภาพตัดขวาง ซึ่งประกอบด้วยท่อพีวีซี 2 อัน สูง 20 เซนติเมตร ท่อใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ส่วนท่อเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ระหว่างท่อพีวีซีเป็นปูนปลาสเตอร์และด้านในสุดของท่อพีวีซีอันเล็ก คือ อากาศ.....	53
3.21 แสดงภาพเอกซเรย์ขณะที่ไม่มีวัตถุจากกล้องทั้ง 3 ตัวต่อกัน และยังไม่ผ่านการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ โดยมีขนาดภาพเท่ากับ 330 x 685 พิกเซล.....	54
3.22 แสดงภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์จากการนำภาพเอกซเรย์ในรูปที่ 3.21 ไปประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ และนำไปหาค่าความเข้มของพิกเซลในเส้นภาพตามลูกศรที่ได้แสดงไว้เพื่อทดสอบความสม่ำเสมอของภาพเอกซเรย์.....	54
3.23 (a) แสดงระบบกล้องที่ใช้ซึ่งกล้องแต่ละตัวจะห่างกัน 60 เซนติเมตร (b) แสดงแท่นหมุนที่ใช้ในระบบและการขึ้นบนแท่นหมุน.....	56
4.1 (a) แสดงภาพวัตถุจริง (b) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ขณะที่มีวัตถุ (c) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ขณะที่ไม่มีวัตถุ และ (d) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ได้จากทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ โดยภาพที่ได้เป็นการถ่ายภาพเอกซเรย์จากกล้อง 1 ตัว.....	58
4.2 แสดงภาพวัตถุจริง (b) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ขณะที่มีวัตถุ (c) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ขณะที่ไม่มีวัตถุ และ (d) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ได้จากทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ โดยภาพที่ได้เป็นการถ่ายภาพเอกซเรย์จากกล้อง 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1 x 6.....	59
4.3 (a) แสดงภาพเอกซเรย์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์ และ (b) แสดงภาพเอกซเรย์ที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีแบบค่ามีเดียนที่ได้จากกล้อง 1 ตัว.....	60
4.4 แสดงภาพเอกซเรย์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์ และ (b) แสดงภาพเอกซเรย์ที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีแบบค่ามีเดียนที่ได้จากกล้อง 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1 x 6.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 (a) แสดงภาพวัตถุจริงที่ใช้ในการทดลองและ (b) ภาพเอกซเรย์ที่ได้จากกล้อง 1 ตัว โดยมีขนาดภาพ 300 x 200 พิกเซล.....	61
4.6 (a-d)แสดงภาพที่รับได้จากกล้องทั้ง 4 ตัวที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพใดๆ ทั้งสิ้น โดยแต่ละภาพมีขนาด 320 x 240 พิกเซล.....	62
4.7 แสดงภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ซึ่งได้จากการประมวลผลภาพทั้ง 4 ภาพ โดยมีขนาดของภาพ 556 x 377 พิกเซล.....	62
4.8 (a) แสดงภาพวัตถุที่ใช้ในการทดลอง (b) แสดงภาพเอกซเรย์ที่รับได้จากกล้องทั้ง 6 ตัวที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพใดๆทั้งสิ้น โดยแต่ละภาพมีขนาด 320 x 240 พิกเซล และ(c) แสดงภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์โดยมีขนาดภาพ 1574 x 205 พิกเซล.....	63
4.9 (a) แสดงภาพเอกซเรย์ที่รับได้จากกล้องทั้ง 9 ตัวที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพใดๆทั้งสิ้น โดยแต่ละภาพมีขนาด 320 x 240 พิกเซล และ (b) แสดงภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ โดยมีขนาดภาพ 685 x 535 พิกเซล.....	64
4.10 แสดงตัวอย่างภาพ โปรเจกชันของแฟนทอมที่ได้จากการทดลอง.....	66
4.11 แสดงตัวอย่างภาพตัดขวางที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีฟิลเตอร์เบ็ค โปรเจกชัน.....	66
4.12 แสดงภาพเอกซเรย์ที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มของพิกเซลในเส้นภาพตามลูกศรที่ได้แสดงไว้ ซึ่งค่าที่วัดได้แสดงดังกราฟด้านข้าง.....	68
4.13 แสดงภาพเอกซเรย์แฟนทอมวัดความละเอียดที่สามารถตรวจจับได้ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ จากรูปแสดงให้เห็นว่า ตัวตรวจจับเอกซเรย์สามารถแยกรายละเอียดของภาพได้ 1 lp/mm.....	68
4.14 แสดงตัวอย่างภาพ โปรเจกชันที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว.....	70
4.15 แสดงภาพตัดขวางบางส่วนที่ได้จากกระบวนการสร้างภาพตัดขวาง.....	71
4.16 แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวาง.....	71
4.17 (a) แสดงภาพ โปรเจกชันของคนที่ 1 ที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว (b) แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวางของคนที่ 1.....	72
4.18 (a) แสดงภาพ โปรเจกชันของคนที่ 2 ที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว (b) แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวางของคนที่ 2.....	72
4.19 (a) แสดงภาพ โปรเจกชันของคนที่ 3 ที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว (b) แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวางของคนที่ 3.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.20 (a) แสดงภาพโปรเจกชันของคนี่ 4 ที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว

(b) แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวางของคนี่ 4 73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

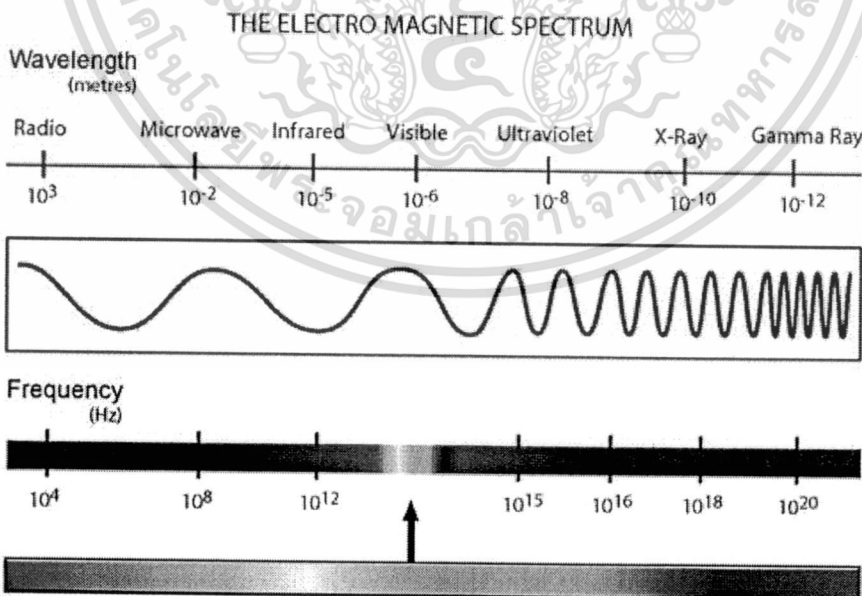
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.1.1 เอกซเรย์ (X-ray) คืออะไร

รังสีเอ็กซ์ หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า เอกซเรย์ (X-Ray) คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro-magnetic Wave) ที่มีย่านความถี่สูงในช่วง $10^{17} - 10^{19}$ Hz และมีความยาวคลื่นในช่วง 0.01-10 nm หรืออยู่ในช่วงระหว่างรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีแกมมานั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 1.1 มีคุณสมบัติเหมือนกับแสงสว่างธรรมดา เช่น เดินทางเป็นเส้นตรง สะท้อนกลับ หักเหต เลี้ยวเบน เป็นต้น แต่เอกซเรย์ยังมีคุณสมบัติพิเศษที่ไม่เหมือนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นๆ คือ มีอำนาจทะลุทะลวง (Penetration) สูง สามารถเคลื่อนที่ผ่านวัตถุได้มากบ้าง น้อยบ้าง ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุและน้ำหนักอะตอม (Atomic Number) ของวัตถุนั้นๆ และทำให้เกิดการเรืองแสงในสารพิเศษบางชนิดได้ โดย วิลเฮม คอนราด เรินท์เก้น (Wilhelm Conrad Roentgen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน เป็นคนแรกที่ค้นพบเอกซเรย์ใน ค.ศ. 1895 จึงนำมาสู่การประดิษฐ์ต้นกำเนิดเอกซเรย์ (X-ray Source) ที่เรียกกันทั่วไปว่า หลอดเอกซเรย์ (X-ray Tube) เพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณและทิศทางของเอกซเรย์ให้เปล่งออกมาตามที่เราร้องการ นำมาสู่การประยุกต์ใช้เอกซเรย์เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย

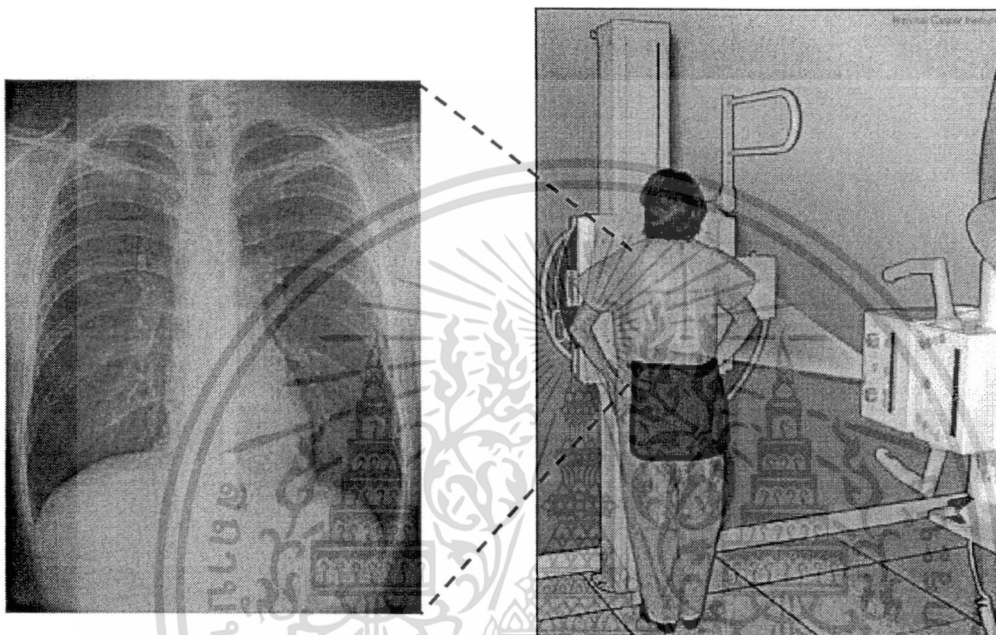


รูปที่ 1.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ จะเห็นว่าเอกซเรย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก อยู่ระหว่างอัลตราไวโอเล็ตและแกมมานั่นเอง

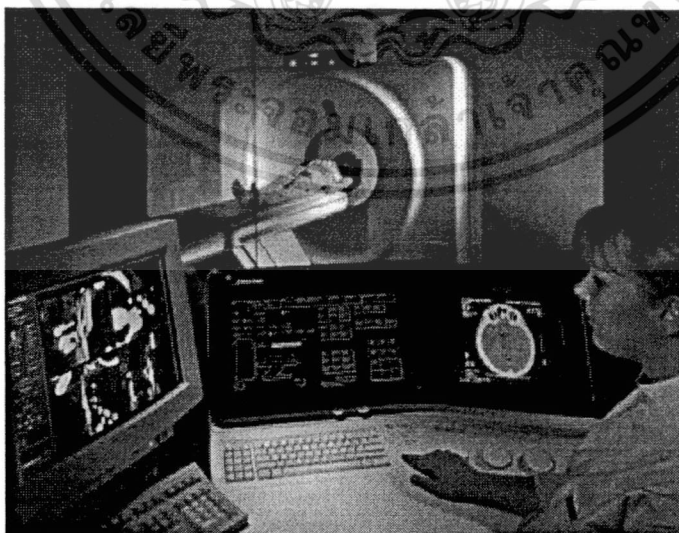
(www.colourtherapyhealing.com/colour/electroma...)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของเอกซเรย์ดังกล่าวข้างต้น ทำให้ปัจจุบันมีการนำเอกซเรย์มาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำเอกซเรย์มาใช้ในการสร้างภาพทางการแพทย์ (Medical Imaging) เพื่อช่วยแพทย์ในการวินิจฉัยและวางแผนการรักษาโรค เช่น สร้างภาพเอกซเรย์สองมิติที่อวัยวะต่างๆ ของคนไข้ (Conventional X-ray) ดังรูปที่ 1.2 หรือ สร้างภาพตัดขวางของคนไข้ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomography) ดังรูปที่ 1.3 เป็นต้น



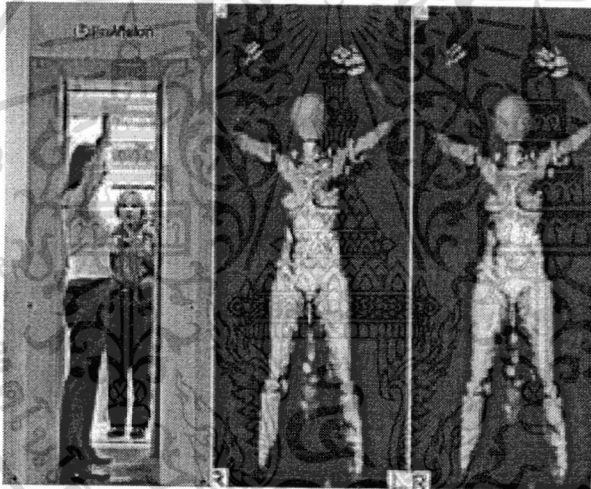
รูปที่ 1.2 แสดงการนำเอกซเรย์มาใช้ในการถ่ายภาพอวัยวะของคนไข้ จากรูปแสดงการถ่ายภาพเอกซเรย์ปอด (Chest X-ray) สองมิตินั้นเอง (www.daviddarling.info/.../C/chest_X-ray.html)



รูปที่ 1.3 แสดงการนำเอกซเรย์มาใช้ในการสร้างภาพตัดขวาง (Cross Sectional Image) อวัยวะของคนไข้ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomography)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ (สงวนลิขสิทธิ์) โดยผู้จัดทำเอกสาร (www.daviddarling.info/.../C/computed_tomography_scanning.html) ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันการสร้างภาพทางการแพทย์ด้วยเอกซเรย์เข้ามามีบทบาทสำคัญในวงการแพทย์ในการเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้แพทย์สามารถมองเห็นอวัยวะภายในร่างกายของคนไข้ได้โดยไม่ต้องทำการผ่าตัด ทำให้แพทย์สามารถวินิจฉัยโรคได้ง่ายและมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นกว่าในอดีต นอกจากนี้ เอกซเรย์ยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านความปลอดภัย โดยนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการสแกนหาวัตถุระเบิด สิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตราย ดังรูป 1.4 เป็นต้น อีกทั้งยังมีการนำเอกซเรย์มาประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม เช่น นำมาใช้ในการหารอยแยก รอยแตกของผลิตภัณฑ์ หรือคั้นหารอยแตกของท่อแก๊ส เป็นต้น จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีการสร้างภาพเอกซเรย์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ในปัจจุบัน เข้ามามีส่วนในการดำรงชีวิตของมนุษย์มากยิ่งขึ้น เพราะเอกซเรย์สามารถทำให้เรามองเห็นในสิ่งที่ตาเปล่ามองไม่เห็นออกมาเป็นรูปภาพหรือแสดงบนจอคอมพิวเตอร์ได้ ดังนั้น การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสร้างภาพเอกซเรย์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ จึงเป็นงานที่ทำทนายและมีคุณค่าเป็นอย่างยิ่ง



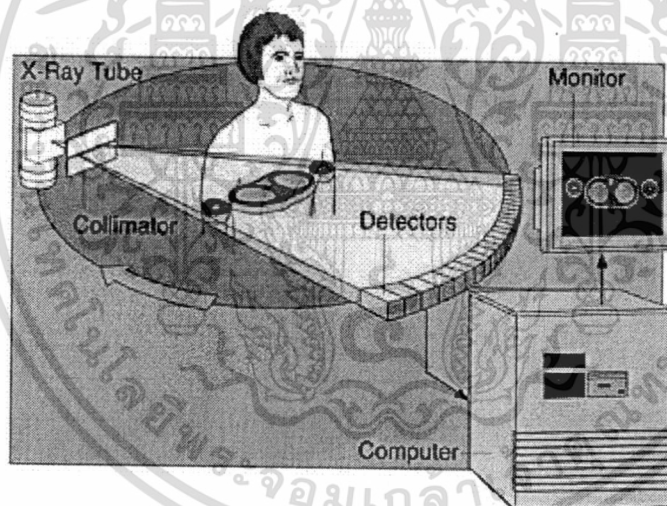
รูปที่ 1.4 แสดงการนำเอกซเรย์มาใช้ในงานด้านรักษาความปลอดภัย โดยใช้เป็นเครื่องสแกนหาวัตถุระเบิดหรืออาวุธที่ใช้ภายในสนามบิน

1.1.2) ตัวตรวจจับเอกซเรย์ (X-Ray Detector) คืออะไร

ในการจะนำเอกซเรย์มาใช้ประโยชน์ให้ได้ดังกล่าวข้างต้น สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างแรก คือ ทำอย่างไรจึงจะรู้ว่าบริเวณใดมีเอกซเรย์ มีปริมาณเท่าไร และแปลงเอกซเรย์ให้เป็นรูปภาพได้อย่างไร จึงมีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือเพื่อให้สามารถตรวจจับเอกซเรย์ที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดและนำมาสร้างภาพในที่สุด เรียกเครื่องมือนี้ว่า ตัวตรวจจับเอกซเรย์ (X-Ray Detector) โดยตัวตรวจจับเอกซเรย์ชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างภาพเอกซเรย์ คือ ฟิล์มเอกซเรย์ (X-ray Film) ซึ่งสามารถตรวจจับเอกซเรย์และผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อสร้างภาพและแสดงให้เห็นบนฟิล์มเอกซเรย์ ซึ่งในทางการแพทย์มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย และยังคงมีใช้อยู่ในปัจจุบัน ถึงแม้ว่าฟิล์มเอกซเรย์จะให้ภาพที่คมชัดและมีรายละเอียดสูงมาก แต่ทว่ายังพบปัญหาไม่มากนักใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการใช้ฟิล์มเอกซเรย์หลายประการ เช่น ต้องการพื้นที่ในการเก็บข้อมูลจำนวนมาก เช่น ห้องเก็บฟิล์ม, ไม่สามารถเก็บรักษาฟิล์มเอาไว้ได้เป็นเวลานาน โดยมีอายุการเก็บฟิล์มเอกซเรย์เฉลี่ยได้ไม่เกิน 5 ปี, ต้องใช้เวลาในการล้างฟิล์ม ซึ่งก่อให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน อีกทั้งยังต้องมีค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่ตามมา เช่น น้ำยาล้างฟิล์ม ฟิล์มเอกซเรย์ เครื่องล้างฟิล์ม และพนักงานล้างฟิล์ม เป็นต้น และข้อจำกัดที่สำคัญคือ ไม่สามารถแสดงภาพเอกซเรย์บนจอคอมพิวเตอร์ และไม่สามารถแสดงภาพเอกซเรย์เป็น Real Time ได้ ดังนั้น ในปัจจุบันจึงมีเทคโนโลยีตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบดิจิทัลเข้ามาช่วยเติมเต็มข้อจำกัดต่างๆ ของฟิล์ม ให้สามารถนำเอกซเรย์มาใช้งานได้กว้างขวางและหลากหลายมากยิ่งขึ้น

ตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบดิจิทัลนั้น เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างแท้จริง ในการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติพิเศษมาใช้ในการตรวจจับเอกซเรย์ โดยสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สามารถแปลงเอกซเรย์ที่มาตกกระทบที่ตัวตรวจจับเอกซเรย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งอยู่ในรูปแบบพลังงานที่สามารถนำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์และแสดงผลภาพเอกซเรย์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ตัวตรวจจับเอกซเรย์ดิจิทัลที่นำมาใช้ในทางการแพทย์ โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเอกซเรย์เป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่งไปทำการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ และแสดงผลภาพออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.2 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบดิจิทัลที่นำไปใช้ในการสร้างภาพเอกซเรย์ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการสร้างภาพ [1] ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้วิธีการสร้างภาพทางตรง (Direct Imaging)

ตัวตรวจจับเอกซเรย์ชนิดนี้จะใช้สารกึ่งตัวนำ (Semi-Conductor) ในการเปลี่ยนเอกซเรย์ให้เป็นประจุไฟฟ้าโดยตรง และนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์และสร้างภาพเอกซเรย์ในที่สุด ซึ่งนอกจากจะสามารถสร้างภาพเอกซเรย์ได้รวดเร็วแล้ว ยังได้ภาพที่มีรายละเอียดสูงอีกด้วย แต่ทว่า ตัวตรวจจับเอกซเรย์ชนิดนี้มีราคาแพงมากและใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมขั้นสูงในการผลิต จึงนำมาสู่การพัฒนาตัวตรวจจับเอกซเรย์ชนิดที่สองเข้ามาแทน

2) ตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้วิธีการสร้างภาพทางอ้อม (Indirect Imaging)

ตัวตรวจจับเอกซเรย์ชนิดนี้จะไม่ใช่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนเอกซเรย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง แต่จะใช้อุปกรณ์หรือวัสดุอื่นที่สามารถเปลี่ยนพลังงานเอกซเรย์เป็นพลังงานรูปอื่นที่ตรวจจับได้ง่าย เช่น พลังงานแสง วัสดุนั้นคือ แผ่นเรืองแสงหรือฟอสเฟอร์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเอกซเรย์เป็นพลังงานแสง หลังจากนั้น อุปกรณ์ตรวจจับแสง (Photodetector Device) จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า และส่งไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์และแสดงภาพเอกซเรย์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ในที่สุด ตัวอย่าง Photodetector ที่นำมาใช้ในตัวตรวจจับเอกซเรย์ประเภทนี้ ได้แก่ โฟโอดีโอด (Photodiode) โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) หรือ อุปกรณ์ถ่ายเทประจุ (Charge-Coupled Device; CCD) เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า ตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้วิธีการสร้างภาพทางอ้อมนี้สามารถผลิตได้ง่ายและใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพงมากเท่ากับชนิดแรก แต่ข้อเสียของตัวตรวจจับชนิดนี้คือ คุณภาพของภาพที่ได้จะดีไม่เท่าตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้วิธีการสร้างภาพทางตรง แต่ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับและนำมาใช้งานได้ ซึ่งเป็นแนวคิดที่น่าสนใจและควรนำไปศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาต่อยอดในอนาคต

ในปัจจุบัน การพัฒนาทางด้านตัวตรวจจับเอกซเรย์ได้เจริญก้าวหน้าอย่างมากในต่างประเทศ ทั้งในด้านการประยุกต์ในงานการแพทย์ รักษาความปลอดภัย และงานอุตสาหกรรม แต่ทว่าในประเทศไทยกลับไม่มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้อย่างจริงจัง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ประเทศไทยต้องสูญเสียงบประมาณเป็นจำนวนมาก ในการนำเข้าเทคโนโลยีราคาแพงเหล่านี้มาใช้ภายในประเทศ ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยเล็งเห็นว่าควรมีการพัฒนาเทคโนโลยีตัวตรวจจับเอกซเรย์อย่างจริงจัง เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเทคโนโลยีตัวตรวจจับเอกซเรย์สำหรับใช้งานภายในประเทศ และผลิตออกมาใช้งาน โดยให้มีราคาถูกกว่าในท้องตลาด

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้วิธีการสร้างภาพเอกซเรย์ทางอ้อม โดยเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและหาได้ภายในประเทศ และประยุกต์เทคนิคทางด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และรังสีเทคนิคเข้ามาช่วยเพื่อให้สามารถสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่มีราคาไม่แพง และสามารถสร้างภาพเอกซเรย์สองมิติและสามมิติที่มีรายละเอียดที่ยอมรับและใช้งานได้จริงไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องดิจิทัล (Digital Camera) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศ ราคาไม่แพง และสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยง่าย อีกทั้งยังสามารถแสดงภาพเป็น Real Time บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้สะดวกรวดเร็ว

มีผู้วิจัยหลายกลุ่มนำกล้องดิจิทัลมาประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน ในปี พ.ศ. 2546 วิทวัส วิทชนานาญกุล [2] ได้นำกล้องดิจิทัลมาใช้ในการถ่ายภาพวัตถุเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพตัดขวางและนำไปสู่การสร้างภาพสามมิติเพื่อหาโครงร่างของวัตถุนั้นเอง โดยใช้กล้องดิจิทัลเพียงหนึ่งตัวและอาศัยการหมุนวัตถุเพื่อให้สามารถถ่ายภาพวัตถุได้โดยรอบวัตถุ ซึ่งยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดของวัตถุที่เล็ก ซึ่งหากต้องการถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น ถ่ายภาพโครงร่างของคน (ทั้งตัว) นั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุให้ไกลขึ้น แต่ทว่ายังคงเกิดปัญหาในเรื่องของความคมชัดและความละเอียดของภาพที่ลดลงตามไปด้วย

ในปี พ.ศ. 2549 วลิตะ นาคบัวแก้ว [3] ทำการแก้ปัญหาเรื่องการเพิ่มความสามารถในการถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดยาวขึ้น โดยการใช้เทคนิคการหมุนวัตถุแบบเกลียว (Spiral) ซึ่งทำให้สามารถจับภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ แต่ทว่าความละเอียดของภาพนั้นยังขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียว หรือระยะ Pitch ซึ่งยังมีระยะน้อยเท่าไรก็ดี ทำให้ต้องใช้เวลาในการสร้างภาพนานกว่าจะเก็บภาพวัตถุได้ครบทั้งปริมาตร

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาในเรื่องดังกล่าวโดยการประยุกต์ใช้หลักการของกล้องดิจิทัลหลายตัว โดยนำกล้องมาเรียงต่อกันในรูปแบบต่างๆ และใช้หลักการต่อภาพเข้ามาช่วยเพื่อให้สามารถสร้างภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ และทำการหมุนวัตถุแบบธรรมดา ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการสร้างภาพวัตถุโดยยังคงความละเอียดของภาพเอาไว้ได้ นอกจากนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีการนำกล้องดิจิทัลมาประยุกต์ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ตรวจจับเอกซเรย์อีกด้วย ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้กล้องดิจิทัลร่วมกับแผ่นเรืองแสง (Intensifying Screen) เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับเอกซเรย์แบบทางอ้อมนั่นเอง

1.3 คำถามงานวิจัย

จากที่มาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าวในข้างต้น นำมาสู่คำถามงานวิจัยที่สำคัญ 2 ประการ ได้แก่

1. สามารถนำกล้องดิจิทัลมาใช้งานร่วมกับแผ่นเรืองแสง (Intensifying Screen) เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับเอกซเรย์ได้หรือไม่

2. สามารถนำกล้องดิจิทัลหลายตัวมาต่อเรียงกันเพื่อให้สามารถถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยยังคงความละเอียดของภาพไว้ได้หรือไม่ อีกทั้งสามารถประยุกต์หลักการกล้องดิจิทัลหลายตัว สำหรับเป็นอุปกรณ์ตรวจจับเอกซเรย์ ได้หรือไม่ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานชนิดอื่นๆ ได้หรือไม่ อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

1. กล้องดิจิทัลมีอุปกรณ์รับภาพเป็นชนิดอุปกรณ์ถ่ายเทประจุหรือซีซีดี (Charge-Coupled Device; CCD) โดยมีช่วงการตอบสนองต่อแสง 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน โดยช่วงแสงสีเขียวมีค่าการตอบสนองต่อแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 540 nm ซึ่งตรงกับค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่เปล่งออกมาจากแผ่นเรืองแสงที่เลือกใช้ในงานวิจัย จึงเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมจะนำมาพัฒนาเป็นตัวตรวจจับเอกซเรย์

2. การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration) และการแก้ไขปัญหาการบิดเบือนของภาพที่เกิดจากเลนส์ของกล้องดิจิทัล (Image Distortion) ร่วมกับเทคนิคในการต่อภาพ (Image Registration) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการต่อภาพเพื่อให้อาจสามารถถ่ายภาพเอกซเรย์วัตถุที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นได้

1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ดังนั้น จากคำถามงานวิจัย และสมมติฐานที่ตั้งขึ้น จึงสรุปเป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อตอบคำถามงานวิจัยและสมมติฐานที่ตั้งขึ้น ดังต่อไปนี้

1. สร้างระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้วิธีสร้างภาพแบบทางอ้อม (Indirect Imaging) โดยใช้กล้องดิจิทัลร่วมกับแผ่นเรืองแสง และสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบทางอ้อมโดยใช้กล้องหลายตัว

2. นำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นมาทำการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการตรวจจับเอกซเรย์และสร้างภาพเอกซเรย์ของวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้ง นำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้งานกับแสงธรรมชาติอีกด้วย

1.6 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ ที่สร้างภาพแบบทางอ้อม (Indirect Imaging) โดยใช้กล้องดิจิทัลหลายตัวร่วมกับแผ่นเรืองแสง

2. ทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการตรวจจับเอกซเรย์และสร้างภาพเอกซเรย์ของวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้ง นำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้งานกับแสงธรรมชาติอีกด้วย

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ในแต่ละบทจะมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย คำถามของงานวิจัย สมมุติฐานของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของการศึกษา และขอบเขตของงานวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ การออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ การเตรียมความพร้อมของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ การทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ การทดสอบประสิทธิภาพของตัวตรวจจับเอกซเรย์ และสุดท้าย คือ การประยุกต์ใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อหาปริมาณของร่างกายคน

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะขอเสนอเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ การทำความเข้าใจทฤษฎีต่างๆ เหล่านี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ให้มีประสิทธิภาพ ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

นอกจากนั้น ในบทนี้จะขอลำถึงงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับงานวิจัยนี้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการอภิปรายและสรุปผลการวิจัยรวมไปถึงข้อเสนอแนะ ข้อดี และข้อด้อยของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยชิ้นนี้อีกด้วย

เนื่องจากระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ (X-ray Detector) ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยชิ้นนี้ ประกอบไปด้วยกล้องดิจิตอลที่มีตัวรับภาพ (Image Sensor) เป็นแบบซีซีดีซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงที่เปล่งออกมาจากแผ่นเรืองแสง (Phosphor) และเพื่อที่จะให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่มีคุณภาพและสามารถถ่ายภาพวัตถุที่ใหญ่ขึ้นได้นั้นจะต้องผ่านขบวนการหลายขั้นตอน ดังนั้น เนื้อหาในบทนี้จึงขอลำถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการทำวิจัยและทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีหัวข้อหลักดังต่อไปนี้

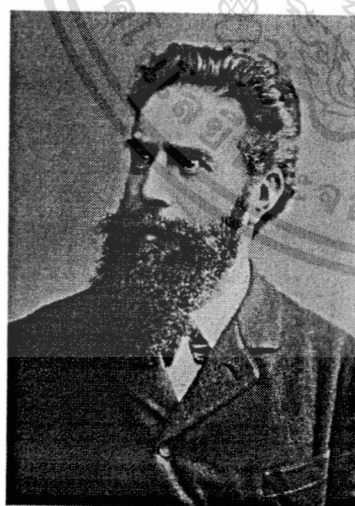
- 2.1) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเอกซเรย์ (Introduction to X-Ray)
- 2.2) หลักการและคุณสมบัติของสารเรืองแสง (Phosphor) และแผ่นเรืองแสง (Intensifying Screen)
- 2.3) หลักการและคุณสมบัติของอุปกรณ์รับภาพ (Image Sensor) ในกล้องดิจิตอล
- 2.4) ทฤษฎีการปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration)
- 2.5) การแก้ไขความบิดเบือน (Distortion) ของภาพ
- 2.6) การต่อภาพ (Image Registration)
- 2.7) การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของเอกซเรย์ (Attenuation)
- 2.8) การลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)
- 2.9) ทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเอกซเรย์ (Introduction to X-Ray)

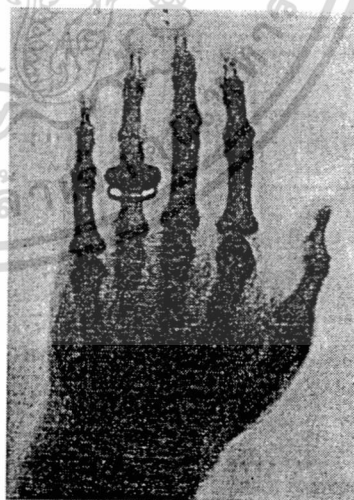
เอกซเรย์ คือ รังสี หรือ แสงชนิดหนึ่งที่เราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเช่นเดียวกับแสงสว่างธรรมดา เอกซเรย์นี้มีลักษณะเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค ของแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงคลื่นสั้นมาก มีความยาวช่วงคลื่นตั้งแต่ 0.04-1000 อังสตรอม (Angstrom) หรือ อยู่ระหว่างรังสีแกมมา กับรังสีอัลตราไวโอเล็ต เอกซเรย์นั้น มีคุณสมบัติเหมือนแสงสว่างธรรมดา เช่น เดินทางเป็นเส้นตรง ถ้าไม่ถูกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดินทางในสุญญากาศจะมีความเร็วเท่ากับแสง คือ 3×10^8 m/s นอกจากนั้น เอกซเรย์ยังมีการสะท้อนกลับ หักเห และเลี้ยวเบนได้เช่นเดียวกับแสงสว่างธรรมดา แต่คุณสมบัติพิเศษ คือ มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุต่าง ๆ ได้มากบ้างน้อยบ้าง ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่น และน้ำหนักอะตอมของวัตถุที่มันผ่านและยังสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีชีวะและอื่น ๆ ได้อีกด้วย

ประวัติการค้นพบเอกซเรย์ ผู้ที่ค้นพบเอกซเรย์เป็นคนแรก คือ นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ วิลเฮม คอนราด เรินท์เก้น (Wilhelm Conrad Roentgen) การพบนี้เกิดขึ้นในตอนเย็น ของวันที่ 8 พฤศจิกายน ค.ศ.1895 ภายในห้องทดลอง ณ มหาวิทยาลัยวูร์ซบวร์ก (Wurzburg) ประเทศเยอรมัน เรินท์เก้นได้พบเอกซเรย์โดยบังเอิญ คือ ขณะที่เขากำลังทำการทดลองเกี่ยวกับเรื่องการดูดกลืนของรังสีแคโทด (absorption of cathode rays) เขาสังเกตเห็นว่ารังสีแคโทดที่ออกมาจากหลอดทดลอง ทำให้กระดาษแข็งที่ฉาบด้วย แบเรียมพลาคิโนไซยาไนด์ (Barium Platinocyanide) เกิดการเรืองแสง (Fluorescence) ขึ้น ระยะไกลที่สุดที่ยังมีการเรืองแสงบนกระดาษแข็ง คือ 120 เซนติเมตร ในขณะเดียวกัน เขาสังเกตเห็นอีกว่า ตัวอักษร A ที่ทำด้วยแบเรียมพลาคิโนไซยาไนด์ ที่อยู่ห่างออกไปเกือบสิบฟุตเกิดเรืองแสงขึ้นด้วย ทั้ง ๆ ที่ไม่อยู่ในระยะของรังสีแคโทด เรินท์เก้นจึงคิดว่าเขาได้ค้นพบรังสีชนิดใหม่ขึ้นแล้ว และให้ชื่อว่าเอกซเรย์ (X-rays) และเขาได้ใช้เวลาอีกหลายสัปดาห์ต่อมาทำการสังเกตถึงการทะลุทะลวง (Penetration) ของเอกซเรย์ผ่านกระดาษ ผ่านโลหะ และแม้กระทั่งผ่านเนื้อหนังของคน และเขาได้ถ่ายภาพรังสี ของมือของภรรยาเขาไว้ด้วย ในที่สุดเขาจึงประกาศให้โลกรู้ว่า เขาได้ค้นพบเอกซเรย์เป็นคนแรก



(a)



(b)

รูปที่ 2.1 (a) ผู้ที่ค้นพบเอกซเรย์เป็นคนแรก วิลเฮม คอนราด เรินท์เก้น (Wilhelm Conrad Roentgen)

(b) ภาพเอกซเรย์ภาพแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการและคุณสมบัติของสารเรืองแสง (Phosphor) และแผ่นเรืองแสง (Intensifying Screen)

ในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงหลักการและคุณสมบัติเฉพาะของสารเรืองแสง ซึ่งมีหลายชนิดแตกต่างกัน เพราะฉะนั้น การเข้าใจคุณสมบัติทางเคมีของสารเรืองแสงแต่ละชนิดจำเป็นต้องในการเลือกใช้เพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์รับแสงที่ใช้ในการสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์นั่นเอง

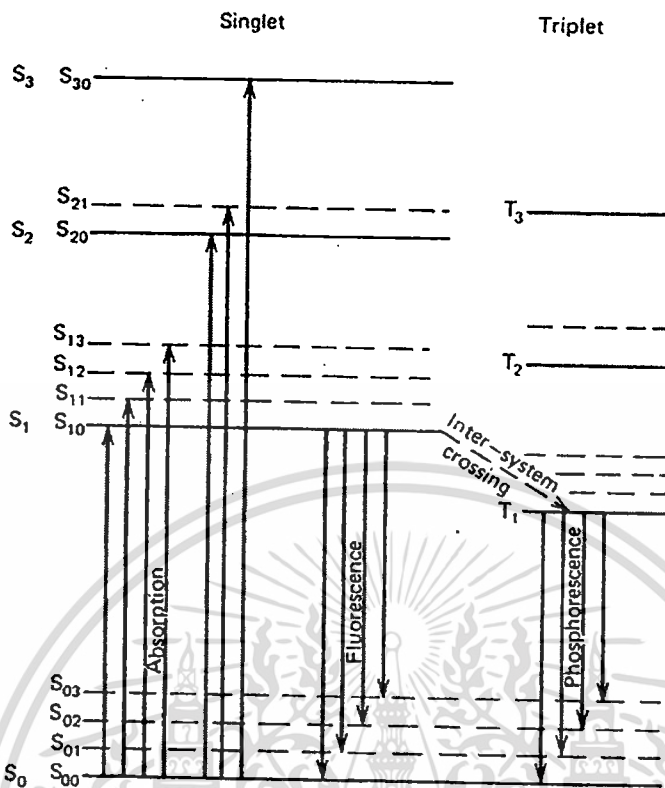
โดยทั่วไปแล้วการตรวจจับเอกซเรย์สามารถทำได้หลายวิธี [4] เช่น Ionization Chambers, Proportional Counters, Geiger-Mueller Counters, Photomultiplier Tubes and Photodiodes, Scintillation detector Principles, Semiconductor Diode Detectors เป็นต้น แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะตัวตรวจจับที่ใช้กับสารเรืองแสง (Scintillation Detector Principles) เท่านั้น

หลังจากการค้นพบเอกซเรย์โดย วิลเฮม คอนราด เรินท์เก้น พบว่าฟิล์มถ่ายรูปทั่วไปไม่สามารถตรวจจับเอกซเรย์ได้ เนื่องจากค่าการดูดกลืนพลังงานของฟิล์มต่อเอกซเรย์มีค่าต่ำเกินไป ดังนั้น จึงได้มีการนำเอาสารเรืองแสง (Phosphor) เข้ามาใช้ โดยสารเรืองแสงจะดูดกลืนพลังงานของเอกซเรย์และคายพลังงานออกมาในรูปของพลังงานแสงที่สามารถตรวจจับด้วยฟิล์มแบบทั่วไปได้นั่นเอง ซึ่งจากหลักการนี้เอง จึงทำให้มีการพัฒนาต่อ โดยเปลี่ยนตัวตรวจจับแสงเป็นชนิดอื่นนอกจากฟิล์ม ซึ่งถ้าสามารถรับแสงและเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าได้ เราก็สามารถนำตัวตรวจจับเหล่านี้มาใช้ในการตรวจจับเอกซเรย์ และสร้างภาพเอกซเรย์ได้ในที่สุด

หลักการพื้นฐานของสารเรืองแสง คือ แสงจะถูกปล่อยออกมาจากการเปลี่ยนถ่ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนหลังจากได้รับกระตุ้นด้วยเอกซเรย์ระหว่างชั้นพลังงาน S_{10} และการสั่นของอิเล็กตรอนที่สถานะพื้น (Ground state) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ถ้าให้ τ แทนเวลาในการลดสถานะจากชั้น S_{10} ดังนั้น ค่าความหนาแน่นของการเรืองแสงที่เกิดจากการกระตุ้นที่เวลา t จะเป็นไปตาม

$$I = I_0 e^{-t/\tau} \quad (2.1)$$

- เมื่อ I คือ ความหนาแน่นของการเรืองแสงที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยเอกซเรย์
 I_0 คือ ความหนาแน่นของการเรืองแสงที่ชั้น S_{10}
 τ คือ เวลาในการลดสถานะจากชั้น S_{10}
 t คือ เวลาใดๆ



รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนหลังจากได้รับกระตุ้นด้วยเอกซเรย์ [4]

ในสารเรืองแสงที่ทำมาจากสารอินทรีย์ทั้งหมด ค่า τ จะมีค่าอยู่ในช่วง 10^{-9} วินาที ซึ่งหมายความว่า การเรืองแสงจะเกิดขึ้นอย่างทันทีเมื่อได้รับการกระตุ้นจากเอกซเรย์นั่นเอง

สารเรืองแสงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ

- Calcium Tungstate (CaWO_4)
- Rare Earth

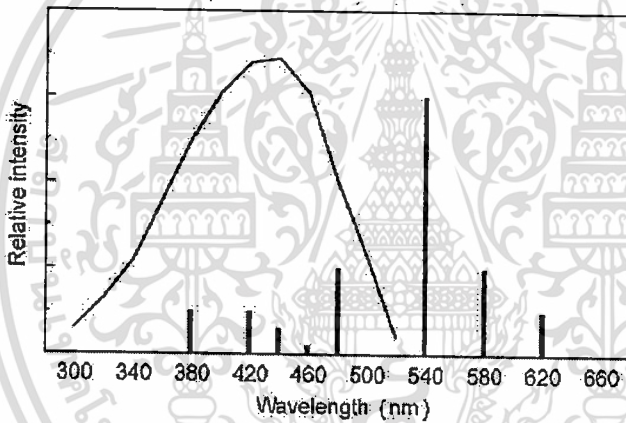
ซึ่งสารเรืองแสงทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน กล่าวคือ CaWO_4 เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเอกซเรย์จะเปล่งแสงในช่วงสีน้ำเงิน แต่ Rare Earth จะเปล่งแสงในช่วงสีเขียวและเหลือง ดังนั้น แผ่นเรืองแสงแต่ละชนิดจึงเหมาะกับอุปกรณ์รับแสงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ แผ่นเรืองแสงประเภท Rare Earth จะเหมาะกับ Green Film เท่านั้น เป็นต้น

ปัจจุบัน สารเรืองแสงชนิด Rare Earth เข้ามาทดแทนสารเรืองแสงชนิด CaWO_4 เนื่องจากสารเรืองแสงที่ผลิตจาก Rare Earth มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นแสง (Light Conversion Efficiency) สูงกว่า (ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นแสง คือ ปริมาณเอกซเรย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในสารเรืองแสงและสามารถเปลี่ยนไปเป็นแสงได้) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นแสงของ CaWO_4 กับ Rare Earth เมื่อให้ปริมาณเอกซเรย์ที่เท่ากัน พบว่า Rare Earth จะให้แสงที่เปล่งออกมามากกว่า CaWO_4 เพราะเอกซเรย์ที่ถูกดูดกลืนไว้สามารถเปลี่ยนไปเป็นแสงได้มากกว่านั่นเอง

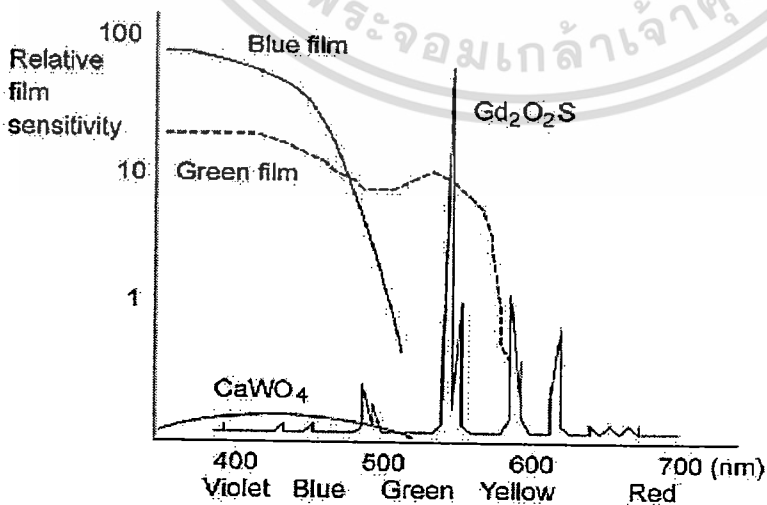
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในทางวิชาการเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ สารเรืองแสงจาก Rare Earth ยังสามารถดูดกลืนเอกซเรย์ไว้ได้มากกว่าสารเรืองแสงประเภท CaWO_4 อีกด้วย โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดกลืน (Absorption Efficiency) ของสารเรืองแสงประเภท CaWO_4 และ Rare Earth พบว่า 20% ของเอกซเรย์ที่ได้รับเท่านั้นที่ CaWO_4 จะสามารถดูดกลืนไว้ได้ แต่ Rare Earth สามารถดูดกลืนได้ถึง 60%

สารเรืองแสงชนิด Rare Earth ที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์อีกอย่างที่แตกต่างกันจาก CaWO_4 คือ ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาจาก $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 540 nm ซึ่งเป็นช่วงของแสงสีเขียว แต่ CaWO_4 อยู่ที่ 430 nm ซึ่งเป็นช่วงของแสงสีน้ำเงินนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 นั้นหมายความว่า ตัวรับแสงจะต้องสามารถรับแสงในช่วงที่สารเรืองแสงแต่ละชนิดปล่อยออกมาให้ได้นั่นเอง ดังนั้นช่วงเริ่มต้นที่สร้างสารเรืองแสงเพื่อใช้กับฟิล์มเอกซเรย์นั้น ต้องใช้ฟิล์มให้เหมาะสมกับชนิดของสารเรืองแสง หรือใช้สารเรืองแสงให้เหมาะสม (Match) กับชนิดของฟิล์มนั่นเอง ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แสดงค่า Emission Spectra ของ CaWO_4 (กราฟเส้น) และ $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ (กราฟแท่ง)



รูปที่ 2.4 จากภาพแสดงให้เห็นว่า CaWO_4 ปล่อยแสงออกมาในช่วงที่เหมาะสมกับ Blue film แต่

$\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ มีค่าสูงสุดของสเปกตรัมของแสงที่ปล่อยออกมาเหมาะสมกับฟิล์มชนิด Green film ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการนี้เอง จึงเป็นช่องทางในการพัฒนาไปสู่ตัวตรวจจับเอกซเรย์ชนิดที่ใช้แผ่นเรืองแสง โดยเปลี่ยนตัวรับแสงจากฟิล์มเป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสง (Photo-detector) นั่นเอง ซึ่งถ้าเราเข้าใจคุณสมบัติเฉพาะของสารเรืองแสงที่จะนำมาใช้ เราก็จะสามารถเลือกอุปกรณ์ตรวจจับแสงที่เหมาะสมเข้ากันมาใช้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการตรวจจับแสง และนำไปสู่การพัฒนาตัวตรวจจับเอกซเรย์นั่นเอง

การตรวจจับรังสี โดยใช้สารเรืองแสงเป็นเทคนิคที่มีการใช้มาอย่างยาวนาน แต่ยังคงเป็นเทคนิคที่มีการพัฒนาและใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยที่คุณสมบัติของสารเรืองแสงที่ดีมีดังต่อไปนี้ [4]

1. สามารถเปลี่ยนพลังงานพลังงานจลน์ของประจุให้เป็นพลังงานแสงที่สามารถตรวจจับได้ด้วยค่าการเปลี่ยนถ่ายที่สูง
2. การเปลี่ยนถ่ายพลังงานนี้ควรมีการสนองที่เป็นเส้นตรงตลอดช่วงการเปลี่ยนถ่าย
3. ตัวกลางควรโปร่งแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน
4. เวลาที่ใช้ในลดลงของแสงหลังจากรับรังสีควรมีค่าสั้น
5. วัสดุที่ใช้ควรมีคุณสมบัติทางแสงที่ดีและมีขนาดใหญ่เพียงพอต่อการนำมาทำตัวตรวจจับ ซึ่งการหักเหควรมีค่าใกล้เคียงกับกระจก (~ 1.5) เพื่อให้มีประสิทธิภาพการส่งผ่านที่ดี

ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ออกแบบให้ใช้แผ่นเรืองแสงที่ใช้กับฟิล์มเอกซเรย์ โดยเรียกทั่วไปว่า แผ่นสกรีน (Intensifying Screen) ซึ่งเป็นการประยุกต์นำสารเรืองแสงมาอัดให้เป็นแผ่นเพื่อให้สามารถใช้ร่วมกับฟิล์มเอกซเรย์ได้ง่าย การใช้แผ่นเรืองแสงร่วมกับระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์จะใช้ต้นทุนที่ไม่สูง เนื่องจากแผ่นเรืองแสงมีราคาไม่แพงมาก เมื่อเทียบกับการเคลือบสารเรืองแสงไปบนผิวของตัวรับแสง จึงเหมาะจะนำมาใช้กับระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ต้นแบบของงานวิจัยนี้

แผ่นเรืองแสงหรือแผ่นสกรีน (Intensifying Screen)

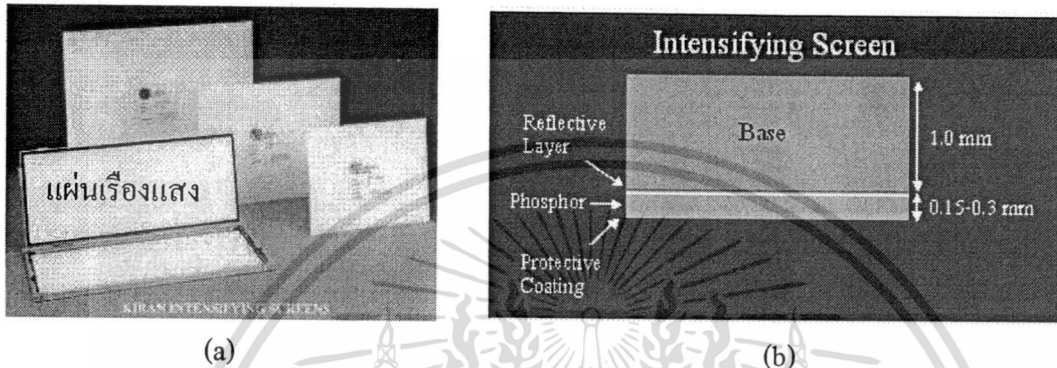
แผ่นเรืองแสงประกอบไปด้วยชั้นวัสดุที่มีหน้าที่ต่างๆ ทั้งสิ้น 4 ชั้น ดังรูปที่ 2.5 ได้แก่

1. ชั้นป้องกัน (Protective Coating) เป็นชั้นนอกสุดของแผ่นเรืองแสงซึ่งเป็นด้านที่สัมผัสกับอุปกรณ์รับแสง เช่น ฟิล์มเอกซเรย์ เป็นต้น โดยทำหน้าที่ปกป้องชั้นอื่นๆ ที่อยู่ภายใน ให้ความแข็งแรง ป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตเนื่องจากการเสียดสีกับฟิล์ม และสามารถเช็ดทำความสะอาดได้โดยไม่ทำลายชั้นฟอสเฟอร์ หนาประมาณ 10-20 μm
2. ชั้นสารเรืองแสง (Phosphor) มีความหนาตั้งแต่ 50-300 μm ขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นเรืองแสง ประกอบไปด้วยสารเรืองแสงชนิดต่างๆ เช่น Calcium Tungstate หรือ Rare Earth เป็นต้น โดย Calcium Tungstate เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเอกซเรย์จะเปล่งแสงในช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีน้ำเงิน แต่ Rare Earth จะเปล่งแสงในช่วงสีเขียวและเหลือง ดังนั้น แผ่นเรืองแสงแต่ละชนิดจึงเหมาะกับอุปกรณ์รับแสงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ แผ่นเรืองแสงประเภท Rare Earth จะเหมาะกับ Green Film เท่านั้น เป็นต้น

3. ชั้นยึดติด (Reflective Layer) ทำหน้าที่ยึดชั้นสารเรืองแสงกับชั้นฐานไว้ด้วยกัน
4. ชั้นฐาน (Base) เป็นชั้นที่ทำหน้าที่พองชั้นสารเรืองแสง หนาประมาณ 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.5 (a) แสดงลักษณะของแผ่นสกรีนที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งโดยทั่วไปจะติดอยู่กับCassette
(b) แสดงโครงสร้างภายในของแผ่นเรืองแสงทั้ง 4 ชั้น

2.3 หลักการและคุณสมบัติของอุปกรณ์รับภาพ (Image Sensor) ในกล้องดิจิทัล

อุปกรณ์รับภาพหรืออิมเมจเซ็นเซอร์ในกล้องดิจิทัลนั้นมีหน้าที่ในการรับแสงแทนการใช้ฟิล์ม ในกล้องรุ่นเก่าๆและจะเปลี่ยนแสงที่รับมาได้ให้เป็นภาพโดยการวัดปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตามความเข้มแสงนั้น ภายในอิมเมจเซ็นเซอร์จะมีโฟโต้ไซด์ (Photosite) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือหกเหลี่ยมตามการออกแบบของผู้ผลิต อิมเมจเซ็นเซอร์ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ ซีซีดี (CCD) และ ซีโมส (CMOS) โดยกล้องดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีอิมเมจเซ็นเซอร์เป็นแบบซีซีดี ในหัวข้อนี้จึงขออธิบายเฉพาะหลักการและคุณสมบัติของอิมเมจเซ็นเซอร์ชนิดซีซีดีเท่านั้น

อุปกรณ์ถ่ายเทประจุ หรือซีซีดี (Charge-Couple Device; CCD) ถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในช่วงปลายทศวรรษ 1960 โดย Bell Labs โดยเบื้องต้นมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนา Computer memory circuit และในปี ค.ศ. 1970 ได้ถูกนำออกมาสาธิตการใช้งาน อย่างไรก็ตามซีซีดียังสามารถนำไปใช้งานในด้านอื่นๆ ได้อีก รวมไปถึงการประมวลผลของสัญญาณ (Signal Processing) และการสร้างภาพ (Imaging) ในที่สุดซีซีดีก็ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถตอบสนองกับแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 1.1 ไมโครเมตร/ไมครอน (ช่วงสเปกตรัมของแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา คือ 0.4-0.7 ไมโครเมตร/ไมครอน) ในปัจจุบัน การนำซีซีดีมาใช้ในการสร้างหน่วยความจำจึงลดลง แต่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบและสร้างภาพ (Imaging Sensor) กันอย่างแพร่หลาย ในลำดับ

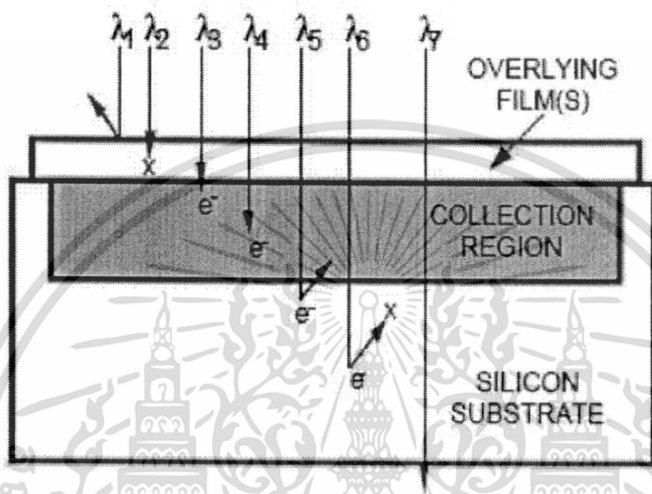
ต่อไปจะขออธิบายรายละเอียดของซีซีดีในประเด็นที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1) การสร้างภาพของซีซีดี

มี 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเปลี่ยนจากแสง (โฟตอน) เป็นประจุไฟฟ้า

การทำงานเริ่มขึ้นเมื่อแสงในรูปของโฟตอนให้ตกลงไปยังภาพเป็น Array ของพิกเซล และจะเกิดการดูดซับโฟตอน โดยซิลิกอนและทำให้เกิดการตอบโต้ขึ้น เป็นการสร้างหลุมอิเล็กตรอน (Electron Hold) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกริยาของโฟตอนกับซิลิกอน (Photon Interaction with Silicon)

จำนวนของอิเล็กตรอนที่ได้ในแต่ละพิกเซลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานแสงและแสงที่ฉายลงไป และเป็น Non-Linear กับความยาวคลื่น (Wave Length) ดังนั้น จึงมีการฉาบฟิล์มบางๆ บนผิวของซิลิกอนเพื่อลดการหักเหของแสงที่อาจเกิดขึ้นภายในตัวเก็บประจุ จากรูป 2.6 จะเห็นว่าโฟตอนจะถูกดูดซับที่ความลึกต่างๆ กันของซิลิกอนแล้วแต่ความยาวคลื่นของโฟตอน และบางส่วนไม่สามารถตรวจจับได้

ขั้นตอนที่ 2 Potential Wells and Barriers

ซีซีดีถูกผลิตขึ้นตามหลักของ MOS (Metal Oxide Semiconductor) โครงสร้างซีซีดีจึงประกอบไปด้วยชั้นต่างๆ ซ้อนกันตามแนวตั้ง ดังรูปที่ 2.7 โดยจะมีชั้นของตัวนำวางอยู่บนสารกึ่งตัวนำซึ่งแยกออกจากกันโดยใช้ Silicon dioxide

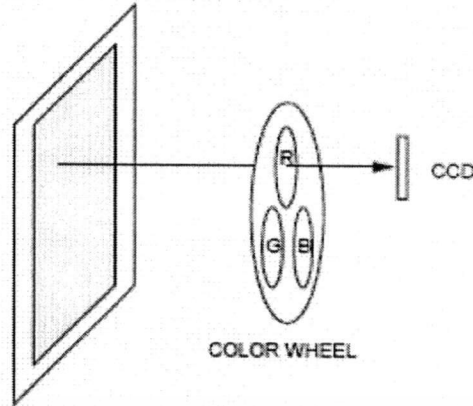
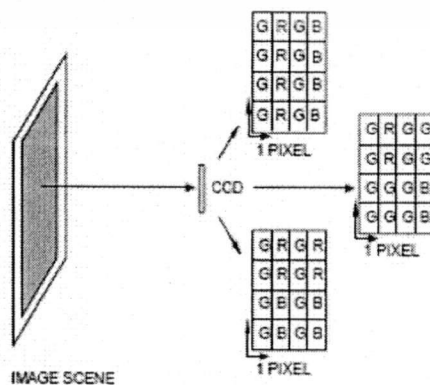


IMAGE SCENE

รูปที่ 2.8 Color sequential capture

- Three-Chip Color จะเป็นการใช้การสลับสี โดยใช้วงจรของ Filter การใช้ Three-Chip Color จะใช้แสงในการแยกภาพออกเป็น 3 ภาพย่อย (ตามสีที่แยกได้) และให้ซีซีดีในแต่ละช่วงสี ซึ่งวางไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมและอ่านค่าพร้อมๆ กัน วิธีที่ภาพจะถูกสร้างขึ้นโดยการ Synchronizing Output ระหว่างซีซีดี ถึง 3 แสง นำมาสร้างเป็นภาพเดียว ดังรูป 2.8 ข้อดีของวิธีนี้คือ มีอัตราการทำงานเท่ากับการใช้ซีซีดีเพียงชุดเดียว แต่ข้อเสียคือ มีความซับซ้อนสูงมาก, การปรับค่าของซีซีดีแต่ละหน่วยเป็นไปได้ยาก และ effective data rate เป็น 3 เท่า

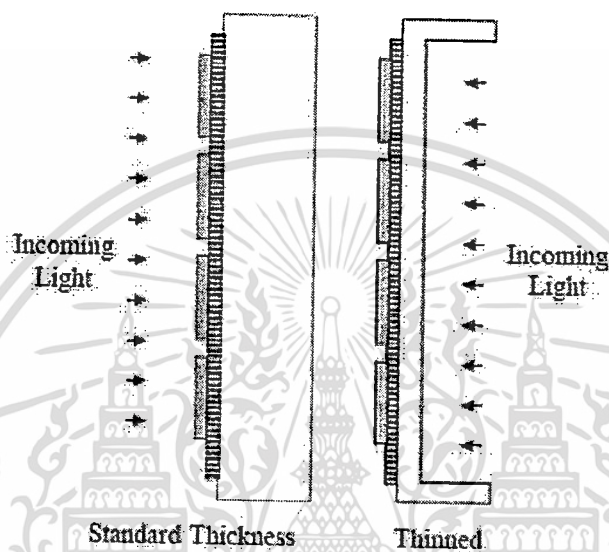
- Integral Data Filter Array แทนที่จะใช้ในการสร้าง chip ซึ่งแยกสีต่างๆ เป็น 3 สี วิธีนี้จะมี การสร้างคุณสมบัติพิเศษบน Chip ให้สามารถตอบสนองต่อสีทั้ง 3 ได้ด้วยตนเองในแต่ละพิกเซล โดยการใช้ Photo resists ในรูปแบบต่างๆ แต่การตรวจรับจะได้สีในรูปแบบ CMY (Cyan, Magenta, Yellow) ดังรูป 2.9 วิธีนี้จะทำให้ได้รูปที่ไม่เป็นธรรมชาติเนื่องจากไม่ได้สีเป็นแบบ RGB อีกทั้ง ข้อมูลยังสูญหายไปบางส่วน ทำให้รายละเอียดของภาพลดลงจึงต้องเพิ่ม Sampling และมีการสร้าง พิกเซลที่มีข้อมูลของสีที่ขาดหายไปขึ้นมาใหม่



รูปที่ 2.9 Integral Color Filter Array Patterns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงพาณิชย์เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

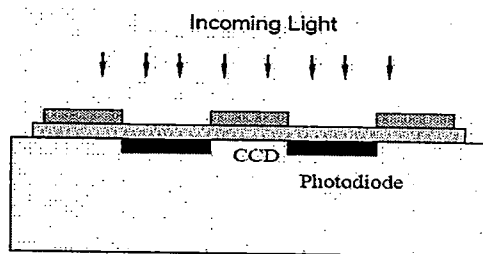
2.3.2.2) การทำให้ซิลิกอนบางลง (Silicon Thinning) ดังที่กล่าวมาแล้ว พิล์มบางๆ จะช่วยในการดูดซับการสะท้อนแสงตามความยาวคลื่น แล้วอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นด้านบนของพื้นผิว (ปกติจะเป็นแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงสีน้ำเงิน) อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเกิดการสูญหายไปโดยการทำปฏิกิริยากับพื้นผิวซิลิกอน ในการเพิ่มการตอบสนองให้กับซีซีดีนั้นจำเป็นจะต้องทำให้ด้านหลังของแผ่นเวเฟอร์บางลงซึ่งมีความหนาประมาณ 10-15 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 2.10 วิธีนี้ทำให้การตอบสนองของแสงสีน้ำเงินและอัลตราไวโอเล็ตดีขึ้น แต่ว่ารากาแพงและหยิบจับยากอีกด้วย



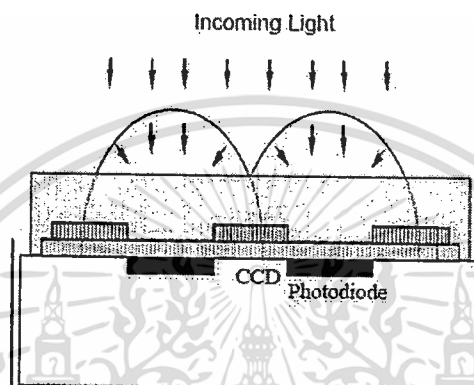
รูปที่ 2.10 Normal and Thinned CCD

2.3.2.3) UV Enhancement Coating เนื่องจากว่าการทำให้ซิลิกอนบางลง (Silicon Thinning) นั้นทำได้ยาก ดังนั้นจะมีการเพิ่มฟอสเฟอร์ (Phosphor) ลงไปที่ด้านบนของซีซีดี โดยฟอสเฟอร์นี้จะมีลักษณะใสและหนาประมาณ 0.45 ไมโครเมตร ซึ่งจะทำให้ดูดซับ UV และแสงสีน้ำเงินให้มีความยาวคลื่นได้สูงขึ้น แต่ว่าในกรณีที่เกิดการกระเจิงของแสงจะทำให้ข้อมูลสูญหายได้

2.3.2.4) Microlenticular Array เนื่องจากการอ่านโดยใช้เทคนิค Inline (IL) จะทำให้มีความไวต่ำเนื่องจากต้องมีการเพิ่มแถวของโฟโตไดโอดขึ้น ดังนั้น เพื่อจะปรับปรุงความไวแสงให้มากขึ้น จะได้มีการสร้างเลนส์เล็กๆ ครอบขึ้นในแต่ละพิกเซล ซึ่งเลนส์เหล่านี้จะทำการรวมแสงที่ส่งไปยังอุปกรณ์ซึ่งไม่ไวต่อแสง ให้ส่งไปยังบริเวณที่ไวต่อแสง (Photo Diode) เพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12 วิธีการนี้ทำให้ซีซีดีมีความไวแสงเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า แต่ทว่าวิธีการสร้างและออกแบบอุปกรณ์และเลนส์ทำได้ยากมาก



รูปที่ 2.11 แสดงส่วนประกอบของ Interline CCD



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของ Interline CCD กับ Microlenticular Array

2.3.2.5) ซีซีดีความเร็วสูง (High Speed CCD) ในการพัฒนาซีซีดีให้สามารถรองรับอัตราการทำงานได้มากขึ้นนั้นจำเป็นต้องพัฒนาซีซีดีให้มีความไวสูงขึ้นตามไปด้วย เช่น

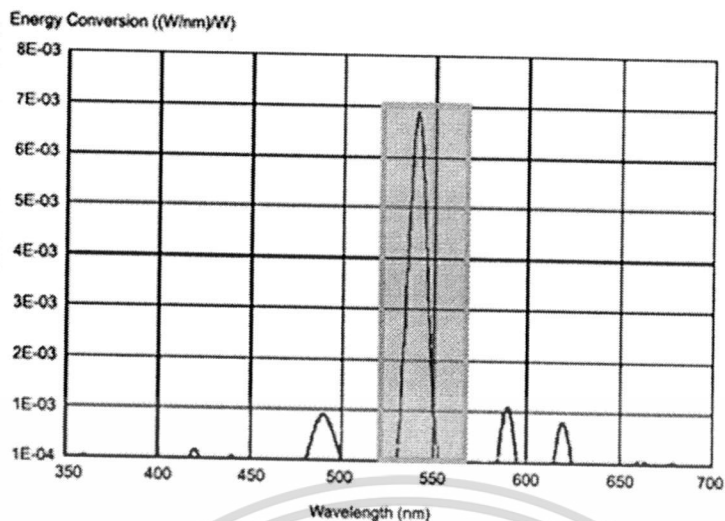
- การสร้างวงจรรขยายสัญญาณบนซีซีดี ซึ่งจะต้องระมัดระวังไม่ให้ใช้พลังงานมากเกินไป เพราะจะทำให้คุณภาพของการอ่านข้อมูลลดลง

- การทำให้ซีซีดีมีหลายๆ output โดยการแบ่งกลุ่มของซีซีดีออกเป็นบล็อกแล้ว สามารถทำให้การอ่านข้อมูลทำพร้อมๆ กันได้ แต่จะต้องไม่ให้มีจำนวน output มากเกินไปจะทำให้การประมวลผลยุ่งยากนั่นเอง

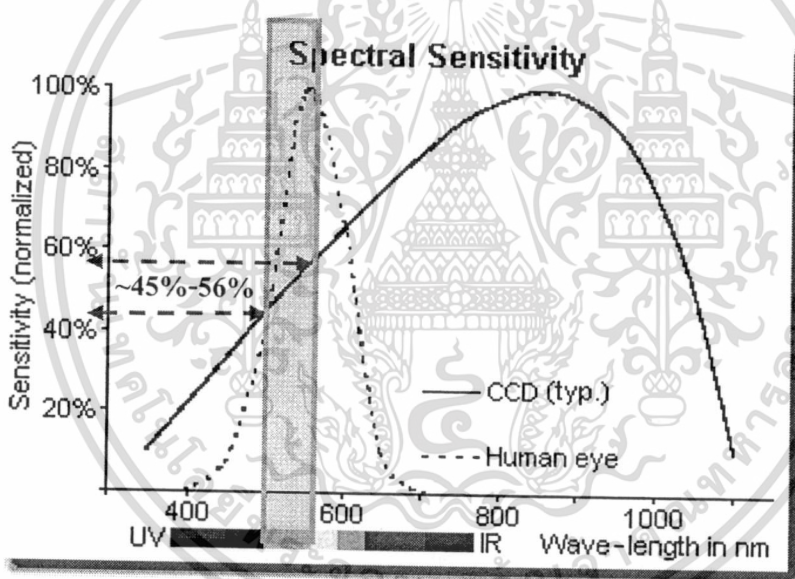
สำหรับการประยุกต์ใช้ในวงการแพทย์นั้น ได้มีการนำซีซีดีมาใช้ในการสร้างภาพเอกซเรย์ในเครื่อง Fluoroscopy และ Digital Cineradiography เป็นต้น โดยจะมีวิธีการขยายสัญญาณแสงโดยใช้ร่วมกับ Image Intensifier แล้วรวมแสงที่ได้ไปยังเลนส์ (lenses) หรือ Fiber Optic ที่อยู่บนซีซีดี

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้กล้องเว็บแคม (Web Cam) ซึ่งเป็นกล้องดิจิทัลขนาดเล็ก โดยมีอิมเมจเซ็นเซอร์ชนิดซีซีดีขนาด 1/5 นิ้ว ยาว 2.88 มิลลิเมตร กว้าง 2.16 มิลลิเมตร มีจำนวนพิกเซล 300,000 พิกเซล ติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ตยูเอสบี 1.1 และใช้ร่วมกับแผ่นเรืองแสงชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงสูงสุดของสเปกตรัมอยู่ที่ประมาณ 540 nm ดังรูปที่ 2.13 การตอบสนองต่อแสงสีเขียวของอิมเมจเซ็นเซอร์ชนิดซีซีดีที่ใช้ในงานวิจัยมีค่าประมาณ 45%-56% ดังแสดงในรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงสเปกตรัมของแสงที่ปล่อยออกมาจากแผ่นเรืองแสงชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้ จะเห็นว่าช่วงสูงสุดของสเปกตรัมอยู่ที่ประมาณ 540 nm



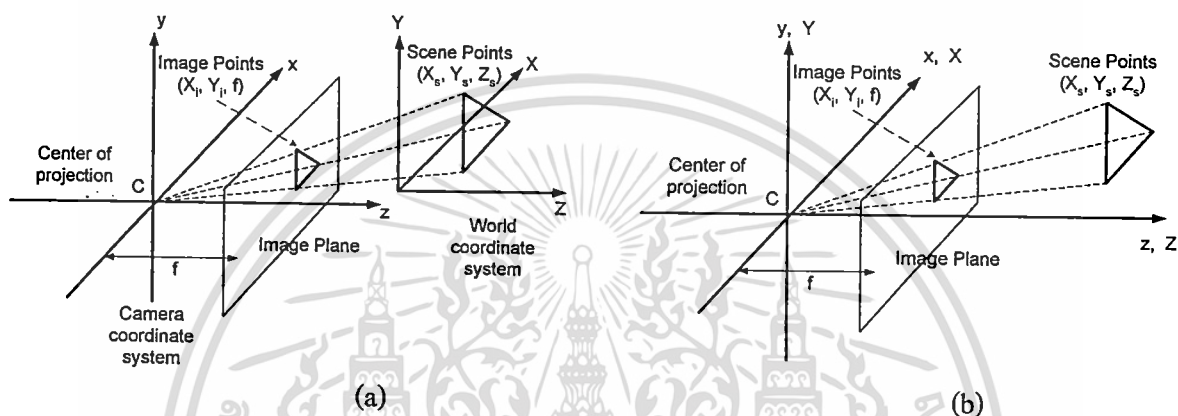
รูปที่ 2.14 แสดงสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงของตามนุษย์และอิมเมจเซนเซอร์ชนิดซีซีดี ซึ่งจะเห็นได้ว่าซีซีดีจะมีการตอบสนองต่อแสงสีเขียวประมาณ 45%-56%

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงความรู้ทั่วไป หลักการและการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย หัวข้อที่จะกล่าวต่อไปจะเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมดที่นำมาประยุกต์ใช้ในส่วนของการประมวลผลภาพ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งในงานวิจัยนี้ โดยจะกล่าวเป็นหัวข้อเรียงตามลำดับขั้นในการทำการออกแบบดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีการปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration)

ในส่วนของการปรับเทียบกล้องจะกล่าวถึงการปรับเทียบระบบกล้องเนื่องจากการเกิดภาพในกรณีที่พิกัดของโลกไม่ซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง โดยพิกัดของโลกในที่นี้จะหมายถึงพิกัดของวัตถุที่ต้องการจะถ่ายภาพ โดยการปรับเทียบจะต้องทำให้พิกัดของกล้องและพิกัดของวัตถุมีแนวแกนร่วมกันหรือสามารถลากเส้นผ่านจุดกำเนิดของระบบแกนทั้งหมดได้เป็นแนวเส้นตรงเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 (a) การเกิดภาพในกรณีที่พิกัดของโลก (X, Y, Z) ไม่ซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง (x, y, z)
 (b) การเกิดภาพในกรณีที่พิกัดของโลกซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง

เราสมมติว่าพิกัดของโลกซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง แสงจากวัตถุใน 3 มิติ ส่องผ่านศูนย์กลางของการโปรเจกชันแล้วโปรเจกต์ลงบนภาพ ให้จุด (x_s, y_s, z_s) แทนจุดพิกัดของวัตถุ 3 มิติ ให้ (x_i, y_i) แทนจุดพิกัดของวัตถุในระนาบภาพ เราสมมติว่าระนาบภาพอยู่ที่ตำแหน่ง f ห่างไปทางขวาของจุดกำเนิดของพิกัดกล้อง โดยที่ f คือความยาวโฟกัสของเลนส์ โดยการใช้กฎสามเหลี่ยมคล้ายจะได้ว่า

$$x_i = \frac{fx_s}{z_s} \quad (2.2)$$

$$y_i = \frac{fy_s}{z_s} \quad (2.3)$$

เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดโลกกับระบบพิกัดกล้องในระบบโฮโมจีเนียสได้ด้วยสมการที่ (2.4)

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

โดยที่ M คือตัวแปรการปรับเทียบ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระบบพิกัดโลกและระบบพิกัดกล้อง ซึ่งเมตริกซ์ M สามารถกระจายได้ดังนี้

$$M = K[I_3 | O_3] \begin{bmatrix} R & -T \\ O_3^T & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

นำ สมการ (2.5) แทนในสมการ (2.4) จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = K[I_3 | O_3] \begin{bmatrix} R & -T \\ O_3^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

เมตริกซ์ K ในสมการที่ (2.7) เป็นพารามิเตอร์ภายใน (intrinsic parameter) ที่เกี่ยวข้องกับการปรับขนาดภาพ (image scaling) โดยที่

$$K = \begin{bmatrix} f \cdot a & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f \cdot b & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

โดยที่ f คือความยาวของโฟกัสของการโปรเจกชัน a และ b คือ ตัวคูณในการแปลงหน่วยพิกเซลเป็นหน่วยความยาวจริง ส่วน (u_0, v_0) แทนจุดกึ่งกลางของระนาบภาพ เมตริกซ์ R และ T เป็นพารามิเตอร์ภายนอก (extrinsic parameter) ของกล้อง เมตริกซ์ R แสดงถึงผลรวมของการหมุนระบบพิกัดที่ประกอบไปด้วย การก้มออก (pan) เอียง (tilt) และกลิ้ง (roll) ตามลำดับ เมตริกซ์ T เป็นเมตริกซ์ที่บ่งบอกถึงผลรวมของการย้ายระบบพิกัด

ในการหาค่าเมตริก M เราจะทำการแทนค่าจุดตำแหน่งของวัตถุ $X = [x \ y \ z \ 1]^T$ ซึ่งเป็นจุดบนแกนโลกที่เราทราบค่า และแทนจุดของภาพ 2 มิติ $[u \ v]^T$ ซึ่งจะได้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} \alpha u \\ \alpha v \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\begin{bmatrix} \alpha u \\ \alpha v \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \\ m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z + m_{24} \\ m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

ทำการนอร์มอลไลซ์ให้สมาชิกที่ 3 เป็น 1 เราจะได้สมการ

$$\begin{aligned} u(m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34}) &= m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \\ v(m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34}) &= m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z + m_{24} \end{aligned} \quad (2.10)$$

ดังนั้นเราจะได้สมการเชิงเส้น 2 สมการสำหรับจุดของตำแหน่งวัตถุ 3 มิติหนึ่งจุดและจุดในภาพ 2 มิติที่สอดคล้องกัน ทำการเขียนสมการ (2.10) ใหม่ในรูปของเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy & -uz & -u \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -vx & -vy & -vz & -v \\ & & & & & & & & & & & \vdots \\ & & & & & & & & & & & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ \vdots \\ m_{34} \end{bmatrix} = 0 \quad (2.11)$$

หรือ

$$AM = 0 \quad (2.12)$$

ถ้า n เป็นจำนวนจุดของตำแหน่งวัตถุทั้งหมด เมตริก A จะมีขนาดเป็น $2n \times 12$ ในการหาค่าเมตริกซ์ M จะต้องนำเมตริกซ์ A มาทำการแยกแบบค่าเดี่ยว หรือ SVD (Single value decomposition) เพื่อที่จะจัดเมตริกซ์ A ให้อยู่ในรูป $A = UDV^T$ และจะได้ว่าคอลัมน์สุดท้ายของเมตริก V คือค่าเมตริก M

เมื่อได้เมตริก M แล้วขั้นตอนต่อไปทำการแยกพารามิเตอร์ภายใน จาก

$$M = [KR | -KRT] = [A|b] \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะได้ว่า $T = -A^{-1}b$ ส่วนการหาค่าเมตริก R จะต้องทำการแยกเมตริก A ให้อยู่ในรูปผลคูณของ 2 เมตริก คือ เมตริก K และ R โดยใช้วิธีการแยกแบบคิวอาร์ (QR decomposition)

2.5 การแก้ไขความบิดเบือน (Distortion) ของภาพ

ภาพที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัลนั้นจะเกิดความบิดเบือนของภาพอันเป็นผลมาจากความโค้งเว้าของเลนส์ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการแก้ไขความบิดเบือนของภาพที่เกิดจากเลนส์ของกล้องซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการแปลงโพลิโนเมียลเพื่อแก้ไขความผิดพลาดดังกล่าวให้เกิดความถูกต้อง เพื่อที่จะได้นำภาพที่ได้รับการแก้ไขแล้วไปใช้ในกระบวนการต่อภาพต่อไป

การแปลงโพลิโนเมียลเป็นวิธีหนึ่งในการแปลงเรขาคณิตของภาพแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีลักษณะคล้ายกับการยืดหรือหดแผ่นยางที่มีภาพวาดอยู่บนนั้น (Rubber-Sheet Stretching) เราให้

$$x = X(u, v) \quad (2.14)$$

$$y = Y(u, v) \quad (2.15)$$

แทนการแปลงเรขาคณิตของภาพไปข้างหน้า (Forward Mapping) จากภาพอินพุตไปเป็นภาพเอาต์พุต และการแปลงเรขาคณิตของภาพย้อนกลับ (Reverse Mapping) คือ

$$u = U(x, y) \quad (2.16)$$

$$v = V(x, y) \quad (2.17)$$

การแปลงโพลิโนเมียลอันดับที่สอง (Second Order Polynomial Mapping) ของพิกัดภาพถูกนิยามดังนี้

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \quad (2.18)$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \quad (2.19)$$

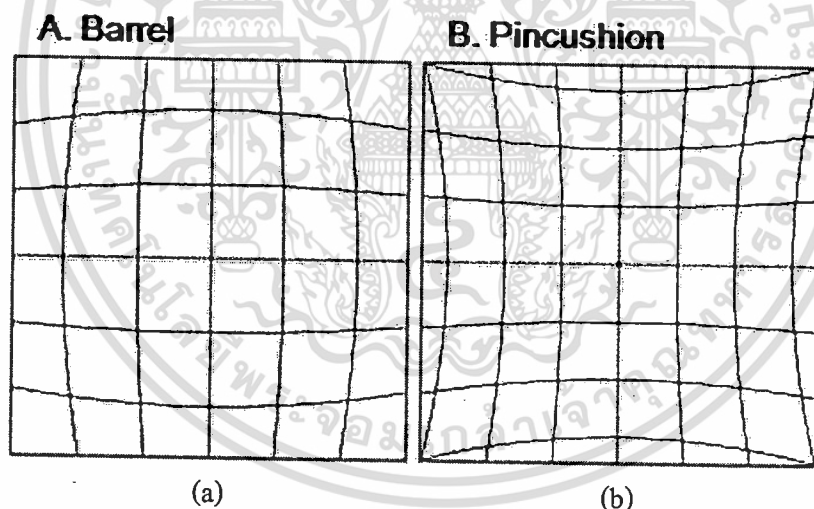
จัดให้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์จะได้

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ b_0 & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ x \\ y \\ x^2 \\ xy \\ y^2 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

โดยปกติแล้วการแปลงโพลิโนเมียลอันดับที่สองหรืออันดับที่สูงกว่ามีจุดมุ่งหมายในการแก้ไขความบิดเบือน (Spatial Distortion) ของระบบรับภาพ รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างของความบิดเบือนซึ่งจะเห็นถึงภาพที่มีการบิดเบือนในลักษณะเหมือนถัง (Barrel) และเหมือนหมอน (Pin-cushion) สมมติว่าการแปลงพิกัดจากภาพในอุดมคติไปเป็นภาพที่บันทึกได้คือ

$$u = O_u \{x, y\} \quad (2.21)$$

$$v = O_v \{x, y\} \quad (2.22)$$



รูปที่ 2.16 (a) แสดงภาพที่เกิดความบิดเบือนในลักษณะเหมือนถัง (Barrel)

(b) ภาพที่เกิดความบิดเบือนในลักษณะเหมือนหมอน (Pin-cushion)

โดยที่ $O_u \{x, y\}$ และ $O_v \{x, y\}$ แทนฟังก์ชันการแปลงพิกัด ถ้าเราทราบค่าของฟังก์ชันนี้เราสามารถทำการแปลงย้อนกลับเพื่อแก้ไขการบิดเบือนดังกล่าว ค่าของฟังก์ชันสามารถหาได้จากการประมาณค่า ถ้าให้ฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับที่สอง สมการ (2.18) และ (2.19) เป็นฟังก์ชันการแปลงพิกัด เราต้องทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ (a_i, b_i) ซึ่งทำให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสอง (Mean-Square Error) ระหว่างพิกัดในภาพที่บันทึก (u_m, v_m) , $1 \leq m \leq M$ กับพิกัดที่ได้จากการประมาณค่าโพลิโนเมียล (u, v) มีค่าน้อยที่สุดสำหรับเซตของจุด (x_m, y_m) , $1 \leq m \leq M$ ที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีจุดใดจุดหนึ่งซ้ำ และต้องอ้างอิงถึงเชิงพิกัดที่ตรงตามการนำไปใช้

เรียกว่าจุดควบคุม (Control Point) เพื่อความสะดวกเราใช้การเขียนในรูปแบบของเวกเตอร์ ให้ฟังก์ชันของภาพที่บันทึกได้แทนด้วย ในรูปที่ 2.17 (a) แสดงตัวอย่างภาพที่เกิดความบิดเบือนจากเลนส์ของกล้อง และ (b) แสดงภาพที่ได้รับการแก้ไขความบิดเบือนด้วยวิธีการแปลงโพล โนเมียลนั่นเอง

$$u^T = [u_1, u_2, \dots, u_M] \quad (2.23)$$

$$v^T = [v_1, v_2, \dots, v_M] \quad (2.24)$$

ให้สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชัน โพลีโนเมียลอันดับที่สอง แทนด้วย

$$a^T = [a_0, a_1, \dots, a_5] \quad (2.25)$$

$$b^T = [b_0, b_1, \dots, b_5] \quad (2.26)$$

ค่าผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองในรูปแบบที่กะทัดรัด คือ

$$\varepsilon^2 = (u - Aa)^T (u - Aa) + (v - Ab)^T (v - Ab) \quad (2.27)$$

โดยที่

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_M & y_M & x_M^2 & x_M y_M & y_M^2 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

เราต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ทำให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองน้อยที่สุดซึ่งทำได้โดยการหาอนุพันธ์ของ (2.27) เทียบกับสัมประสิทธิ์ a และ b แล้วให้ผลลัพธ์เท่ากับศูนย์นั่นคือ

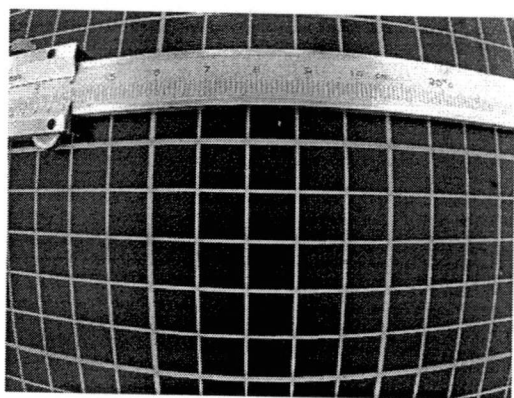
$$\frac{d\varepsilon^2}{da} = -2A^T (u - Aa) = 0 \quad (2.29)$$

$$\frac{d\varepsilon^2}{db} = -2A^T (v - Ab) = 0 \quad (2.30)$$

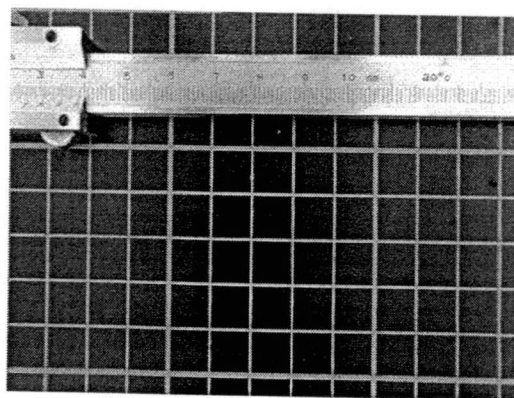
เราได้ว่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นผลลัพธ์คือ

$$a = (A^T A)^{-1} (A^T u) \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (2.32)



(a)



(b)

รูปที่ 2.17 (a) ภาพที่เกิดความบิดเบือนจากเลนส์ของกล้อง
(b) ภาพที่ได้รับการแก้ไขด้วยวิธีการแปลงโพลิโนเมียล

2.6 การต่อภาพ (Image Registration)

เมื่อระบบกล้องได้รับการปรับเทียบและแก้ไขความบิดเบือนของภาพแล้ว เราจะสามารถนำภาพที่ได้จากกล้องแต่ละตัวนั้นมาเข้าสู่กระบวนการต่อภาพต่อไปได้ ก่อนอื่นจะขอกล่าวถึงระยะห่างในการวางกล้องแต่ละตัว เนื่องจากการที่จะนำภาพมาต่อกันได้นั้น ภาพที่ได้จากกล้องแต่ละตัวจำเป็นต้องมีส่วนที่เหลื่อมล้ำกันเพื่อใช้ในการคำนวณหาส่วนที่มีความเหมือนกันของภาพทั้งสองที่จะนำมาต่อกัน ดังนั้นในขั้นตอนของการปรับเทียบกล้องที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.4 จะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย ซึ่งระยะห่างในการวางกล้องแต่ละตัวและระยะห่างในการวางวัตถุนั้นก็ขึ้นอยู่กับความต้องการในการถ่ายภาพว่าต้องการถ่ายภาพของวัตถุขนาดใดนั่นเอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการที่ใช้ในการต่อภาพซึ่งประกอบไปด้วย การลงทะเบียนภาพ (Image Registration) และการลบรอยต่อของภาพ ดังนี้

2.6.1 การลงทะเบียนภาพ (Image Registration)

เราสามารถจำแนกวิธีการลงทะเบียนภาพได้หลายแบบด้วยกัน ได้แก่ วิธีการลงทะเบียนภาพแบบใช้แลนด์มาร์ค (Control-Point Based Registration) แบบใช้ขอบภาพ (Edge-Based Registration) แบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ (Optimization of a similarity measurement) แบบวิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการลงทะเบียนภาพแบบใช้แลนด์มาร์ค จึงจะขออธิบายเพียงวิธีการที่ได้เลือกใช้เท่านั้น

วิธีการลงทะเบียนภาพแบบใช้แลนด์มาร์ค จะใช้จุดสอดคล้องกันระหว่างจุดบนภาพทั้งสองภาพในการลงทะเบียน และเรียกจุดเหล่านี้ว่าแลนด์มาร์ค ดังนั้นความแม่นยำของการลงทะเบียนภาพจึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องของแลนด์มาร์คที่หาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลนมาร์คอาจเป็นจุดซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัตถุหรือไม่ใช่ก็ได้ เช่น ในภาพทางการแพทย์จะมีเลนมาร์ค ได้แก่ จุดบนอวัยวะหรือขอบของกระดูกเป็นคุณสมบัติของวัตถุ หรือเลนมาร์คที่ได้จากการเอาแหล่งกำเนิดแสงติดไว้ที่ตัวผู้ป่วยตามจุดต่างๆ หรือทำเครื่องหมายไว้ที่ตัวผู้ป่วยซึ่งเป็นเลนมาร์คที่ไม่ใช่คุณสมบัติของวัตถุโดยตรง และวิธีที่ได้มาซึ่งเลนมาร์คนั้นมีหลายวิธี เช่น การหาเลนมาร์คด้วยมือหรือการกำหนดจุดซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความแม่นยำและความรู้เกี่ยวกับภาพชนิดนั้นๆ เช่น การหาเลนมาร์คในภาพทางการแพทย์ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการหาเลนมาร์คแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ เช่น จุดเปลี่ยนโค้ง หรือ จุดมุมของภาพ เป็นต้น

หลังจากที่เราได้เลนมาร์คบนภาพต้นฉบับและเลนมาร์คที่สอดคล้องกันบนภาพที่นำมาลงทะเบียน ขั้นตอนต่อไปเราจะหาเมตริกซ์ของการแปลง (Transformation Matrix) ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างเลนมาร์คบนภาพที่หนึ่งกับภาพที่สอง เช่น ในภาพที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น สามารถหาเมตริกซ์ของการแปลงได้จากการประมาณ Minimized Mean Square Error (MMSE) ถ้าให้ X แทนจุดเลนมาร์คในภาพที่หนึ่งซึ่งจะเรียกว่าภาพต้นฉบับและ Y แทนจุดเลนมาร์ค n จุดในภาพที่สองซึ่งจะเรียกว่าภาพทดสอบที่สอดคล้องกับจุดเลนมาร์คในภาพต้นฉบับ เราสมมติว่าความสัมพันธ์ระหว่างจุดเลนมาร์ค n จุด ในภาพต้นฉบับและภาพทดสอบเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$Y=TX \quad (2.33)$$

โดยที่

$$X = \begin{bmatrix} x'_1 & x'_2 & \cdots & x'_n \\ y'_1 & y'_2 & \cdots & y'_n \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

$$Y = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_n \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

และ

$$T = \begin{bmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

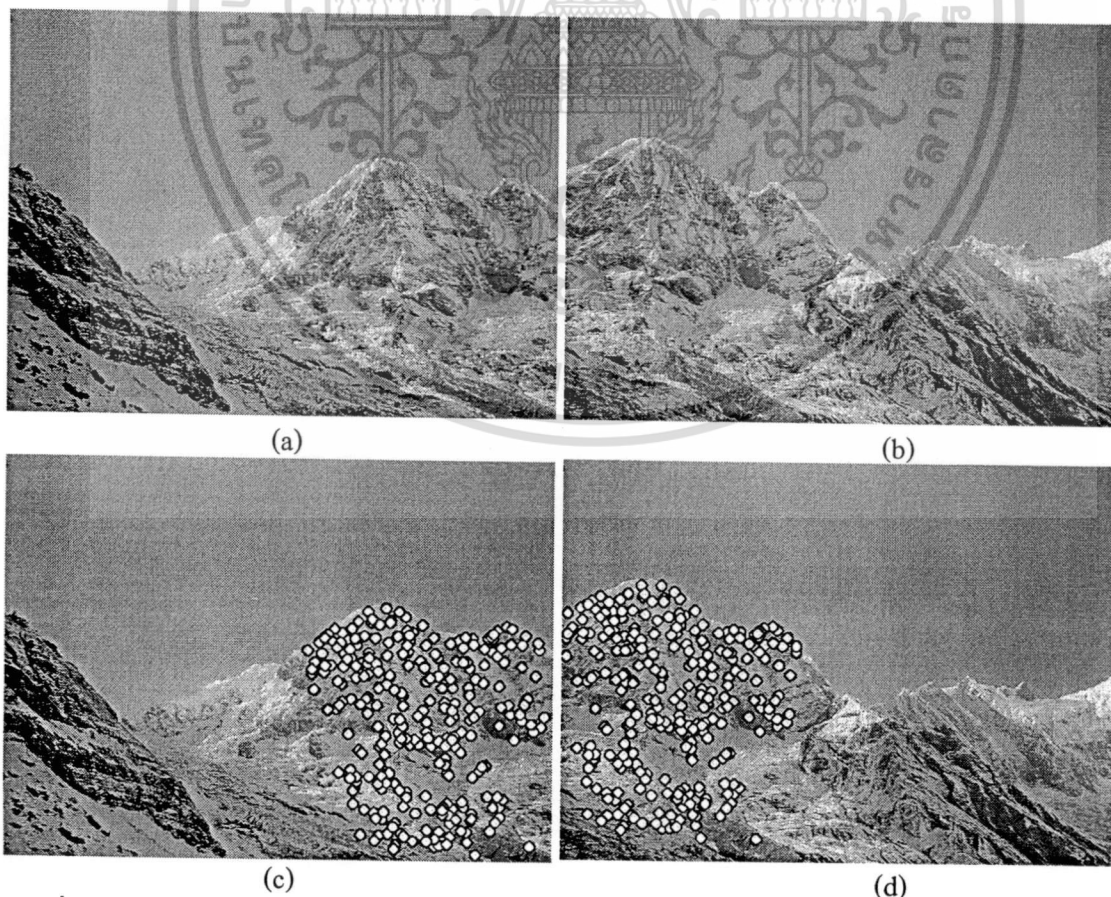
ดังนั้นถ้าเราทราบ T เราสามารถทำการแปลงเรขาคณิตของภาพให้ภาพทั้งสองซ้อนทับกันได้ในการหา T เรานิยามค่าผิดพลาดกำลังสองดังนี้

$$\varepsilon^2 = (Y - TX)^T(Y - TX) \quad (2.37)$$

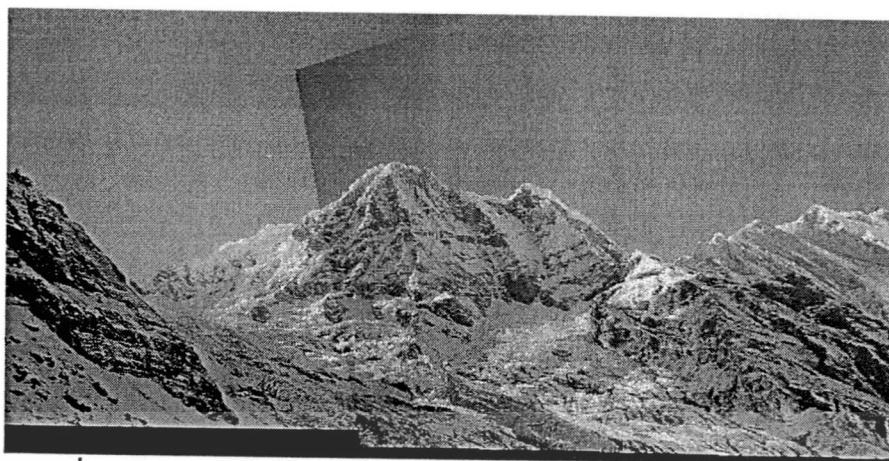
การหาอนุพันธ์สมการ (2.37) เทียบกับ T เทียบผลลัพธ์เท่ากับศูนย์เราได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial T} &= -2X^T(Y - TX) = 0 \\ X^T Y &= X^T T X \\ Y^T X &= T^T X^T X \\ T^T &= (Y^T X)(X^T X)^{-1} \\ T &= (X^T X)^{-1}(X^T Y) \end{aligned} \quad (2.38)$$

สมการ (2.38) มีชื่ออีกอย่างว่าสมการนอร์มอล (Normal Equation) หลังจากได้ T แล้วทำการแปลงเรขาคณิตของภาพเพื่อลงทะเบียนภาพ X กับ Y ก็จะได้ภาพที่ต่อกัน โดยรูปที่ 2.18 (a) แสดงภาพต้นฉบับ (b) แสดงภาพทดสอบ (c) และ (d) แสดงการหาจุดแลนมาร์คบนภาพทั้งสอง รูปที่ 2.19 แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเรขาคณิตจากจุดแลนมาร์ค



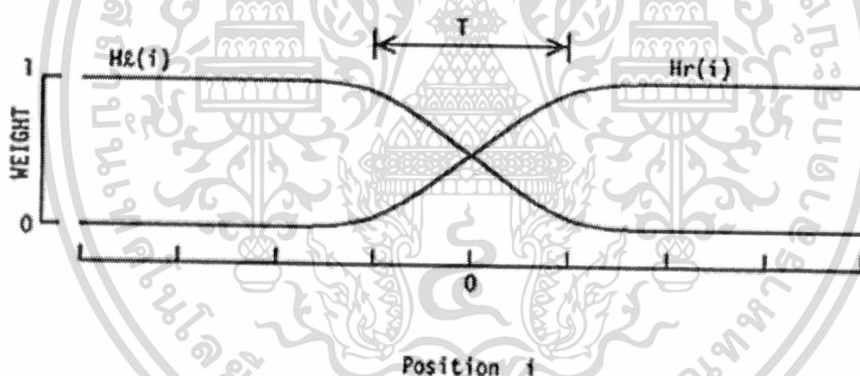
รูปที่ 2.18 (a) ภาพต้นฉบับ (b) ภาพทดสอบ (c) และ (d) แสดงการหาจุดแลนมาร์คบนภาพทั้งสอง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเรขาคณิตจากจุดเลนมารู้ค

2.6.2) การลบรอยต่อของภาพ

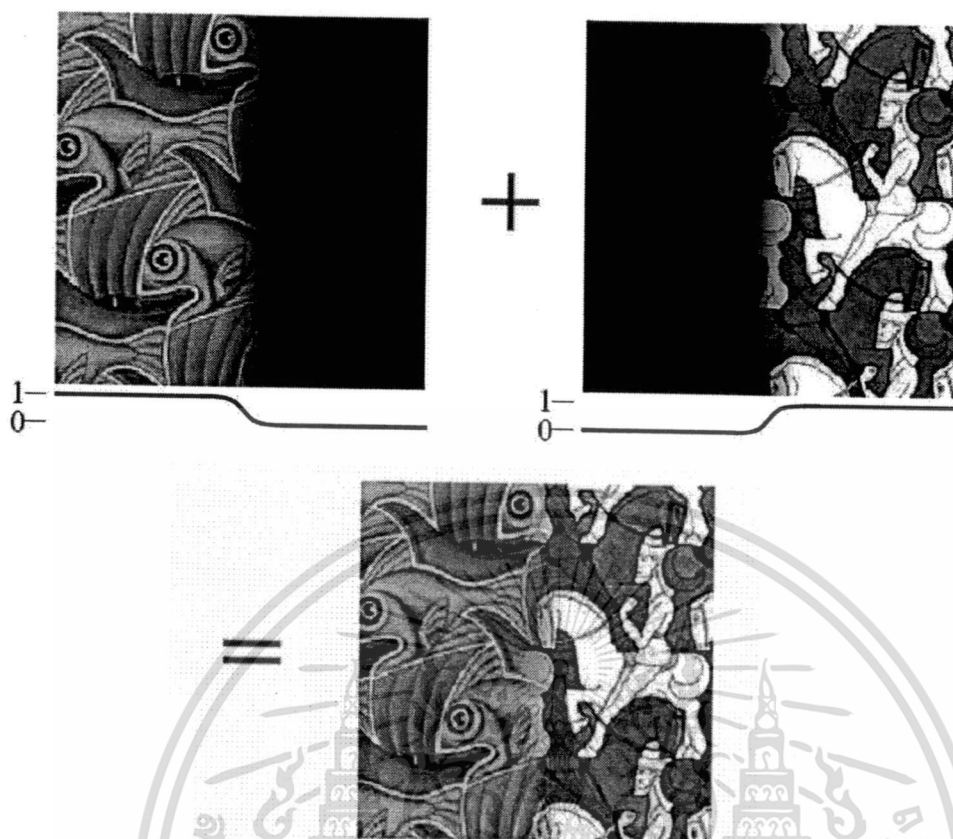
เมื่อเราทำการประกอบภาพแล้ว ภาพที่ได้จะเกิดรอยต่อขึ้นทำให้ต้องมีการหาวิธีในการลบรอยต่อของภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้หลักการผสมภาพ (Image Blending) [5] โดยใช้ฟังก์ชันการถ่วงน้ำหนัก (Weight Average Function) ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 จากรูปแสดงฟังก์ชันที่ใช้ในการลบรอยต่อของภาพ โดยค่า T คือ ค่า Transition Zone ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญในการลบรอยต่อ

ให้ $Hl(i)$ เป็นฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่ทำหน้าที่ลดระดับความเข้มของภาพจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา ดังรูปที่ 2.2 และฟังก์ชัน $Hr(i) = 1 - Hl(i)$ ดังนั้น จะได้ภาพ F ซึ่งเป็นภาพที่ทำการลบรอยต่อเรียบร้อยแล้ว ดังสมการที่ 2.39 โดยในรูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่างการลบรอยต่อของภาพโดยใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักนั่นเอง

$$F(i) = Hl(i-i)Fl(i) + Hr(i-i)Fr(i) \quad (2.39)$$

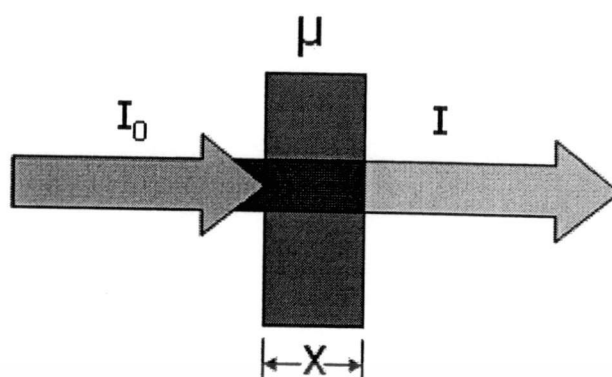


รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่างการลบรอยต่อของภาพโดยใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก

2.7 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของเอกซเรย์ (Attenuation)

สำหรับขั้นตอนของการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนนี้จะถูกใช้กับภาพถ่ายเอกซเรย์เท่านั้น ส่วนภาพที่ถ่ายกับแสงปกติจะไม่ต้องผ่านกระบวนการนี้ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนจะใช้กฎของแลมเบิร์ต-เบียร์ (Lambert-Beer Law) กล่าวคือ เอกซเรย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงและเป็นรังสีที่สามารถทำให้อะตอมของตัวกลางแตกตัวขณะที่มันเคลื่อนที่ผ่านไปในตัวกลางนั้น เมื่อยังเอกซเรย์ที่มีพลังงานอยู่ในช่วงการวินิจฉัยเข้าไปในตัวกลางใดๆ เช่น ร่างกายมนุษย์ หรือ วัตถุ เป็นต้น จะเกิดปรากฏการณ์สำคัญ ได้แก่ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect) และปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton Effect) ทำให้สูญเสียพลังงานไปบางส่วน เมื่อเอกซเรย์ทะลุผ่านตัวกลางออกมาแล้วจึงมีความเข้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงการลดทอนของเอกซเรย์ในวัตถุที่มีความหนา X

2.7.1) กรณีที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน 1 ค่า

สมมติเมื่อเรายิงเอกซเรย์ซึ่งมีพลังงานค่าเดียวและมีความเข้ม I_0 เข้าชนกับวัตถุที่มีความหนา X ความเข้มจะลดลงไปเป็น I จากปรากฏการณ์การดูดกลืน และการกระเจิง ซึ่งการลดทอนนี้เป็นไปตามกฎของแลมเบิร์ต-เบียร์

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx \quad (2.40)$$

อินทิเกรตทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\mu \int_0^x dx \quad (2.41)$$

จัดรูปสมการใหม่โดยการเอาลอการิทึมคูณทั้ง 2 ข้าง จะได้

$$\ln I - \ln I_0 = -\mu x \quad (2.42)$$

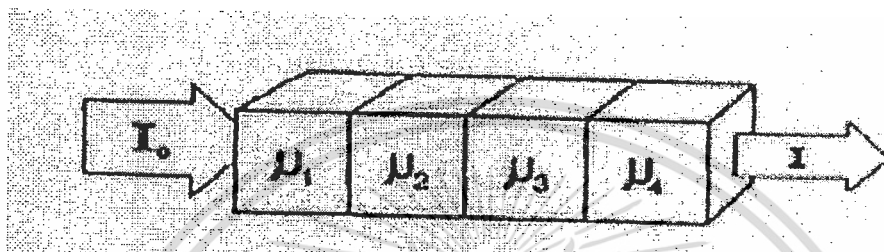
จัดรูปสมการใหม่จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างโฟตอนที่ฉายไปยังวัตถุกับโฟตอนที่ออกจากวัตถุ ดังสมการที่ 2.43

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ซึ่ง I คือ ความเข้มของเอกซเรย์ที่ออกจากวัตถุ
 I_0 คือ ความเข้มของเอกซเรย์ที่ฉายเข้าไปในวัตถุ
 μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน
 x คือ ความหนาของวัตถุ

2.7.2) กรณีที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนหลายค่า



รูปที่ 2.23 ฉายรังสีไปยังวัตถุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนหลายค่า

พิจารณารูปที่ 2.23 เป็นการฉายเอกซเรย์ผ่านวัตถุซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน 4 ค่า คือ μ_1, μ_2, μ_3 และ μ_4 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง I กับ I_0 ดังนี้

$$I = I_0 e^{-\int \mu dx} \quad (2.44)$$

$$I = I_0 \exp[-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)x] \quad (2.45)$$

ซึ่ง x คือ ระยะทางของลำอิเล็กตรอนนั่นเอง

2.8 การลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้เกิดจากผลกระทบของเอกซเรย์ที่มีต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของกล้อง ซึ่งทำให้ภาพที่ได้เกิดสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์ (Salt and Pepper Noise) ที่มีลักษณะเป็นจุดสีขาวและดำอยู่กระจัดกระจายบนภาพ โดยเราจะลดสัญญาณรบกวนชนิดนี้ออกไปจากภาพด้วยวิธีการกรองแบบค่ามีเดียน (Median Filter)

การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการกรองแบบมีเดียนนั้นมีหลักการคือค่าของพิกเซลอินพุทจะถูกแทนที่ด้วยค่ามีเดียนของพิกเซลที่อยู่ภายในหน้าต่าง นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $v(m,n) = \text{median}\{y(m-k,n-l), (k,l) \in W\}$ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้จากการค้า (2.46)

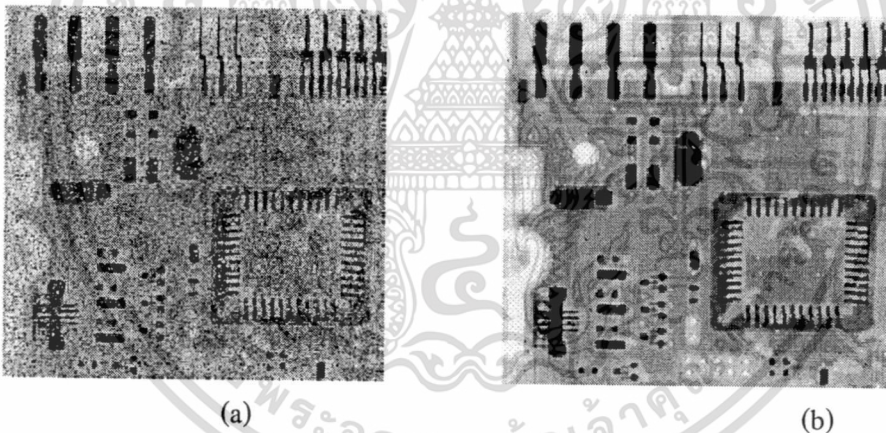
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ W คือ หน้าต่าง อัลกอริทึมสำหรับการกรองแบบมีเดียนจะทำการเรียงค่าพิกเซลในลักษณะที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วทำการเลือกค่าที่อยู่ตรงกลาง โดยทั่วไปแล้วขนาดของหน้าต่างถูกเลือกให้ N_w มีค่าเป็นเลขคี่ ถ้า N_w เป็นเลขคู่ ค่ามีเดียนจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างสองค่าตรงกลาง โดยทั่วไปแล้ว หน้าต่างจะเป็นแบบขนาด $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ เป็นต้น ในรูปที่ 2.24 (a) แสดงภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์ และ (b) แสดงภาพที่ผ่านการกรองแบบค่ามีเดียน

การกรองแบบมีเดียนมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. เป็นการกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) ดังนั้นสำหรับสองซีเค้น $x(m)$ และ $y(m)$

$$\text{median}\{x(m)+y(m)\} \neq \text{median}\{x(m)\} + \text{median}\{y(m)\}$$
2. มีประโยชน์ในการกำจัดเส้นหรือพิกเซลที่แยกออกมาโดดเดี่ยว (Isolated) ซึ่งใช้ได้ดีสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบ ไบนารี
3. มีประสิทธิภาพต่ำเมื่อจำนวนของพิกเซลที่ถูกป้อนเป็นอนต์ด้วยสัญญาณรบกวนในหน้าต่างมีค่ามากกว่าหรือมีค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนพิกเซลในหน้าต่าง



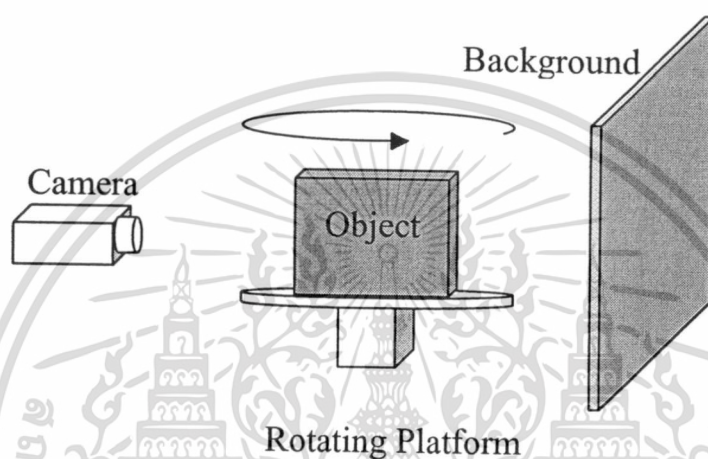
รูปที่ 2.24 (a) แสดงภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์

(b) แสดงภาพที่ผ่านการกรองแบบค่ามีเดียน

2.9 ทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

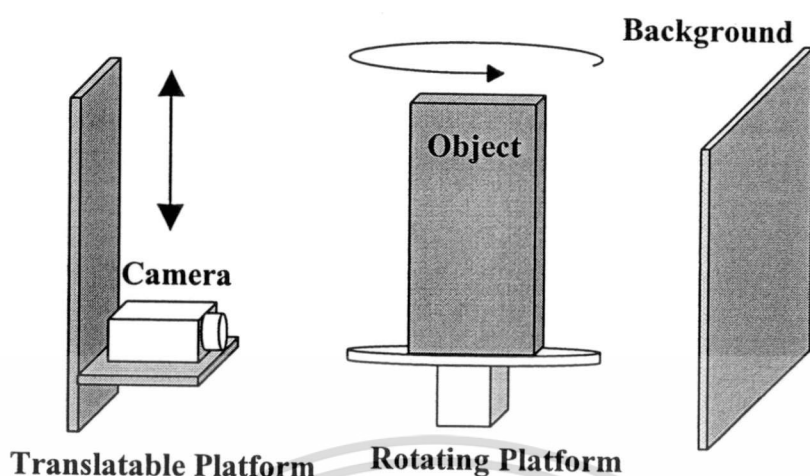
สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น ได้มีผู้วิจัยนำกล้องดิจิตอลมาประยุกต์ใช้งานในลักษณะที่คล้ายกับงานวิจัยนี้ โดย ในปี พ.ศ. 2546 วิทวัส วิทชนานัญกุล [2] ได้นำกล้องดิจิตอลมาประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพวัตถุเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพตัดขวาง โดยใช้หลักการโทโมกราฟฟีกับภาพถ่ายซึ่งหลักการโทโมกราฟฟี คือ กระบวนการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุโดยไม่ทำให้วัตถุเสียหาย โดยปกติแล้วหลักการนี้จะใช้ในการฉายเอกซเรย์หรือ อัลตราซาวนด์ทำให้สามารถเห็นข้อมูลของวัตถุทั้งภายในและภายนอกได้ แต่งานวิจัยนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพวัตถุภายใต้แสงปกติ ซึ่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้ได้เฉพาะพื้นผิวภายนอกของวัตถุเท่านั้น จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการสร้างภาพตัดขวาง และนำไปสู่การสร้างภาพสามมิติเพื่อหาโครงร่างของวัตถุ โดยใช้กล้องดิจิตอลเพียงหนึ่งตัว และอาศัยการหมุนวัตถุเพื่อให้สามารถถ่ายภาพวัตถุได้โดยรอบ ซึ่งยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของวัตถุที่ทำการถ่าย เนื่องจากงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับถ่ายภาพวัตถุขนาดเล็กเท่านั้น ซึ่งหากต้องการถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ เช่น ถ่ายภาพโครงร่างของคน (ทั้งตัว) นั้น จะต้องเพิ่มระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุให้ไกลขึ้น ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของความคมชัดและความละเอียดของภาพที่ลดลงตามไปด้วย



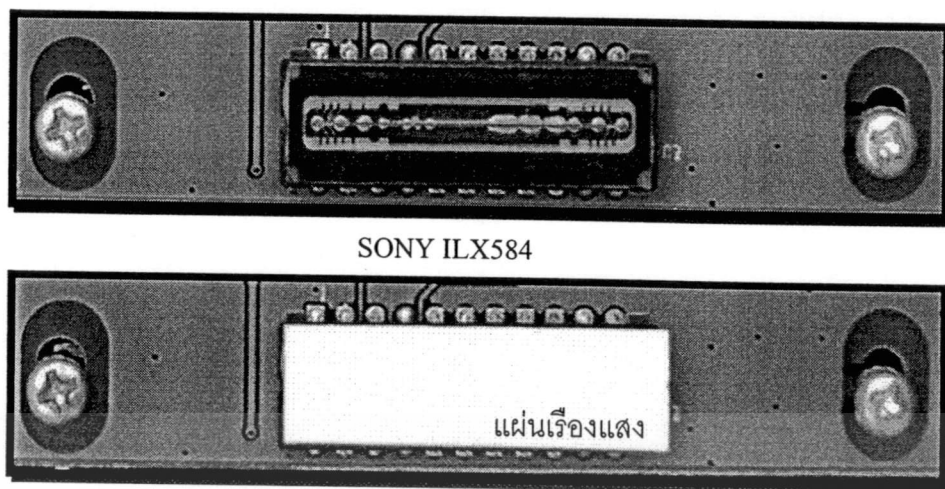
รูปที่ 2.25 แสดงระบบถ่ายภาพที่ใช้หลักการหมุนวัตถุของ วิทวัส วิทย์ชำนาญกุล [2]

ต่อมาในปี พ.ศ. 2549 วลีตะ นาคบัวแก้ว [3] ได้ทำการศึกษาการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยหลักการโทโมการฟิก็กับภาพถ่ายโดยกำหนดค่าแสงแบบกรวยที่มีทิศทางการเคลื่อนที่แบบเกลียว เพื่อแก้ปัญหาเรื่องการเพิ่มความสามารถในการถ่ายวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการใช้เทคนิคการหมุนวัตถุแบบเกลียว (Spiral) ซึ่งทำให้สามารถถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ แต่ทว่าความละเอียดและความถูกต้องของภาพนั้นยังขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียว หรือระยะพิตช์ (Pitch) ซึ่งยังมีระยะน้อยเท่าไรยิ่งดี ทำให้ต้องหมุนวัตถุหลายรอบจึงใช้เวลานานในการเก็บภาพวัตถุจนได้ครบทั้งปริมาตร



รูปที่ 2.26 แสดงระบบถ่ายภาพที่ใช้หลักการหมุนวัตถุและการเลื่อนกล้องขึ้นลงทำให้การเคลื่อนที่โดยรวมมีลักษณะเป็นการเคลื่อนที่แบบเกลียวของ วัตถุ-นาควแก้ว [3]

งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นการประยุกต์ใช้กล้องดิจิทัลกับแสงปกติเท่านั้น ซึ่งการถ่ายภาพกับแสงปกติเราจะมองเห็นวัตถุได้เพียงภายนอกเท่านั้น ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะนำกล้องดิจิทัลไปสร้างเป็นตัวตรวจจับเอกซเรย์เพื่อที่จะสามารถมองเห็นภายในของวัตถุได้โดยไม่ต้องทำให้วัตถุเสียหาย แนวคิดดังกล่าวมาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ในปี พ.ศ. 2552 ชูศักดิ์ จันทโค [6] ได้ทำการออกแบบและสร้างหน่วยตรวจจับเอกซเรย์ชนิดแกวยาว โดยประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ตรวจจับแสงแบบลิเนียร์ซีซีดี ใช้งานร่วมกับแผ่นเรืองแสงชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ ดังรูปที่ 2.27 ซึ่งทำหน้าที่แปลงเอกซเรย์ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าให้เป็นแสงสีเขียวที่สามารถตรวจจับได้ และใช้อุปกรณ์เอฟพีจีเอเข้ามาควบคุมการทำงานในระบบสแกนของหน่วยตรวจจับเอกซเรย์ และส่งข้อมูลที่ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูลและแสดงผล โดยงานวิจัยนี้มีข้อเสียที่จะต้องแก้ไข เช่น วัตถุที่ใช้ในการถ่ายภาพต้องมีขนาดเล็กมาก เวลาในการถ่ายภาพนานมาก เนื่องจากต้องเก็บภาพทีละเส้น หากต้องการถ่ายภาพวัตถุขนาดใหญ่ขึ้นจะต้องทำการเพิ่มจำนวนซีซีดี ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้ามากขึ้นอีก



รูปที่ 2.27 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับแสงแบบลิเนียร์ซีซีดี และแผ่นเรืองแสง
ที่ใช้ในงานวิจัยของ ชุศักดิ์ จันทโก

จากงานวิจัยที่กล่าวมาผู้วิจัยได้วิเคราะห์ถึงปัญหา ข้อดี และข้อเสียต่างๆ ของแต่ละงานวิจัย จนได้ข้อสรุปว่า การสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบทางอ้อม โดยใช้กล้องดิจิตอลหลายตัวนั้น สามารถทำได้โดยการนำกล้องดิจิตอลที่มีตัวรับภาพแบบซีซีดีมาประยุกต์ใช้งานควบคู่กับแผ่นเรืองแสงชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ ก็จะสามารถรับภาพเอกซเรย์ได้ แต่ถ้าเราใช้กล้องเพียงตัวเดียวก็จะเกิดปัญหาเรื่องขนาดของวัตถุและความละเอียดของภาพ เราจึงแก้ไขปัญหาโดยการใช้กล้องหลายตัวมาต่อกัน เพื่อให้สามารถถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยที่มีความละเอียดของภาพเพิ่มมากขึ้น และใช้การหมุนวัตถุแค่เพียงหนึ่งรอบ ทำให้ประหยัดเวลาในการเก็บภาพ โปรเจกชัน จากที่กล่าวมาได้เกิดเป็นแนวคิดในการสร้างระบบตรวจจับเอกซเรย์แบบทางอ้อม โดยใช้กล้องหลายตัวนั่นเอง

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

ในบทนี้จะขอลำดับถึงขั้นตอนในการศึกษาวิจัย เพื่อสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบทางอ้อมโดยใช้กล้องดิจิตอลหลายตัวร่วมกับแผ่นเรืองแสง และการทดลองนำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นนี้ไปทดลองสร้างภาพเอกซเรย์สองมิติ โดยขั้นตอนในการวิจัยประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

- 3.1) การออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์
- 3.2) การเตรียมความพร้อมของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์
- 3.3) การทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์
- 3.4) การทดสอบประสิทธิภาพของตัวตรวจจับเอกซเรย์
- 3.5) การประยุกต์ใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อหาปริมาณของร่างกายคน ซึ่งจะขออธิบายขั้นตอนการวิจัยต่างๆ โดยละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

ในส่วนนี้ขออธิบายถึงส่วนประกอบหลักของตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ออกแบบขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

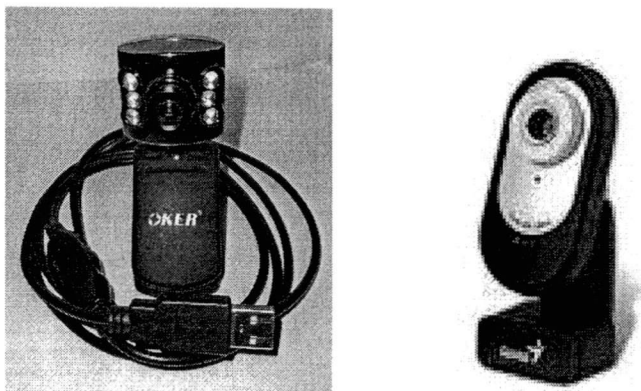
3.1.1) กล้องดิจิตอล (Digital Camera)

กล้องดิจิตอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นกล้องเว็บแคม (Web Cam) ซึ่งเป็นกล้องดิจิตอลขนาดเล็กชนิดหนึ่ง โดยมีอิมเมจเซ็นเซอร์ชนิดซีดีซีขนาด 1/5 นิ้ว ยาว 2.88 มิลลิเมตร กว้าง 2.16 มิลลิเมตร มีจำนวนพิกเซล 300,000 พิกเซล ขนาดภาพใหญ่ที่สุดที่ถ่ายได้มีขนาด 640×480 เกล็ดมีความยาวโฟกัส 6 มิลลิเมตร ติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ตยูเอสบี 1.1 รูปที่ 3.1 แสดงกล้องเว็บแคมที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งกล้องทั้งสองแบบนี้มีคุณลักษณะภายในเหมือนกัน จะแตกต่างกันเพียงรูปลักษณ์ภายนอกเท่านั้น

3.1.2) แผ่นเรืองแสง

สำหรับแผ่นเรืองแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะเลือกใช้สารเรืองแสงชนิด Rare Earth ที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ $Gd_2O_2S:Tb$ ซึ่งเป็นทำหน้าที่แปลงสัญญาณเอกซเรย์เป็นสัญญาณแสงสีเขียว โดยเป็นแผ่นเรืองแสงของบริษัท Kasei Optonix, Ltd. ชื่อของผลิตภัณฑ์คือ KYOKKO Green Series ชนิด Green Regular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

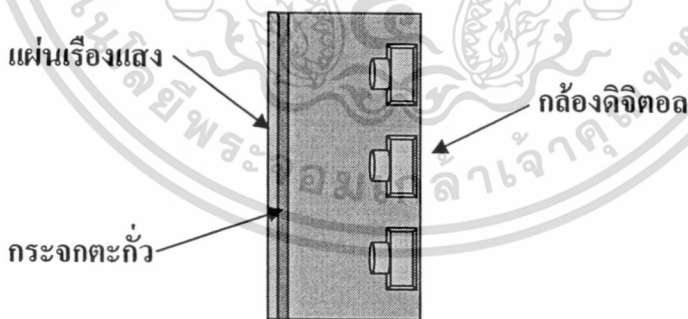


รูปที่ 3.1 ตัวอย่างของกล้องดิจิทัลแบบเว็บแคมที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.3) กระจกตะกั่ว

กระจกตะกั่วถูกนำมาประยุกต์ใช้ในระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ เนื่องจากเอกซเรย์นั้นจะมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในตัวกล้อง และทำให้ภาพที่ได้มีสัญญาณรบกวนมาก เราจึงใช้กระจกตะกั่วเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และลดสัญญาณรบกวนในภาพ

ในรูปที่ 3.2 เป็นรูปที่แสดงองค์ประกอบภายในอย่างง่ายของตัวตรวจจับเอกซเรย์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะนำเสนอการสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สามารถถ่ายภาพวัตถุได้หลากหลายรูปแบบและมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่างานวิจัยที่ผ่านมา [2,3] ดังนั้น ผู้วิจัยจึงขอแนะนำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ด้วยกล้องดิจิทัลร่วมกับแผ่นเรืองแสงในหลายหลายรูปแบบ เช่น 2 x 2, 1 x 6 และ 3 x 3 เป็นต้น

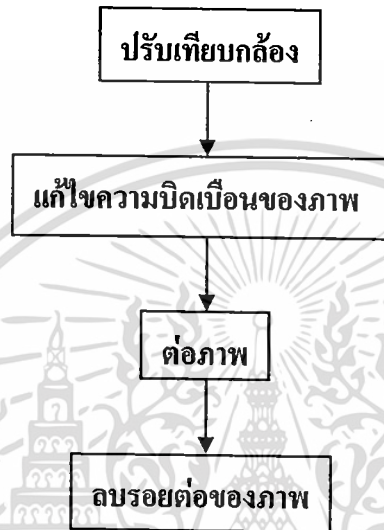


รูปที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบภายในอย่างง่ายของตัวตรวจจับเอกซเรย์

3.2 การเตรียมระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

ก่อนที่จะนำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ไปใช้ในการสร้างภาพเอกซเรย์นั้น จะต้องทำการเตรียมความพร้อมของตัวตรวจจับเอกซเรย์เสียก่อน โดยใช้เทคนิคทาง Image Processing เข้ามาช่วยนั่นเอง ซึ่งจะขอกล่าวเป็นลำดับดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นไดอะแกรมแสดงลำดับขั้นตอนการเตรียมระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ กระบวนการเหล่านี้จะทำเพียงครั้งเดียวเท่านั้นหลังจากนั้นข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บไว้เพื่อใช้ในการเอกซเรย์เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้เนาไปเผยแพร่บนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลผลภาพแบบอัตโนมัติ โดยเราจะไม่ขยับหรือเคลื่อนที่ระบบอีก กล่าวคือ ก่อนที่เราจะทำการถ่ายภาพวัตถุนั้น สิ่งที่เราควรคำนึงถึง คือ ขนาดของวัตถุที่จะถ่าย ความละเอียดของภาพที่ต้องการ จำนวนกล้องที่จะใช้ สิ่งเหล่านี้จะนำไปสู่ตำแหน่งของการวางกล้องว่าควรมีระยะห่างกันเท่าใด และจะจัดวางรูปแบบของกล้องในลักษณะไหน ซึ่งทุกสิ่งทุกอย่างมานั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานนั่นเอง หากเราทำการปรับเปลี่ยนสิ่งใดสิ่งหนึ่งเราจำเป็นจะต้องทำกระบวนการเหล่านี้ใหม่ทั้งหมดเพื่อให้ได้ภาพที่ถูกต้อง

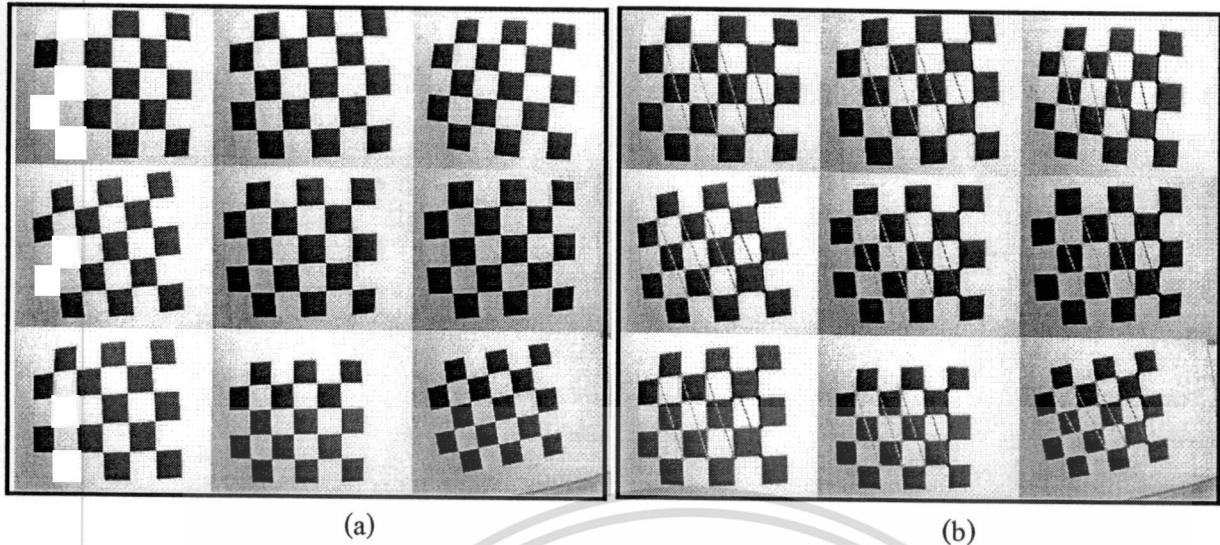


รูปที่ 3.3 โค้ดแกรมแสดงขั้นตอนการเตรียมระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

3.2.1) การปรับเทียบกล้อง

สำหรับการปรับเทียบกล้องนั้นเราจะการปรับเทียบกล้องทีละตัวซึ่งค่าในการปรับเทียบที่ได้จากกล้องแต่ละตัวนั้นจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ภายในและค่าพารามิเตอร์ภายนอกของกล้องตัวนั้นว่าเป็นอย่างไร ซึ่งค่าพารามิเตอร์ภายในประกอบไปด้วยค่า ความยาวโฟกัส และจุดกึ่งกลางของระนาบภาพ ส่วนค่าพารามิเตอร์ภายนอกประกอบไปด้วย ค่าเมตริกซ์ T และ R ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2

สำหรับการปรับเทียบกล้องนั้นจะใช้ภาพตารางหมากรุก ที่ประกอบด้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็กๆ ขนาด 23×23 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 5 ตาราง \times 6 ตาราง ถ่ายที่ระยะและมุมต่างๆ และทำการตรวจสอบจุดมุมของตารางสี่เหลี่ยมเพื่อใช้ในการคำนวณดังรูปที่ 3.4 เมื่อทำการคำนวณจะได้ค่าพารามิเตอร์ภายในและภายนอกของกล้องแต่ละตัวดังตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกล้อง 3 ตัว เพื่อใช้ในการปรับเทียบระบบพิกัดของกล้องและพิกัดของวัตถุให้เป็นระบบพิกัดเดียวกัน



รูปที่ 3.4 (a) แสดงภาพตารางหมากรุกที่ถ่ายที่ระยะและมุมต่างๆ (b) แสดงการหาจุดมุมของตารางสี่เหลี่ยมเพื่อใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ภายในและภายนอกของกล้อง

กล้อง	fa	fb	u_0	v_0
ตัวที่ 1	425.66	464.74	171.47	162.08
ตัวที่ 2	390.16	426.72	189.19	154.73
ตัวที่ 3	386.20	422.54	172.99	175.54

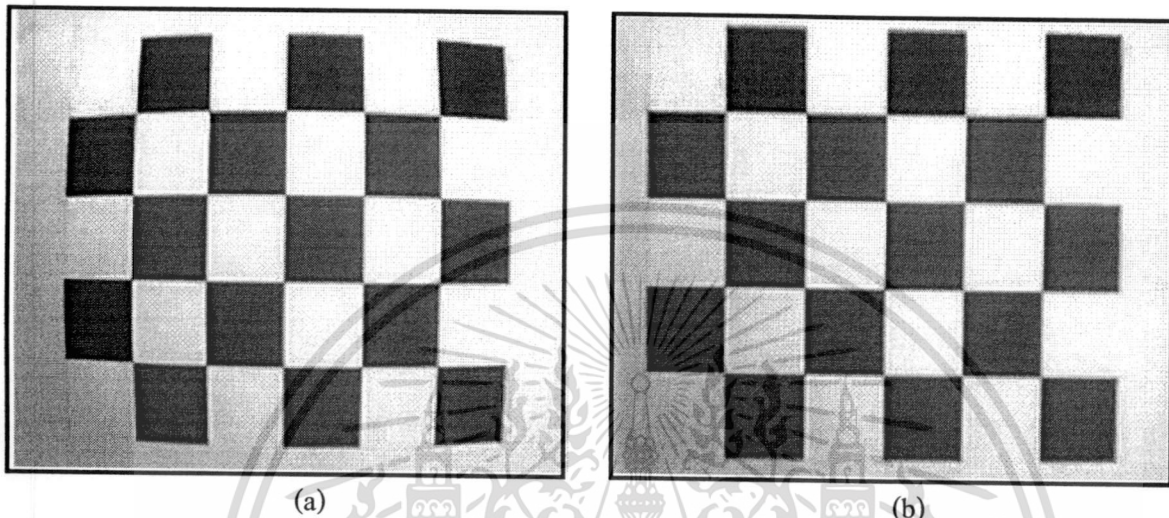
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกล้อง 3 ตัว

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากกล้องแต่ละตัวนั้นจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น เราจึงต้องทำการปรับเทียบกล้องทุกตัวที่ใช้ในระบบก่อนที่จะทำขั้นตอนอื่นๆ ต่อไป และสำหรับในงานวิจัยนี้เมื่อเราทำการปรับเทียบกล้องแล้วเราจะทำการแก้ไขความบิดเบือนของภาพเป็นกระบวนการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2) การแก้ไขความบิดเบือนของภาพ

ในการแก้ไขความบิดเบือนของภาพนั้นเราได้นำข้อมูลตำแหน่งของจุดมุมของตารางหมากรุกที่ใช้ในการเปรียบเทียบกล้อง ดังรูปที่ 3.4 มาใช้ในการแก้ไขความบิดเบือนด้วยสมการโพลีโนเมียลที่ได้กล่าวไปแล้ว ในหัวข้อที่ 2.5 โดยภาพที่แก้ไขความบิดเบือนแล้วแสดงดังรูปที่ 3.5



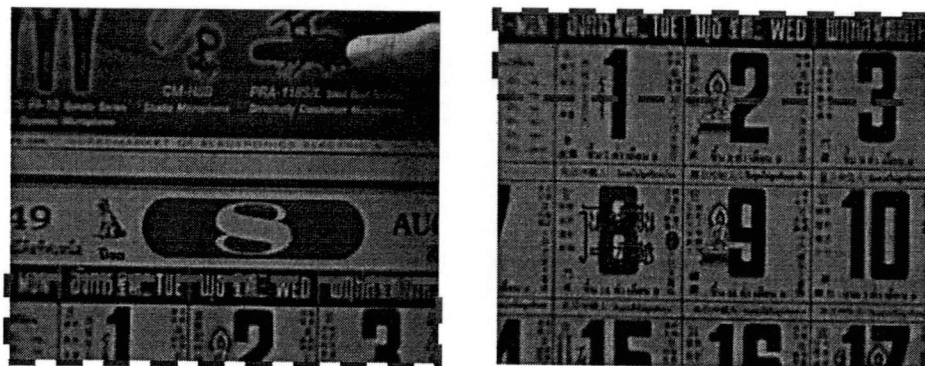
รูปที่ 3.5 (a) แสดงภาพที่มีความบิดเบือน และ(b) แสดงภาพที่แก้ไขความบิดเบือนแล้ว

3.2.3) การต่อภาพ

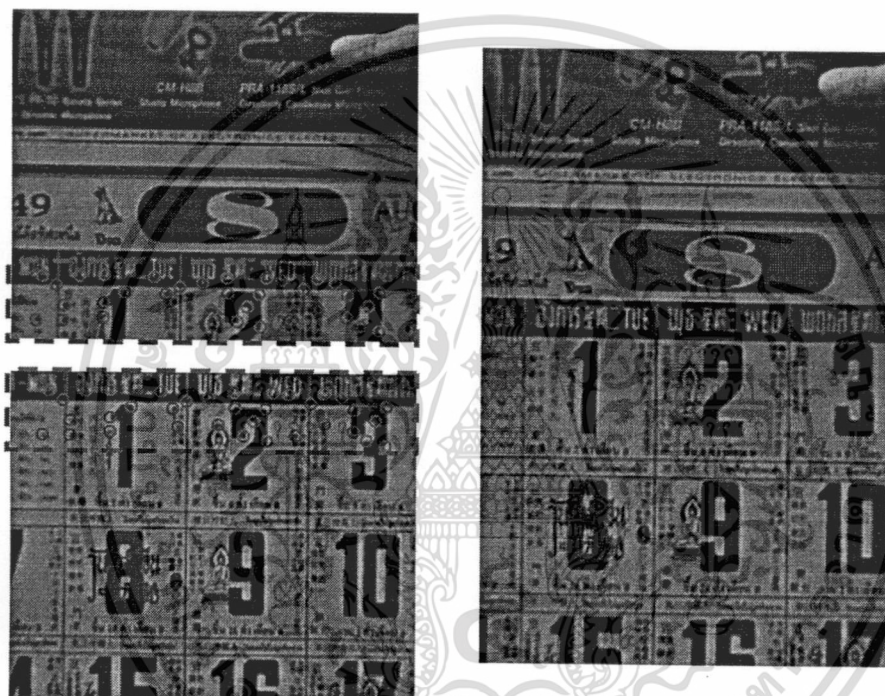
สำหรับการต่อภาพนั้นภาพที่จะนำมาต่อกันจะต้องมีความเหลื่อมล้ำกันในส่วนที่จะนำมาต่อกันเพื่อใช้ในการคำนวณหาจุดสอดคล้องที่เหมือนกันระหว่างภาพสองภาพ โดยการเหลื่อมล้ำของภาพที่จะนำมาต่อกันนั้นถ้ามีความเหลื่อมล้ำกันยิ่งมากก็จะยิ่งทำให้ความผิดพลาดในการต่อภาพน้อยแต่ก็จะทำให้สูญเสียข้อมูลมาก สำหรับในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ภาพแต่ละภาพที่จะนำมาต่อกัน จะต้องมีความเหลื่อมล้ำกันไม่น้อยกว่า 20% ของแต่ละภาพ ซึ่งเป็นค่าที่เพียงพอสำหรับการต่อภาพและสูญเสียข้อมูลไม่มากเกินไป ดังรูปที่ 3.6 โดยภาพที่จะนำมาต่อกันนั้นจะต้องถูกวางให้ตั้งฉากกับตัวกล้องและต้องเป็นตำแหน่งเดียวกันกับแผ่นเรืองแสงเนื่องจากเราจะทำการถ่ายภาพเอกซเรย์ที่ปรากฏบนแผ่นเรืองแสง แต่เราจะทำการจำลองภาพที่เกิดขึ้นบนแผ่นเรืองแสงก่อนนำไปเอกซเรย์เนื่องจากทำได้ง่าย สะดวกและปลอดภัยจากรังสีมากกว่า และสิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งในการต่อภาพนั้นก็คือนภาพที่จะนำมาใช้ในกระบวนการต่อภาพซึ่งควรจะต้องเป็นภาพที่มีจุดมุมจุดตัดหรือมีรายละเอียดของภาพมากๆ เพื่อใช้ในการเลือกหาจุดสอดคล้อง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกภาพปฏิทินซึ่งมีจุดมุมของกรอบสี่เหลี่ยม และรายละเอียดของตัวเลขหรือตัวอักษรเพียงพอต่อการเลือกจุดสอดคล้อง และการที่มีตารางสี่เหลี่ยมก็ยังมีประโยชน์ตรงที่เราสามารถสังเกตความถูกต้องในการต่อภาพได้ง่าย เช่น เราสามารถมองเห็นได้ว่าภาพที่ได้จากการต่อนั้นตรงหรือเอียง เป็นต้น

เมื่อได้ภาพที่จะนำมาต่อกันแล้วก็จะทำการหาจุดสอดคล้องของทั้งสองภาพดังรูปที่ 3.7 และทำการคำนวณหาเมตริกซ์การแปลงเพื่อนำภาพมาต่อกัน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ภาพสองภาพที่จะนำมาต่อกันโดยมีความเหลื่อมล้ำกันประมาณ 25% ของภาพ



(a)

(b)

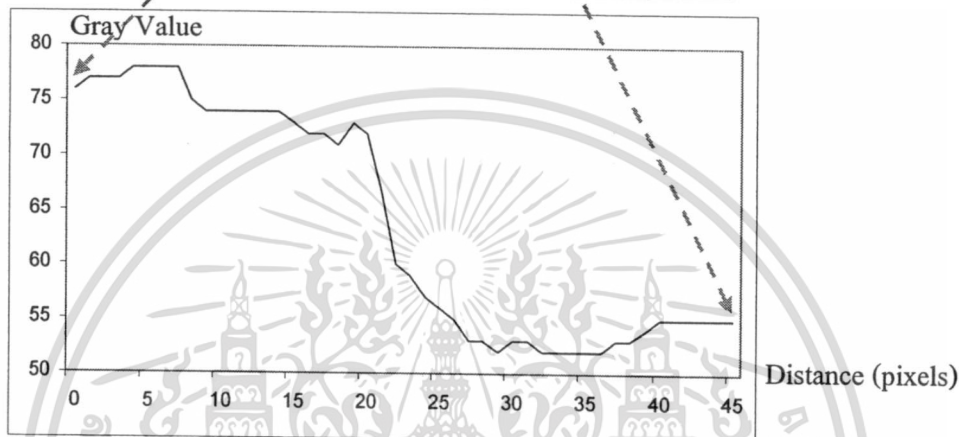
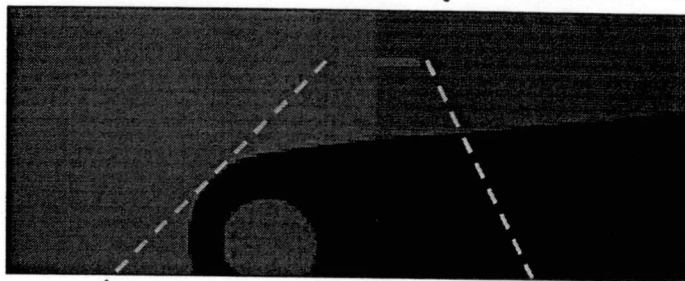
รูปที่ 3.7 (a) แสดงภาพที่นำมาใช้หาจุดตัดคดโค้งและหาเมตริกซ์การแปลงเพื่อใช้ในการต่อภาพ
(b) แสดงภาพที่ได้จากการต่อกันของภาพสองภาพทางด้านซ้ายมือ

3.2.4) การลบรอยต่อของภาพ

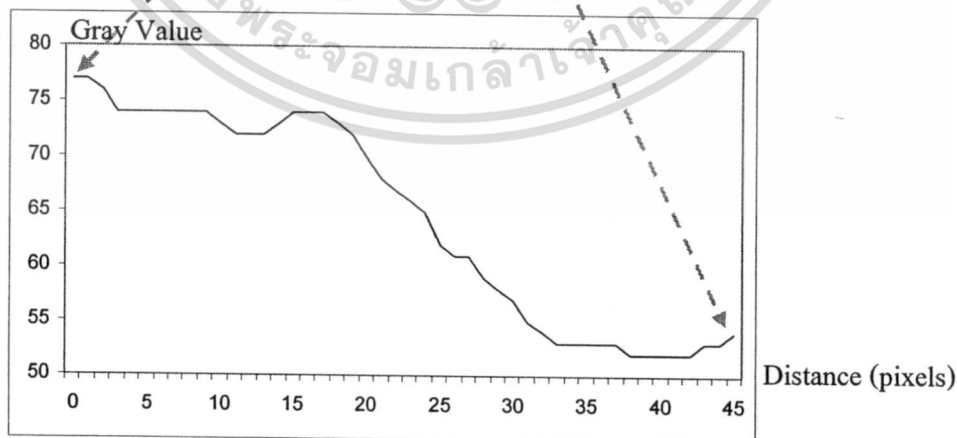
ภาพที่ได้จากการต่อภาพนั้นจะเกิดรอยต่อของการนำภาพมาทับกัน โดยเราจะแก้ไขด้วยการใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 ซึ่งในรูปที่ 3.7 นั้นเราอาจมองเห็นรอยต่อของภาพไม่ชัดเจนเนื่องจากรอยต่อเกิดตรงส่วนที่เป็นขอบสีดำพอดี ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างภาพที่เกิดรอยต่อชัดเจนดังรูปที่ 3.8 (a) ซึ่งเป็นรูปที่แสดงภาพที่มีรอยต่อชัดเจนโดยได้ภาพจะมีกราฟแสดงความแตกต่างของความเข้มของภาพบริเวณรอยต่อซึ่งจะเห็นว่ากราฟของภาพที่มีรอยต่อจะมีความชันมากกว่ากราฟของรูปที่ 3.8 (b) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงภาพที่ผ่านกระบวนการลบรอยต่อแล้ว จากกราฟของภาพที่ทำการลบรอยต่อแล้วจะเห็นว่าความเข้มของส่วนที่เป็นรอยต่อนั้นมีความชันน้อยลงซึ่งเป็นผลมาจากการคูณฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักลงไปบนภาพนั่นเอง



(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

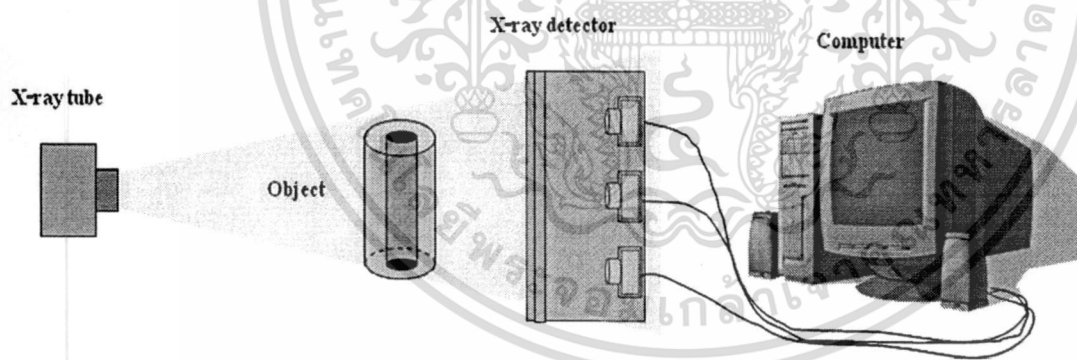
รูปที่ 3.8 (a) แสดงภาพที่มีรอยต่อชัดเจน และ(b) แสดงภาพที่ลบรอยต่อแล้ว โดยแต่ละภาพจะมีกราฟแสดงความแตกต่างของความเข้มของภาพบริเวณรอยต่อซึ่งจะเห็นได้ว่ากราฟของภาพที่มีรอยต่อจะมีความชันมากกว่ากราฟของภาพที่ทำการลบรอยต่อแล้ว

3.3 การทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

หลังจากที่เราได้ทำการเตรียมความพร้อมของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์เรียบร้อยแล้ว ระบบเอกซเรย์ก็พร้อมที่จะนำมาใช้งานได้ โดยเราจะทำการทดลองนำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์นี้ไปถ่ายภาพเอกซเรย์ โดยในหัวข้อนี้จะขอก้าวถึงขั้นตอนการถ่ายภาพเอกซเรย์สองมิติ ซึ่งประกอบไปด้วย การออกแบบระบบการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ การนำทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างภาพเอกซเรย์ที่สมจริง และขั้นตอนสุดท้ายคือ การกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดในภาพเอกซเรย์นั่นเอง โดยจะขออธิบายขั้นตอนต่างๆ โดยละเอียด ดังต่อไปนี้

3.3.1) การออกแบบการทดลองเพื่อถ่ายภาพเอกซเรย์สองมิติ

สำหรับขั้นตอนการถ่ายภาพเอกซเรย์สองมิติ สิ่งแรกที่จะต้องทำ คือ การออกแบบระบบการถ่ายภาพเอกซเรย์ซึ่งระบบดังกล่าวจะประกอบไปด้วย หลอดเอกซเรย์ วัตถุที่จะนำมาสร้างภาพเอกซเรย์ ตัวตรวจจับเอกซเรย์และคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ระบบที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์

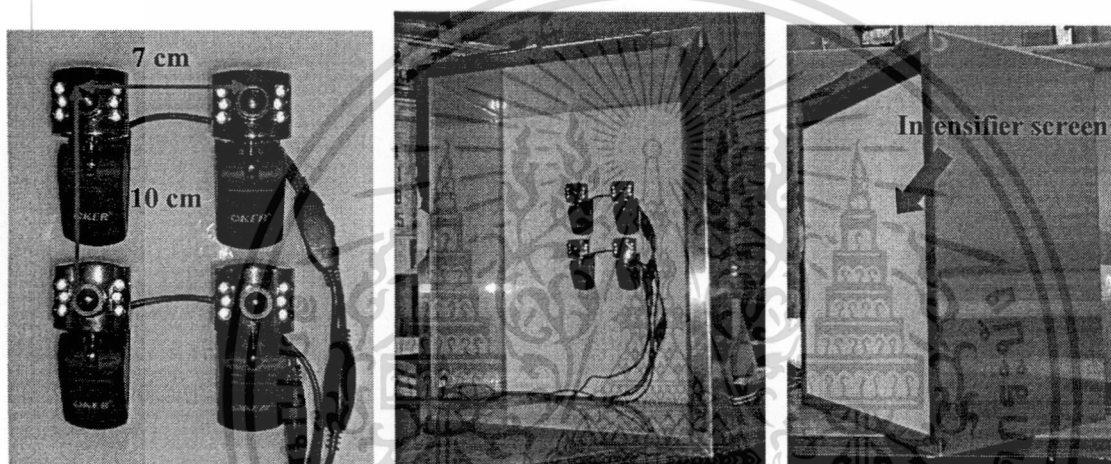
โดยในการทดลองแรกจะออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์โดยใช้กล้องเพียงตัวเดียวในการถ่ายภาพเอกซเรย์ เพื่อทดสอบว่าเราสามารถใช้กล้องดิจิทัลร่วมกับแผ่นเรืองแสงเพื่อสร้างเป็นระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ได้

เมื่อเราสามารถสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์จากกล้อง 1 ตัวได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การทดลองนำกล้องหลายๆ ตัว มาต่อเรียงกันเพื่อที่จะให้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ โดยมีความละเอียดของภาพที่สูงขึ้นตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ซึ่งในการทดลองใช้กล้องเอกซเรย์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายตัวในการสร้างเป็นตัวตรวจจับเอกซเรย์นั้น จะแบ่งออกเป็น การออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ จากกล้อง 4 ตัว วางเรียงกันแบบ 2 x 2, การออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์จากกล้อง 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1 x 6, และการออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์จากกล้อง 9 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 3 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และรายละเอียดในการติดตั้งกล้องของแต่ละระบบจะขออธิบายดังต่อไปนี้

1) การออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์จากกล้อง 4 ตัว วางเรียงกันแบบ 2 x 2

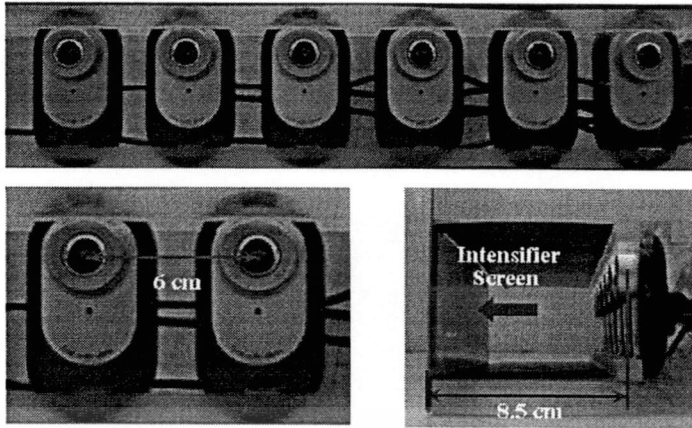
ในระบบนี้จะใช้กล้องจำนวน 4 ตัว วางเรียงกันแบบ 2 x 2 โดยกล้องซ้ายและขวาจะห่างกันเป็นระยะ 7 เซนติเมตร กล้องบนและล่างอยู่ห่างกัน 10 เซนติเมตร ส่วนระยะห่างระหว่างกล้องและแผ่นเรืองแสงเท่ากับ 23 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงระบบกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์โดยมีกล้อง 4 ตัว วางเรียงกันแบบ 2 x 2

2) การออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์จากกล้อง 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1 x 6

ระบบกล้องที่ใช้ในการทดลองนี้ ประกอบไปด้วยกล้องจำนวน 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1 x 6 โดยกล้องแต่ละตัวจะห่างกัน 6 เซนติเมตร ส่วนระยะห่างระหว่างกล้องและแผ่นเรืองแสงเท่ากับ 8.5 เซนติเมตร สำหรับการวางกล้องเรียงกันเป็นแถวยาวดังการทดลองนี้จะเหมาะสำหรับการถ่ายภาพเอกซเรย์วัตถุที่มีลักษณะยาว โดยในรูปที่ 3.11 แสดงระบบกล้องดังกล่าว

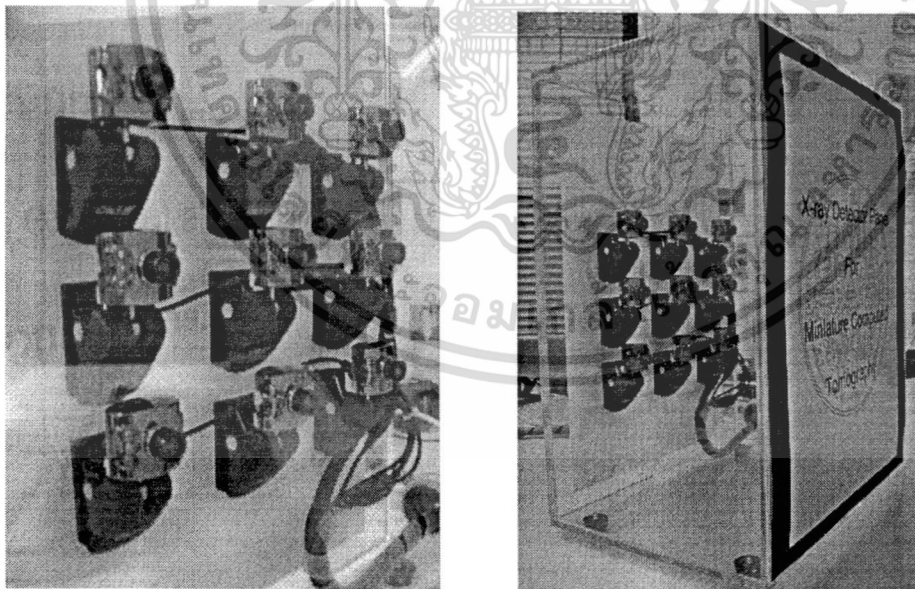


รูปที่ 3.11 แสดงระบบกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์โดยมีกล้อง 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1 x 6

3) การออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์จากกล้อง 9 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 3

ส่วนระบบกล้องที่ใช้ในการทดลองนี้ ประกอบไปด้วยกล้องจำนวน 9 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 3

โดยกล้องซ้ายและขวาจะห่างกัน 10 เซนติเมตร กล้องบนและล่างห่างกัน 10 เซนติเมตร ส่วนระยะห่างระหว่างกล้องและแผ่นเรืองแสงเท่ากับ 20 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงระบบกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์โดยมีกล้อง 9 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 3

3.3.2) เก็บภาพเอกซเรย์สองมิติด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

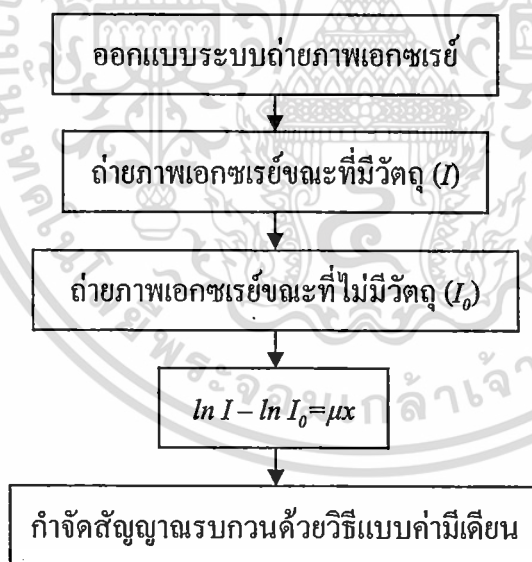
เมื่อออกแบบการทดลองเพื่อจะสร้างภาพเอกซเรย์สองมิติด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะทำการเก็บภาพเอกซเรย์สองมิติ เพื่อตอบคำถามงานวิจัยที่ว่า

เอ็กซ์เรย์เป็นเอกซเรย์ที่ส่งผ่านวัตถุที่วางอยู่ในทิศทางหนึ่ง เมื่ออยู่ใต้แผ่นเรืองแสงบนการคำนวณว่ากรณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้กล้องดิจิทัลร่วมกับแผ่นเรืองแสงมาประดิษฐ์เป็นระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ได้หรือไม่นั่นเอง โดยภาพที่ได้จากขั้นตอนนี้ยังไม่ใช้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ ซึ่งจะต้องทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.3.3) การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์เพื่อสร้างภาพเอกซเรย์

นำภาพที่ได้จากขั้นตอน 3.3.2 มาทำการประยุกต์ทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์เพื่อให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ตรงตามทฤษฎี ในรูปที่ 3.13 อธิบายขั้นตอนในการเปลี่ยนภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลโดยตรงไปเป็นภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ โดยเราจะทำการถ่ายภาพเอกซเรย์ของวัตถุหนึ่งครั้งและถ่ายภาพเอกซเรย์ฉากหลัง (Background) หรือภาพเอกซเรย์ที่ไม่มีวัตถุหนึ่งครั้ง โดยภาพทั้งสองจะต้องทำการฉายเอกซเรย์ที่มีค่าแรงดัน กระแส และเวลาที่เท่ากัน เพื่อที่จะนำข้อมูลของภาพทั้งสองไปประยุกต์ใช้กับสมการของแลมเบิร์ต-เบียร์ ดังนี้ $\ln I - \ln I_0 = \mu x$ โดยเราสมมติให้ I คือข้อมูลภาพเอกซเรย์ขณะที่มีวัตถุ I_0 คือข้อมูลของภาพขณะที่ไม่มีวัตถุ เราจะนำข้อมูลทั้งสองนี้ไปหาค่าลอการิทึมฐานธรรมชาติจะได้เป็นค่า $\ln I$ และ $\ln I_0$ นำค่าทั้งสองนั้น มาลบกันก็จะได้ค่า μx ซึ่งเป็นข้อมูลของภาพเอกซเรย์ที่สมจริงนั่นคือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของเอกซเรย์ที่จะลดลงตามความหนาแน่นของวัตถุและระยะทางนั่นเอง กระบวนการที่กล่าวมานี้สามารถเขียนเป็นไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการออกแบบการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์

3.3.4) การกำจัดสัญญาณรบกวน

เมื่อเราได้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์แล้วเราจะทำการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นจุดขาวและดำบนภาพที่เกิดขึ้นเนื่องจากเอกซเรย์ไปรบกวนการทำงานของ

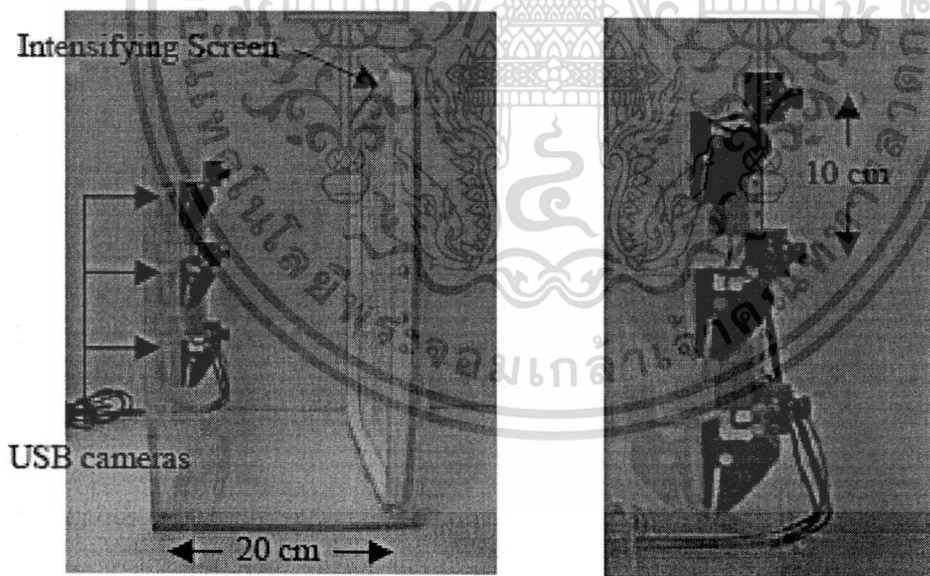
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในกล่องนั่นเองซึ่งเราจะใช้การกำจัดสัญญาณรบกวนแบบค่ามีเดียนที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 เพื่อให้ภาพเอกซเรย์ที่ได้นั้นมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

3.3.5) ขั้นตอนการสร้างภาพตัดขวาง

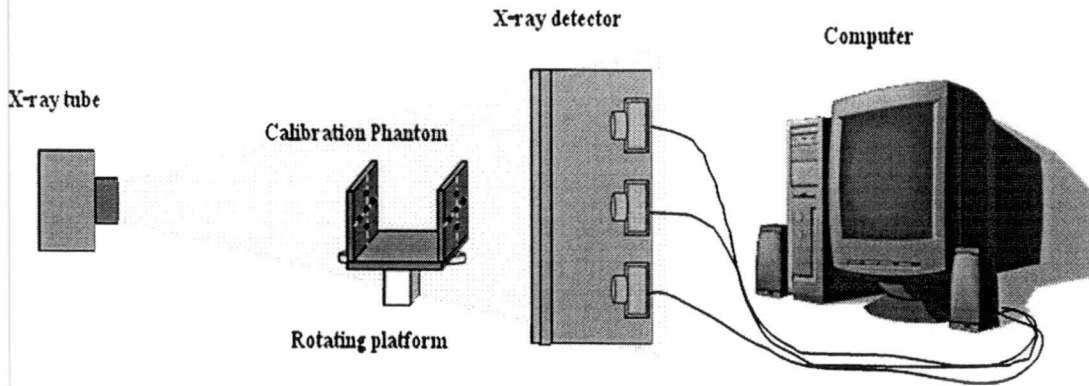
ในขั้นตอนการทดลองสร้างภาพตัดขวางเราจะนำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบ 3 x 3 มาประยุกต์ใช้ โดยเราจะนำกล่องด้านซ้ายและขวาออกให้เหลือเพียงกล่องแฉกกลาง ดังนั้นระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้ในการสร้างภาพตัดขวางนี้จะเหลือกล่องจำนวน 3 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 1 นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยมีระยะห่างระหว่างกล่องแต่ละตัวเท่าเดิมคือ 10 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างกล่องและแผ่นเรืองแสงก็ยังคงเท่ากับ 20 เซนติเมตร เช่นกัน

เมื่อเราสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์สำหรับการสร้างภาพตัดขวางแล้วขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นขั้นตอนสำหรับการสร้างภาพตัดขวาง สิ่งที่สำคัญที่สุดในการสร้างภาพตัดขวางคือการออกแบบระบบในการถ่ายภาพซึ่งเราจะต้องออกแบบให้ภาพวัตถุที่ถ่ายได้นั้นอยู่กึ่งกลางของภาพพอดีซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการง่ายๆในการปรับเทียบระบบ โดยระบบการถ่ายภาพเอกซเรย์เพื่อสร้างภาพตัดขวางนั้นจะมีสิ่งที่เพิ่มเติมจากระบบของการถ่ายภาพเอกซเรย์สองมิติ คือ แท่นหมุนวัตถุ และวัตถุที่ใช้ในการปรับเทียบระบบ ดังรูปที่ 3.15



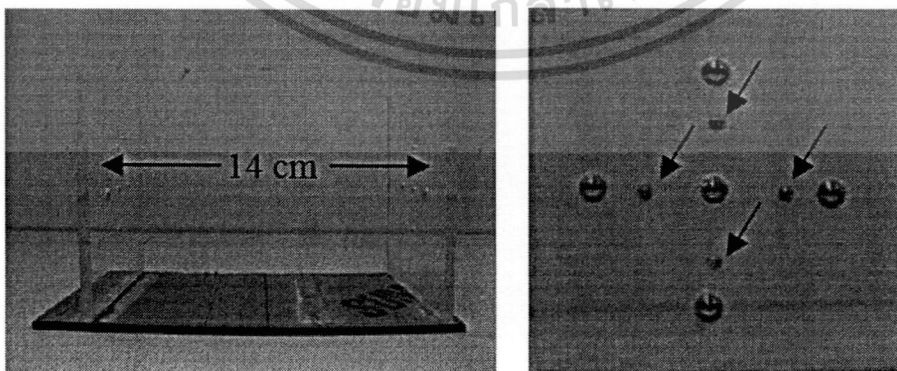
รูปที่ 3.14 แสดงระบบกล่องที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์เพื่อสร้างภาพตัดขวางโดยมีกล่อง 3 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 1 กล่องแต่ละตัวห่างกัน 10 เซนติเมตร และอยู่ห่างจากแผ่นเรืองแสง 20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงระบบการถ่ายภาพเอกซเรย์เพื่อสร้างภาพตัดขวาง

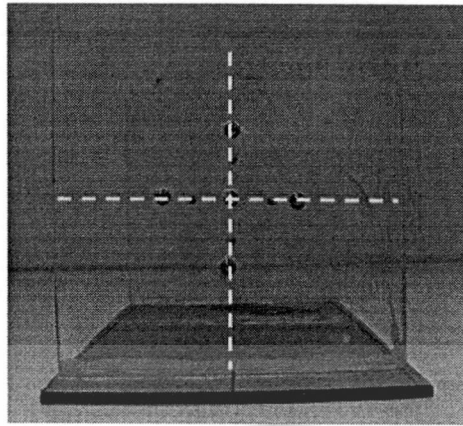
ในการปรับเทียบระบบถ่ายภาพนั้น มีจุดประสงค์เพื่อให้จุดศูนย์กลางของลำแสงเอกซเรย์ตรงกับจุดกึ่งกลางของตัวตรวจจับเอกซเรย์นั่นเอง โดยเราจะใช้แฟนทอมสำหรับปรับเทียบระบบที่ทำขึ้นเอง ซึ่งประกอบไปด้วย แผ่นอะคริลิก 2 แผ่นวางห่างกัน 14 เซนติเมตร แต่ละแผ่นถูกฝังด้วยหมุดตะกั่วจำนวน 5 ลูก ดังรูปที่ 3.16 โดยพยายามวางแฟนทอมให้ตำแหน่งของหมุดเม็ดกลางอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของลำแสงเอกซเรย์ ดังรูปที่ 3.17 หลังจากนั้นทำการฉายเอกซเรย์ ตรวจสอบภาพที่ตัวตรวจจับเอกซเรย์รับได้ดังรูปที่ 3.18 โดยหมุดเม็ดกลางของแผ่นอะคริลิกด้านหน้ากับด้านหลังจะต้องซ้อนทับกันเป็นลูกเดียว และหมุดเม็ดข้างๆ ทั้ง 4 ลูกนั้น ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของแต่ละลูกจะต้องเท่ากัน ดังคำอธิบายได้รูปที่ 3.18 โดยต้องปรับระบบจนกว่าจะได้ภาพตามที่อธิบายไว้ ขั้นตอนสุดท้าย เมื่อได้ภาพตามที่ต้องการแล้ว ให้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ในซอฟต์แวร์ โดยปรับให้ตำแหน่งกึ่งกลางลำแสงเอกซเรย์ (ตำแหน่งเม็ดกลาง) ไปตรงกับกึ่งกลางของตัวตรวจจับเอกซเรย์ ซึ่งคิดจากตำแหน่งกึ่งกลางของภาพที่รับได้ นั่นเอง เช่น ภาพขนาด 686 x 330 พิกเซล จุดกึ่งกลางของตัวตรวจจับเอกซเรย์จะอยู่ที่ 343 x 165 พิกเซล ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.16 แสดง Calibration Phantom ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย อะคริลิกสองแผ่น แต่ละแผ่นฝังด้วยหมุดตะกั่วจำนวน 5 ลูก โดยภาพหมุดตะกั่วที่ถูกชี้ด้วยลูกศรคือ

หมุดตะกั่วของแผ่นอะคริลิกด้านหลังนั่นเอง

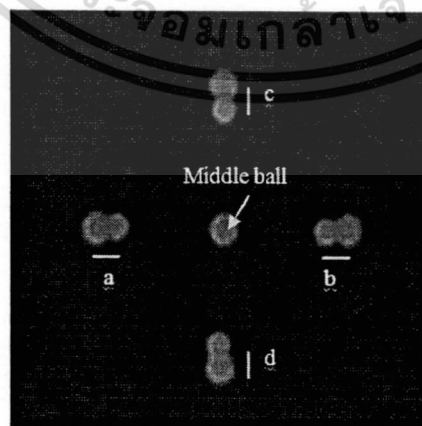
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงการจัดตั้งกลางลำแสงเอกซเรย์ให้อยู่ตรงกับหมุดตะกั่วเม็ดกลางพอดี โดยสมมติให้เส้นประเป็นตำแหน่งของกึ่งกลางลำแสงเอกซเรย์

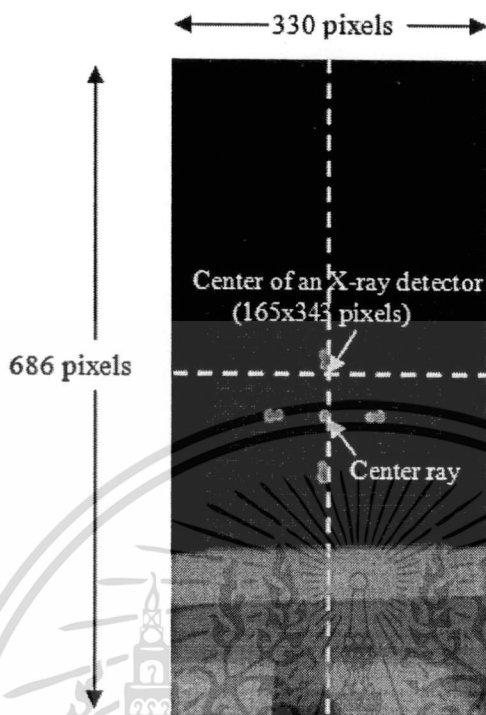
เมื่อเราทำการปรับเทียบระบบเรียบร้อยแล้ว เราก็สามารถทำการถ่ายภาพเอกซเรย์วัตถุที่ต้องการสร้างภาพตัดขวางได้ ซึ่งข้อมูลภาพเอกซเรย์ที่ใช้ในการสร้างภาพตัดขวางนั้นจะต้องประกอบไปด้วยชุดข้อมูลภาพเอกซเรย์ของวัตถุที่หมุนครบ 360 องศา โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แท่นหมุนในการหมุนวัตถุและทำการถ่ายภาพเอกซเรย์วัตถุทุกๆ 2 องศา จนครบ 360 องศา ดังนั้นจะมีชุดข้อมูลจำนวน 180 ภาพเพื่อใช้ในการสร้างภาพตัดขวาง หลังจากที่ได้ข้อมูลดังกล่าวแล้วเราจะทำการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้กระบวนการฟิลเตอร์เบ็คโปรเจกชัน [7]

สำหรับวัตถุที่จะใช้สร้างภาพตัดขวางในการทดลองนี้เราได้สร้างแพนทอมขึ้นเอง โดยประกอบด้วยท่อพีวีซี 2 อันซ้อนกัน ระหว่างท่อทั้งสองเป็นปูนปลาสเตอร์ ด้านในของท่ออันเล็กเป็นอากาศ แพนทอมนี้มีความสูง 20 เซนติเมตร ท่อใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร และท่อเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.20

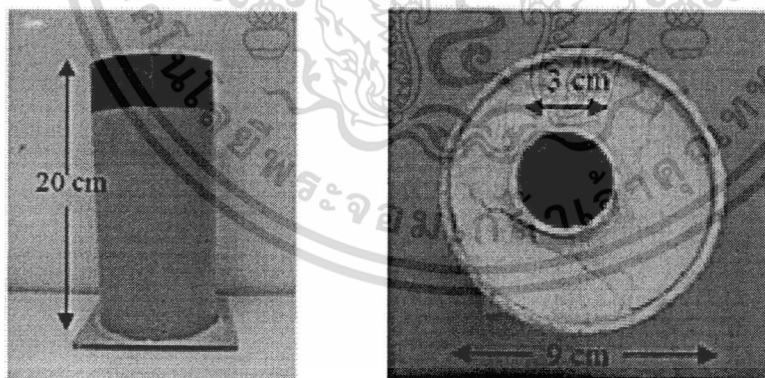


รูปที่ 3.18 แสดงภาพเอกซเรย์ที่ได้จากขั้นตอนการปรับเทียบระบบ จากรูปจะเห็นว่า เม็ดตะกั่วเม็ดกลางจะซ้อนทับกันสนิทเห็นเป็นเม็ดเดียว ส่วนเม็ดตะกั่วอีก 4 เม็ดที่เหลือเมื่อวักระยะจากจุดกึ่งกลางของ

เอกซเรย์เป็นเม็ดหน้ากับเม็ดหลังนั้น (ระยะ a, b, c, d) จะต้องมีค่าเท่ากัน ($a=b=c=d$) ถ้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงให้เห็นตำแหน่งกึ่งกลางของลำแสงเอกซเรย์ (Center Ray) และตำแหน่งกึ่งกลางของตัวตรวจจับเอกซเรย์ (Center of X-Ray Detector) ซึ่งจะเห็นว่าตอนนี้ยังเป็นคนละจุดอยู่ เราจะต้องปรับให้เป็นจุดเดียวกันโดยปรับให้จุดกึ่งกลางลำแสงเอกซเรย์ไปอยู่ตำแหน่งเดียวกับจุดกึ่งกลางของตัวตรวจจับเอกซเรย์โดยใช้ซอฟต์แวร์



รูปที่ 3.20 แสดงแฟนทอมที่ใช้ในการทดลองสร้างภาพตัดขวาง ซึ่งประกอบด้วยท่อพีวีซี 2 อัน สูง 20 เซนติเมตร ท่อใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ส่วนท่อเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ระหว่างท่อพีวีซีเป็นปูนปลาสเตอร์และด้านในสุดของท่อพีวีซีอันเล็ก คือ อากาศ

3.4 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของตัวตรวจจับเอกซเรย์

3.4.1) ทดสอบความสม่ำเสมอของภาพเอกซเรย์ (Uniformity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

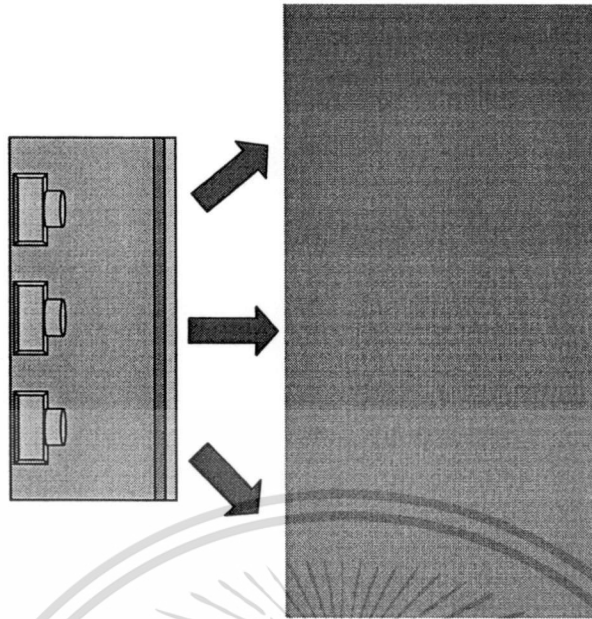
สำหรับการทดสอบความสม่ำเสมอของภาพเอกซเรย์นี้เราจะทำการทดสอบกับระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้ในการสร้างภาพตัดขวางเท่านั้น นั่นคือระบบที่มีกล้อง 3 ตัว วาวลงเรียงกันแบบ 3×1 ดังแสดงในรูปที่ 3.14 นั่นเอง

โดยเราจะทำการถ่ายภาพเอกซเรย์ขณะที่ไม่มีวัตถุด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ดังกล่าว 2 ครั้ง แล้วนำภาพที่ได้ไปผ่านกระบวนการต่อภาพและลบรอยต่อของภาพดังรูปที่ 3.21 แสดงภาพเอกซเรย์ที่ยังไม่ได้ผ่านการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ โดยจะเห็นว่าถึงแม้เราจะทำการลบรอยต่อของภาพแล้วแต่ก็ยังคงเห็นถึงความแตกต่างของความเข้มของภาพจากแต่ละกล้อง จากนั้นนำภาพทั้งสองไปประยุกต์ใช้กับทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ ดังสมการ $\ln I - \ln I_0 = \mu x$ ซึ่งในทางอุดมคติแล้วในการถ่ายภาพเอกซเรย์ทั้งสองครั้งนั้นจะต้องได้ภาพที่มีความเหมือนกัน ดังนั้นค่าของ $\ln I$ และ $\ln I_0$ ก็จะมีค่าที่เท่ากัน ทำให้ค่าของ μx นั้นเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายถึงเราจะต้องได้ภาพออกมาเป็นสีดำนั่นเอง

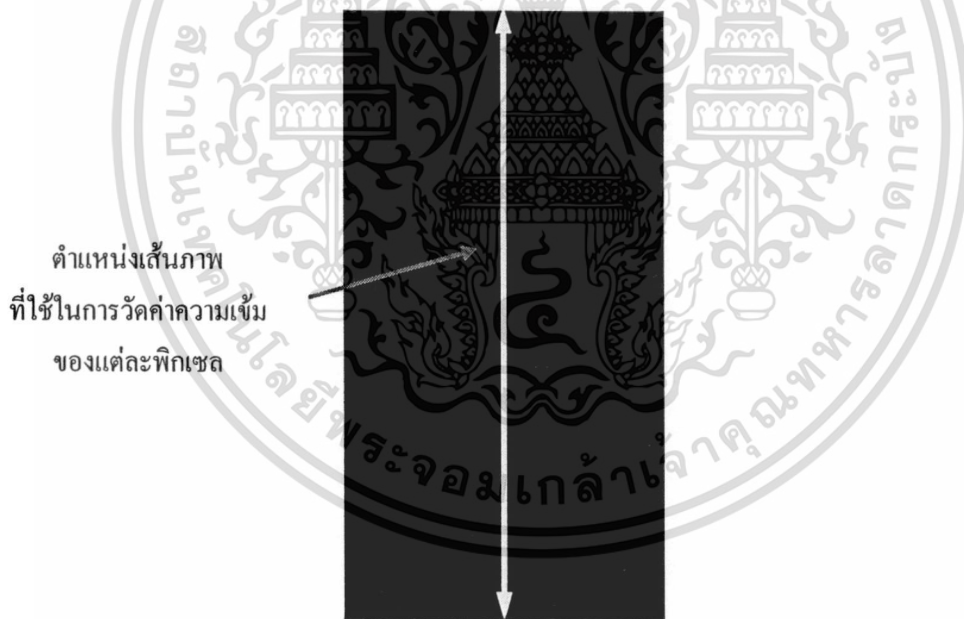
เมื่อเราได้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์จากทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ แล้ว ก็จะทำให้การหาค่าความเข้มของพิกเซลในภาพ โดยเลือกวัดค่าความเข้มของพิกเซลที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพในแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 3.22 เนื่องจากเป็นแนวที่ใช้ในการต่อภาพ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟความเข้ม (Intensity Profile) และหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ต่อไป

3.4.2) ทดสอบความละเอียดของภาพ (Resolution)

สำหรับการทดสอบความละเอียดของภาพนั้นเป็นการทดสอบเพื่อให้รู้วาระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้มีความสามารถในการแยกรายละเอียดของภาพได้ในระดับใด โดยเราจะทำการถ่ายภาพเอกซเรย์แฟนทอม Nuclear Associates-Carle Place, N.Y. 07-523 ซึ่งเป็นแฟนทอมสำหรับวัดความละเอียด (Resolution Phantom) ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นและดูวาระบบที่สร้างขึ้นนี้มีความสามารถในระดับใด



รูปที่ 3.21 แสดงภาพเอกซเรย์ขณะที่ไม่มีวัตถุจากกล้องทั้ง 3 ตัวต่อกัน และยังไม่ผ่านการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ โดยมีขนาดภาพเท่ากับ 330 x 685 พิกเซล



รูปที่ 3.22 แสดงภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์จากการนำภาพเอกซเรย์ในรูปที่ 3.21 ไปประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ และนำไปหาค่าความเข้มของพิกเซลในเส้นภาพตามลูกศรที่ได้แสดงไว้ เพื่อทดสอบความสม่ำเสมอของภาพเอกซเรย์

3.5 การประยุกต์ใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อหาปริมาณของร่างกายคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองที่ผ่านมาเป็นการทดลองใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นเพื่อตรวจจับภาพเอกซเรย์แล้วนำมาสร้างภาพเอกซเรย์สองมิติและภาพตัดขวาง อย่างไรก็ตาม ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นนั้นยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับแสงปกติเพื่อหาปริมาณของวัตถุหรือมนุษย์ได้ แต่งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อจะหาปริมาณของวัตถุเป็นสำคัญ

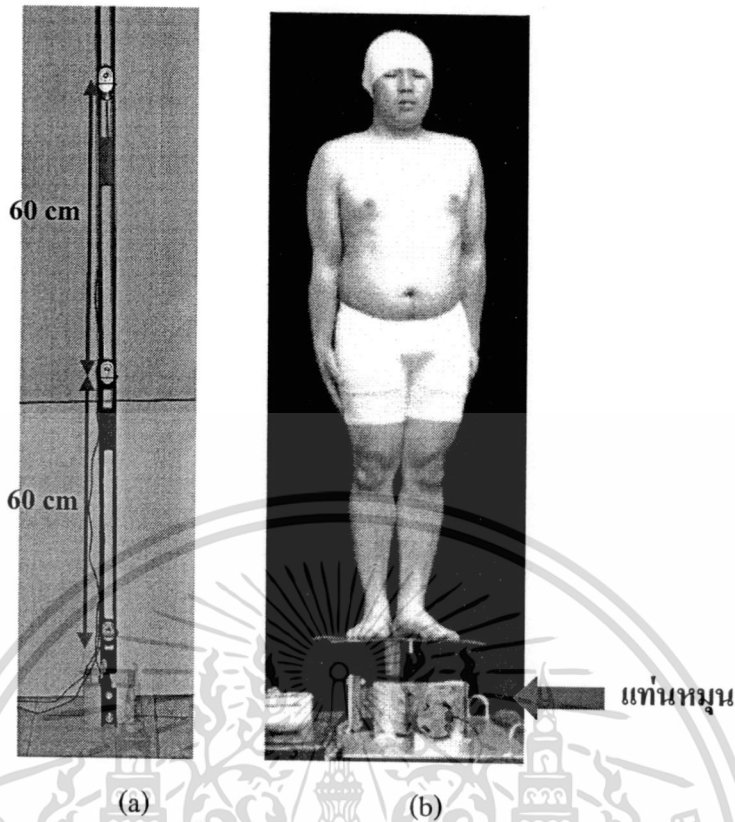
สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมา ของ วิทวัส วิทย์ชำนาญกุล [2] ได้นำกล้องดิจิตอลมาประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพวัตถุเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพตัดขวางโดยใช้หลักการโทโมกราฟฟีกับภาพถ่าย และนำไปประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพวัตถุภายใต้แสงปกติ ซึ่งจะทำได้เฉพาะพื้นผิวภายนอกของวัตถุเท่านั้น จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการสร้างภาพตัดขวาง และนำไปสู่การสร้างภาพสามมิติเพื่อหาโครงร่างของวัตถุ โดยในงานวิจัยนี้ใช้กล้องดิจิตอลเพียงหนึ่งตัว ซึ่งยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของวัตถุที่ทำการถ่าย หากต้องการถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ เช่น ถ่ายภาพโครงร่างของคน (ทั้งตัว) นั้น จะต้องเพิ่มระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุให้ไกลขึ้น ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของความคมชัดและความละเอียดของภาพที่ลดลงตามไปด้วย ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น จึงได้พัฒนาระบบกล้องชนิดหลายตัวที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณของวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น ร่างกายคน โดยที่ยังคงรายละเอียดของภาพที่ดีได้

สำหรับการนำระบบกล้องดิจิตอลชนิดหลายตัวมาใช้ในการถ่ายภาพคนนั้น เราจะเลือกใช้กล้องดิจิตอลจำนวน 3 ตัว วางเรียงกันเป็นแถวยาว ซึ่งกล้องแต่ละตัวจะห่างกันประมาณ 60 เซนติเมตร (ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมที่ใช้ในการต่อภาพ) ในการหมุนตัวคนนั้น เราจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าร่วมกับชุดเฟืองทดที่สามารถรับน้ำหนักได้ถึง 120 กิโลกรัม และหมุนด้วยความเร็ว 1 รอบ ต่อ 45 วินาที ซึ่งได้จัดวางระบบกล้องจะอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางของแท่นหมุนประมาณ 185 เซนติเมตร โดยระบบกล้องที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 3.23 (a)

สำหรับการเตรียมตัวของผู้ที่จะมาทำการวัดปริมาณนั้น จะต้องสวมใส่ชุดที่มีลักษณะแนบเนื้อ เช่น ชุดว่ายน้ำ เพื่อลดความผิดพลาดในการหาปริมาณ และจำเป็นต้องใส่หมวก (ว่ายน้ำ) เก็บเส้นผม เพื่อความสะดวกในการสร้างภาพสามมิติ และขึ้นไปยืนบนแท่นหมุนเพื่อทำการเก็บภาพต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.23 (b)

หลังจากที่ได้เตรียมทุกอย่างพร้อมแล้วเราจะทำการถ่ายภาพโปรเจกชันของคน โดยทำการหมุนจนครบ 360 องศา ซึ่งในระหว่างที่หมุนนั้นคนที่ยืนบนแท่นหมุนจะต้องพยายามทำตัวให้นิ่งมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อความถูกต้องในการสร้างภาพนั่นเอง

หลังจากนั้น ก็จะนำภาพโปรเจกชันที่ได้ไปทำการสร้างภาพตัดขวาง โดยใช้ทฤษฎีฟิลเตอร์เบ็คโปรเจกชัน [7] เมื่อถึงขั้นตอนนี้ โปรแกรมจะสามารถทำการหาค่าปริมาณของภาพตัดขวางที่ละแผ่นจนครบทั้งปริมาณของร่างกายคนนั่นเอง ซึ่งจะทำให้ได้ค่าปริมาณของคนเป็นอันสิ้นสุดกระบวนการในการหาปริมาณของร่างกายคนนั่นเอง



รูปที่ 3.23 (a) แสดงระบบบกล้องที่ใช้ซึ่งกล้องแต่ละตัวจะห่างกัน 60 เซนติเมตร
 (b) แสดงแท่นหมุนที่ใช้ในระบบและการยืนบนแท่นหมุน

สำหรับการพิสูจน์ความถูกต้องของการหาปริมาตรร่างกายคนด้วยระบบกล้องดิจิทัลหลายตัวร่วมกับโปรแกรมสร้างภาพตัดขวางดังกล่าวข้างต้นนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าปริมาตรที่หาได้กับปริมาตรจริงที่ทำการวัดจากการทดลองด้วยหลักการของอะคิมิดีส (หลักการหาปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำ) [3] ต่อไป

โดยในการทดลองการประยุกต์ใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อหาปริมาตรของร่างกายคนนี้เราจะทำการทดลองกับคนจำนวน 4 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละคนนั้นก็มีความสูงและน้ำหนักที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3.2 และจะแสดงผลการทดลองการหาปริมาตรของคนจากการคำนวณภาพตัดขวาง ปริมาตรที่ได้จากการวัดด้วยหลักการแทนที่น้ำ และ ค่าผิดพลาดเป็นตารางในบทต่อไป

ลำดับคนที่ทำการทดลอง	เพศ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)
คนที่ 1	ชาย	79	168
คนที่ 2	หญิง	65	160
คนที่ 3	หญิง	48	160
คนที่ 4	หญิง	49	163

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงเพศ น้ำหนักและส่วนสูงของคนที่ทำกรทดลองทั้ง 4 ตัวอย่าง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในบทนี้จะขอแสดงผลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับตัวตรวจจับกับเอกซเรย์ โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 หัวข้อหลัก ดังต่อไปนี้

- 4.1) ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์
- 4.2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวตรวจจับเอกซเรย์
- 4.3) ผลการประยุกต์ใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อหาปริมาณของร่างกายคน

โดยจะขออธิบายรายละเอียดในแต่ละหัวข้อ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

จากผลการทดลองทางเอกซเรย์ สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 4 หัวข้อย่อยๆ ดังต่อไปนี้

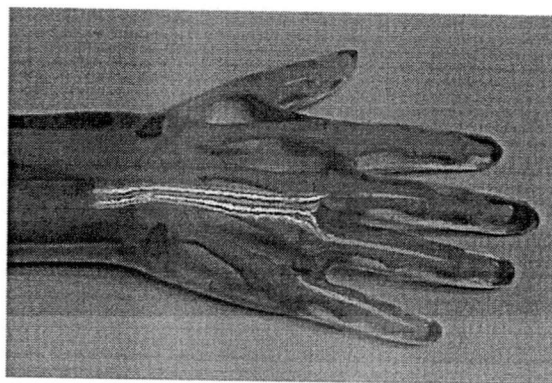
- 4.1.1) ภาพเอกซเรย์สองมิติที่สมบูรณ์ซึ่งสร้างขึ้นด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์
- 4.1.2) ภาพเอกซเรย์สองมิติที่ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว
- 4.1.3) ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์จากการติดตั้งกล้องหลายรูปแบบ
- 4.1.4) ภาพตัดขวางของวัตถุที่สร้างขึ้นด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

โดยจะขออธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

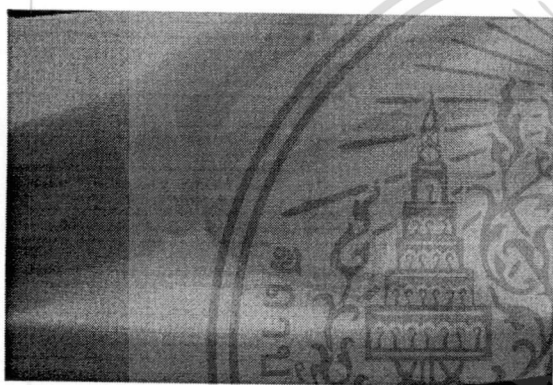
4.1.1) ภาพเอกซเรย์สองมิติที่สมบูรณ์ซึ่งสร้างขึ้นด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์สองมิติ จะเห็นได้ว่า ภาพที่กล้องดิจิทัลจับได้นั้นเป็นลักษณะเหมือนเงาของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (b) ซึ่งไม่ตรงตามหลักการของแลมเบิร์ต-เบียร์ เนื่องจากทฤษฎีระบุไว้ว่า เมื่อเอกซเรย์เคลื่อนที่มากระทบตัวตรวจจับเอกซเรย์โดยที่ไม่ผ่านวัตถุใดๆ นั้น ควรจะเห็นภาพเป็นสีดำ ดังนั้น ฉากหลัง หรือ Background ของภาพนั้นจะต้องเป็นสีดำนั่นเอง ผู้วิจัยจึงนำภาพจากรูปที่ 4.1 (b) ไปทำการประยุกต์ทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ในซอฟต์แวร์อีกครั้ง (ดังขั้นตอนที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3) ก็จะได้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (d) โดยนำเสนอผลการทดลองภาพเอกซเรย์ที่ได้จากกล้องเพียงตัวเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และภาพเอกซเรย์ที่ได้จากกล้อง 6 ตัว ที่วางเรียงกันแบบ 1 x 6 นั้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ภาพวัตถุจริง



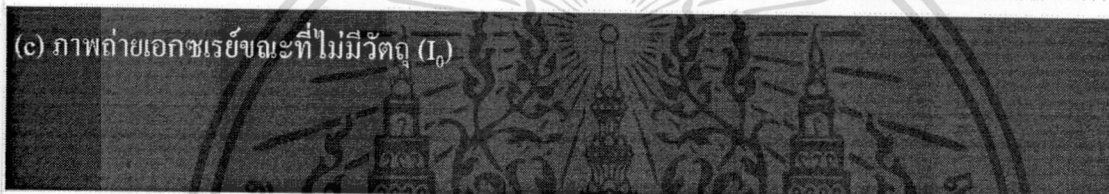
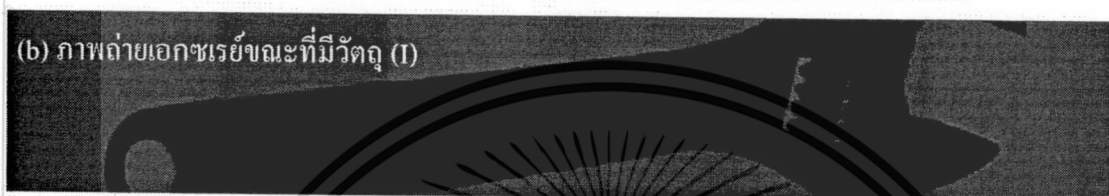
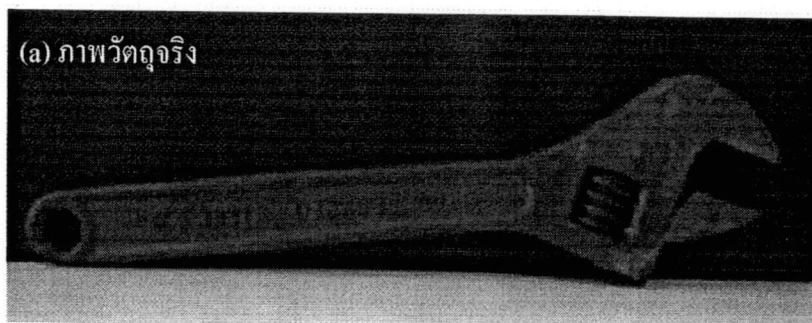
(b) ภาพถ่ายเอกซเรย์ขณะที่มีวัตถุ (I)

(c) ภาพถ่ายเอกซเรย์ขณะที่ไม่มีวัตถุ (I_0)

(d) ภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ได้จากทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์

รูปที่ 4.1 (a) แสดงภาพวัตถุจริง (b) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ขณะที่มีวัตถุ (c) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์
 ขณะที่ไม่มีวัตถุ และ (d) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ได้จากทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์
 โดยภาพที่ได้เป็นการถ่ายภาพเอกซเรย์จากกล้อง 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

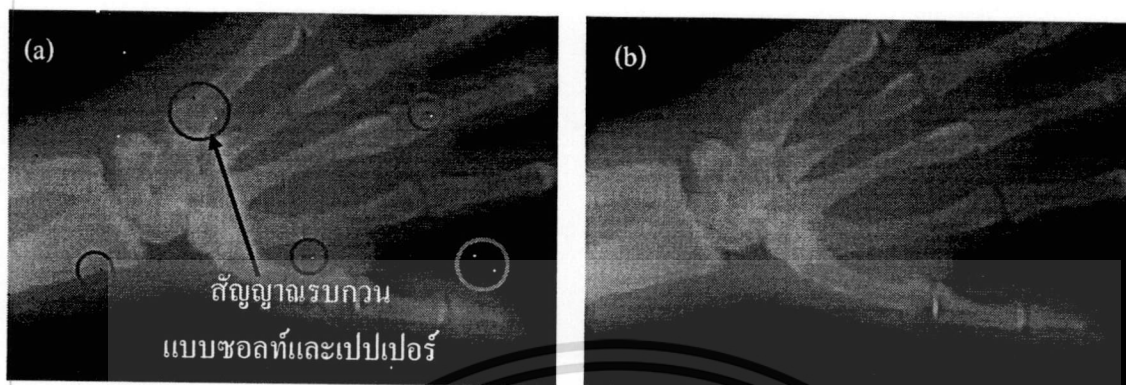


รูปที่ 4.2 (a) แสดงภาพวัตถุจริง (b) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ขณะที่มีวัตถุ (c) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ขณะที่ไม่มีวัตถุ และ (d) แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ได้จากทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์ โดยภาพที่ได้เป็นการถ่ายภาพเอกซเรย์จากกล้อง 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1×6

4.1.2) ภาพเอกซเรย์สองมิติที่ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว

เมื่อได้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว เพื่อให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จะต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนบนภาพดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นภาพเอกซเรย์ที่ได้กำจัดสัญญาณรบกวนแบบ Salt and Pepper อันเป็นผลเนื่องมาจากเอกซเรย์ไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในกล้องนั่นเอง โดยในรูปที่ 4.3 แสดงภาพเอกซเรย์ที่ได้จากกล้อง 1 ตัว และรูปที่ 4.4 เป็นภาพเอกซเรย์จากกล้อง 6 ตัว ที่วางเรียงกันแบบ 1×6 นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (a) แสดงภาพเอกซเรย์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์ และ (b) แสดงภาพเอกซเรย์ที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีแบบค่ามีเดียที่ได้จากกล้อง 1 ตัว



รูปที่ 4.4 (a) แสดงภาพเอกซเรย์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์ และ (b) แสดงภาพเอกซเรย์ที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีแบบค่ามีเดียที่ได้จากกล้อง 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1 x 6

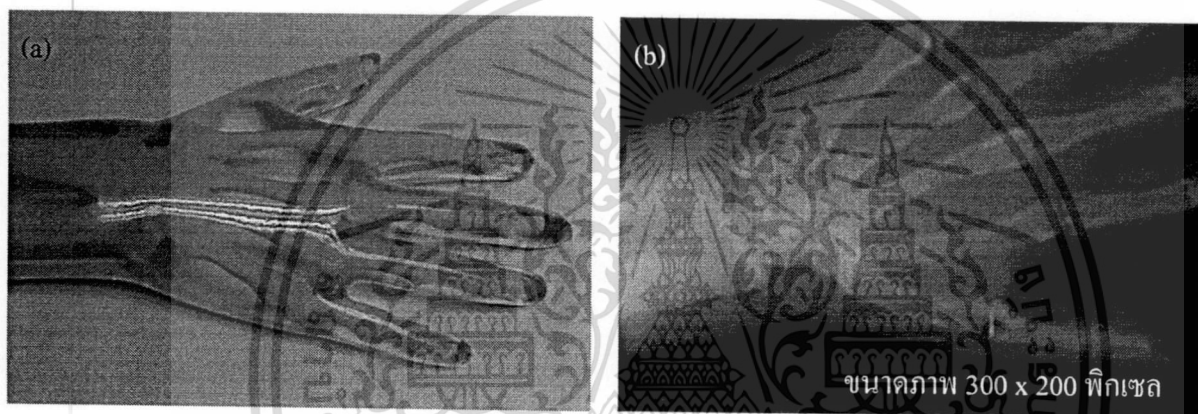
4.1.3) ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์จากการติดตั้งกล้องหลายรูปแบบ

รูปแบบการติดตั้งกล้องนั้นสามารถประยุกต์ได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน วัตถุประสงค์ของการถ่ายและความละเอียดของภาพที่ต้องการ ในการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์สองมิติจากการติดตั้งกล้องหลายรูปแบบนี้จะแบ่งการติดตั้งกล้องออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ การติดตั้งกล้อง 1 ตัว การติดตั้งกล้อง 4 ตัว แบบ 2 x 2 การติดตั้งกล้อง 6 ตัว แบบ 1 x 6 และ การติดตั้งกล้อง 9 ตัว แบบ 3 x 3 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.1) ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์จากกล้อง 1 ตัว

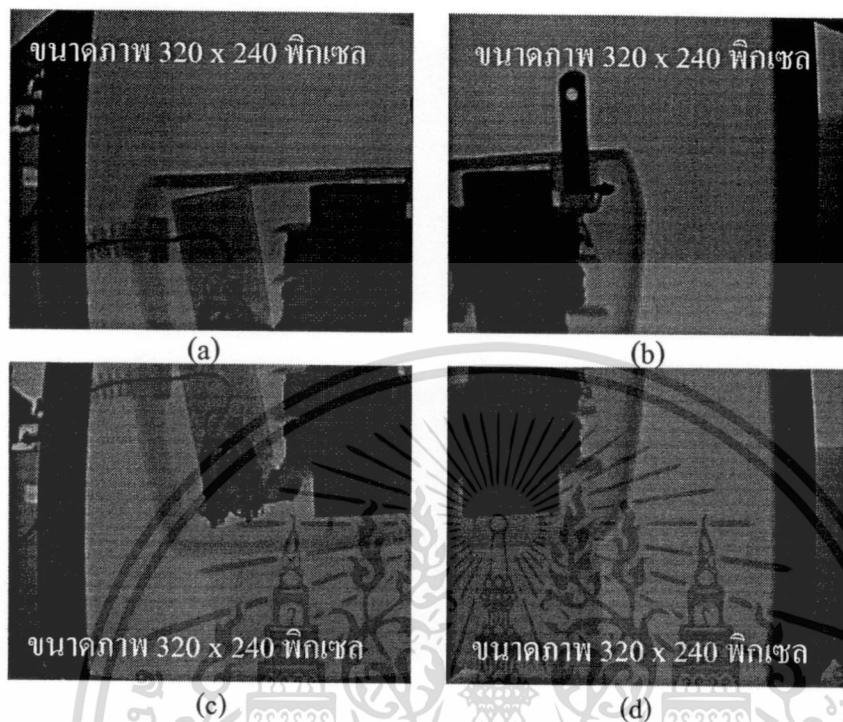
ในการทดลองนี้เราได้ใช้กล้อง 1 ตัว ในการถ่ายภาพเอกซเรย์เพื่อพิสูจน์ว่าเราสามารถนำกล้องดิจิทัลเพื่อสร้างเป็นตัวตรวจจับเอกซเรย์ได้หรือไม่ โดยภาพที่ได้จากการเอกซเรย์แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเราสามารถสร้างตัวตรวจจับเอกซเรย์จากกล้องดิจิทัลได้ แต่ทว่าภาพที่ได้จากกล้อง 1 ตัวนั้นจะมีขนาดของภาพเพียง 300 x 200 พิกเซล เท่านั้น หากเราต้องการขนาดของภาพที่มีความละเอียดเพิ่มมากขึ้นก็จะต้องเพิ่มจำนวนกล้องให้มากขึ้น



รูปที่ 4.5 (a) แสดงภาพวัตถุจริงที่ใช้ในการทดลองและ (b) ภาพเอกซเรย์ที่ได้จากกล้อง 1 ตัว โดยมีขนาดภาพ 300 x 200 พิกเซล

4.1.3.2) ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์จากกล้อง 4 ตัว วางเรียงกันแบบ 2 x 2

ในรูปที่ 4.6 (a-d) แสดงภาพที่รับได้จากทั้ง 4 กล้อง ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพใดๆ ทั้งสิ้น โดยแต่ละภาพจะมีขนาด 320 x 240 พิกเซล และหลังจากที่นำภาพที่รับได้ไปผ่านกระบวนการประมวลผลภาพจะทำให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์โดยมีขนาดภาพเท่ากับ 556 x 377 พิกเซล ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของภาพที่ได้จะมีความละเอียดเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง เมื่อเราพิสูจน์ได้ว่าเราสามารถนำภาพเอกซเรย์จากหลายๆกล้องมาต่อกันได้แล้ว ในการทดลองต่อไปเราจึงได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบของการติดตั้งกล้องให้หลากหลายมากขึ้นเพื่อทำการถ่ายภาพเอกซเรย์ของวัตถุที่มีรูปแบบที่ต่างกันออกไป



รูปที่ 4.6 (a-d) แสดงภาพที่รับได้จากกล้องทั้ง 4 ตัวที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพใดๆทั้งสิ้น โดยแต่ละภาพมีขนาด 320 x 240 พิกเซล

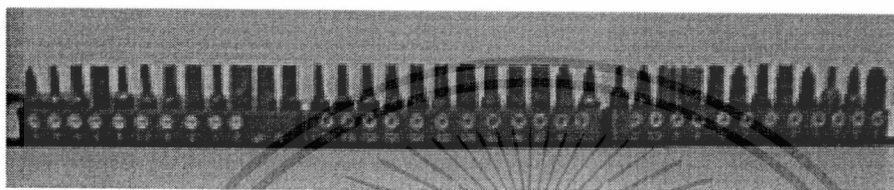


รูปที่ 4.7 แสดงภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ซึ่งได้จากการประมวลผลภาพทั้ง 4 ภาพ โดยมีขนาดของภาพ 556 x 377 พิกเซล

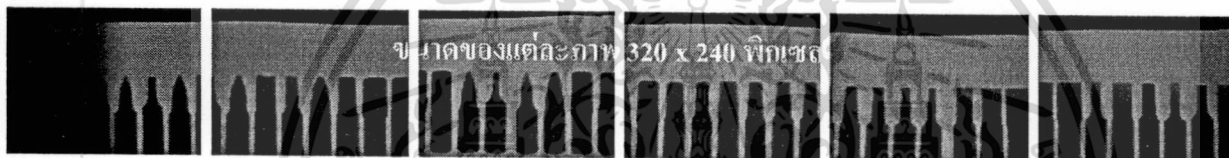
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.3) ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์จากกล้อง 6 ตัว วางเรียงกันแบบ 1 x 6

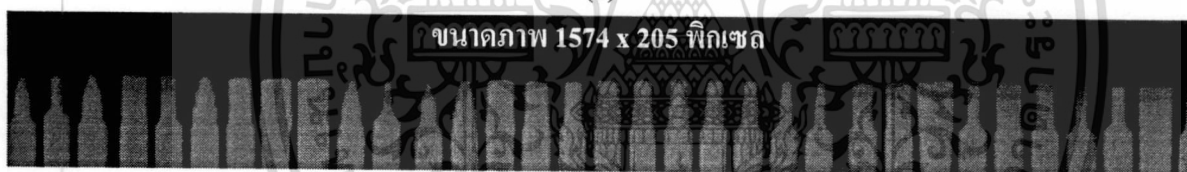
ในรูปที่ 4.8 (b) แสดงภาพเอกซเรย์ที่รับได้จากทั้ง 6 กล้องที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพใดๆทั้งสิ้น โดยแต่ละภาพจะมีขนาด 320 x 240 พิกเซล และหลังจากที่นำภาพที่รับได้ไปผ่านกระบวนการประมวลผลภาพจะทำให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์โดยมีขนาดภาพเท่ากับ 556 x 377 พิกเซล ดังรูปที่ 4.8 (c)



(a)



(b)

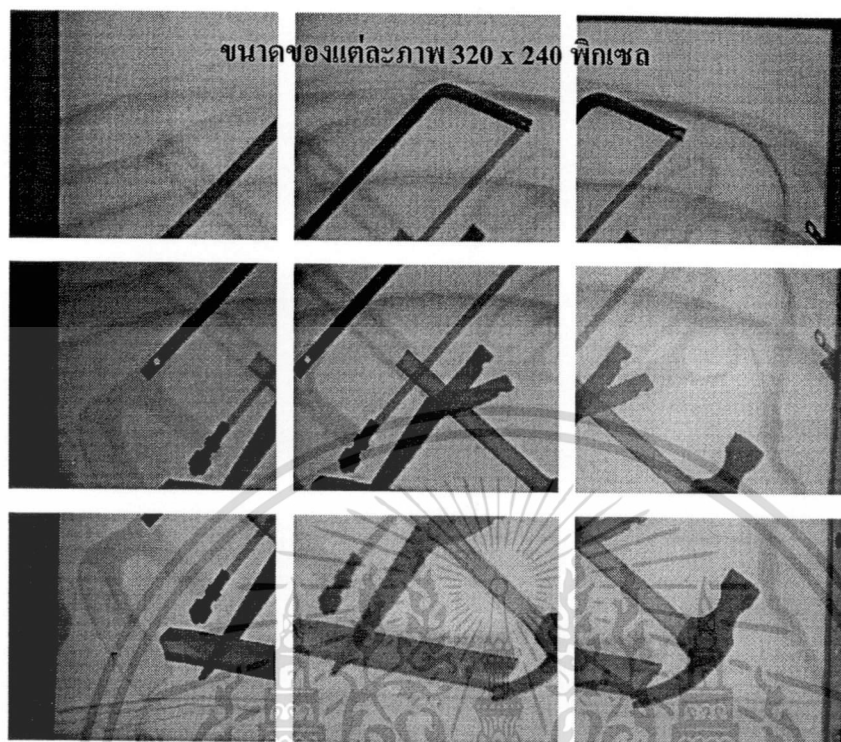


(c)

รูปที่ 4.8 (a) แสดงภาพวัตถุที่ใช้ในการทดลอง (b) แสดงภาพเอกซเรย์ที่รับได้จากกล้องทั้ง 6 ตัวที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพใดๆทั้งสิ้น โดยแต่ละภาพมีขนาด 320 x 240 พิกเซล และ(c) แสดงภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์โดยมีขนาดภาพ 1574 x 205 พิกเซล

4.1.3.4) ผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์จากกล้อง 9 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 3

ในรูปที่ 4.9 (a) แสดงภาพที่รับได้จากทั้ง 9 กล้องที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพใดๆทั้งสิ้น โดยแต่ละภาพจะมีขนาด 320 x 240 พิกเซล และหลังจากที่นำภาพที่รับได้ไปผ่านกระบวนการประมวลผลภาพจะทำให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์โดยมีขนาดภาพเท่ากับ 685 x 535 พิกเซล ดังรูปที่ 4.9 (b)



(a)



(b)

รูปที่ 4.9 (a) แสดงภาพเอกซเรย์ที่รับได้จากกล้องทั้ง 9 ตัวที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพใดๆทั้งสิ้น โดยแต่ละภาพมีขนาด 320 x 240 พิกเซล และ (b) แสดงภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ โดยมีขนาดภาพ 685 x 535 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์จากการติดตั้งกล้องหลายรูปแบบนั้นจะเห็นว่าการติดตั้งกล้องแต่ละแบบนี้ทำให้ได้ขนาดของภาพที่แตกต่างกันออกไปดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนกล้องมากขึ้นเท่าไรก็จะทำให้ได้ขนาดภาพที่ใหญ่มากขึ้นตามไปด้วย

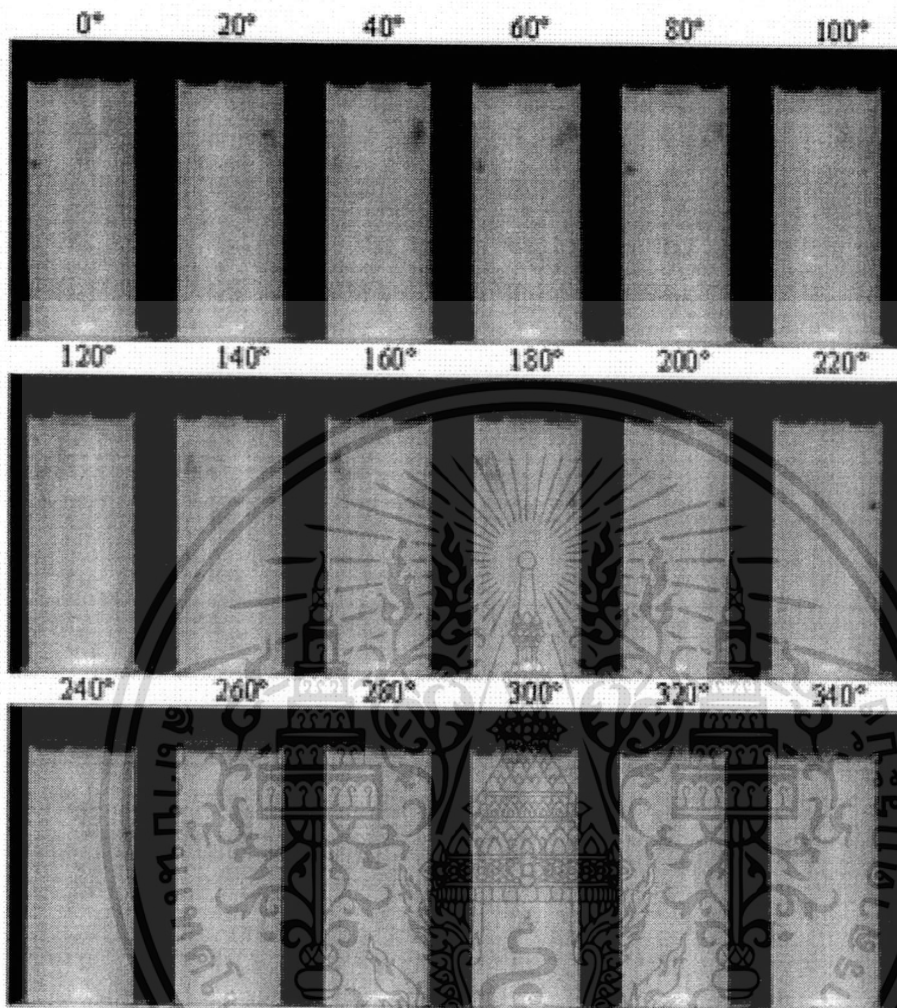
จำนวนกล้อง (ตัว)	รูปแบบการติดตั้งกล้อง	ขนาดภาพที่ได้ (พิกเซล x พิกเซล)
1	1 x 1	300 x 200
4	2 x 2	556 x 377
6	1 x 6	1574 x 205
9	3 x 3	685 x 535

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดภาพที่ได้จากการติดตั้งกล้องในรูปแบบต่างๆ

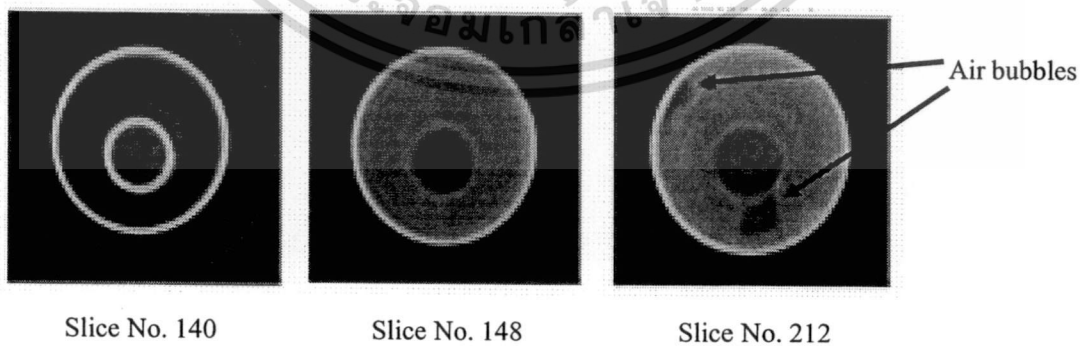
4.1.4) ภาพตัดขวางของวัตถุที่สร้างขึ้นด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

ในรูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างบางส่วนของภาพโปรเจกชันของวัตถุที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา ซึ่งได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 3 โดยภาพโปรเจกชันที่ได้นำไปสร้างเป็นภาพตัดขวางจริงนั้นมีจำนวน 180 ภาพ ซึ่งไม่สามารถแสดงได้ทั้งหมดจึงขอแสดงเพียงบางส่วนเท่านั้น จากภาพโปรเจกชันที่แสดงในรูปที่ 4.10 นั้นเป็นภาพโปรเจกชันที่ได้จากการนำภาพเอกซเรย์จากกล้องทั้งสามตัวไปผ่านกระบวนการประมวลผลภาพทั้งหมดเรียบร้อยแล้วโดยแต่ละภาพจะมีขนาดเท่ากับ 330 x 685 พิกเซล

หลังจากที่นำภาพโปรเจกชันไปผ่านกระบวนการสร้างภาพตัดขวางแล้วเราก็จะได้ภาพตัดขวางของแฟนทอม ดังในรูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างของภาพตัดขวางที่ได้ ซึ่งเราจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของภาพตัดขวางที่ได้โดยการเปรียบเทียบความกว้างของท่อพีวีซีที่วัดได้กับความกว้างของท่อพีวีซีที่ได้จากการคำนวณจากภาพตัดขวาง ซึ่งจากการคำนวณ เราจะได้ ค่าความกว้างของท่อพีวีซี อันใหญ่เท่ากับ 9.12 เซนติเมตร ซึ่งท่อพีวีซีของจริงกว้าง 9 เซนติเมตร จึงมีค่าผิดพลาดเท่ากับร้อยละ 1.33 และความกว้างของท่อพีวีซีอันเล็กที่คำนวณได้เท่ากับ 3.08 เซนติเมตร ส่วนของจริงมีความกว้าง 3 เซนติเมตร ค่าความผิดพลาดได้ร้อยละ 2.67 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.00 ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การปรับเทียบกล้อง การปรับเทียบระบบ เป็นต้น



รูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างภาพโปรเจกชันของแฟนทอมที่ได้จากการการทดลอง



รูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างภาพตัดขวางที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีฟิลเตอร์เบ็คโปรเจกชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทำการสร้างภาพตัดขวางเสร็จแล้วเราจะนำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ไปทดสอบประสิทธิภาพของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ โดยเราจะทำการทดสอบความสม่ำเสมอของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ และทดสอบความละเอียดของภาพ ดังต่อไปนี้

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

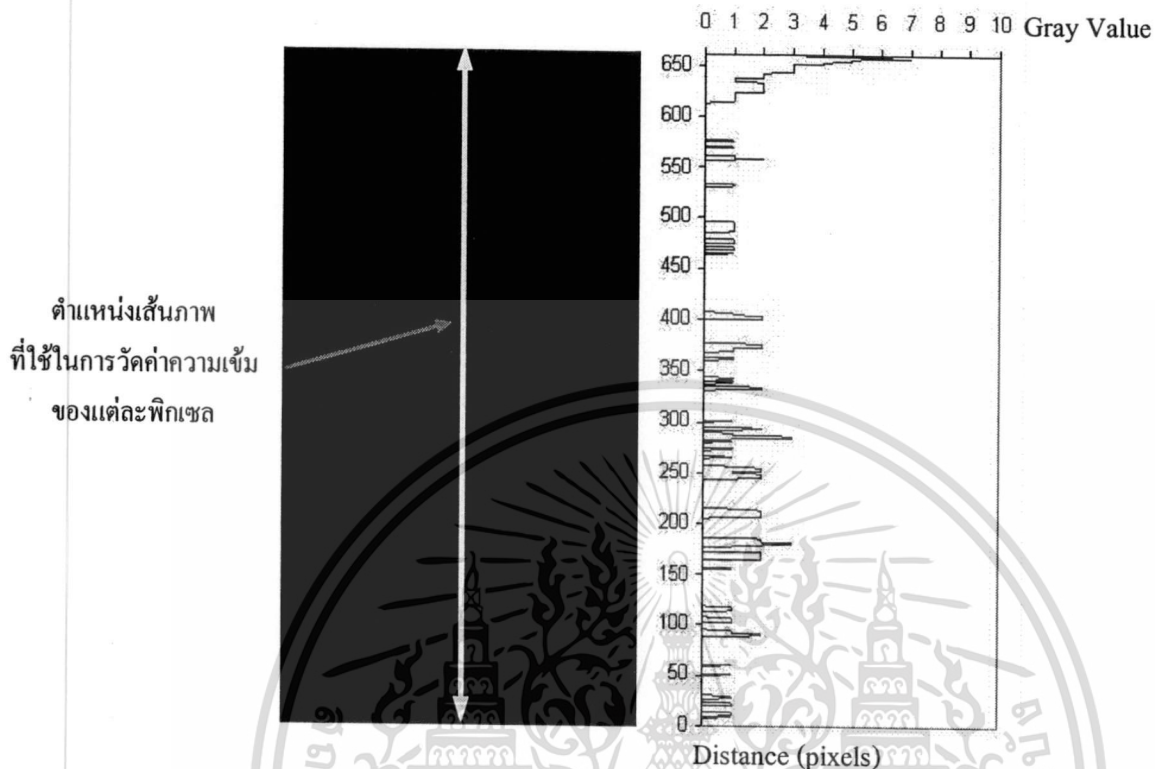
การทดสอบประสิทธิภาพของระบบเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการทดลอง เพราะการทดสอบนี้จะทำให้เราได้รู้ถึงประสิทธิภาพ ความสามารถ และขีดจำกัด ของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่เราสร้างขึ้น ดังนั้นในหัวข้อนี้จะขอทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ 2 ประการ คือ การทดสอบความสม่ำเสมอของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์และการทดสอบความละเอียดของภาพ โดยจะขอทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่ใช้ในการสร้างภาพตัดขวางเพียงระบบเดียวเท่านั้น นั่นคือ ระบบที่ประกอบไปด้วยกล้อง 3 ตัว วางเรียงกันแบบ 3 x 3 นั่นเอง

4.2.1) การทดสอบความสม่ำเสมอของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

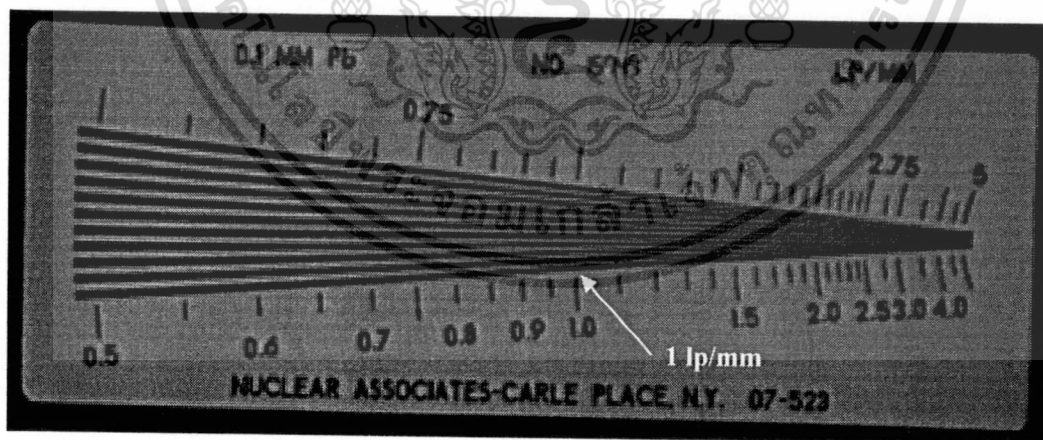
ในรูปที่ 4.12 จากกราฟที่ได้จะเห็นว่าค่าความเข้มของพิกเซลตลอดแนวเส้นภาพนั้นค่อนข้างราบเรียบคือ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 และค่าสูงสุดเท่ากับ 7 ซึ่งความเข้มของภาพดังกล่าวอาจมีค่าได้ ตั้งแต่ 0-255 ดังนั้นสรุปได้ว่าภาพที่ได้จากกล้องทั้ง 3 ตัว เหมือนเป็นภาพที่ได้จากกล้องเดียวกัน เมื่อนำค่าความเข้มที่วัดได้ทั้งหมดไปหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทำให้ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับร้อยละ 0.91 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ที่จะนำไปใช้งาน

4.2.2) การทดสอบความละเอียดของภาพ

สำหรับการทดสอบความละเอียดของภาพนั้น เมื่อเราทำการถ่ายภาพเอกซเรย์แพนทอมที่ใช้สำหรับวัดความละเอียดแล้ว ทำให้ได้ภาพเอกซเรย์ของแพนทอมดังรูปที่ 4.13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างจากกล้องดิจิตอลนั้นสามารถถ่ายภาพที่มีความละเอียดได้ 1 lp/mm (ประมาณ 13 lp/inch)



รูปที่ 4.12 แสดงภาพเอกซเรย์ที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มของฟิสิกเซลในเส้นภาพตามลูกศรที่ได้แสดงไว้ ซึ่งค่าที่วัดได้แสดงดังกราฟด้านข้างนั่นเอง



รูปที่ 4.13 แสดงภาพเอกซเรย์เฟ้นทอมวัดความละเอียดที่สามารถตรวจจับได้ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ จากรูปแสดงให้เห็นว่า ตัวตรวจจับเอกซเรย์สามารถแยกรายละเอียดของภาพได้ 1 lp/mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการประยุกต์ใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อหาปริมาณของร่างกายคนและสร้างภาพสามมิติ

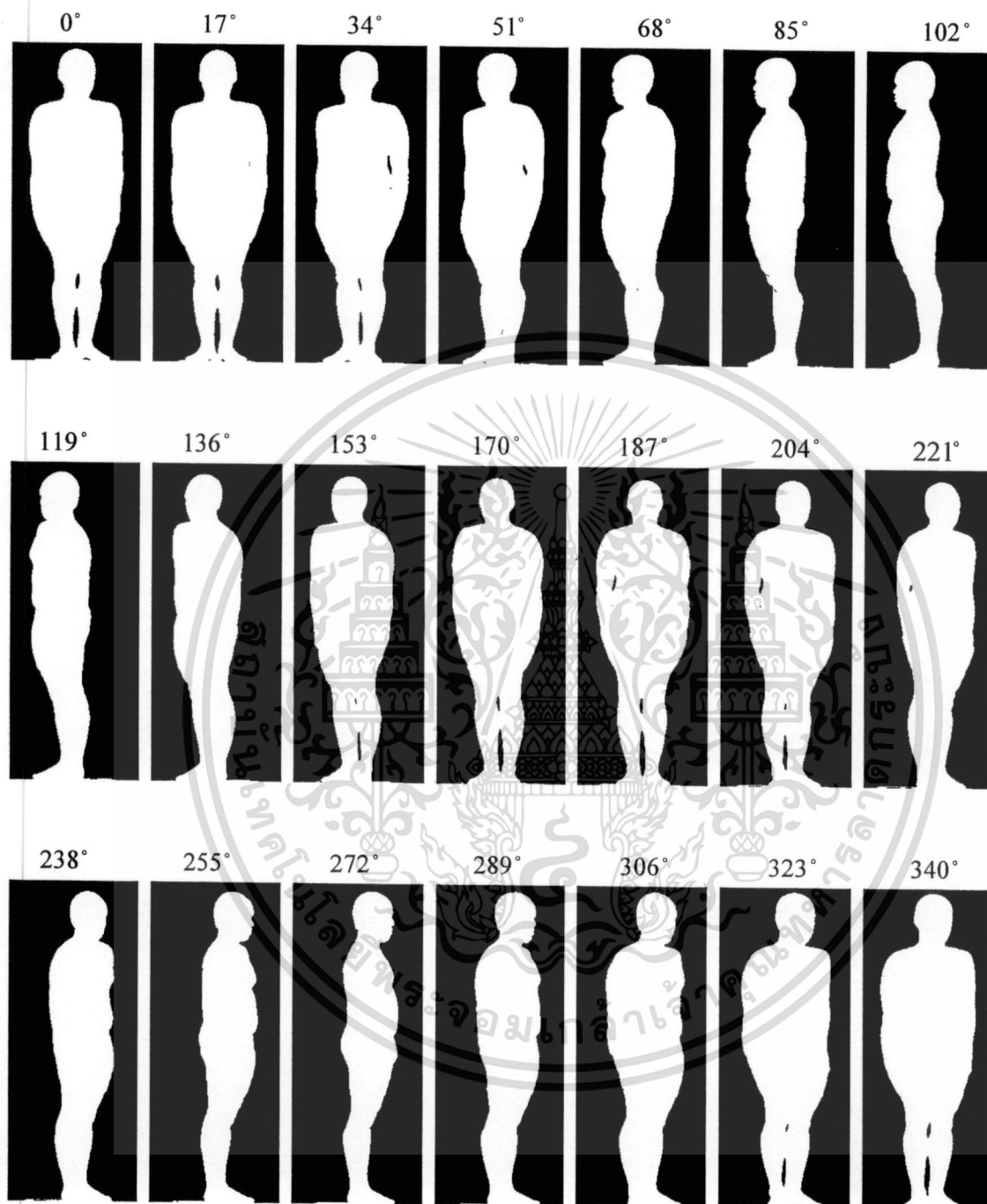
ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับแสงปกติเพื่อทำการหาโครงร่างและปริมาตรของวัตถุได้ โดยการนำแผ่นเรืองแสงออกเพื่อทำการถ่ายภาพวัตถุกับแสงปกติ และใช้หลักการในการปรับเทียบกล้อง ต่อภาพ และลบรอยต่อของภาพดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 โดยในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็น การทดลองสร้างภาพตัดขวางเพื่อหาปริมาณและสร้างภาพสามมิติ และผลการวัดปริมาตรด้วยทฤษฎีอะลิมิติส (การวัดปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำ) และทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยอภิปรายค่าความผิดพลาดเป็นเปอร์เซ็นต์

4.3.1) การทดลองสร้างภาพตัดขวางเพื่อหาปริมาณและสร้างภาพสามมิติ

สำหรับการประยุกต์ใช้ตัวตรวจจับเอกซเรย์ในงานวิจัยนี้เราจะทำการประยุกต์ใช้ระบบดังกล่าวกับแสงปกติเพื่อทำการหาโครงร่างและปริมาตรของคน เมื่อเราทำการถ่ายภาพ โปรเจกชันคนเรียบร้อยแล้ว เราจะต้องนำภาพโปรเจกชันเหล่านั้นไปผ่านกระบวนการทำ Threshold ก่อน ซึ่งจะได้เป็นภาพโปรเจกชันที่จะนำไปใช้ในกระบวนการสร้างภาพตัดขวางดังแสดงในรูปที่ 4.14 เมื่อเรานำภาพโปรเจกชันไปผ่านกระบวนการสร้างภาพตัดขวางก็จะทำให้ได้ภาพตัดขวางของคน ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาปริมาตรของคนผู้นั้นได้ โดยตัวอย่างของภาพตัดขวางแสดงดังรูปที่ 4.15 นั้นเอง

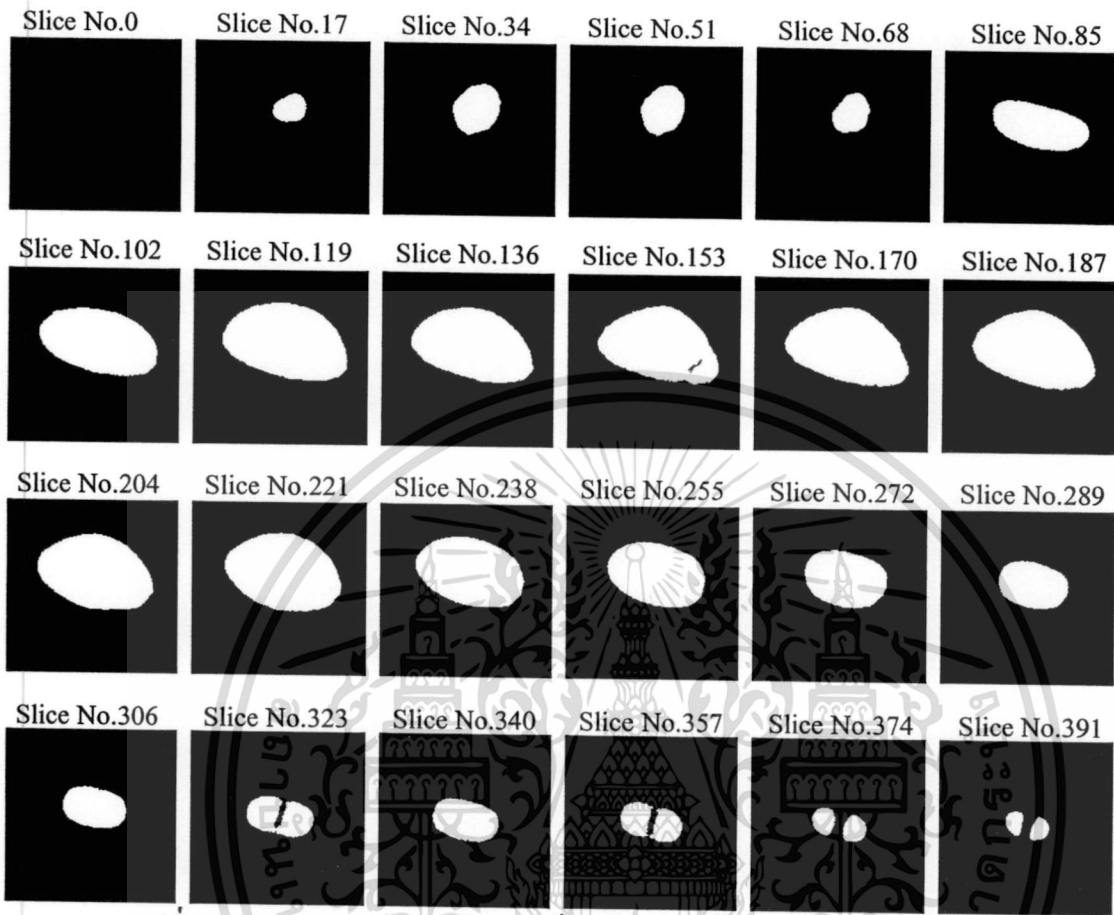
เมื่อเราได้ภาพตัดขวางของคนแล้วเราสามารถทำการคำนวณหาปริมาตรของคนผู้นั้นได้ โดยหาจำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาวทั้งหมดในภาพตัดขวางแล้วคูณด้วยค่าวอกเซล ก็จะทำให้ได้ปริมาตรรวมของคน

หลังจากที่เราได้ภาพตัดขวางมาแล้วเรายังสามารถนำภาพตัดขวางเหล่านั้นไปสร้างเป็นภาพสามมิติได้อีกด้วย โดยใช้โปรแกรม Rapidform XO ซึ่งภาพสามมิติที่สร้างได้จากภาพตัดขวางนั้นแสดงดังรูปที่ 4.16 และผลการทดลองสร้างภาพสามมิติของคนทั้ง 4 ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4.17-4.20

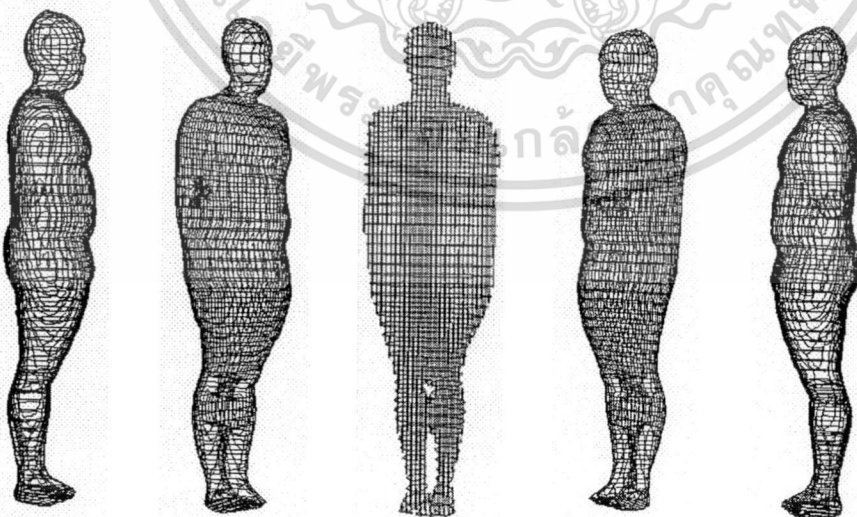


รูปที่ 4.14 แสดงตัวอย่างภาพโปรเจกชันที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

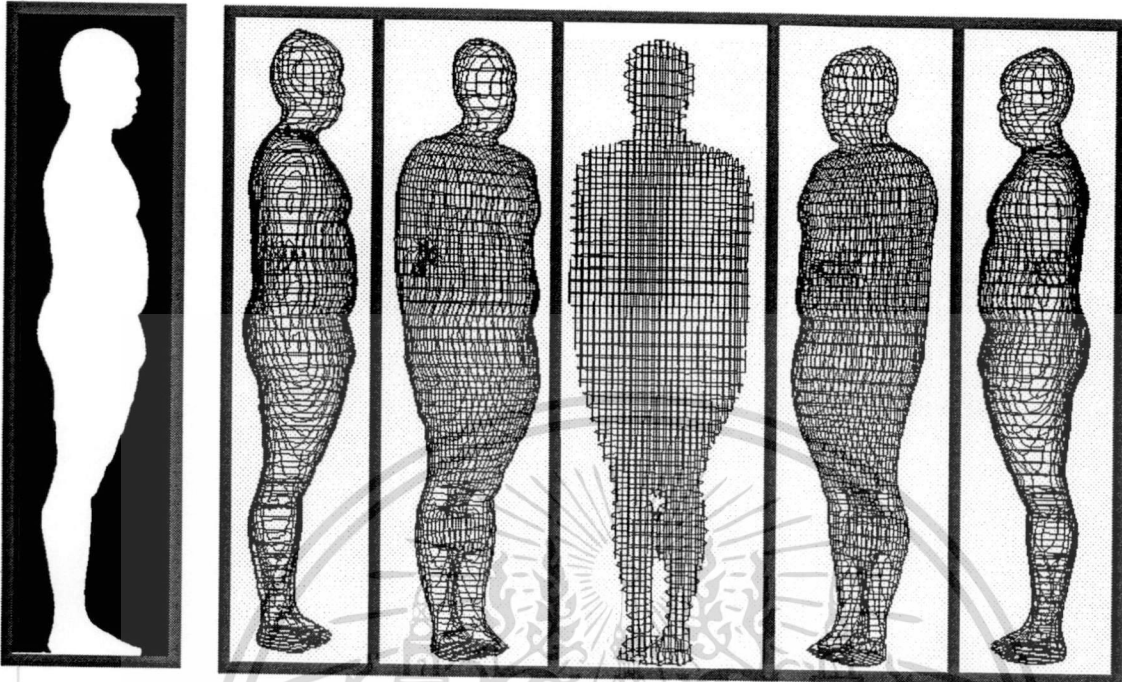


รูปที่ 4.15 แสดงภาพตัดขวางบางส่วนที่ได้จากกระบวนการสร้างภาพตัดขวาง



รูปที่ 4.16 แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวาง

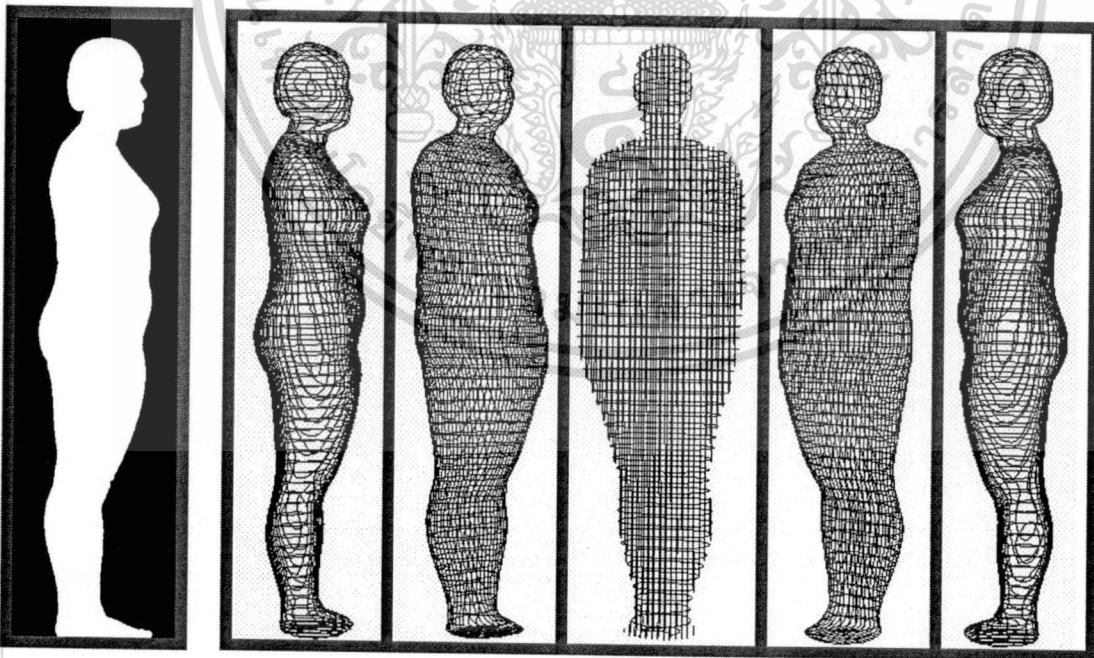
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

(b)

รูปที่ 4.17 (a) แสดงภาพโปรเจกชันของคนที่ 1 ที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว
(b) แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวางของคนที่ 1



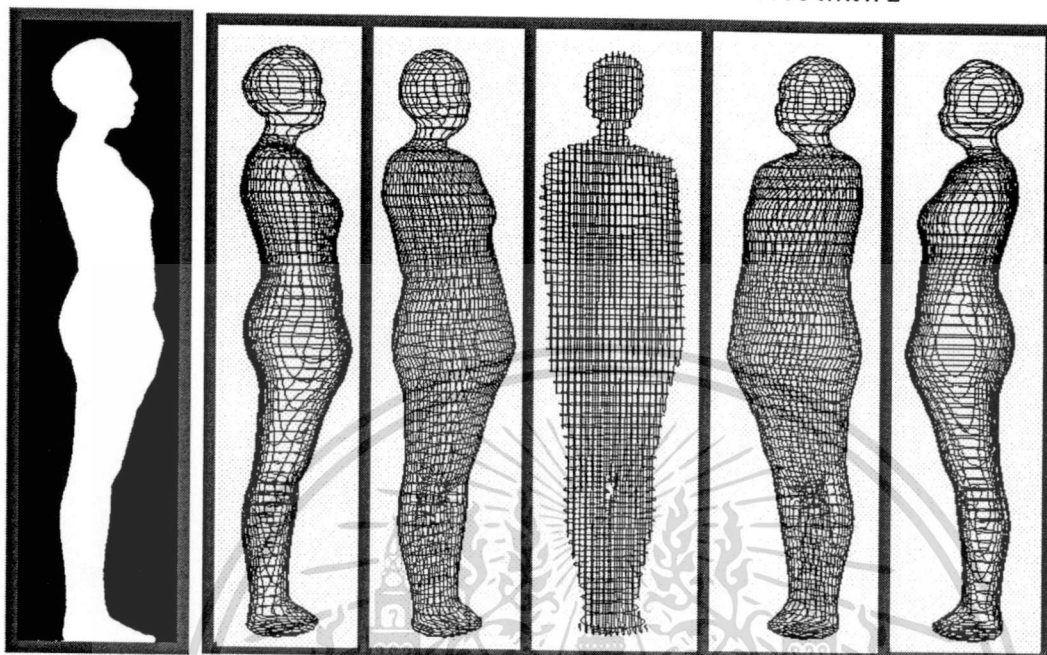
(a)

(b)

รูปที่ 4.18 (a) แสดงภาพโปรเจกชันของคนที่ 2 ที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(b) แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวางของคนที 2

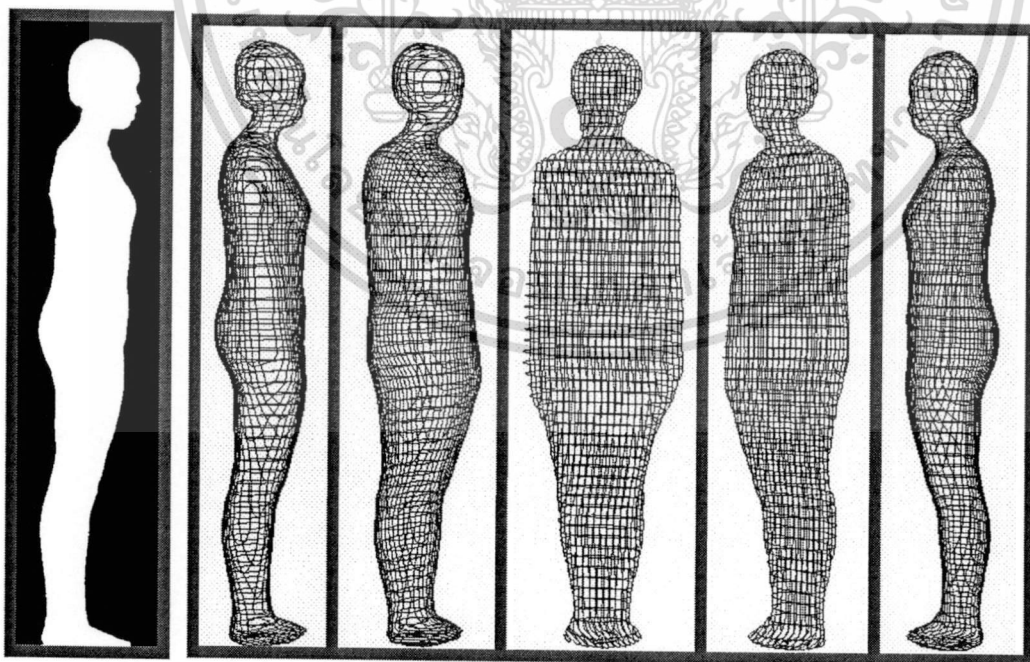


(a)

(b)

รูปที่ 4.19 (a) แสดงภาพโปรเจกชันของคนที 3 ที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว

(b) แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวางของคนที 3



(a)

(b)

รูปที่ 4.20 (a) แสดงภาพโปรเจกชันของคนที 4 ที่ผ่านการหาค่า Threshold แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(b) แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่สร้างมาจากภาพตัดขวางของคนี่ 4

4.3.2) ผลการวัดปริมาตรคนด้วยทฤษฎีอะคีมิคิส (การวัดปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำ) และทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการวัดปริมาตรด้วยวิธีการคำนวณภาพตัดขวาง

ในหัวข้อนี้เราจะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการหาปริมาตรคนจากภาพตัดขวางที่ได้ทำในหัวข้อที่แล้ว โดยจะใช้การหาปริมาตรด้วยทฤษฎีอะคีมิคิส (การวัดปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำ) ซึ่งเราได้ทำการทดลองกับคนจำนวน 4 ตัวอย่าง ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น เราไม่สามารถเห็นส่วนที่เป็นร่อง เช่น ร่องขา ร่องอก ร่องแขน เป็นต้น นอกจากนี้ คนที่ทำการวัดปริมาตรอาจยืนไม่นิ่งในขณะที่ทำการหมุนแทนหมุนเพื่อถ่ายภาพ โปรเจกชัน ก็ส่งผลให้ผลการวัดปริมาตรด้วยวิธีการคำนวณภาพตัดขวางนั้นมีความผิดพลาดได้

ตัวอย่าง	ปริมาตรที่ได้จากการคำนวณภาพตัดขวาง (ลิตร)	ปริมาตรที่ได้จากการวัดด้วยหลักการแทนที่น้ำ (ลิตร)	ความผิดพลาด (ร้อยละ)
คนที่ 1	75.02	73.92	1.49
คนที่ 2	62.08	56.79	9.36
คนที่ 3	50.68	44.35	14.27
คนที่ 4	52.12	45.33	14.97

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าปริมาตรของคนจากการคำนวณปริมาตรจริงที่ได้จากทฤษฎีของอะคีมิคิส และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับตัวตรวจจับเอกซเรย์ (X-ray Detector) ที่สร้างภาพเอกซเรย์แบบทางอ้อม (Indirect Imaging) เพื่อประดิษฐ์ตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่มีราคาถูกลงและสามารถใช้งานได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกกล้องดิจิตอลมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการรับภาพ ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ และสามารถนำภาพเอกซเรย์ที่ได้จากกล้องดิจิตอลหลายๆตัวมาต่อกันเพื่อถ่ายภาพเอกซเรย์วัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและยังคงความละเอียดของภาพไว้ได้

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่เหมาะสม และนำไปทดลองกับเอกซเรย์เพื่อทดสอบคุณสมบัติของตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นว่าสามารถนำมาใช้ในการตรวจจับเอกซเรย์ด้วยวิธีทางอ้อมผ่านการตรวจจับแสงที่เปล่งออกมาจากแผ่นเรืองแสงได้หรือไม่ โดยทำการทดลอง 3 การทดลอง ได้แก่

- 1) การทดลองสร้างภาพเอกซเรย์ที่สมบูรณ์ด้วยทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์
- 2) การทดลองกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพเอกซเรย์ด้วยวิธีแบบค่ามีเดียน
- 3) การทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์จากการติดตั้งกล้องหลายรูปแบบ
- 4) การทดลองสร้างภาพตัดขวาง

สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังต่อไปนี้

- 1) เมื่อนำทฤษฎีของแลมเบิร์ต-เบียร์มาประยุกต์ใช้กับการถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นแล้ว พบว่าภาพเอกซเรย์ที่ได้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ภาพเอกซเรย์ที่ได้นั้นมีความใกล้เคียงกับภาพเอกซเรย์ที่ได้จากฟิล์มมากยิ่งขึ้น
- 2) การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพเอกซเรย์ด้วยวิธีแบบค่ามีเดียนนั้นสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนแบบซอลท์และเปปเปอร์ที่เกิดขึ้นในภาพเอกซเรย์ได้ทำให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่มีคุณภาพดีขึ้น
- 3) จากการทดลองติดตั้งกล้องหลายๆรูปแบบเพื่อให้มีความเหมาะสมกับวัตถุที่จะทำการถ่ายภาพเอกซเรย์นั้น ทำให้สามารถถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความละเอียดของภาพมากยิ่งขึ้นได้
- 4) ในการทดลองนำภาพโปรเจกชันที่ได้จากการถ่ายภาพเอกซเรย์วัตถุด้วยระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นนั้น ไปสร้างเป็นภาพตัดขวาง จากภาพตัดขวางที่ได้นั้นสามารถหาค่าผิดพลาดเฉลี่ยได้เท่ากับร้อยละ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับและสามารถนำไปใช้งานได้

เมื่อทดสอบคุณสมบัติของตัวตรวจจับเอกซเรย์ว่าสามารถนำมาใช้งานได้แล้ว ต่อมาจึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ 2 การทดลอง ดังต่อไปนี้ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) หากความสม่ำเสมอของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์
- 2) หากความละเอียดของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์

สามารถสรุปผลการทดลอง ได้ดังต่อไปนี้

- 1) ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นมีความสม่ำเสมอของภาพ (Uniformity) อยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ ($SD = 0.91\%$)
- 2) ตัวตรวจจับเอกซเรย์สามารถแยกรายละเอียดได้สูงสุดอยู่ที่ 1 lp/mm ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับและสามารถนำไปใช้งานได้

สำหรับการประยุกต์ใช้ระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อหาปริมาตรของร่างกายคนและสร้างภาพสามมิตินั้น สรุปได้ว่าเราสามารถนำระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์กับแสงปกติเพื่อถ่ายภาพโปรเจกชันของร่างกายคนเพื่อนำไปสร้างเป็นภาพตัดขวาง และหาปริมาตรของคนได้ โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 10 % และเรายังสามารถนำภาพตัดขวางที่ได้ไปสร้างเป็นภาพสามมิติได้อีกด้วย

จากงานวิจัยพบว่า กล้องดิจิตอลนั้นสามารถนำมาใช้ในการตรวจจับเอกซเรย์ด้วยวิธีทางอ้อมได้ โดยมีคุณภาพของภาพที่ดีอยู่ในระดับที่ยอมรับและนำไปใช้งานได้ และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อประยุกต์ใช้ในงานที่ไม่ต้องการรายละเอียดของภาพสูงมาก ได้แก่ งานด้านความปลอดภัย เช่น หออาวุธหรือวัตถุต้องสงสัย และงานด้านอุตสาหกรรม เช่น หารอยแยกรอยแตกของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยังคงพบข้อจำกัดหลายๆประการของระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ เช่น ความละเอียดของภาพที่ได้จากกล้องแต่ละตัวที่ใช้ในงานวิจัยนั้นยังคงน้อยอยู่มากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีของกล้องดิจิตอลในปัจจุบัน วิธีการปรับเทียบกล้องและระบบยังคงมีความยุ่งยากเนื่องจากต้องมีความถูกต้องและแม่นยำสูงเพื่อให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่มีคุณภาพและมีความผิดพลาดน้อยที่สุด เป็นต้น จึงต้องทำการพัฒนาเพื่อปรับปรุงและแก้ไขข้อจำกัดต่างๆ เพื่อให้เกิดการพัฒนาาระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ที่สร้างขึ้นให้สามารถนำมาใช้งานได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังคงต้องมีการศึกษาต่อยอดเพื่อพัฒนาระบบตัวตรวจจับเอกซเรย์ดังกล่าวให้สามารถสร้างภาพเอกซเรย์ที่มีความละเอียดของภาพสูงขึ้น ซึ่งจะเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการสร้างภาพทางการแพทย์ได้

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพื่อสร้างและทดสอบความเป็นไปได้ในการนำกล้องดิจิตอลหลายตัวมาใช้เป็นตัวตรวจจับเอกซเรย์ ซึ่งกล้องดิจิตอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นกล้องดิจิตอลที่มีราคาถูกลงและมีคุณภาพต่ำ หากมีการเปลี่ยนกล้องให้มีคุณภาพที่ดีมากขึ้นเพื่อเพิ่มความละเอียดของภาพ ผู้วิจัยคิดว่าระบบที่สร้างขึ้นนี้อาจสามารถนำไปใช้ในการสร้างภาพทางการแพทย์ได้ ซึ่งเป็นงานนำศึกษาพัฒนาต่อยอดในอนาคตอันใกล้อีกด้วย

หนังสืออ้างอิง

- [1] Rowlands, J. A. "Current Advances and Future Trends in X-Ray Digital Detectors for Medical Applications." **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement.**, Vol. 47, No. 6, Dec. 1998.
- [2] วิทวัส วิทย์ชำนาญกุล. "การหาโครงสร้างของวัตถุโดยใช้หลักการโทโมกราฟฟีกับภาพถ่าย" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [3] วลิตะ นาคบัวแก้ว. "การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยหลักการโทโมกราฟฟีกับภาพถ่ายโดยกำหนดค่าแสงแบบกรวยที่มีทิศทางเคลื่อนที่แบบเกลียว" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [4] Knoll, G. F. **Radiation Detection and Measurement.** USA: John Wiley & Sons.Inc. 1999.
- [5] Burt, P. J. and Adelson, E. H. "A Multiresolution Spline with Application to Image Mosaics" **ACM Transactions on Graphics.**, Vol. 2, No. 4, Oct. 1983. pp. 217-236
- [6] ชูศักดิ์ จันทโค. "ตัวตรวจจับเอกซเรย์แบบทางอ้อม โดยใช้ตัวตรวจจับภาพแบบซีซีดี" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.
- [7] ชีระศักดิ์ จันทรวีเมธียง. "การปรับปรุงการสร้างภาพตัดขวางจากเครื่องเอกซเรย์ชนิดลำแสงกรวยกรณีหลอดเอกซเรย์อยู่ที่ตำแหน่งใดๆ" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์วิชาการแพทย์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

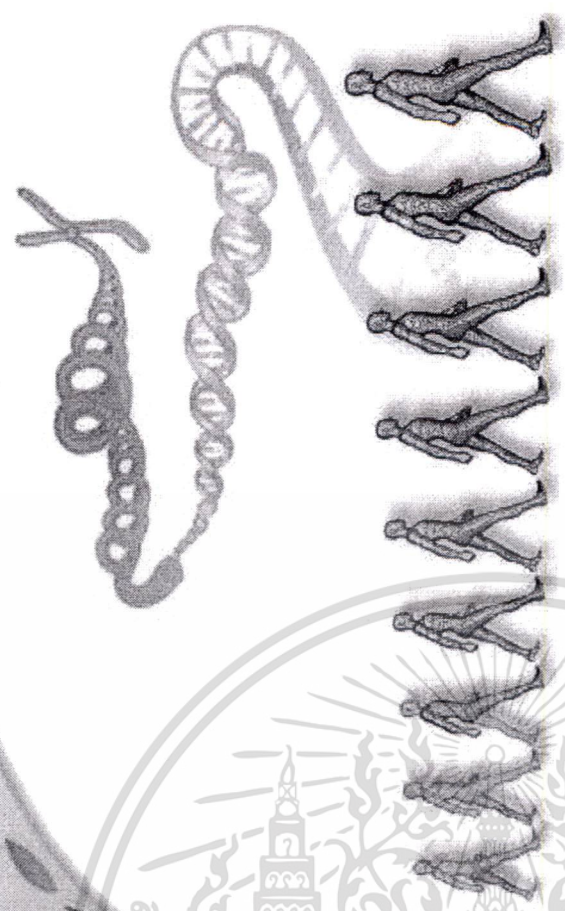
1. N. Srisuk, V. Jantanayingyong, N. Atiwongsangthong, C. Pintavirooj “Miniature Computed Tomography System using the Multiple Cameras X-Ray Detector” The 2nd Biomedical Engineering International Conference 2009 (BMEiCON 2009).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

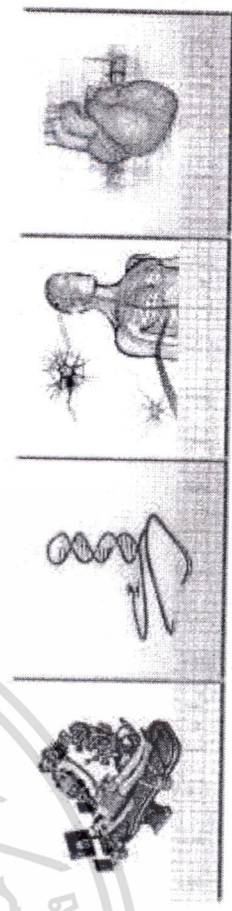
BMEICON 2009

August 13-14, 2009 Phuket, Thailand



PROGRAM AND ABSTRACTS

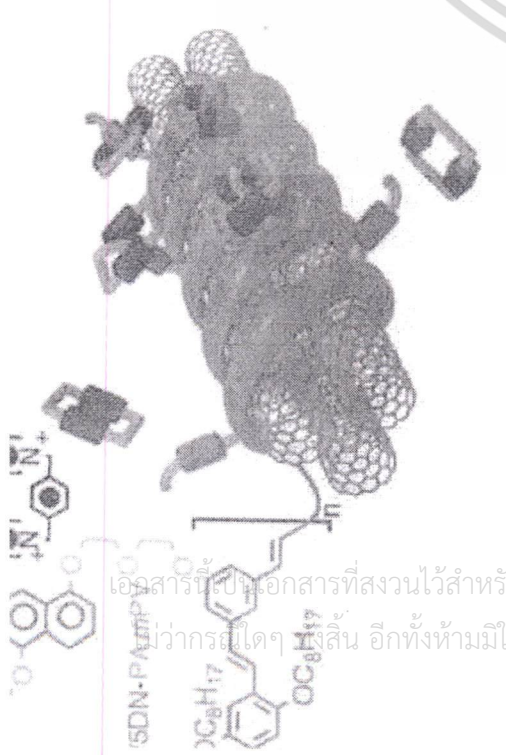
The 2nd Biomedical Engineering International Conference



BMEICON 2009

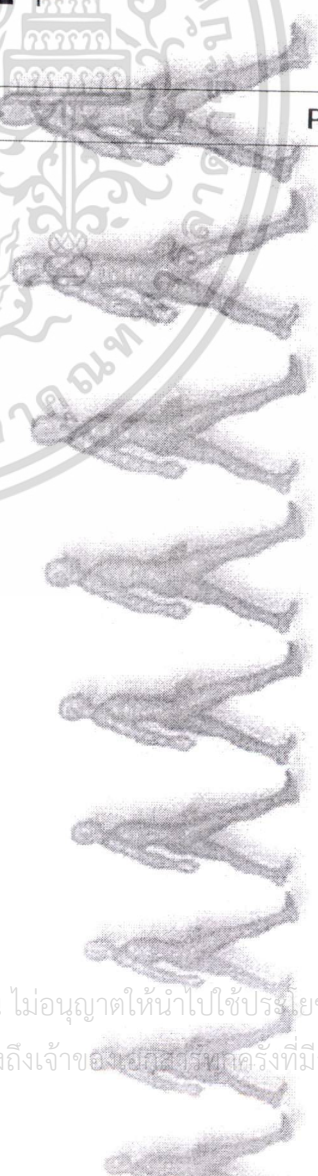
August 13-14, 2009

Phuket, Thailand



BMEICON 2009

The 2nd Biomedical Engineering International Conference
(BMEICON 2009)



Organized by:
The Biomedical Engineering Research Association (ThaiBME)
The Biomedical Engineering Research Association (ThaiBME)
The Biomedical Engineering Research Association (ThaiBME)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ถ้าหากมีการแก้ไขใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง และอาจถึงเจ้าของลิขสิทธิ์หากครั้งที่มีแก้ไข



REFERENCES

- [1] S. C. Bushong, "Radiologic Science for Technologists," 8th ed. Mosby Inc, St. Louis: Missouri, 2004.
- [2] K. Hemtiwakorn, N. Srisuk, and C. Pintavirooj. "Indirect X-ray detector panel using multiple cameras," in *Communications and Information Technologies (ISCIT)*, pp. 407-11, 2008.
- [3] Y. Pititheerapab, T. Chanwimalueang, K. Chitsakul, C. Pintaviruj, and Tosranon. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2006)*, pp. 1-5, 2006.
- [4] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). *Quality Assurance for Diagnostic Imaging Equipment*. NCRP Report No. 99, 1988.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวน้ำทิพย์ ศรีสุข
วัน เดือน ปีเกิด	10 พฤษภาคม 2527
ที่อยู่	24/20 ม.6 ต.หนองรี อ.เมือง จ.ชลบุรี 20000
ประวัติการศึกษา	2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้