

การพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัย



นายอรรถโกวิท สงวนสัตย์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

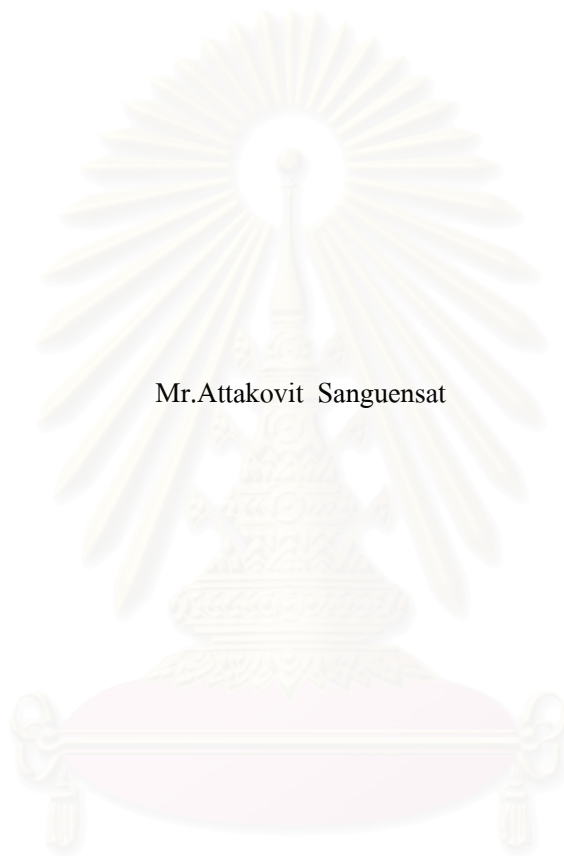
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2443-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A QUALITY TEST KIT FOR DIAGNOSTIC X – RAY EQUIPMENT



Mr.Attakovit Sanguensat

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2443-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจัย
โดย	นายอรรถโกวิท สงวนสัตย์
สาขาวิชา	นิเวศวิทยาระบบเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายกิจจา จงกิติวิทย์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นายกิจจา จงกิติวิทย์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ณรงค์ จันทน์ขาว)

อรรถโกวิท สงวนสัทย์ :การพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัย  
(DEVELOPMENT OF A QUALITY TEST KIT FOR DIAGNOSTIC X-RAY  
EQUIPMENT) อ.ที่ปรึกษา :ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสมันต์ อ.ที่ปรึกษาร่วม :  
นายกิจจา จงกิติวิทย์, 92 หน้า. ISBN 974-17-2443-8

การควบคุมคุณภาพมาตรฐานตัวประกอบเทคนิคที่สำคัญของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันไม่ไห้คนไข้ที่เข้ารับการถ่ายภาพรังสีเพื่อวินิจฉัยโรคได้รับปริมาณรังสีมากเกินไป ปัจจุบันเครื่องวัดระบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิค เช่น ความต่างศักย์สูงสุด เวลาในการฉายรังสีและเอกซ์โพเซอร์ หรือปริมาณรังสีได้จากการฉายรังสีเพียงครั้งเดียว ส่วนการวิเคราะห์ความหนาครั้งค่าต้องใช้เครื่องวัดรังสีพร้อมชุดแผ่นกรองรังสีอะลูมิเนียมความหนาต่างๆ และต้องฉายรังสีหลายครั้ง ชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ใช้อุปกรณ์วัดรังสีชนิดเทอโมลูมิเนสเซนซ์โดสมิเตอร์หรือทีแอลดี สามารถนำผลที่ทีแอลดีอ่านได้ไปวิเคราะห์หาความต่างศักย์สูงสุด ความหนาครั้งค่าและเอกซ์โพเซอร์ได้จากการฉายรังสีครั้งเดียว จากการวิจัยพบว่าอัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดี 200 ที่ผ่านแผ่นกรองรังสีทองแดงที่มีความหนา 0.2 และ 1.5 มิลลิเมตร แปรผันตรงกับความต่างศักย์สูงสุด ในขณะที่สัญญาณของทีแอลดี 700 ที่ผ่านแผ่นกรองรังสีอะลูมิเนียมความหนา 1.3, 2.6 และ 4.0 มิลลิเมตร และสัญญาณที่ไม่ผ่านแผ่นกรองรังสี สามารถใช้วิเคราะห์ความหนาครั้งค่าและเอกซ์โพเซอร์ได้ ชุดตรวจสอบคุณภาพนี้สามารถวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยได้ทั้งระบบ 1 เฟส 3 เฟส และ ระบบความถี่สูง โดยสามารถวิเคราะห์พบเครื่องที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยแยกเป็นกรณีของความต่างศักย์สูงสุด จำนวน 4 เครื่อง ส่วนความหนาครั้งค่าจำนวน 1 เครื่อง ผลวิเคราะห์ดังกล่าวสอดคล้องกับการตรวจโดยใช้เครื่องตรวจสอบคุณภาพมาตรฐาน ขนาดของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นมานี้ไม่เหมาะสำหรับการใช้เพื่อวิเคราะห์ความหนาครั้งค่าและเอกซ์โพเซอร์สำหรับเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยโรคพื้นเนื่องจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์จำกัดค่ารังสีและความหนาของแผ่นกรองรังสีอะลูมิเนียมในชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
ปีการศึกษา 2545

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

##427 0651321 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: KILOVOLT PEAK, HALF VALUE LAYER

ATTAKOVIT SANGUENSAT : DEVELOPMENT OF A QUALITY TEST KIT FOR DIAGNOSTIC X-RAY EQUIPMENT. THESIS ADVISOR : ASSISTANCE PROFESSOR ATTAPORN PATARASUMUNT.THESIS CO-ADVISOR : MR.KIJJACHONGKITIVITYA, 92 PP. ISBN 974-17-2443-8

Quality control of crucial technical parameters of the diagnostic x-ray equipments are necessary and important to protect the patients from unnecessary exposure during diagnostic radiography. A multi-electronic detectors can be used to determine the tube high voltage supply or kilovolt peak (kVp) also as exposure time and output or dose from one exposure. Half Value Layer or HVL can be analysed using radiation detector and the set of aluminium filters. The developed Test kit from this research could be used to analyse the kVp , HVL and output simultaneously. It was found that the ratio of reading from TLD 200 filtered by the copper filters which thickness were 0.2 and 1.5 milimetre was proportional to the kVp. This was used as a calibration graph to determine the unknow kVp. To determine the HVL, signal from TLD 700 filtered by the set of aluminium filters which thickness were 1.3, 2.6 and 4.0 milimetre and also unfiltered signal were used . The output was determined using unfiltered TLD signal. The Test kit can be used to determine the kVp of most diagnostic X-ray equipments , 1 phase or 3 phase and high frequency . From the results of field trial , this Test kit could detect four x-ray equipments which were not comply to the standard for kVp and one for HVL . The results were corresponded to the measurement of the standard quality assurance instrument. The dimension of the Test kit was not suitable for determining the HVL and output of dental x- ray equipments due to limitation of their cones size and thickness of aluminium.

Department Nuclear Technology  
 Field of study Nuclear Technology  
 Academic year 2002

Student's signature.....  
 Advisor's signature.....  
 Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็น  
อย่างสูงยิ่ง ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา อนุเคราะห์ตำรา และเอกสารเชิงวิชาการ ตลอดจนช่วย  
ตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ นายกิจจา จงกิติวิทย์ ผู้อำนวยการกองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยา  
ศาสตร์การแพทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา สนับสนุนและช่วยเหลือ  
ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ นายคนัย ลีลาสมลศิริ ผู้เชี่ยวชาญด้านรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยา  
ศาสตร์การแพทย์ ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณวิวิช ธรรมวีระพงษ์ คุณศิริ ศรีมโนรถ คุณพรเทพ จันทร์คุณาภาส  
คุณอนงค์ สิงทวงไชย์ คุณสมใจ อุดบัววงศ์ คุณรุ่งโรจน์ จันทร์สูง คุณนิตยา ศักดิ์วิเศษ และ  
คุณวราภรณ์ สุดใจ กองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ  
ทุกอย่างที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัททงศักดิ์เอกซเรย์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แผ่นทองแดงและแผ่น  
อลูมิเนียมเพื่อใช้ในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนให้ทุนสำหรับ  
อุดหนุนงานวิจัย ในการทำวิจัยมา ณ ที่นี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้.....	5
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
<b>บทที่ 2 การวัดตัวประกอบเทคนิคของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยโดยใช้ ทีแอลดี</b>	
2.1 รังสีเอกซ์.....	7
2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลาง.....	7
2.3 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์.....	11
2.4 ชนิดของระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูงของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์.....	15
2.5 การวัดความต่างศักย์สูงสุด.....	19
2.6 การวัดความหนาครึ่งค่า.....	21
2.7 สารวัดรังสีเทอร์โมลูมิเนสเซนส์ (Thermoluminescent dosimeter :TLD)..	25
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 วัสดุอุปกรณ์ สำหรับพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพ เครื่องผลิตรังสีเอกซ์ วินิจฉัย.....	31
3.2 วัสดุอุปกรณ์สำหรับใช้ทดสอบชุดตรวจสอบคุณภาพ.....	33
3.3 การเตรียมสาร ทีแอลดี เพื่อนำมาใช้งาน.....	39
3.4 การออกแบบและการสร้างชุดตรวจสอบคุณภาพ.....	41
<b>บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ</b>	
4.1 การทดสอบเพื่อพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพและผลการทดสอบ.....	46

## สารบัญ (ต่อ)

ช

หน้า

4.2 การทดสอบเพื่อปรับปรุงคุณภาพของชุดตรวจสอบคุณภาพและผลการทดสอบ.....	58
4.3 การสอบเทียบและผลการสอบเทียบค่าตัวประกอบเทคนิคที่ต้องการวัด.....	61
4.4 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของชุดตรวจสอบคุณภาพและผลการทดสอบ...	67
4.5 การทดสอบชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นโดยนำไปใช้งานจริง.....	75
<b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....</b>	
5.1 สรุปและวิจารณ์ .....	79
5.2 ลักษณะพิสัยของชุดตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยที่พัฒนาขึ้น .....	82
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	83
รายการอ้างอิง .....	85
ภาคผนวก .....	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	92



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสีบางชนิดที่ใช้กันโดยทั่วไป.....	11
2.2 แสดงพลังงานสูงสุดของรังสีเฉพาะตัว พลังงานยึดเหนี่ยวของชั้น K ของธาตุที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับงานรังสีวินิจฉัย.....	12
2.3 แสดงค่า Ripple factor ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดต่างๆ .....	18
2.4 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบก่อนฉายรังสีและการอบหลังการฉายรังสีของทีแอลซีชนิดต่างๆ .....	28
3.1 แสดงค่าพลังงานยังผล และความหนาครึ่งค่าที่ความต่างศักย์สูงสุดต่างๆ ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์รักษาหลักของห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.....	34
4.1 แสดงสัญญาณของทีแอลซี ในแต่ละแถว โดยแยกเป็นด้านใกล้แอโนด และด้านใกล้แคโทด ค่าของสัญญาณตรงตำแหน่งที่จะนำไปใช้งานแสดงด้วยตัวอักษรเข้ม....	48
4.2 แสดงสัญญาณของทีแอลซี ในแต่ละสดมภ์ โดยแยกเป็นด้านบนของแนว แอโนดแคโทด และด้านล่างของแนวแอโนด-แคโทด ค่าของสัญญาณตรงตำแหน่งที่จะนำไปใช้งานแสดงด้วยตัวอักษรเข้ม.....	48
4.3 แสดงคู่ความหนาของแผ่นทองแดงจำนวน 3 ชุด ที่ใช้ในการทดลองเลือกคู่ความหนาที่เหมาะสม.....	51
4.4 แสดงความหนาของแผ่นอะลูมิเนียม สัญญาณของทีแอลซีที่อ่านได้ให้ความหนาที่สอดคล้องกันและร้อยละของการกรองรังสี.....	58
4.5 แสดงอัตราส่วนของสัญญาณของทีแอลซีได้แผ่นกรองทองแดง 1.5 / 0.2 เมื่อมีแผ่นตะกั่วรองฐานและไม่มีแผ่นตะกั่วรองฐานของชุดตรวจสอบคุณภาพ เมื่อวางบนวัสดุแทนเตียงคนไข้ต่างชนิดกัน.....	59
4.6 แสดงความต่างศักย์สูงสุดที่ตั้ง ความต่างศักย์สูงสุดที่วัดได้จากเครื่อง RMI และอัตราส่วนสัญญาณของ ทีแอลซี เมื่อนำไปฉายรังสีที่ความต่างศักย์ต่างๆจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยที่ใช้ในการสอบเทียบ.....	62
4.7 แสดงความหนาครึ่งค่าในหน่วยมิลลิเมตรของอะลูมิเนียม (mm Al) ที่วิเคราะห์ได้จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นและจากเครื่อง RMI ที่ความต่างศักย์สูงสุด (kV) ต่างๆ .....	64

## สารบัญญัตินำ (ต่อ)

ญ

ตารางที่	หน้า
4.8 แสดงค่าเอกซโพเชอร์ (mR) จากห้องปฏิบัติการมาตรฐานทุติยภูมิและสัญญาณจาก ทีแอลดี 700 ที่ฉายรังสี ณ ตำแหน่งเดียวกัน .....	66
4.9 แสดงปริมาณเอกซโพเชอร์ (mAs) ความต่างศักย์สูงสุด (kV) ความหนาครึ่งค่า (mm Al) ที่วิเคราะห์ได้จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปลี่ยน mAs และร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) จากค่าที่วัดได้เมื่อตั้งมาตรฐานที่ 40 (200 x 0.2) .....	68
4.10 แสดง ความต่างศักย์สูงสุด (kV) ความหนาครึ่งค่า (mm Al) ที่วิเคราะห์ได้ จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่างโฟกัสของหลอดเอกซเรย์กับชุดตรวจสอบ และร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) จากค่าที่วัดได้เมื่อตั้งระยะห่างมาตรฐาน 50 เซนติเมตร.....	69
4.11 แสดง ความต่างศักย์สูงสุด (kV) ความหนาครึ่งค่า (mm Al) ที่วิเคราะห์ได้จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปลี่ยนแนวการวางชุดตรวจสอบและร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) จากค่าที่วัดได้ในแนวที่ใช้ในการสอบเทียบ.. .....	72
4.12 แสดงความต่างศักย์สูงสุด ความหนาครึ่งค่า เอกซโพเชอร์จากการวัดจำนวน 10 ครั้งโดยชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น (Test kit) และแสดงค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่วัดได้โดยใช้เครื่องตรวจสอบคุณภาพ RMI.....	73
4.13 แสดงความต่างศักย์สูงสุด ความหนาครึ่งค่า เอกซโพเชอร์จากการวัดจำนวน 10 ครั้งโดยชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น (Test kit) และแสดงค่าเฉลี่ยและร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่วัดได้โดยใช้เครื่องตรวจสอบคุณภาพ RMI .....	74
4.14 แสดงจำนวนเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 1PH เอกซโพเชอร์ (mAs) ความต่างศักย์ สูงสุด (kVp) ที่ตั้งจากเครื่อง (Setting) ความหนาครึ่งค่า (HVL) และเอกซโพเชอร์ (Exposure)จากการวัดโดยเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และจากชุดตรวจสอบมาตรฐานที่พัฒนาขึ้น (Test Ki) ร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) ของผลที่วิเคราะห์ได้จาก เครื่องมือทั้งสองชนิด.....	76
4.15 แสดงจำนวนเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 1PF เอกซโพเชอร์ (mAs) ความต่างศักย์ สูงสุด (kVp) ความหนาครึ่งค่า (HVL) และเอกซโพเชอร์ (Exposure) จากการวัดโดยเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และจากชุดตรวจสอบมาตรฐานที่พัฒนาขึ้น (Test kit) ร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) ของผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือทั้งสองชนิด .....	77

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ญ

ตารางที่

หน้า

4.16 แสดงจำนวนเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 3P6, 3P12, HF, และ CP เอกซ์โพเชอร์ (mAs) ความต่าง ศักย์ สูงสุด (kVp) ความหนาครึ่งค่า (HVL) และเอกซ์โพเชอร์ (Exposure) จากการวัด โดยเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และจากชุดตรวจสอบมาตรฐานที่พัฒนาขึ้น (Test kit) ร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) ของผลที่วิเคราะห์ได้ จาก เครื่องมือทั้งสองชนิด .....

78



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงแผนภาพการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....	8
2.2 แสดงแผนภาพการกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....	8
2.3 แสดงแผนภาพการเกิดเพอร์โฟคชัน.....	9
2.4 แผนภาพแสดง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลต่างๆของตะกั่วที่พลังงานต่างๆของรังสีแกมมา .....	10
2.5 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว.....	12
<b>2.6 แสดงแผนภาพการเกิดรังสีเอกซ์เบรมส์สตาห์ลุง</b> .....	<b>13</b>
.....	
2.7 แสดงสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากเป้าทั้งสแตนที่ความต่างศักย์สูงสุดต่างๆ.....	14
2.8 แสดงแผนภาพของหลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในงานรังสีวินิจฉัย ชนิดเป้าเคลื่อนที่ได้ .....	14
2.9 แสดงลักษณะรูปแบบของคลื่น ความต่างศักย์ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 1PH และ 1PF.....	15
2.10 แสดงลักษณะรูปแบบของคลื่น ความต่างศักย์ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 3 P6 และ 3 P12.....	16
2.11 แสดงแผนภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดความถี่สูง.....	17
2.12 แสดงความเข้มของรังสีเอกซ์จากระบบเรียงกระแสนแบบฮาล์ฟเวฟและฟูลเวฟ.....	19
2.13 แสดงความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผ่านแผ่นกรองความหนาไม่เท่ากัน.....	20
2.14 แสดงสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เมื่อมีการกรองรังสีและไม่มีกรองรังสี.....	22
2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีที่ผ่านแผ่นกรองรังสีกับความหนาของแผ่นกรองรังสี และแสดงการหาความหนาครึ่งค่า.....	23
2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีและความหนาของแผ่นกรองรังสีและสมการของความสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเอกเซล....	24
2.17 แสดงขบวนการเกิดแสงเมื่อผลึกทีแอลดี ได้รับรังสี.....	25
2.18 แสดง Glow curve ของทีแอลดีชนิดต่างๆ.....	27
2.19 แสดงทีแอลดี ชนิดต่างๆ.....	30
3.1 เครื่องฉายรังสีสตรีออนเซียม-90 อิริเดียม-192 (Sr-90 irradiator).....	32
3.2 เครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัย.....	33
3.3 ชุดควบคุมเครื่องผลิตรังสีเอกซ์รักษาลึก.....	35
3.4 บริเวณหลอดรังสีเอกซ์รักษาลึก.....	35
3.5 เครื่องอ่านทีแอลดี รุ่น M3500.....	36

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

๖

รูปที่	หน้า
3.6 เครื่องวัดความต่างศักย์สูงสุด และเวลาของบริษัท RMI.....	37
3.7 เครื่องปริมาณวัดเอกซ์โพเซอร์ RMI.....	37
3.8 เครื่องวัดปริมาณรังสีมาตรฐาน NP 2100.....	39
3.9 แสดงตำแหน่งการเจาะหลุมเพื่อบรรจุ ทีแอลดี.....	41
3.10 แสดงส่วนประกอบด้าน โครงสร้างของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น.....	43
<b>3.11 แสดงตำแหน่งของแผ่นกรองรังสีในชุดตรวจสอบคุณภาพในแนวเอโนด-แคโทด ของหลอดรังสีเอกซ์.....</b>	<b>44</b>
3.12 แสดงตำแหน่งของแผ่นกรองรังสีในชุดตรวจสอบคุณภาพในแนวตั้งฉากกับแนว เอโนด-แคโทด ของหลอดรังสีเอกซ์.....	44
3.13 แสดงตำแหน่งทีแอลดี ที่บรรจุอยู่ในหลุมของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น.....	45
3.14 แสดงตำแหน่งของแผ่นกรองรังสีต่างๆของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น.....	45
4.1 แสดงการจัดกลุ่มของทีแอลดีในแนวเอโนด-แคโทด หรือแนว A-C จำนวน 7 แถว (R1 ถึง R7).....	46
4.2 แสดงการจัดกลุ่มของทีแอลดีในแนวตั้งฉากกับแนวเอโนด-แคโทด หรือแนว X-Y จำนวน 7 สดมภ์ (C1 ถึง C7).....	47
4.3 แสดงการบรรจุทีแอลดี 700 และ ทีแอลดี 200 เพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าอัตรา ส่วนของสัญญาณกับค่าความต่างศักย์สูงสุด .....	49
4.4 กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณจากที แอลดี 200/700 (TLD ratio) .....	50
4.5 กราฟแสดงการวางตำแหน่งของทีแอลดีใต้แผ่นทองแดงหนาและแผ่นทองแดงบาง.	51
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของ สัญญาณจากทีแอลดี 700 (TLD ratio) เมื่อใช้คู่แผ่นทองแดงต่างๆ.....	52
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของ สัญญาณจากทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้คู่แผ่นทองแดงต่างๆ เหมือน ทีแอลดี 700 .....	53
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณ จากทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้ คู่แผ่นกรองชุดที่ 1.....	54
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของ สัญญาณ จากทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้ คู่แผ่นกรองชุดที่ 2.....	54

รูปที่	หน้า
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณจากทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้ คู่แผ่นกรองชุดที่ 3 .....	55
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อ ใช้คู่แผ่นทองแดง คู่ที่ทำให้ความเป็นเชิงเส้นสูง.....	55
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณจากทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้คู่แผ่นทองแดง ( 1.5 ม.ม. / 0.2 ม.ม.) .....	56
4.13 แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนสัญญาณจากทีแอลดี (TLD ratio) เมื่อไม่มีแผ่นทองแดงรองเหนือแผ่นตะกั่ว .....	60
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วน สัญญาณจาก ทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อมีแผ่นทองแดงรองเหนือแผ่นตะกั่ว.....	60
4.15 กราฟมาตรฐาน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ สูงสุด (kVp) ที่วัดจากเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และอัตราส่วนสัญญาณจาก ทีแอลดี (TLD ratio) จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น.....	62
4.16 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาครั้งค่าที่คำนวณได้จากเครื่องตรวจสอบคุณภาพ RMI กับค่าที่คำนวณได้จากชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น (Test kit)	64
4.17 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เอกซ์โพเชอร์ (mR) จากห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานและสัญญาณจาก ทีแอลดี 700 (TLD reading) ที่ฉายรังสี ณ ตำแหน่งเดียวกัน.....	66
4.18 แสดงการวางชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น (Test kit) ในแนวขนานกับแนว แอนโนด-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์ .....	70
4.19 แสดงการวางชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น (Test kit) ในแนวตั้งฉากกับแนว แอนโนด-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์ .....	71



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การนำเครื่องผลิตรังสีเอกซ์มาใช้ประโยชน์ในประเทศไทย เริ่มมาตั้งแต่ปี 2471 โดยเริ่มนำมาใช้ในการวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ ต่อมาได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านอื่น เช่น การรักษาโรคมะเร็ง การวินิจฉัยโรคฟัน การวินิจฉัยโรคสัตว์ นอกจากนี้ยังมีการนำเครื่องผลิตรังสีเอกซ์มาใช้ในการงานวิจัย งานด้านอุตสาหกรรม เช่นงานถ่ายภาพทางรังสีเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องของชิ้นงาน เป็นต้น รังสีเอกซ์อาจทำอันตรายกับผู้ที่เกี่ยวข้องได้ดังนั้นเพื่อควบคุมอันตรายดังกล่าว จึงมีประกาศแนบท้ายพระราชบัญญัติปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504 <sup>[1]</sup> ให้ผู้ใช้และครอบครองเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ต้องขออนุญาตใช้และผลิตรังสีเอกซ์ เริ่มมีการดูแลด้านความปลอดภัยของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ตามพระราชบัญญัติดังกล่าวในปี พ.ศ. 2512 โดยกองป้องกันอันตรายจากรังสี (ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นกองรังสีและเครื่องมือแพทย์) กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งมีหน้าที่ดูแลเรื่องความปลอดภัยทางรังสีของเครื่องและห้องเอกซเรย์ สำหรับเครื่องจะต้องมีรังสีรั่ว (Leakage radiation) ไม่เกิน 100 mR/hr ที่ระยะห่างจากโฟกัสของหลอดรังสีเอกซ์ 1 เมตร ตามข้อกำหนดของคณะกรรมการวิชาการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ(International Committee on Radiological Protection : ICRP <sup>[2]</sup>) ในส่วนของห้องที่ติดตั้งเครื่องผลิตรังสีเอกซ์มีการตรวจวัดระดับรังสี ด้านนอกของผนังห้องและประตูห้อง หากระดับของรังสีเกินข้อกำหนดของ ICRP จะต้องมีการแก้ไขโดยการเพิ่มความหนาของผนังห้องหรือบุผนังห้องด้วยตะกั่ว โดยทั่วไปหากผนังห้องก่ออิฐ ฉาบปูน จะต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร หากเลือกที่จะบุตะกั่วต้องใช้ตะกั่วหนาไม่ต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร สำหรับผนังด้านที่ป้องกันรังสีทุติยภูมิ (Secondary radiation) และบุตะกั่วหนาไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิเมตร สำหรับผนังด้านที่ป้องกันรังสีปฐมภูมิ (Primary radiation) ส่วนใหญ่ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ เป็นเครื่องที่ใช้งานด้านการวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ ซึ่งมีบุคลากรที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 ประเภท ประเภทที่หนึ่ง ได้แก่ แพทย์ ผู้ช่วยแพทย์ และเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมเครื่องกำเนิดรังสี ประเภทที่สอง ได้แก่ คนไข้ที่จะเข้ารับการวินิจฉัยโรคและประเภทที่สาม ได้แก่ประชาชนทั่วไปที่อยู่หรือผ่านเข้ามาในบริเวณห้องเอกซเรย์ บุคลากรประเภท ที่หนึ่ง ได้รับการคุ้มครองความปลอดภัยด้านรังสีจากการตรวจสอบให้บริเวณที่ปฏิบัติงานต้องมีระดับรังสีอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย แต่บุคลากรเหล่านี้มีโอกาสที่จะได้รับรังสีขณะปฏิบัติงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่นการจับคนไข้หรือต้องอยู่ในห้องเอกซเรย์จากเทคนิคการวินิจฉัยโรค แบบฟลูออโรสโคปี (Fluoroscopy) บุคลากรประเภทนี้ต้องใช้เครื่องวัดรังสีประจำบุคคลติดตัว เพื่อวัดระดับรังสีที่ได้รับขณะปฏิบัติงานโดยระดับรังสีที่ได้รับต้องไม่เกิน

ค่าโดสลิ้มิต (Dose limit)<sup>[3][4]</sup> ที่กำหนดโดย ICRP ในส่วนของห้องเอกซเรย์หากได้รับการตรวจสอบแล้วว่าปลอดภัย ดังนั้นบุคลากรประเภทที่สาม ได้แก่ ประชาชนทั่วไปที่อยู่ใกล้หรือผ่านเข้ามาในบริเวณดังกล่าวย่อมมีความปลอดภัยด้วย ส่วนบุคลากรประเภทที่สอง ได้แก่ คนไข้ไม่มีการกำหนดระดับปริมาณรังสีที่ได้รับขณะเข้ารับการตรวจวินิจฉัยหรือรักษาโรคด้วยรังสี เพียงแต่มีการกำหนดหลักการใช้รังสีที่เรียกว่า ALARA<sup>[5]</sup> (As low as reasonably achievable) โดยยึดหลักว่าให้ใช้ระดับปริมาณรังสีต่ำที่สุดเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์อย่างสมเหตุสมผลที่สุด คนไข้ควรได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุด เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวจึงได้มีการนำเอาระบบประกันคุณภาพ (Quality assurance : QA)<sup>[6]</sup> มาใช้ในงานวินิจฉัยโรคด้วยรังสีเอกซ์ โดยต้องการให้ภาพถ่ายทางรังสีมีคุณภาพเพียงพอต่อการวินิจฉัยโรคที่ต้องการ หากภาพถ่ายที่นำมาแปลผลมีคุณภาพไม่เพียงพอต่อการวินิจฉัยอาจทำให้ต้องมีการถ่ายภาพซ้ำอีก ทำให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ต้องเสียเวลา และเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม การวินิจฉัยที่ล่าช้าขึ้นอาจเป็นผลเสียต่อการรักษาโรคต่อไป กิจกรรมทั้งหลายในระบบ QA จะประกอบด้วยส่วนของการควบคุมคุณภาพ (Quality control : QC) ต่าง ๆ เช่น การควบคุมคุณภาพของขบวนการถ่ายภาพเอกซเรย์ซึ่งอาจแยกย่อยเป็นการควบคุมคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ การควบคุมคุณภาพของฟิล์มเอกซเรย์ และก๊อปปี้ฟิล์ม (Cassette) และการควบคุมคุณภาพขบวนการล้างฟิล์มเอกซเรย์ เป็นต้น นอกจากนี้ ระบบ QA ยังครอบคลุมถึงระบบการบริหารจัดการอีกด้วย

การควบคุมคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ จะต้องมีการควบคุมตัวประกอบทางเทคนิค (Technical factor) ที่สำคัญ 4 อย่าง คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดของหลอด กระแสที่จ่ายให้หลอดรังสีเอกซ์ เวลาในการฉายรังสี และระยะทางจากหลอดถึงฟิล์มเอกซเรย์ นอกจากนี้ตัวประกอบทางเทคนิคเหล่านี้แล้ว ยังมีตัวประกอบอื่น ๆ เช่น การกรองรังสี (Filtration) หรือความหนาครึ่งค่า (Half value layer : HVL) ซึ่งมีผลกับพลังงาน (Quality) ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับความจำเป็นในแง่ของการป้องกันอันตรายจากรังสีและการควบคุมคุณภาพ การตรวจสอบเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันจึงต้องดำเนินการตรวจสอบทั้งในแง่ของการป้องกันอันตรายจากรังสี และตรวจสอบคุณภาพของเครื่องควบคู่กันไป ตัวประกอบด้านคุณภาพที่จะตรวจสอบความถูกต้อง ได้แก่ค่า ความต่างศักย์สูงสุดของหลอด เวลาที่ใช้ในการฉายรังสี การกรองรังสี และเอกซ์โพเซอร์ที่ได้จากการฉายรังสี ตัวประกอบ 3 ตัวแรกจะได้รับการสอบเทียบ (Calibration) มาแล้วจากโรงงานผู้ผลิต หลังจากติดตั้งแล้วควรจะได้รับ การตรวจสอบและสอบเทียบใหม่จากบริษัทผู้ติดตั้งเนื่องจากเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งประสิทธิภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์จะลดลงอาจเนื่องจากวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ เสื่อมลงตามอายุการใช้งาน ค่าตัวประกอบทางเทคนิคอาจคลาดเคลื่อนไปจากจุดที่เคยสอบเทียบไว้ซึ่งความคลาดเคลื่อนเหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ซึ่งมาตรฐานของตัวประกอบทางเทคนิคบางค่าของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานระดับนานาชาติเปรียบเทียบกับของประเทศไทยเป็นดังนี้ สำนักงานอาหาร



และยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration : FDA) กำหนด ค่าความหนาครึ่งค่าของรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์สูงสุดของหลอด 80 กิโลโวลต์ ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 2.3 มิลลิเมตรของอะลูมิเนียม<sup>[7]</sup> (2.3 mm Al) ในขณะที่ประเทศไทยโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนดไว้ว่าต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 มิลลิเมตรของอะลูมิเนียม<sup>[8]</sup> (2.5 mm Al) สำหรับค่าความต่างศักย์สูงสุดของหลอด National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP)<sup>[9]</sup> ซึ่งเป็นหน่วยงานของสหรัฐอเมริกาได้ออกข้อแนะนำไว้ว่า ความต่างศักย์สูงสุดของหลอดจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ เมื่อตั้งที่ 80 กิโลโวลต์ (kV) ต้องแตกต่างจากค่าที่วัดได้จริงไม่เกินร้อยละ  $\pm 5$  แต่ประเทศไทยกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ  $\pm 10$  <sup>[8]</sup>

การตรวจสอบเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ที่ดำเนินการอยู่โดยกองรังสีและเครื่องมือแพทย์ ดำเนินการในสองส่วนคือด้านความปลอดภัยจากรังสีจะทำการตรวจสอบรังสีรั่วและรังสีสะท้อนจากหลอดรังสีเอกซ์ ตรวจสอบความสามารถในการกั้นรังสีของผนังและประตูห้องเอกซเรย์ ส่วนด้านคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ จะทำการตรวจสอบตัวประกอบเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ ความต่างศักย์สูงสุดของหลอด เวลาที่ตั้งในการฉายรังสี เอกซ์โพเชอร์ ความหนาครึ่งค่า ความเป็นเชิงเส้นของผลคูณระหว่างค่ากระแสหลอดกับเวลาที่ฉายรังสี (mAs) เป็นต้น ตัวประกอบทางเทคนิค 3 ตัวแรกสามารถตรวจสอบได้พร้อม ๆ กัน จากการฉายรังสีเพียงครั้งเดียวโดยใช้เครื่องวัดชนิดอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนความหนาครึ่งค่าตรวจสอบได้จากการฉายรังสีขณะไม่มีแผ่นกรองรังสีและมีแผ่นกรองรังสี ถึงแม้ว่าการตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดชนิดนี้จะมีความรวดเร็วแต่เครื่องมือดังกล่าวมีราคาค่อนข้างแพง ชุดละประมาณ 800,000 บาท จึงเป็นเรื่องยากและจะเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก หากเจ้าของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์จะจัดหาเครื่องมือเหล่านี้ไว้ใช้งานเอง ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพเหล่านี้จึงยังคงเป็นภารกิจของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ซึ่งต้องรับผิดชอบกับเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ทั่วประเทศจำนวนทั้งสิ้น 6,530 เครื่อง (พ.ศ. 2546) โดยสามารถตรวจสอบได้ประมาณปีละ 2,100 เครื่องหรือประมาณ 30 % เท่านั้น เนื่องจากมีบุคลากรไม่พอเพียงในการทำงานดังกล่าว การตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์อาจมีความจำเป็นต้องตรวจสอบทุกปีเนื่องจากผลการตรวจสอบดังกล่าวใช้เป็นเกณฑ์ในการต่อใบอนุญาตขอใช้และผลิตรังสีเอกซ์จากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ซึ่งต้องทำทุกปี

แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวอาจให้ภาคเอกชนซึ่งต้องได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้ามาดำเนินการตรวจสอบโดยเก็บค่าบริการ ซึ่งค่อนข้างมีปัญหาเนื่องจากราคาเครื่องมือ ค่าใช้จ่ายสูง ต้องเรียนรู้เทคนิคการตรวจ ทำให้ต้องลงทุนสูง

แนวทางอื่นอาจทำได้โดยใช้ชุดตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยที่สามารถส่งทางไปรษณีย์ให้ผู้ใช้นายรังสีตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้วส่งกลับคืนเพื่อวิเคราะห์ค่าตัวประกอบเทคนิคบางตัวที่กำหนดไว้ หากผลการวิเคราะห์ผ่านค่ามาตรฐาน ก็ถือว่าตรวจสอบผ่าน หากผลจากชุดตรวจสอบคุณภาพไม่ผ่านอาจต้องส่งชุดตรวจสอบคุณภาพไปตรวจสอบใหม่หรือใช้เจ้าหน้าที่ออกไปตรวจสอบแบบเดิม การตรวจสอบโดยใช้ชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นโดยการส่งทางไปรษณีย์เป็นการลดภาระการทำงานของเจ้าหน้าที่ หากต้องการตรวจเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ทั้งหมดทั่วประเทศก็อยู่ในวิสัยที่ทำได้ เพราะเจ้าหน้าที่ไม่จำเป็นต้องออกไปตรวจทั้งหมด อาจเลือกตรวจเฉพาะเครื่องที่ไม่ผ่านการทดสอบเท่านั้น ในประเทศสหรัฐอเมริกาก็นิยมส่งชุดตรวจค่าตัวประกอบทางเทคนิคต่างๆไปให้ผู้เป็นเจ้าของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ทางไปรษณีย์แล้วส่งกลับคืน เพื่อตรวจรับรอง (Audit) ตัวประกอบทางเทคนิคเช่น ความหนาครึ่งค่าหรือเพื่อการตรวจรับรองค่าปริมาณรังสีจากการถ่ายภาพเพื่อวินิจฉัยโรคที่เจ้าของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ต้องปิดประกาศให้ผู้เข้ารับการวินิจฉัยโรคทราบว่า จะได้รับรังสีปริมาณเท่าใดจากการถ่ายภาพรังสีเพื่อวินิจฉัยโรคนั้น<sup>[10]</sup>

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยสำหรับวัดค่า ความต่างศักย์สูงสุดของหลอด (kVp) ความหนาครึ่งค่า (HVL) และเอกซ์โพเชอร์ (Exposure) โดยใช้ เครื่องวัดรังสีชนิดเทอร์โมลูมิเนสเซนส์ (Thermoluminescent dosimeter :TLD)

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยชนิด 1 และ 3 เฟส (Phase) ระบบเรียงกระแสทั้งแบบ ฮาล์ฟเวฟและฟูลเวฟ (Half wave & Full wave rectifier) ตลอดจนเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดความถี่สูง

2. เพื่อวิเคราะห์ ความต่างศักย์สูงสุดของหลอด ความหนาครึ่งค่า และเอกซ์โพเชอร์

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องและวางแผนวิธีวิจัย
2. ออกแบบและสร้างชุดตรวจสอบคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัย
3. ทดสอบชุดตรวจสอบคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยที่พัฒนาขึ้น

4. ปรับปรุงและแก้ไขชุดตรวจสอบคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัย
5. สร้างกราฟการสอบเทียบ ความต่างศักย์สูงสุด ความหนาครึ่งค่า และเอกซ์โพเซอร์ กับเครื่องตรวจสอบคุณภาพมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
6. นำชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นไปวัดตัวประกอบเทคนิคทั้งสาม
7. วิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิค โดยใช้กราฟการสอบเทียบ เปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่วัดได้จากเครื่องตรวจสอบคุณภาพมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
8. สรุปผลการทดลองและเขียนงานวิจัย

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ชุดตรวจสอบคุณภาพที่สามารถตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์โดยไม่ต้องใช้เจ้าหน้าที่ออกไปตรวจสอบเอง ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ให้อยู่ในมาตรฐานได้มากยิ่งขึ้น

#### 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arnold F. Jacobson (ค.ศ.1982) <sup>[11]</sup> ได้ทำวิจัยเพื่อหาความต่างศักย์สูงสุดของหลอดรังสีเอกซ์โดยวัดจากความเข้มของรังสีโดยใช้ Rectifier diode เป็นหัววัดความเข้มของรังสีจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ผ่านแผ่นทองแดงที่มีความหนาแตกต่างกัน ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเลือกใช้แผ่นทองแดงที่มีความหนา 0.75 มม. และ 1.3 มม. จะให้ค่าความไว หรือ Output ratio ดีที่สุดในช่วง 60-150 kVp โดย Ratio ดังกล่าวไม่ขึ้นกับค่า การกรองรังสีและกระแสหลอด

สาโรจน์ ปริญญาภิ (ค.ศ.1989) <sup>[12]</sup> ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาเครื่องวัดกิโลโวลต์ฟิคแบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยโดยใช้แผ่นเรืองแสง (Fluoroscopic screen) รับลำรังสีเอกซ์ที่ผ่านแผ่นทองแดง ความหนาแตกต่างกัน (0.5 มิลลิเมตร และ 1.0 มิลลิเมตร) ใช้โฟโตไดโอด (Photodiode) วัดปริมาณแสงที่เกิดจากแผ่นเรืองแสงซึ่งมีความเข้มต่างกันเนื่องจากปริมาณรังสีที่ตกกระทบแผ่นเรืองแสงต่างกัน ปริมาณแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปของความต่างศักย์ ผลการวิจัยพบว่าอัตราส่วนของความต่างศักย์ที่ได้เป็นสัดส่วนกับความต่างศักย์สูงสุดของหลอดแต่ไม่ขึ้นกับกระแสหลอดและเมื่อได้ทำการสอบเทียบกับเครื่องผลิตรังสีเอกซ์มาตรฐานแล้วสามารถใช้เป็นเครื่องวัดกิโลโวลต์ฟิคแบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องเอกซเรย์วินิจฉัยได้

D.S. Arnold , A.D. Cotterill , M.C. Fitzgerald ( ค.ศ.1992) <sup>[13]</sup> ได้ทำวิจัยเพื่อหาแนวทางพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัย โดยทดลองใช้ ทีแอลดี ชนิด  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  ซึ่งเป็นทีแอลดีชนิดความไวสูงวัดความเข้มของรังสีที่ผ่านแผ่นทองแดงที่มีความหนาแตกต่างกัน ใช้ทีแอลดี 700 วัดความเข้มของรังสีที่ผ่านแผ่นอะลูมิเนียมและไม่ผ่านแผ่นอะลูมิเนียม ผลการวิจัยพบว่าอัตราส่วนของสัญญาณจากทีแอลดีชนิด  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  แปรผันกับความต่างศักย์สูงสุดของหลอดรังสีเอกซ์และสัญญาณของทีแอลดี 700 ที่ผ่านและไม่ผ่านแผ่นอะลูมิเนียมสามารถใช้หาความหนาครึ่งค่าของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ได้พร้อมกันจากการฉายรังสีครั้งเดียว ผลการทดลองนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพที่สามารถส่งทางไปรษณีย์เพื่อวัด ความต่างศักย์สูงสุด ความหนาครึ่งค่าและเอกซ์โพเซอรัของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ได้

L.A. De Werd , N.B. Chiu (ค.ศ. 1993) <sup>[10]</sup> ได้ทำการวิจัยเรื่องการหาเอกซ์โพเซอรัของการถ่ายภาพทางรังสีเพื่อวินิจฉัยโรคโดยใช้เครื่องวัดรังสีที่สามารถส่งทางไปรษณีย์ ต่อมาได้พัฒนาระบบการตรวจรับรองปริมาณเอกซ์โพเซอรัโดยใช้เครื่องวัดรังสีที่สามารถส่งทางไปรษณีย์เนื่องจากในสหรัฐอเมริกามีข้อกำหนดให้ผู้เป็นเจ้าของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ต้องปิดประกาศค่าเอกซ์โพเซอรัมาตรฐานเพื่อให้ผู้เข้ารับการถ่ายภาพรังสีเพื่อวินิจฉัยโรคทราบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### การวัดตัวประกอบเทคนิคของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยโดยใช้ ทีแอลดี

#### 2.1 รังสีเอกซ์

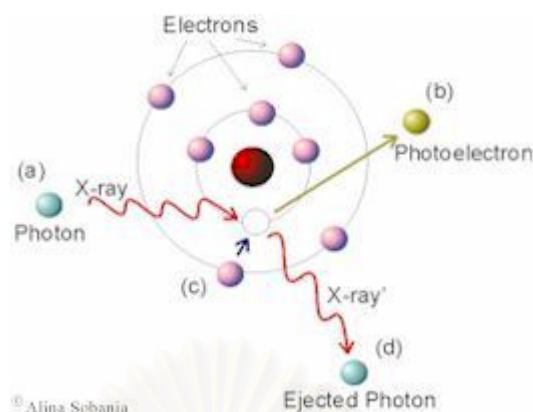
รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอนเนื่องจากการลดความเร็วเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสนามคูลอมป์ของนิวเคลียส เรียกรังสีเอกซ์ชนิดนี้ว่าเบรมสตราห์ลุง (Bremsstrahlung) มีลักษณะเป็นสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง (Continuous spectrum) รังสีเอกซ์ยังสามารถเกิดจากการเปลี่ยนชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนภายในวงโคจรชั้นในของอะตอมเรียกว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic x-rays หรือรังสีเอกซ์เรือง (Fluorescent x-rays) ซึ่งมีลักษณะเป็นสเปกตรัมแบบอนุกรมของพลังงานเดี่ยว (Line spectrum)

#### 2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลาง

อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลางมีลักษณะเช่นเดียวกับรังสีแกมมา รังสีทั้งสองนั้นมีคุณสมบัติเหมือนกันแต่แตกต่างกันที่แหล่งกำเนิดโดยรังสีแกมมานั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายในนิวเคลียส ส่วนรังสีเอกซ์นั้นเกิดที่ชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส ทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ประพฤติตัวเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค (Wave and particle duality) จึงเรียกชื่อรวมกันว่าโฟตอน (Photon) อันตรกิริยาของโฟตอนกับตัวกลางที่สำคัญได้แก่ การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric absorption) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการเกิดแพร์โพดักชัน (Pair production) ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

**2.2.1 การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก** เป็นปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรของอะตอมดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนไว้ทั้งหมดทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกไปจากอะตอม อะตอมสูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นไอออน ส่วนอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจากอะตอมเรียกว่าโฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) เนื่องจากอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่าง ๆ กัน หากอิเล็กตรอนชั้นในดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนและอิเล็กตรอนนั้นหลุดออกจากอะตอม ก็จะทำให้เกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าก็จะเข้าไปแทนที่พร้อมปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งก็คือรังสีเอกซ์เฉพาะตัวนั่นเอง

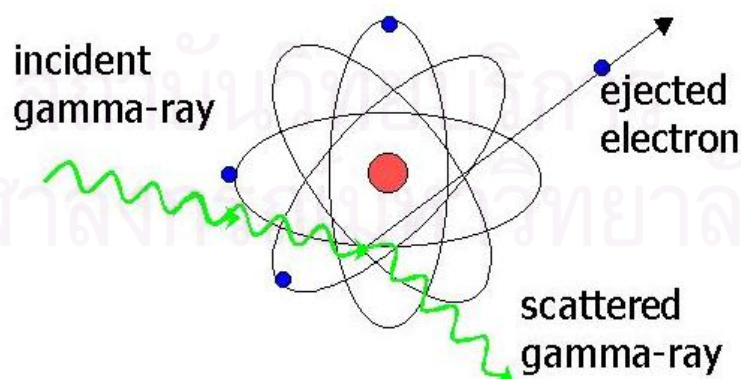




รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

โอกาสที่จะเกิดปรากฏการโฟโตอิเล็กทริกเมื่อโฟตอนที่เข้าชนมีพลังงานต่ำกว่า 0.5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ และส่วนมากมักเกิดกับธาตุที่มีค่าเลขอะตอมสูง

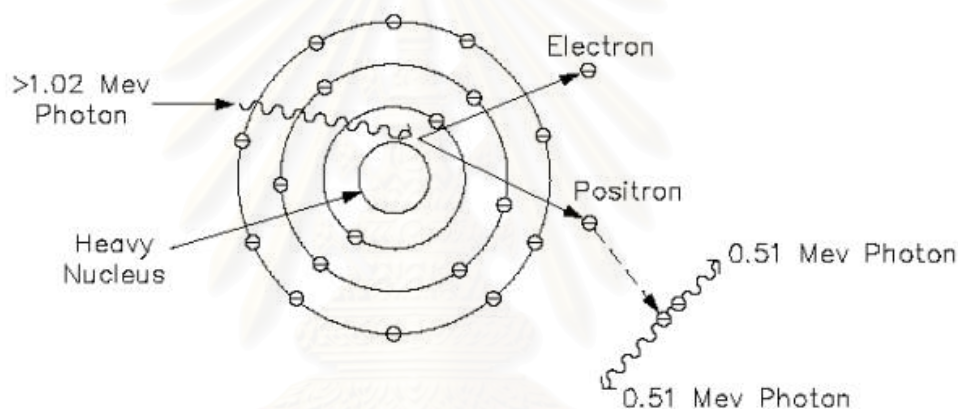
**2.2.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน** เป็นอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นนอก ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปจากอะตอม ส่วนโฟตอนยังคงมีพลังงานเหลืออยู่ และจะกระเจิงออกไปโดยมีพลังงานลด อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปเรียกว่าคอมป์ตันอิเล็กตรอน (Compton electron) ส่วนโฟตอนที่กระเจิงออกไปนั้นเนื่องจากมีพลังงานลดลงจึงอาจถูกดูดกลืนตามปรากฏการโฟโตอิเล็กทริกต่อไปได้อีก



รูปที่ 2.2 แสดงแผนภาพการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

โอกาสในการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันนั้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อโฟตอนที่เข้าชนมีพลังงานอยู่ระหว่าง 0.5 – 3 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

**2.2.3 การเกิดแพร์โฟดักชัน** เป็นอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนมีพลังงานมากกว่า 1.02 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ขึ้นไปและมักเกิดบริเวณใกล้นิวเคลียสของอะตอม พลังงานของโฟตอนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุภาคอิเล็กตรอนที่มีประจุลบและอนุภาคโพสิตรอนที่มีประจุบวก หากโฟตอนมีพลังงานมากกว่า 1.02 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ พลังงานส่วนเกินจะแบ่งเป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคทั้งสอง ซึ่งสามารถทำให้เกิดการแตกตัว (Ionization) ของตัวกลางที่อนุภาคผ่านไป เมื่ออนุภาคทั้งสองสูญเสียพลังงานไปจากกลับเข้ามารวมกันกลายเป็นปรากฏการณ์การลบล้าง (Annihilation) ได้โฟตอนที่มีพลังงาน 0.51 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งโฟตอนดังกล่าวจะไปทำให้เกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันและการดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริกต่อไปได้อีก



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภาพการเกิดแพร์โฟดักชัน

เมื่อรังสีเอกซ์ผ่านเข้าไปยังตัวกลางทำอันตรกิริยากับอะตอมของตัวกลาง ซึ่งอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นได้แก่ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการเกิดแพร์โฟดักชัน หรืออื่นๆโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาต่างๆของโฟตอนกับตัวกลางเหล่านี้จะขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ( $\mu / \rho$ ) การเกิดอันตรกิริยาต่างๆ ทำให้ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์มีค่าลดลง ซึ่งสามารถนิยามได้จากความสัมพันธ์ที่เป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) สำหรับโฟตอนพลังงานเดี่ยวดังนี้

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho)(x)} \quad (2.1)$$

เมื่อ $I$ คือ	ความเข้มของโฟตอนที่ผ่านตัวกลางออกมา
$I_0$ คือ	ความเข้มของโฟตอนที่เข้าชนกับตัวกลาง
$\mu$ คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น
$\rho$ คือ	ความหนาแน่นของตัวกลาง
$\mu/\rho$ คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล
$x$ คือ	ความหนาของตัวกลางในหน่วย มวลต่อพื้นที่

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล  $\mu/\rho$  เป็นค่าที่บอกถึงโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ ของโฟตอนกับตัวกลาง ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน หลักดังนี้

$$\mu/\rho = \mu_{pc}/\rho + \mu_c/\rho + \mu_{pp}/\rho \quad (2.2)$$

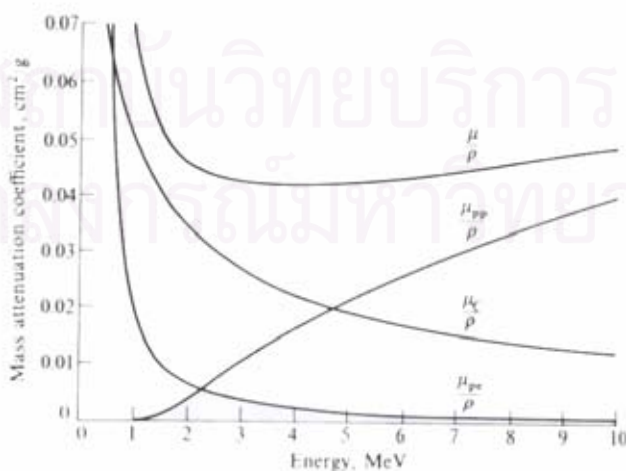
เมื่อ  $\mu/\rho$  คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวม

$\mu_{pc}/\rho$  คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของการเกิดโฟโตอิเล็กทริก

$\mu_c/\rho$  คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเชิงมวลของการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

$\mu_{pp}/\rho$  คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของการเกิดแพร์โพดักชัน

ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละค่าที่กล่าวมานั้น จะมีค่าเฉพาะขึ้นอยู่กับพลังงานของโฟตอนและเลขอะตอมของตัวกลางนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงพลังงานต่ำโดยเฉพาะในช่วงงานรังสีวินิจฉัยจะมีโอกาสเกิดขบวนการโฟโตอิเล็กทริกสูงกว่าอันตรกิริยาอื่น



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลต่างๆของตะกั่วที่พลังงานต่างๆของรังสีแกมมา



## 2.3 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์

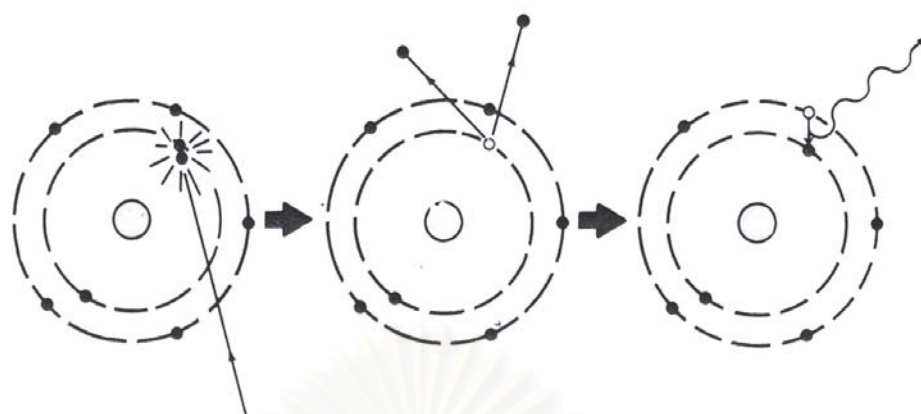
**2.3.1 รังสีเอกซ์เฉพาะตัว** มีแหล่งกำเนิดได้ 2 ชนิด ชนิดแรกจากจากต้นกำเนิดชนิดไอโซโทปรังสีสลายตัวแบบจับอิเล็กตรอน (Electron capture) หรือการสลายตัวให้รังสีบีตาหรือรังสีอัลฟาแล้วปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมาซึ่งมีลักษณะของสเปกตรัมเป็นแบบอนุกรมของพลังงานเดี่ยว ตัวอย่างไอโซโทปรังสีที่นำมาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสีบางชนิดที่ใช้กันโดยทั่วไป<sup>[14]</sup>

ไอโซโทปรังสี	ชนิดของการสลายตัว	ครึ่งชีวิต	รังสีเอกซ์ที่นำไปใช้ประโยชน์	
			แหล่งกำเนิด	พลังงาน (keV)
$^{55}_{26}\text{Fe}$	EC <sup>a</sup>	2.7 y	Mn K x-rays	5.9
$^{57}_{27}\text{Co}$	EC	270 d	Fe K x-rays	6.4
$^{109}_{48}\text{Cd}$	EC	1.3 y	Ag K x-rays	22
$^{125}_{53}\text{I}$	EC	60 d	Te K x-rays	27
$^{153}_{64}\text{Gd}$	EC	236 d	Eu K x-rays	42
$^{238}_{94}\text{Pu}$	$\alpha$	89.6 y	U L x-rays	15-17
$^{241}_{95}\text{Am}$	$\alpha$	470 y	Np L x-rays	11-22

EC<sup>a</sup> = Electron capture

แหล่งกำเนิดชนิดที่ 2 เกิดจากไอโซโทปทั่วไป หากได้รับพลังงานจากภายนอกที่มีค่าใกล้เคียงกับพลังงานยึดเหนี่ยว (Binding energy) ของอิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรต่าง ๆ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจรกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระและเกิดช่องว่างของพลังงานในชั้นที่อิเล็กตรอนหลุดออกไป อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรถัดไปจะเข้ามาแทนที่พร้อมคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปแบบของรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.5 พลังงานของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมาเป็นพลังงานเฉพาะค่ามีลักษณะของสเปกตรัมเป็นแบบอนุกรมของพลังงานเดี่ยวเหมือนไอโซโทปรังสีดังแสดงเป็นตัวอย่างใน ตารางที่ 2.2

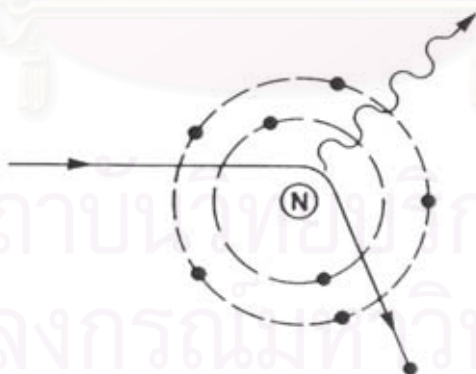


รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

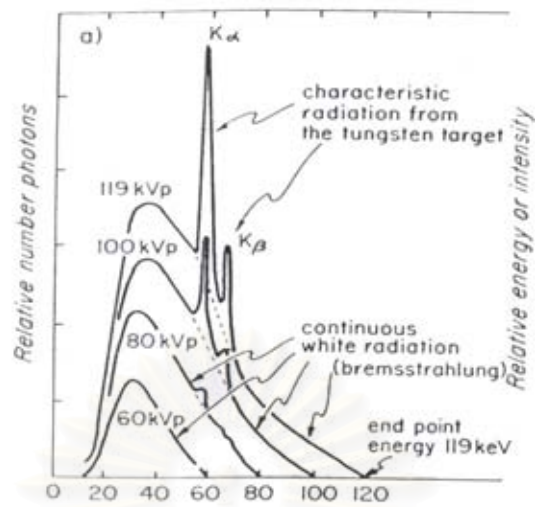
ตารางที่ 2.2 แสดงพลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว พลังงานยึดเหนี่ยวของชั้น K ของธาตุที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับงานรังสีวินิจฉัย<sup>[15] [16]</sup>

ธาตุ	เลขอะตอม	พลังงานยึดเหนี่ยว ชั้น K (keV)	พลังงานสูงสุดของรังสี เอกซ์เฉพาะตัวชั้น K (keV)
คาร์บอน	6	0.284	0.282
ไนโตรเจน	7	0.400	0.392
ออกซิเจน	8	0.532	0.523
อะลูมิเนียม	13	1.560	1.553
แคลเซียม	20	4.040	4.012
ทองแดง	29	8.980	8.976
ดีบุก	50	29.200	29.106
ไอโอดีน	53	33.164	33.016
แบเรียม	56	37.410	37.255
ทังสเตน	74	69.508	69.090
ตะกั่ว	82	88.001	87.343

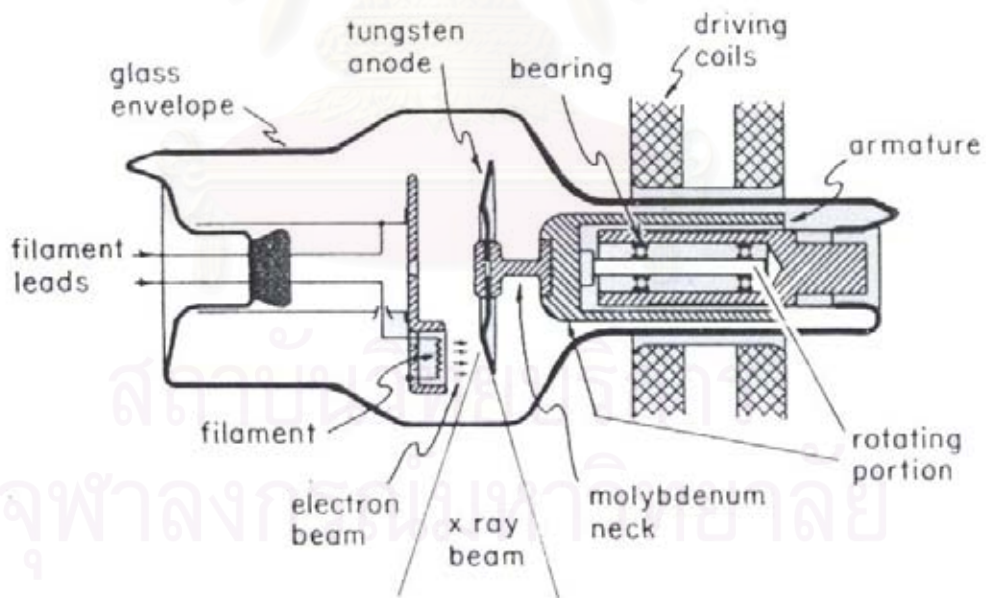
**2.3.2 รังสีเอกซ์ เบรมส์ตราห์ลุง (Bremsstrahlung)** รังสีเอกซ์ชนิดนี้มีแหล่งกำเนิดจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ โดยการเร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงขึ้นภายในหลอดสุญญากาศด้วยความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนด อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจะเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปชนเป้า (Target) ซึ่งเป็นขั้วแอโนด เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านสนามคูลอมป์ของนิวเคลียสดังแสดงในรูป 2.6 จะสูญเสียพลังงานจลน์ พลังงานที่สูญเสียไปส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นรังสีเอกซ์ พลังงานส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อน รังสีเอกซ์ที่เกิดจากขบวนการนี้จะมีสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง มีค่าของพลังงานต่อเนื่องจนถึงค่าสูงสุดของความต่างศักย์ ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกรังสีเอกซ์ชนิดนี้ว่า รังสีขาว (White radiation) เนื่องจากมีสเปกตรัมหลายช่วงพลังงานเหมือนแสงสว่างและเนื่องจากอิเล็กตรอนที่มากระทบเป้าของหลอดรังสีเอกซ์ที่ส่วนใหญ่ทำจากโลหะทั้งสแตน ดังนั้นจะมีรังสีเฉพาะตัวชั้น K ของทั้งสแตนปนออกมาด้วยเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เครื่องผลิตรังสีเอกซ์มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ส่วนแรกได้แก่ หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญได้แก่ขั้วแคโทดประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นไส้หลอด (Filament) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของอิเล็กตรอน และขั้วแอโนดประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเป้าซึ่งทำมาจากโลหะที่มีประสิทธิภาพสูงในการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาและทนความร้อนได้สูงด้วยเช่นกัน ส่วนที่สองได้แก่ระบบระบายความร้อน เนื่องจากร้อยละ 99 ของพลังงานที่เกิดขั้วแอโนดเป็นความร้อน มีเพียงประมาณร้อยละ 1 เท่านั้นที่เป็นรังสีเอกซ์ ส่วนที่สามได้แก่ระบบการเร่งพลังงานของอิเล็กตรอนโดยแหล่งจ่ายความต่างศักย์สูงระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพการเกิดรังสีเอกซ์ เบรมส์ตราห์ลุง



รูปที่ 2.7 แสดงสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากเป้าทังสเตนที่ความต่างศักย์สูงสุดต่างๆ



รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพของหลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในงานรังสีวินิจฉัย ชนิดเป้าหมุนได้

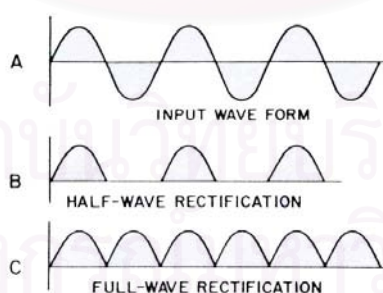
## 2.4 ชนิดของระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูงของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์<sup>[17]</sup>

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์นอกจากหลอดรังสีเอกซ์แล้วยังประกอบด้วยระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูงให้กับขั้วแอโนดและแคโทดเพื่อเร่งอิเล็กตรอนเข้าชนเป้าที่ขั้วแอโนด ชนิดของระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูงของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยอาจแบ่งได้ดังนี้

**2.4.1 ชนิดคอนเวนชันแนล (Conventional)** โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เพิ่มความต่างศักย์ให้สูงขึ้น แล้วใช้ตัวเรียงกระแส (Rectifier) เปลี่ยนกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ระบบนี้ยังแยกย่อยออกมาได้อีก 3 ประเภทดังนี้

**2.4.1.1 ระบบ 1 เฟส ฮาล์ฟเวฟ (1 Phase half wave) หรือ 1 PH** ระบบนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิด 1 เฟส หลังจากผ่านระบบการเพิ่มความต่างศักย์แล้วใช้ตัวเรียงกระแสเปลี่ยนกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงชนิด ฮาล์ฟเวฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 B เครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพต่ำนิยมใช้งานที่ใช้กำลังน้อยปัจจุบันยังคงใช้สำหรับเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยโรคฟัน

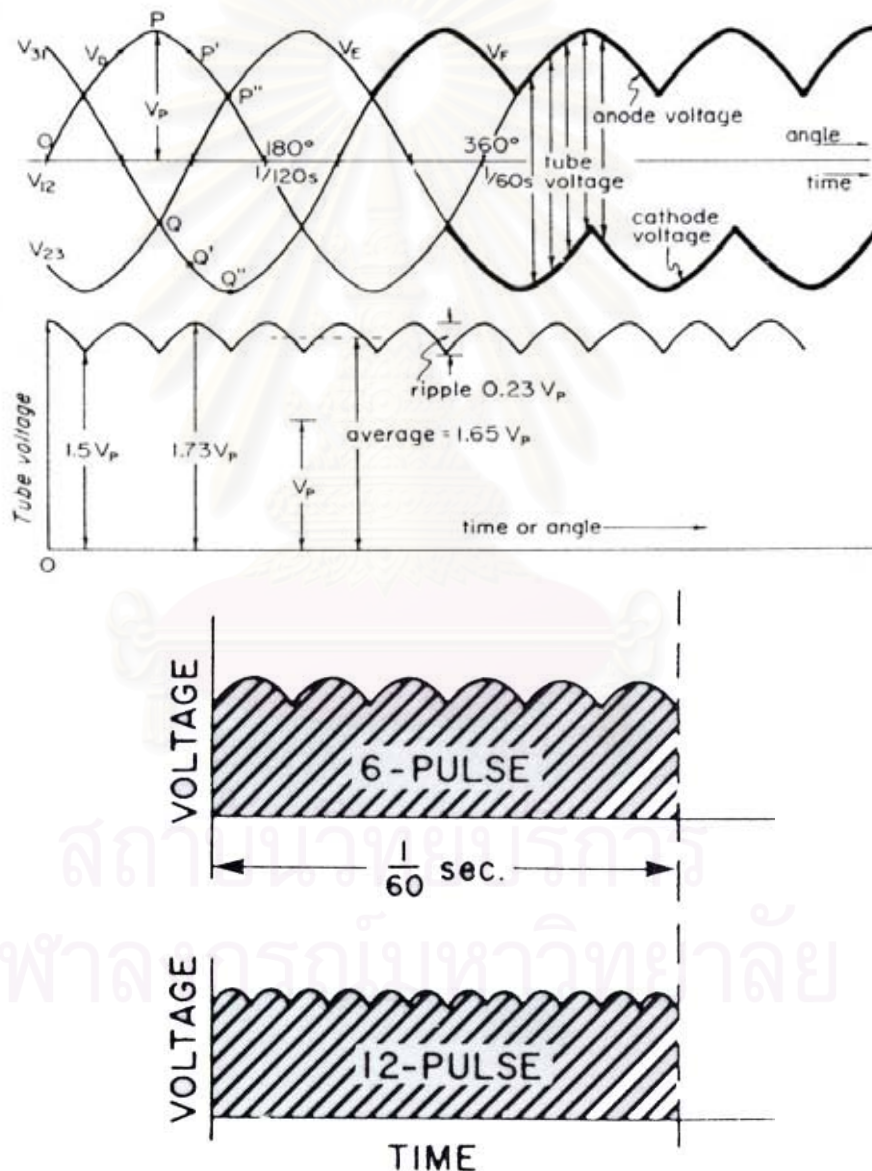
**2.4.1.2 ระบบ 1 เฟส ฟูลเวฟ (1 Phase full wave) หรือ 1 PF** ระบบนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิด 1 เฟส หลังจากผ่านระบบการเพิ่มความต่างศักย์แล้วใช้ตัวเรียงกระแสที่แตกต่างจากระบบ 1 PH จะได้ กระแสตรงชนิด ฟูลเวฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 C เช่นกันเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพดีกว่าชนิด 1 PH ปัจจุบันยังคงใช้สำหรับวินิจฉัยโรคทั่วไป ข้อเสียของเครื่องระบบนี้คล้ายกับระบบ 1 PH ที่ให้รังสีเอกซ์ในช่วงพลังงานต่ำค่อนข้างมากเนื่องจากความไม่คงที่ของความต่างศักย์



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะรูปแบบของคลื่น ความต่างศักย์ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 1PH และ 1PF



**2.4.1.3 ระบบ 3 เฟส 6 หรือ 12 พัลส์ (3 Phase 6 or 12 pulse) หรือ 3P6 3P12** ระบบนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิด 3 เฟส หลังจากผ่านระบบการเพิ่มความต่างศักย์แล้วใช้ตัวเรียงกระแสที่แตกต่างจากระบบ 1 PF จะได้ กระแสตรงชนิด 6 หรือ 12 พัลส์ ต่อบรรจุ แสดงในรูปที่ 2.10 เครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพดีกว่าชนิด 1 PH หรือ 1 PF ความต่างศักย์ที่ได้มีค่าค่อนข้างคงที่ และค่าเฉลี่ยจะเข้าใกล้ความต่างศักย์สูงสุดมากกว่าระบบ 1 PH หรือ 1 PF ระบบเครื่องมีประสิทธิภาพสูงสามารถจ่ายกระแสหลอดได้สูง สามารถถ่ายภาพในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ทำให้ลดปัญหาภาพถ่ายทางรังสีไม่ชัดเจนจากการเคลื่อนไหวของอวัยวะ

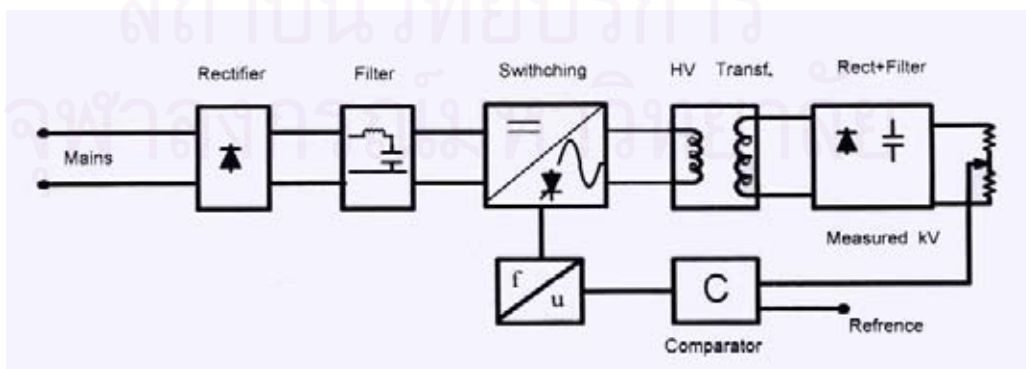


รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะรูปแบบของคลื่น ความต่างศักย์ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 3 P6 และ 3 P12

**2.4.1.4 ระบบ คาปาซิเตอร์ ดิสชาร์จ (Capacitor discharge)** ระบบนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิด 1 เฟส หลังจากผ่านระบบการเพิ่มความต่างศักย์แล้วใช้ตัวเรียงกระแสที่เหมือนกับระบบ 1 PF เพียงแต่ใช้ตัวเก็บประจุ หรือ คาปาซิเตอร์ เข้าไปแทนที่ หลอดรังสีเอกซ์ของระบบกรองกระแสโดยให้ตัวเก็บประจุจ่ายกระแสให้หลอดรังสีเอกซ์โดยตรง ซึ่งยังมีข้อเสียที่ต้องรอเวลาในการเก็บประจุให้ตัวเก็บประจุ (Charge) และหลังจากเริ่มคายประจุ (Discharge) ความต่างศักย์จะมีค่าลดลง ทำให้รูปแบบของความต่างศักย์คล้ายกับระบบ 1 PF เครื่องผลิตรังสีเอกซ์ระบบนี้ให้กำลังไม่สูงมากนัก นิยมผลิตเป็นเครื่องที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile)

**2.4.2 ระบบความต่างศักย์คงที่ (Constant potential generator) หรือ CP** ระบบนี้ นำมาใช้กับเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด อินเตอร์คอนเวนชันแนล (Interconventional) หรือชนิดเครื่องเอกซเรย์หลอดเลือดคอมพิวเตอร์ (Digital subtraction angiography : DSA) ซึ่งต้องการความคงตัว (Consistency) และความเที่ยงตรง (Reproducibility) ของความต่างศักย์สูงสุด นอกจากระบบการใช้ตัวเรียงกระแสแล้วยังมีระบบการป้อนย้อนกลับ (Feed back) เพื่อควบคุมความผิดปกติของทั้งความต่างศักย์และกระแสในวงจร ทำให้การเปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรงได้ดีและรวดเร็วยิ่งขึ้น ความคงตัวและความเที่ยงตรงของความต่างศักย์สูงสุดทำให้สามารถถ่ายภาพได้หลายภาพในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งระบบ ธรรมดาไม่สามารถทำได้

**2.4.3 ระบบความถี่สูง (High frequency) หรือ HF** ระบบนี้จะให้กำลังสูง สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟชนิด 1 หรือ 3 เฟส ระบบประกอบด้วย การเปลี่ยนจากระบบกระแสสลับเป็นกระแสตรงโดยใช้ตัวเรียงกระแส หลังจากนั้นจะผ่านเข้าระบบสวิตซ์ซึ่งเปลี่ยนระบบกระแสตรงให้เป็นระบบกระแสสลับที่มีความถี่สูงถึง 10 กิโลเฮิร์ต แล้วเข้าสู่ระบบเพิ่มความต่างศักย์โดยใช้หม้อแปลงชนิดความถี่สูง หลังจากนั้นใช้ตัวเรียงกระแสเปลี่ยนกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงอีกครั้ง ดังแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 2.11 ความต่างศักย์เฉลี่ยของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ระบบนี้จะมีค่าเข้าใกล้ความต่างศักย์สูงสุดมากกว่าระบบ 1PH หรือ 1PF



รูปที่2.11 แสดงแผนภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดความถี่สูง<sup>[17]</sup>

ความสามารถในการเรียงกระแสทำให้เป็นกระแสตรง โดยปรับความเรียบของลักษณะรูปแบบของคลื่นจะนิยามด้วยค่า **Ripple factor ( r )** <sup>[17]</sup> โดยกำหนดให้

$$r = (V_{\text{peak}} - V_{\text{min}}) / (V_{\text{peak}}) \times 100$$

เมื่อ  $V_{\text{min}}$  = ความต่างศักย์ต่ำสุด

$V_{\text{peak}}$  = ความต่างศักย์สูงสุด

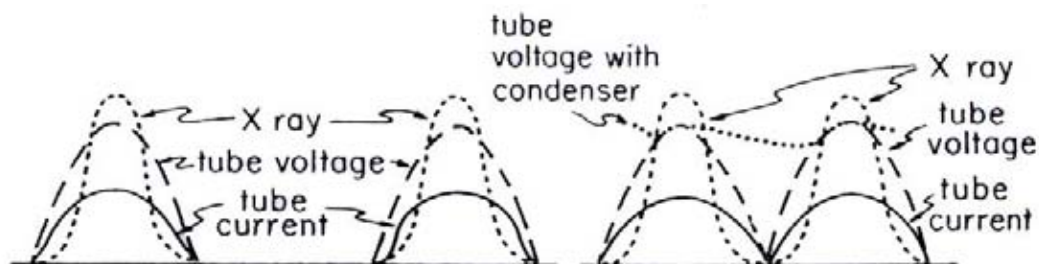
ค่า Ripple factor ที่มีค่าน้อยแสดงว่ารูปแบบของคลื่นมีความเรียบมากกว่า ซึ่งค่า Ripple factor ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดต่างๆแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าค่า Ripple factor ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดต่างๆ <sup>[17]</sup>

ชนิดของเครื่อง	ร้อยละของ Ripple factor ทางทฤษฎี	ร้อยละของ Ripple factor ที่เป็นไปได้
1 PH	100	100
1PF	100	100
3P6	13.4	25
3P12	3.4	10
CP	-	10
HF	-	4

ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์จะสอดคล้องกับค่าของความต่างศักย์เฉลี่ยและค่าของกระแส ตามรูปที่ 2.12 ดังนั้นที่ความต่างศักย์สูงสุดเดียวกันถ้าพิจารณาเฉพาะระบบการเรียงกระแสตรงอย่างเดียว เครื่องผลิตรังสีเอกซ์ที่มีระบบการเรียงกระแสตรงได้ดีกว่าจะผลิตรังสีเอกซ์ที่มีความเข้มมากกว่า เช่น ระบบ 1PF ได้ความเข้มของรังสีมากกว่าระบบ 1PH ระบบ HF ได้ความเข้มมากกว่าระบบ 1PF



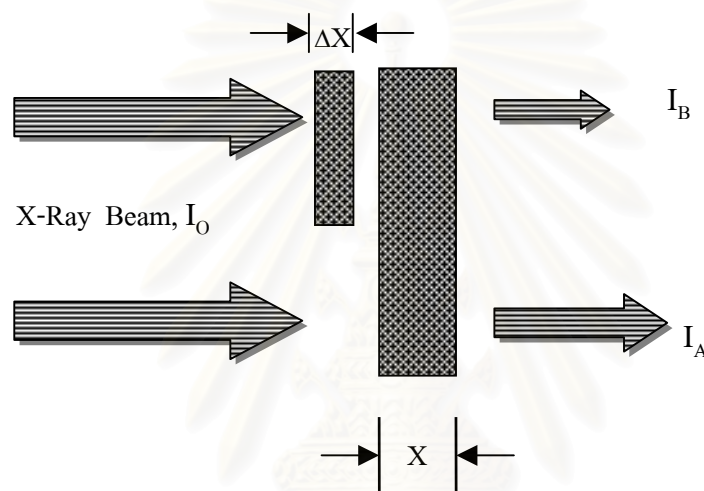


รูปที่ 2.12 แสดงความเข้มของรังสีเอกซ์ จากระบบเรียงกระแสตรงแบบ ฮาล์ฟเวฟและฟูลเวฟ

## 2.5 การวัดความต่างศักย์สูงสุด [18]

ความต่างศักย์สูงสุดของหลอด เป็นปริมาณสำคัญที่มีความสำคัญมากตัวหนึ่งที่ต้องมีการวัดเพราะเป็นปริมาณที่สัมพันธ์กับคุณภาพหรือพลังงานของรังสีเอกซ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ ความเปรียบต่าง (Contrast) และความดำที่ปรากฏบนฟิล์ม เมื่อความต่างศักย์สูงสุดของหลอดสูงขึ้นพลังงานของรังสีเอกซ์จะสูงขึ้นด้วย ในขณะที่ปริมาณรังสีที่คนไข้ได้รับความเปรียบต่าง และความดำของฟิล์มกลับมีค่าลดลง แต่ผลจะกลับกันหากความต่างศักย์สูงสุดของหลอดต่ำลง การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์สูงสุดของหลอดไป 2-3 กิโลโวลต์ จะทำให้ความดำของฟิล์มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ<sup>[6]</sup> แต่สำหรับความเปรียบต่างการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์สูงสุดของหลอดต้องมากกว่านี้จึงจะมีผล ความต่างศักย์สูงสุดของหลอดที่น้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ เช่น ตั้งค่าไว้ที่ 70 กิโลโวลต์แต่วัดได้เพียง 60 กิโลโวลต์ คนไข้จะได้รับปริมาณรังสีมากขึ้นเนื่องจากถ้าความต่างศักย์สูงสุดของหลอดต่ำจะมีรังสีเอกซ์ช่วงพลังงานต่ำที่ร่างกายดูดกลืนได้มากกว่าช่วงพลังงานสูง วิธีการวัดค่าความต่างศักย์สูงสุดของหลอดของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ สามารถกระทำได้หลายวิธีโดยใช้เครื่องมือที่แตกต่างกัน แต่ละวิธีมีความยุ่งยาก ข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันออกไป หากจำแนกตามลักษณะการวัดจะแยกได้ 2 วิธี วิธีแรกเรียกอินวาซีฟ (Invasive method) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าเครื่องแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage divider) เข้าไปต่อกับวงจรด้านแรงดันไฟฟ้าสูงของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ วิธีนี้มีข้อดีคือให้ความถูกต้องแม่นยำสูง สามารถต่อเครื่องวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้า (Oscilloscope) เพื่อดูลักษณะของรูปแบบคลื่น (Wave form) ได้ทันที แต่ก็มีความเสี่ยงที่ต้องมีการต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้าไปเชื่อมต่อกับเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ อาจมีอันตรายจากไฟฟ้าแรงดันสูงต้องมีการหยุดการทำงานของเครื่องเพื่อต่อวงจร ดังนั้นจึงนิยมใช้ในโรงงานผู้ผลิต ซ่อมบำรุงหรือการสอบเทียบ วิธีที่สองเรียกนอนอินวาซีฟ (Non-invasive method) เป็นวิธีการที่ไม่มีการเข้าไปรบกวนการทำงานของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์แต่จะใช้วิธีวิเคราะห์ลำรังสี อาจวิเคราะห์โดยตรงด้วยเครื่องมือวิเคราะห์พลังงานหลายช่อง (Multi-channel-analyzer : MCA) หรือวิเคราะห์ลำรังสีที่ผ่านแผ่นกรองรังสีโดยใช้แผ่นกรองรังสีที่มีลักษณะเป็นลิ้มขั้นบันได

(Step wedge) วางบนฟิล์มเอกซเรย์แล้ววิเคราะห์จากค่าความดำที่ปรากฏบนฟิล์ม เครื่องมือชนิดนี้ นิยมเรียกชื่อตามผู้ผลิต เช่นอาร์ดราน-คูก (Ardran-Cooks cassette) หรือวิสคอนซินเทสคาสเซ็ท (Wisconsin test cassette) ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัย วิสคอนซิน เป็นต้น เครื่องมือชนิดนี้มีข้อดีที่ ราคาค่อนข้างถูก แต่ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมใช้แล้วเนื่องจากขบวนการวิเคราะห์ยุ่งยาก ต้องใช้ เวลาปัจจุบันนิยมใช้เครื่องมือระบบอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้หัววัดรังสีชนิดกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่นซีเซียมไอโอได (CsI) วิเคราะห์ความเข้มลำรังสีที่ผ่านแผ่นกรองรังสีชนิดเดียวกันแต่ความหนาแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.13 อัตราส่วนความเข้มที่ผ่านแผ่นกรองรังสีทั้งสอง จะแปรผันตามความต่างศักย์สูงสุดซึ่งอธิบายด้วยหลักการดังนี้



รูปที่ 2.13 แสดงความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผ่านแผ่นกรองความหนาไม่เท่ากัน

ลำรังสีความเข้ม  $I_0$  ทะลุผ่านแผ่นกรองรังสีความหนา  $X$  และ  $X+\Delta X$  สำหรับรังสีพลังงานเดียว (Monoenergetic) เมื่อผ่านตัวกลางใด ๆ ความเข้มจะลดลงตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) คือ

$$I_t = I_0 e^{-\mu x}$$

เมื่อ  $I_0$  คือ ความเข้มของรังสีก่อนผ่านแผ่นกรองรังสี

$I_t$  คือ ความเข้มของรังสีหลังผ่านแผ่นกรองรังสี

$\mu$  คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น

$x$  คือ ความหนาของตัวกลาง

ดังนั้นจะได้

$$I_A = I_0 e^{-\mu x}$$

$$I_B = I_0 e^{-\mu(x+\Delta x)}$$

จะได้

$$\frac{I_A}{I_B} = e^{\mu \Delta x}$$

หรือ

$$\ln \frac{I_A}{I_B} = \mu \Delta x$$

เนื่องจาก  $\Delta x$  มีค่าคงที่ ดังนั้น  $\ln \frac{I_A}{I_B}$  จะเป็นฟังก์ชันของ  $\mu$

กำหนดให้  $c_1$  เป็นตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ (Mathematical operator) ดังนั้นสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{I_A}{I_B} = c_1 \mu$$

แต่เนื่องจาก  $\mu$  ขึ้นกับ  $kV_p$  และ กำหนดให้  $c_2$  เป็นตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ ดังนั้น

$$\frac{I_A}{I_B} = c_2 kV_p \dots\dots\dots(2.3)$$

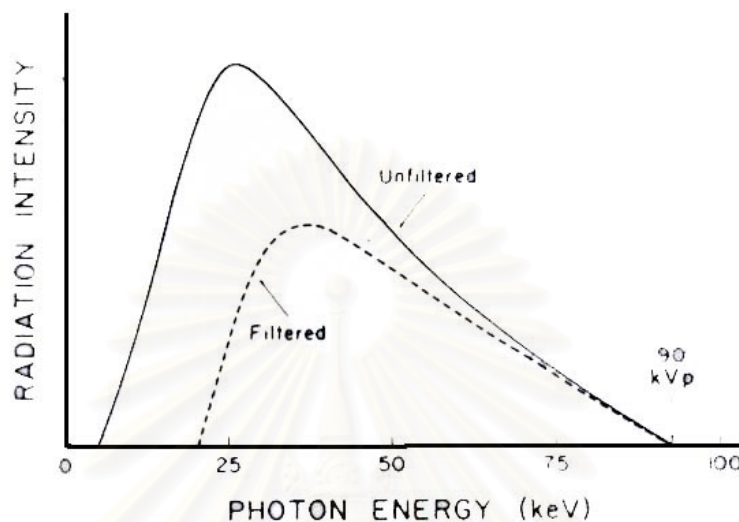
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าเมื่อพลังงานของรังสีสูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายความว่าปริมาณความเข้มของรังสีที่ผ่านออกมามีค่ามากขึ้นและจากสมการที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อความต่างศักย์ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์สูงขึ้น อัตราส่วนของความเข้มรังสีที่ผ่านแผ่นกรองทั้งสองแผ่นจะมีค่าสูงขึ้น

## 2.6 การวัดความหนาครึ่งค่า [ 19 ]

เนื่องจากลำรังสีเอกซ์ประกอบด้วยโฟตอนที่มีพลังงานแบบต่อเนื่อง ค่าพลังงานสูงสุดของโฟตอนในลำรังสีเอกซ์ขึ้นอยู่กับความต่างศักย์สูงสุด โดยมีค่าพลังงานเฉลี่ยของลำรังสีจะอยู่ในช่วงประมาณหนึ่งในสามถึงหนึ่งในสองของค่าพลังงานสูงสุดของโฟตอนในลำรังสี เมื่อให้ลำรังสีผ่านไปยังวัตถุ รังสีจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งในแง่ของจำนวนโฟตอนและพลังงานของลำรังสี กล่าวคือ

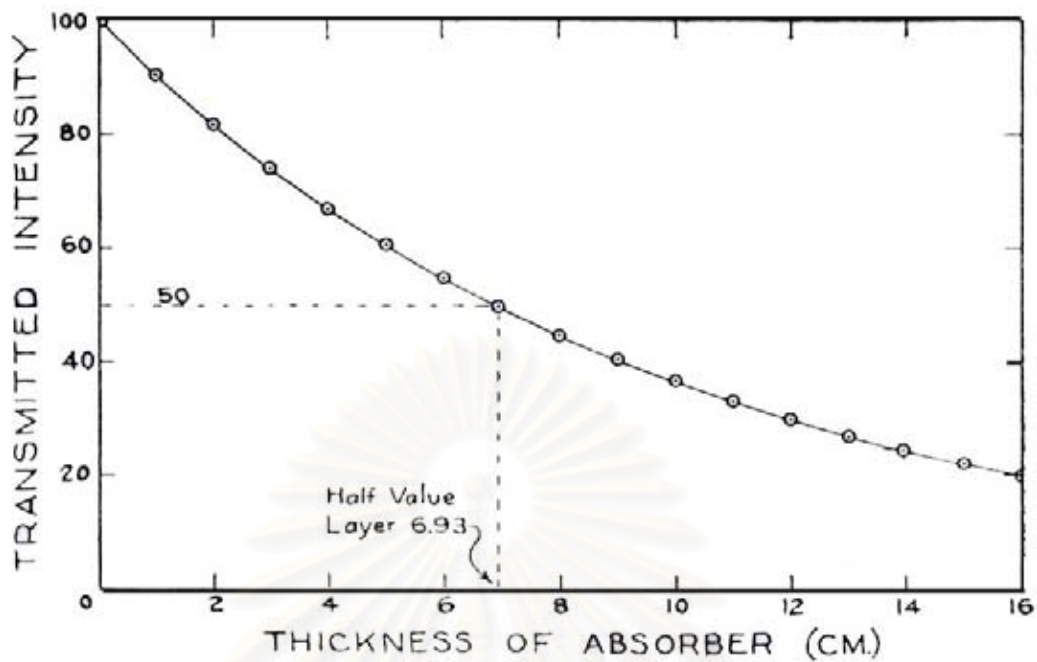
- ปริมาณของรังสีลดลงเนื่องจากโฟตอนบางส่วนชนกับอนุภาคของวัตถุทำให้เบี่ยงเบนไปจากทิศทางเดิม หรือถูกวัตถุดูดกลืนไว้

- คุณภาพหรือพลังงานของลำรังสีสูงขึ้น เนื่องจากโฟตอนพลังงานต่ำ จะถูกวัตถุดูดกลืนได้มากกว่าโฟตอนพลังงานสูง ผลจากกระบวนการนี้ทำให้มีโฟตอนพลังงานต่ำในลำรังสีน้อยลงเป็นผลให้ค่าพลังงานเฉลี่ยของลำรังสีสูงขึ้นจากเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เมื่อมีการกรองรังสีและไม่มีการกรองรังสี

การพิจารณา คุณภาพหรือพลังงานของรังสีเอกซ์อาจพิจารณาจากสเปกตรัมแล้วบอกพลังงานในรูปของความต่างศักย์สูงสุด หรือบอกในรูปของพลังงานยังผล (Effective energy) มีหน่วยเป็น กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ( keV ) ในทางปฏิบัติการบอกคุณภาพของลำรังสีเอกซ์ จะใช้ปริมาณที่เรียกว่า ความหนาครึ่งค่า ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่สามารถกั้นรังสีเอกซ์ จนมีความเข้มลดลงจากเดิมครึ่งหนึ่ง ในงานรังสีวินิจฉัยนิยมบอกค่าความหนาครึ่งค่า ด้วยความหนาเป็นมิลลิเมตรของ อะลูมิเนียม (mm Al) หรือ มิลลิเมตรของทองแดง (mm Cu) โดยเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ความต่างศักย์สูงสุดต่ำกว่า 120 กิโลโวลต์ กำหนดความหนาครึ่งค่าเป็นมิลลิเมตรของอะลูมิเนียม หากความต่างศักย์สูงสุดที่มากกว่า 120 กิโลโวลต์ ขึ้นไปกำหนดเป็นมิลลิเมตรของทองแดง วิธีการวัดความหนาครึ่งค่าทำได้โดยใช้เครื่องวัดรังสีวัดความเข้มของลำรังสีที่ไม่ผ่านแผ่นกรองรังสี ( $I_0$ ) และวัดความเข้มของลำรังสีที่ผ่านแผ่นกรองรังสีความหนาต่างๆ ( $I_f$ ) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีที่วัดได้กับความหนาของแผ่นกรองรังสี จากกราฟหาค่าของความหนาที่ทำให้ความเข้มลดลงครึ่งหนึ่งของความเข้มที่ไม่ผ่านกรองรังสี ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีที่ผ่านแผ่นกรองรังสีกับความหนาของแผ่นกรองรังสี และแสดงการหาความหนาครึ่งค่า

ปัจจุบันการเขียนกราฟโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเช่นเอกเซล (Excel) จะมีความสะดวกมากกว่า หลังจากการเขียนกราฟแล้วใช้โปรแกรมเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีที่ผ่านแผ่นกรอง (Y) กับความหนาของแผ่นกรองรังสี (X) โดยมีรูปของสมการเป็น

$$Y = Ae^{-ax}$$

a เป็นค่าคงที่

A เป็นค่าคงที่ ที่มีค่าใกล้เคียงกับ  $I_0$

x เป็นความหนาของแผ่นกรองรังสี

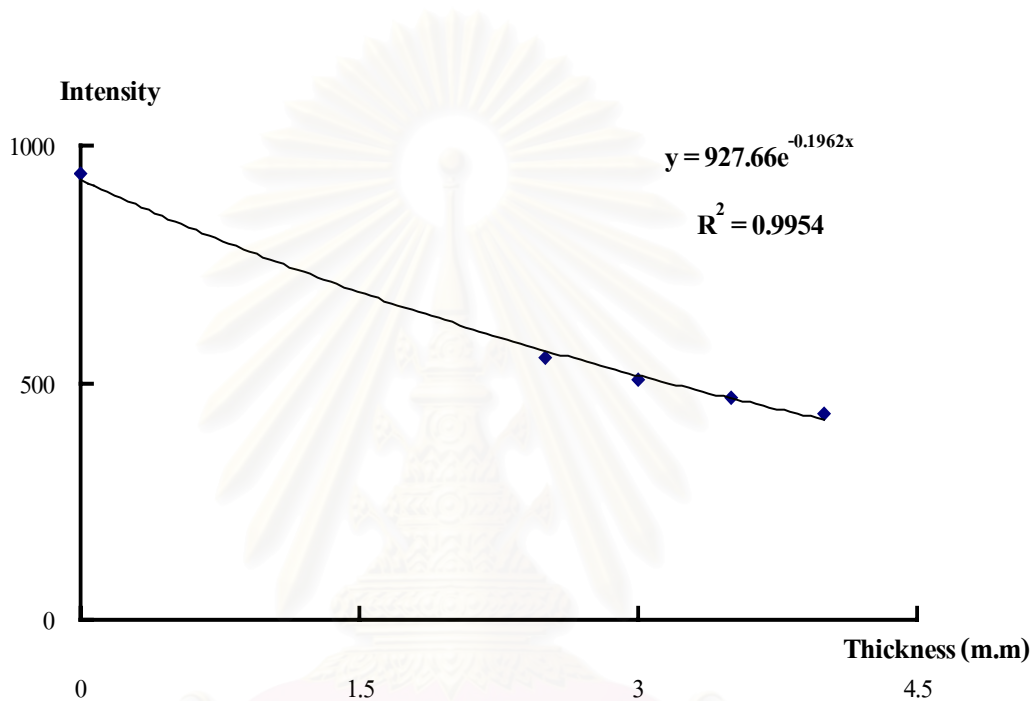
Y เป็นความเข้มของรังสีที่ผ่านแผ่นกรองความหนาใดๆ

สามารถแก้สมการหาความหนาของแผ่นกรองได้โดย

$$x = \frac{\left[ \ln\left(\frac{A}{Y}\right) \right]}{a}$$

สำหรับความหนาครึ่งค่า ซึ่งเป็นความหนาที่ทำให้ความเข้มของรังสีลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของความเข้มที่ไม่ได้ผ่านแผ่นกรองรังสี ( $I_0$ ) ดังนั้น สามารถหาความหนาครึ่งค่าได้ดังนี้

$$X(\text{HVL}) = \frac{\left[ \ln\left(\frac{A}{I_0/2}\right) \right]}{a} \dots\dots\dots(2.4)$$



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีและความหนาของแผ่นกรองรังสี และสมการของความสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเอกเซล

แต่ในทางปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยที่ดำเนินการโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์<sup>[19]</sup> จะใช้วิธีการคำนวณจากค่าที่ทราบสองตำแหน่ง (Two point method) โดยใช้เครื่องวัดรังสีวัดค่าความเข้มของรังสีที่ไม่ผ่านแผ่นกรองรังสี ( $I_0$ ) หลังจากนั้นใช้เครื่องวัดรังสีวัดความเข้มเมื่อมีแผ่นกรองรังสี ( $I_t$ ) หาก  $I_t$  มีค่าไม่ใกล้เคียงกับ  $I_0/2$  ให้เปลี่ยนแผ่นกรองรังสีใหม่ และวัดค่าความเข้มของรังสีใหม่อีกจนกว่า  $I_t$  มีค่าใกล้เคียงกับ  $I_0/2$  นำค่าความหนา (d) ของแผ่นกรองรังสีมาคำนวณหาความหนาครึ่งค่าดังนี้



จาก 
$$I_t = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\therefore \ln \frac{I_t}{I_0} = -\mu x \dots\dots\dots (a)$$

เมื่อ 
$$\frac{I_t}{I_0} = 0.5$$

x จะเท่ากับ HVL

$$\therefore \ln(0.5) = -\mu(\text{HVL}) \dots\dots\dots (b)$$

นำ (b) / (a) จะได้

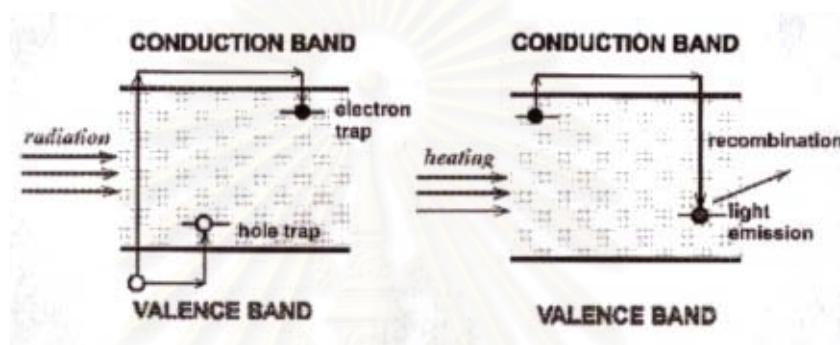
$$\text{HVL} = x \frac{[\ln(0.5)]}{[\ln(I_t/I_0)]} \dots\dots\dots(2.5)$$

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นว่าใช้ค่าความเข้มของรังสีที่วัดเพียง 2 ค่าเท่านั้นที่นำมาคำนวณ วิธีดังกล่าวนี้จะให้ผลถูกต้องมากที่สุดเมื่อเลือกความหนา x ที่สามารถกั้นรังสีให้เหลือประมาณครึ่งหนึ่งของความเข้มเมื่อไม่ได้ใช้แผ่นกรองรังสี

## 2.7 สารวัดรังสี เทอร์โมลูมิเนสเซนส์ (Thermoluminescent dosimeter : TLD) [20]

ทีแอลดี เป็นผลึกของสารประกอบบางชนิดเมื่อใส่สารเจือปน (impurities) หรือเรียกว่าการโด๊ป (Dope) เข้าไปในโครงสร้างของสารประกอบเหล่านี้ เช่น  $\text{LiF (Mg,Ti)}$   $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{ (Mn)}$  ,  $\text{Ca F}_2\text{ (Dy)}$  ,  $\text{CaF}_2\text{ (Mn)}$  หรือ  $\text{CaSO}_4\text{ (Dy)}$  เป็นต้น โดยธาตุที่อยู่ในวงเล็บเป็นสารเจือปนในสารประกอบนั้นๆ สารเจือปนเหล่านี้จะทำให้เกิดสภาวะกึ่งเสถียร (Metastable state) ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่เกิดอยู่ระหว่างระดับพลังงานแถบวาเลนซ์ (Valance Band) และแถบคอนดักชัน (Conduction band) ของโครงสร้างผลึก ระดับพลังงานกึ่งเสถียรนี้อาจเรียกว่า กักตัก (Trap) ระดับพลังงานและจำนวนของกักตักขึ้นกับชนิดและจำนวนของสารเจือปนที่โด๊ปเข้าไป เมื่อผลึกเหล่านี้ได้รับรังสีจะทำให้เกิดคู่ของ อิเล็กตรอน-โฮล (Electron-hole pair) ขึ้น อิเล็กตรอนและโฮลจะเคลื่อนที่ไปจนถูกกักอยู่ในกักตัก เวลาของการถูกกักขึ้นอยู่กับระดับพลังงานของกักตัก อาจกินเวลาสั้นๆเป็นนาที่ หรืออาจใช้เวลาเป็นสัปดาห์หรือเป็นร้อยปีที่อิเล็กตรอนจำนวนครึ่งหนึ่งจะหลุดจากกักตักได้ เวลาเหล่านี้เรียกครึ่งชีวิต (Half life) เช่นกัน แต่หากผลึกที่ถูกฉายรังสีแล้วได้รับพลังงานจากภายนอกเช่นพลังงานความร้อน อิเล็กตรอนและโฮลจะหลุดจากกักตักเข้ามารวมกันใหม่พร้อมกับคายพลังงานที่ได้รับตั้งแต่ต้นออกมาในรูปของแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าซึ่งส่วน

ใหญ่อยู่ในช่วงของแสงสีแดงหรือน้ำเงิน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 หากใช้หลอดทวีคูณแสง (Photo multiplier tube:PMT) จับแสงเหล่านั้น แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าพบว่า ปริมาณสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันตามปริมาณรังสีที่ผลึกได้รับ ขบวนการที่ผลึกได้รับความร้อนแล้วปล่อยแสงออกมาเรียกว่าเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence) และเมื่อนำมาใช้เป็นเครื่องวัดรังสีจึงเรียกว่า เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสิมิเตอร์ (Thermoluminescent dosimeter) นิยมใช้ตัวย่อว่า ทีแอลดี (TLD)

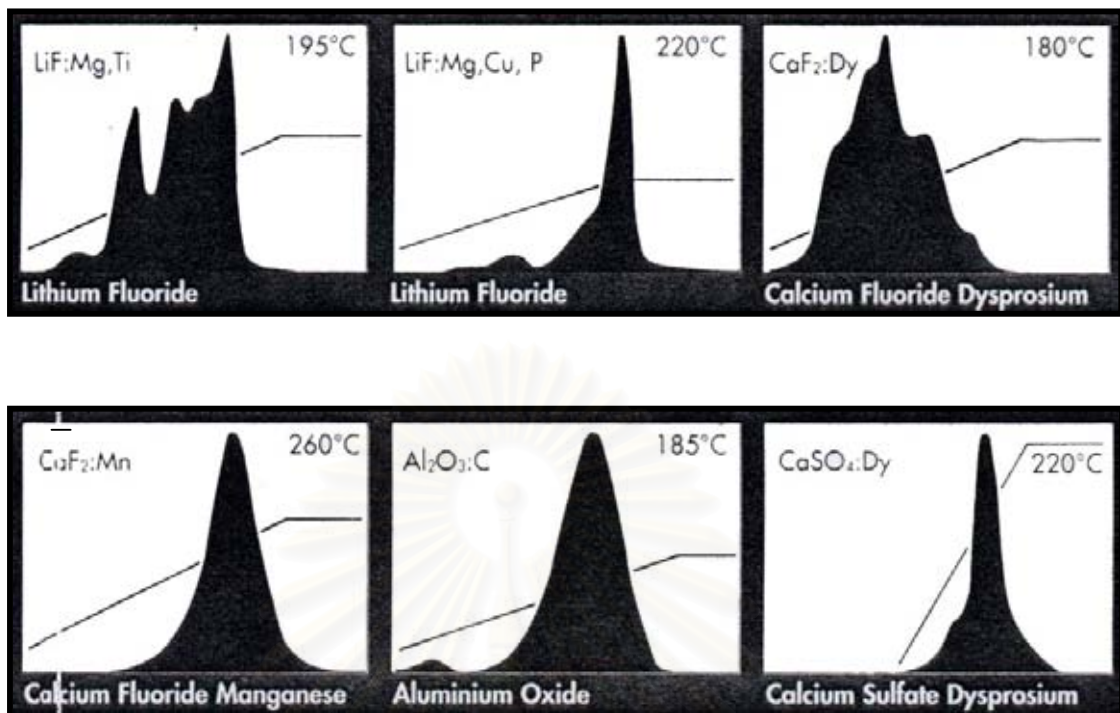


รูปที่ 2.17 แสดงการขบวนการเกิดแสงเมื่อ ผลึกทีแอลดี ได้รับรังสี

ทีแอลดี เป็นที่นิยมใช้ในการวัดรังสีเนื่องสามารถผลิตได้หลายชนิดและหลายรูปแบบเพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานที่จะปฏิบัติ เช่น LiF เหมาะสำหรับการวัดรังสีทั่วไป  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  มีลักษณะสมมูลย์กับเนื้อเยื่อ จึงเหมาะสำหรับการใช้เป็นเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล  $\text{CaF}_2$  หรือ  $\text{CaSO}_4$  เป็นทีแอลดีที่มีความไวต่อรังสีสูงจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมเป็นต้น ทีแอลดีสามารถผลิตออกมาได้หลายรูปแบบเช่น เป็นผง (Powder) อัดเป็นเม็ดสี่เหลี่ยม (Chip) เป็นแท่งกลม (Rod) หรือเป็นแผ่นกลม (Disc) ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง การนำทีแอลดีไปใช้งานจำเป็นต้องรู้จักกับคุณสมบัติที่สำคัญของทีแอลดีดังต่อไปนี้

**2.7.1 Glow curve** <sup>[20]</sup> เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแสงที่ ทีแอลดี ปล่อยออกมา (TL) กับอุณหภูมิหรือเวลาที่ให้ความร้อน พื้นที่ใต้กราฟจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ทีแอลดีได้รับ Glow curve ของทีแอลดีแต่ละชนิดจะแสดงปริมาณแสงที่ปล่อยออกมามากที่สุดที่อุณหภูมิต่างๆ เรียกว่า พีก (Peak) ซึ่งอาจมีพีกเดียวหรือหลายพีกขึ้นกับชนิดของทีแอลดี ทำให้ Glow curve ของทีแอลดีแต่ละชนิดแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.18 ทีแอลดีชนิดหนึ่งๆเมื่อควบคุมอัตราการให้ความร้อน อุณหภูมิสูงสุด และเวลาที่ใช้ในการอ่านให้คงที่แล้ว Glow curve จะมีรูปร่างคงเดิมเสมอ คุณสมบัติข้อนี้สามารถนำไปพิจารณาอายุการใช้งานของทีแอลดี





รูปที่ 2.18 แสดง Glow Curve ของทีแอลซีชนิดต่างๆ

**2.7.2 การนำกลับมาใช้งานใหม่ (Reuse)** ทีแอลซีเมื่อใช้งานวัดรังสีไปแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้อีกด้วยเทคโนโลยีการผลิตในปัจจุบันสามารถนำกลับมาใช้งานได้เป็นร้อยครั้ง โดยก่อนนำกลับมาใช้งานใหม่ต้องผ่านการอบก่อนฉายรังสี (Pre irradiation annealing) เพื่อจัดโครงสร้างให้กลับมาเหมือนเดิม โดยใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับทีแอลซีแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.4

**2.7.3 การจางหายของสัญญาณ (Fading)** เนื่องจากกับดัก (Trap) มีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน เปรียบเสมือนหลุมที่มีความตื้นและลึกแตกต่างกัน ดังนั้น Glow curve ของทีแอลซีบางชนิดจึงแสดงพีคของสัญญาณได้หลายพีคและเกิดที่อุณหภูมิต่างกัน พีคที่อุณหภูมิต่ำเป็นพีคที่ไม่เสถียรเกิดจากกับดักที่พลังงานต่ำ อิเล็กตรอนที่ถูกจับสามารถหลุดออกมาได้เองที่อุณหภูมิห้องทำให้สัญญาณที่อ่านได้ลดลง เรียกว่าการจางหายของสัญญาณ (Fading) ในการใช้งานการวัดรังสีจึงต้องกำจัดพีคที่ไม่เสถียรเหล่านี้ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

**2.7.3.1 การทำพรีฮีต (Preheat)** โดยการให้ความร้อนแก่ทีแอลซีในขณะที่กำลังอ่านไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ  $100^{\circ}\text{C}$  ประมาณ 10 วินาที โดยไม่นับสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงนี้

**2.7.3.2 ปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลาหลายๆวัน** ทีแอลซีจะเกิดการจางหายเองตามธรรมชาติของพีคที่อุณหภูมิต่ำๆ ข้อเสียคือต้องเสียเวลารอคอย

**2.7.3.3 นำไปอบหลังการฉายรังสี (Post irradiation annealing)** โดยการนำไปอบ ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมขึ้นกับชนิดของทีแอลดีดังแสดงในตารางที่ 2.4 ขบวนการ นี้คล้ายกับการ Preheat แต่ใช้เวลามากกว่า

ตารางที่ 2.4 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบก่อนฉายรังสีและการอบหลังการ ฉายรังสีของทีแอลดีชนิดต่างๆ

ชนิดของ ทีแอลดี	การอบก่อนฉายรังสี	การอบหลังการฉายรังสี
ทีแอลดี-100 ทีแอลดี -600 ทีแอลดี-700	400 <sup>0</sup> C 1 ชั่วโมง ตามด้วย 100 <sup>0</sup> C 2 ชั่วโมง	100 <sup>0</sup> C 10 นาที
ทีแอลดี-100 H	240 <sup>0</sup> C 10 นาที	-
ทีแอลดี-200	400 <sup>0</sup> C 1 ชั่วโมง	100 <sup>0</sup> C 20 นาที
ทีแอลดี-400	400 <sup>0</sup> C 1 ชั่วโมง	-
ทีแอลดี-900	600 <sup>0</sup> C 1 ชั่วโมง	100 <sup>0</sup> C 10 นาที

ชื่อของทีแอลดี ที่กำหนดด้วยเลข 3 หลัก เช่น 100 200 หรือ 400 เป็นชื่อที่ใช้ในการค้าของบริษัท Harshaw ที่ผลิตทีแอลดีออกจำหน่าย โดยทีแอลดี 100 ทีแอลดี 600 และทีแอลดี 700 หมายถึง ทีแอลดี ชนิด LiF (Mg, Ti) เหมือนกัน แต่ต่างกันที่ไอโซโทปของ Li ทีแอลดี 100 ใช้ Li ธรรมชาติ ทีแอลดี 600 ใช้ไอโซโทปของธาตุ Li<sup>6</sup> ในขณะที่ทีแอลดี 700 ใช้ไอโซโทปของ Li<sup>7</sup> ซึ่งทำให้คุณสมบัติในการวัดรังสีของทีแอลดี ทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกัน ส่วนทีแอลดี 100 Hเป็นทีแอลดีที่มีความไวสูงหมายถึงทีแอลดีชนิด LiF (Mg,Cu,P) ซึ่งโคปด้วยสารเจือปนต่างจากทีแอลดี 100 ทีแอลดี 200 หมายถึงทีแอลดี ชนิด CaF<sub>2</sub> (Dy) ทีแอลดี 400 หมายถึงทีแอลดี ชนิด CaF<sub>2</sub> (Mn) และทีแอลดี 900 หมายถึงทีแอลดีชนิด CaSO<sub>4</sub> (Dy) ทีแอลดีทั้ง 3 ชนิดหลังนี้เป็นทีแอลดีชนิดที่มีความไวสูงโดยมีความไวมากกว่าทีแอลดี 100 ประมาณ 30 เท่า

ทีแอลดียังมีคุณสมบัติที่สำคัญอื่นๆอีกเช่นมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น (Linearity) ระหว่าง ปริมาณแสงที่ทีแอลดีปล่อยออกมากับปริมาณรังสีที่ทีแอลดีได้รับ นอกจากนี้ปริมาณแสงที่ปล่อย ออกมายังขึ้นกับพลังงานของรังสี (Energy dependence) เป็นต้น ดังนั้นการนำทีแอลดีไปใช้งาน นอกจากต้องเลือกชนิดของทีแอลดีให้เหมาะสมแล้วยังต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆที่จะมีผลกับการ วัดรังสีอีกด้วย

เนื่องจากการผลิตที่แอลดีออกมาแต่ละรุ่นนั้นที่แอลดีแต่ละชิพเมื่อนำมาฉายรังสีแล้วค่าสัญญาณที่อ่านได้จะแตกต่างกันเนื่องจากที่แอลดีแต่ละชิพมีความไวที่แตกต่างกัน ก่อนนำไปใช้งานจึงต้องนำมาหาค่าแก้เนื่องจากความไวที่แตกต่างกัน (Element correction coefficient) [21] หรือใช้ตัวย่อว่า ECC โดยที่ ECC ของที่แอลดีแต่ละชิพ จึงเป็นค่าแก้เพื่อให้สัญญาณที่อ่านได้ของที่แอลดีทุกชิพมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ECC สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$ECC_i = \frac{\langle Q \rangle}{Q_i}$$

เมื่อ  $ECC_i$  คือ ค่าแก้เนื่องจากความไวของชิพที่  $i$

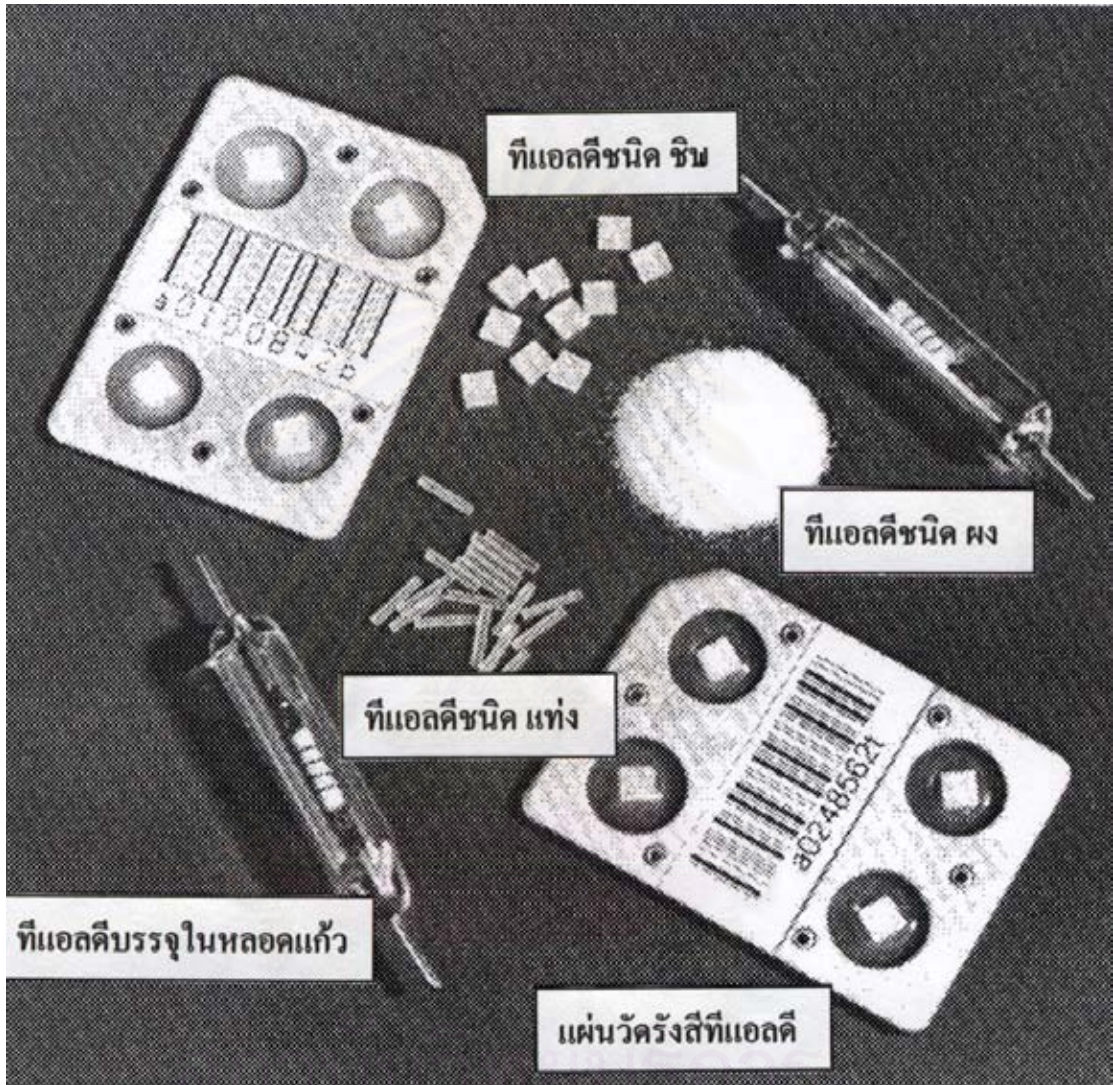
$\langle Q \rangle$  คือ ค่าเฉลี่ยสัญญาณจากการอ่านที่แอลดีของทั้งกลุ่ม

$Q_i$  คือ ค่าสัญญาณที่อ่านได้ของที่แอลดี ชิพที่  $i$

จากสมการจะเห็นว่า เมื่อหาค่า  $ECC_i$  ได้แล้วและเมื่อนำไปใช้งาน ให้นำค่า  $ECC_i$  มาคูณ กับค่า  $Q_i$  ผลลัพธ์ที่ได้คือค่า  $\langle Q \rangle$  ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มนั่นเอง ซึ่งจะทำให้ที่แอลดีทุกชิพอ่านค่าได้ใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานควรหาค่า ECC เสียก่อน

ที่แอลดีที่เริ่มผลิตครั้งแรกมีลักษณะเป็นผลึกเดี่ยว (Single crystal) ต่อมาเมื่อนำไปอบแล้วร้อนให้มีขนาดตามต้องการเรียกที่แอลดีชนิดนี้ว่าแบบผง ซึ่งสามารถนำไปบรรจุในวัสดุรูปทรงต่างๆตามวัตถุประสงค์การใช้งาน แต่ในยุคแรกๆของการผลิต จะมีสัญญาณปลอม (Spurious) ซึ่งเกิดจากการบดผลึกให้มีขนาดเล็กลง ยุคต่อมาได้มีการผสมตัวประสาน (Binder) ซึ่งนิยมใช้เทฟลอน (Teflon) แต่มีข้อเสียที่เทฟลอนที่เหมาะสมทนความร้อนประมาณ  $400^{\circ}C$  ไม่ได้ ทำให้ไม่สามารถนำไปอบก่อนการใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ ปัจจุบันใช้วิธีเตรียมผลึกที่แอลดีแล้วนำไปหลอมที่อุณหภูมิและความดันสูงแล้วปล่อยให้ไหลผ่านช่องตามรูปทรงที่กำหนดไว้ เช่นลักษณะเป็นเส้นสี่เหลี่ยมแบนคล้ายโบผูกผม จึงเรียกที่แอลดีชนิดนี้ว่า ริบบอน (Ribbon) หลังจากนั้นนำไปตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็ก ๆ เรียกเป็นที่แอลดีชิพ (Chip) หรือหากหลอมผลึกแล้วให้ผ่านช่องทรงกลมจะได้ที่แอลดีที่มีลักษณะเป็นเส้นกลม เมื่อนำมาตัดเป็นท่อนๆ เรียกว่า ที่แอลดีชนิดแท่ง (Rod) ต่อมามีการพัฒนานำแผ่นเทฟลอน 2 แผ่น มาประกบที่แอลดีชนิดชิพ แล้วนำแผ่นอะลูมิเนียมเจาะช่องมาประกบอีกชั้นหนึ่ง เรียกที่แอลดีชนิดนี้ว่าแผ่นวัดรังสีที่แอลดี (TLD card) และเมื่อใช้ร่วมกับรหัสแท่ง (Barcode) ทำให้สามารถกำหนดหมายเลขของที่แอลดีซึ่งทำให้นำไปใช้กับเครื่องอ่านระบบอัตโนมัติได้





รูปที่ 2.19 แสดงที่แอลคิ ชนิดต่างๆ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์ สำหรับการพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพ เครื่องผลิตรังสีเอกซ์ วินิจฉัย

##### 3.1.1 อุปกรณ์โครงสร้างของชุดตรวจสอบคุณภาพ

- แผ่นพีวีซี ความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร
- แผ่นพลาสติกใส ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร
- แผ่นทองแดง ความหนา 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร
- แผ่นอะลูมิเนียม ความหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร
- แผ่นตะกั่ว ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร

##### 3.1.2 อุปกรณ์วัดปริมาณรังสี

###### 3.1.2.1 สารเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ (Thermoluminescent dosimeter)

หรือ สาร ทีแอลดี ชนิด 700 มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{LiF (Mg,Ti)}$  คุณสมบัติที่สำคัญมีดังนี้<sup>[20]</sup>

- Glow curve ประกอบด้วย 5 พีค (Peak) โดยพีค 1 และ 2 ไม่คงตัวโดยจะสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง จึงไม่นำมาใช้งานในการวัดรังสี พีคที่ 3, 4 และ 5 เป็นพีคที่นำมาใช้งานในการวัดรังสี โดยพีคที่ 1 ถึง 3 จะเกิดเมื่อให้ความร้อนที่ อุณหภูมิระหว่าง  $50^{\circ}\text{C}$  ถึง  $150^{\circ}\text{C}$  ส่วนพีคที่ 5 จะเกิดเมื่อให้ความร้อนประมาณ  $230^{\circ}\text{C}$

- ใช้วัดรังสีโฟตอน (Photon) และรังสีบีตา (Beta) นิยมนำมาใช้เป็นอุปกรณ์วัดรังสีประจำบุคคล

- ก่อนใช้งานต้องนำไปอบก่อนฉายรังสีที่อุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วยอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  อีก 2 ชั่วโมง

- การอบหลังการฉายรังสีควรอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที

###### 3.1.2.2 สารเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ (Thermoluminescent dosimeter) หรือ

สาร ทีแอลดี ชนิด 200 มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{CaF}_2 (\text{Dy})$  มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้<sup>[20]</sup>

- Glow curve ประกอบด้วย 5 พีค เช่นเดียวกับ ทีแอลดี 700 แต่เกิดที่อุณหภูมิต่างกัน คือ พีคที่ 1 ถึง 4 จะเกิดที่อุณหภูมิ  $160^{\circ}\text{C}$ ,  $185^{\circ}\text{C}$ ,  $245^{\circ}\text{C}$  และ  $290^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ส่วนพีคที่ 5 จะเกิดที่อุณหภูมิ ระหว่าง  $350^{\circ}\text{C}$  ถึง  $400^{\circ}\text{C}$  และมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับพีคอื่นๆ

- มีความไวต่อรังสีสูงกว่าทีแอลดี 700 ประมาณ 30 เท่า

- ใช้งานวัดรังสีในสิ่งแวดล้อม

- ก่อนใช้งานต้องนำไปอบก่อนฉายรังสี ที่อุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง  
เท่านั้น ต่างจาก ทีแอลดี 700 ที่ต้องอบต่อที่ อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  อีก 2 ชั่วโมง

- การอบหลังการฉายรังสี ควรอบที่ อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 20 นาที

### 3.1.3 เครื่องฉายรังสีสตรอนเชียม-90 อิริเดียเตอร์ (Sr-90 irradiator)

เป็นเครื่องฉายรังสีเฉพาะงานของบริษัท Harshaw ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาค่าแก้  
เนื่องจากความไว (Sensititivity) ที่แตกต่างกันของทีแอลดี หรือ ECC ตัวเครื่องประกอบด้วย

- แหล่งกำเนิดรังสีบีตา จาก สารกัมมันตรังสี Sr-90 ความแรงประมาณ 0.5 มิลลิคูรี

- ถาดบรรจุ ทีแอลดี ชนิด ซิฟ หรือ ชนิดแท่ง หรือถาดชนิดบรรจุแผ่นวัดรังสี ถาดนี้

สามารถหมุนรอบแหล่งกำเนิดรังสีตามจำนวนรอบที่ตั้งได้ตามต้องการ

- ชัตเตอร์ สำหรับปิด-เปิดแหล่งกำเนิดรังสีโดยมีการทำงานดังนี้เปิดสวิตซ์ตั้งจำนวน  
รอบตามที่ต้องการ เปิดสวิตซ์ชัตเตอร์ถาดจะหมุนรอบแหล่งกำเนิดรังสีตามจำนวนรอบที่ตั้งไว้ จาก  
การออกแบบ ทีแอลดี ที่อยู่ในถาดจะได้รับปริมาณรังสีเท่ากันและสัมพันธ์กับจำนวนรอบที่หมุน



รูปที่ 3.1 เครื่องฉายรังสีสตรอนเชียม-90 อิริเดียเตอร์ (Sr-90 irradiator)



## 3.2 วัสดุอุปกรณ์สำหรับใช้ทดสอบชุดตรวจสอบคุณภาพ

### 3.2.1 เครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจัย

เป็นเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจัยของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ชนิด 1 เฟส ระบบเรียงกระแสแบบฟูลเวฟ ยี่ห้อ Toshiba รุ่น KXO-18E ขนาดความต่างศักย์สูงสุด 150 กิโลโวลต์ กระแสหลอดสูงสุด 640 มิลลิแอมแปร์ ใช้ในการสอบเทียบความต่างศักย์สูงสุด และความหนาครึ่งค่าเพื่อนำไปหาความต่างศักย์สูงสุดและความหนาครึ่งค่าของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ต่างๆในการวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 3.2 เครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจัย

### 3.2.2 เครื่องผลิตรังสีเอกซ์รักษาลึก

เป็นเครื่องผลิตรังสีเอกซ์มาตรฐานของห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน ทุติยกุมระดับประเทศของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ที่ใช้ในการสอบเทียบ ปริมาณรังสีหรือปริมาณเอกซ์โพเซอร์ ผลิตโดยบริษัท Siemens ขนาดความต่างศักย์สูงสุด 300 กิโลโวลต์ กระแสหลอดสูงสุด 20 มิลลิแอมแปร์ ได้รับการสอบเทียบค่าพลังงานยังผล (Effective energy) ให้สอดคล้องกับพลังงานยังผลมาตรฐานของทบวงการประมาณระหว่างประเทศ โดยมีค่าระดับพลังงานและความหนาครึ่งค่าเพื่อใช้งานตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพลังงานยังผล และความหนาครึ่งค่าที่ความต่างศักย์สูงสุดต่างๆ ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์รักษาลึกของห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

หมายเลข ระดับพลังงาน	ความต่างศักย์สูงสุด (kV)	พลังงานยังผล (keV)	ความหนาครึ่งค่า (mm Al )
1	70	29	2.0
2	100	39	4.0
3	105	43	5.0
4	135	62	8.8
5	180	82	12.3
6	220	112	16.1
7	250	137	18.0
8	280	165	20.0



รูปที่ 3.3 ชุดควบคุมเครื่องผลิตเรียงสี่เอกซ์ร็กชาติล็ก



รูปที่ 3.4 บริเวณหลอตรงสี่เอกซ์ร็กชาติล็ก

### 3.2.3 เครื่องอ่านทีแอลดี

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องอ่านทีแอลดี รุ่น M 3500 ของบริษัท Harshaw เป็นเครื่องที่สามารถใช้อ่านทีแอลดีได้ทั้งชนิดชิพ ชนิดแท่งและชนิดผงโดยการเปลี่ยนงานให้ความร้อน (Planchett) ที่เหมาะสม เครื่องอ่านต้องเชื่อมโยงกับระบบคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมควบคุมการทำงานซึ่งสามารถควบคุมตัวประกอบที่สำคัญในการอ่านได้แก่ เวลาที่ใช้อ่าน อัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้การอ่าน ตัวประกอบหลัก 3 ตัวนี้เรียกว่า Time temperature profile (TTP) และมีค่าแตกต่างกันออกไปสำหรับการอ่านทีแอลดีแต่ละชนิด ต้องดูจากคู่มือของบริษัทหรือทดลองปรับเปลี่ยนค่าตัวประกอบเหล่านี้จนกว่าจะได้รูปร่างของ Glow curve ที่เป็นไปตามมาตรฐาน นอกจากนั้นโปรแกรมควบคุมการทำงานยังสามารถเก็บค่าแก้ไขเนื่องจากความไวที่แตกต่างกันหรือค่า ECC ของ ทีแอลดีแต่ละชิพ ซึ่งมีคำสั่งที่เรียกมาใช้ได้ในขณะอ่าน



9

รูปที่ 3.5 เครื่องอ่านทีแอลดี รุ่น M3500



### 3.2.4 เครื่องตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยมาตรฐาน

ประกอบด้วยเครื่องวัดความต่างศักย์สูงสุดและวัดเวลาในการฉายรังสีในเครื่องเดียวกันและมีเครื่องวัดปริมาณเอกซ์โพเซอร์แยกต่างหาก ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 เป็นเครื่องวัดระบบอิเล็กทรอนิกส์ ของบริษัท Radiation Measurement Inc (RMI) รุ่น 240 A สามารถวัดค่าที่กล่าวข้างต้นได้จากการฉายรังสีครั้งเดียวแต่แสดงผลครั้งละ 1 ค่า สามารถแสดงความต่างศักย์ได้ทั้งในรูปค่าเฉลี่ย (Average) และค่ายังผล (Effective) โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

- สามารถวัดความต่างศักย์สูงสุดได้ในช่วง 50-165 กิโลโวลต์
  - สามารถแสดงชนิดรูปร่างของระบบเรียงกระแสโดยแสดงด้วยสัญลักษณ์ดังนี้
    - 1PH หมายถึงระบบ 1 เฟส ฮาล์ฟเวฟ (1 Phase half wave)
    - 1PF หมายถึงระบบ 1 เฟส ฟูลเวฟ (1 Phase full wave)
    - 3P6 หมายถึงระบบ 3 เฟส 6 พัลส์ (3 Phase 6 pulse)
    - 3P12 หมายถึงระบบ 3 เฟส 12 พัลส์ (3 Phase 12 pulse)
    - HF หมายถึงระบบ ระบบความถี่สูง (High frequency)
    - CP หมายถึงระบบ ระบบความต่างศักย์คงที่ (Constant potential)
  - ไม่ขึ้นการวางตัวในแนวแอนไอศ-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์
  - มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 % เมื่อใช้งานห่างจากโพล์สของหลอดรังสีเอกซ์
- ในช่วงระหว่าง 30-200 เซนติเมตร
- สามารถวัดเวลาการฉายรังสี ในช่วง 0-19,999 มิลลิวินาที
  - วัดปริมาณเอกซ์โพเซอร์ ในหน่วยมิลลิเรินต์เกน (milli Roentgen : mR)



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความต่างศักย์สูงสุด และเวลาของบริษัท RMI



รูปที่ 3.7 เครื่องปริมาณวัดเอกซ์โพเซอร์ RMI

### 3.2.5 แผ่นกรองอะลูมิเนียมมาตรฐาน ชนิด 1100

เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท RMI ซึ่งมีส่วนประกอบของอะลูมิเนียม 99.9 % ที่เหลือเป็นทองแดง ความหนาของแผ่นอะลูมิเนียม มีค่า 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับแผ่นที่ความหนาที่ต่ำกว่า 2 มิลลิเมตรมีจำนวนชนิดละ 2 แผ่นทำให้สามารถเพิ่มความหนาได้ถึง 4.5 มิลลิเมตร แผ่นอะลูมิเนียมชนิดนี้ใช้เป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการวัดความหนาครั้งค่าตามที่กำหนดโดย NCRP หรือ FDA ดังนั้นหากใช้แผ่นอะลูมิเนียมชนิดอื่นในการวัดความหนาครั้งค่าจะต้องนำค่าที่ได้มาสอบเทียบกับอะลูมิเนียมมาตรฐานนี้อีกครั้งหนึ่ง

### 3.2.6 เครื่องวัดปริมาณรังสีมาตรฐาน

เป็นเครื่องวัดปริมาณรังสีมาตรฐานของห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน ทุติยภูมิของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ซึ่งได้รับการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานปฐมภูมิของประเทศออสเตรเลียประกอบด้วยหัววัดรังสีชนิดห้องแตกตัว (Ionization chamber) TK30 ปริมาตร 30 ลูกบาศก์เซนติเมตรและเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน NP 2100 ซึ่งสามารถคำนวณค่าเอกซ์โพเซอร์โดยแก้ค่าผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิและความดันตามหลักการสอบเทียบได้โดยอัตโนมัติ





รูปที่ 3.8 เครื่องวัดปริมาณรังสีมาตรฐาน NP 2100

### 3.3 การเตรียมสาร ทีแอลดี เพื่อนำมาใช้งาน

นำทีแอลดี 200 และทีแอลดี 700 มาอบก่อนการใช้งานในเตาอบที่สามารถตั้งอุณหภูมิได้หรืออาจใช้เตาอบเฉพาะงานของบริษัท Harshaw ที่มีโปรแกรมการอบให้เลือกอย่างน้อย 2 โปรแกรม โดยทีแอลดี 200 จะอบที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนทีแอลดี 700 จะอบที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอบต่อที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือเลือกใช้โปรแกรมที่ 1 นำทีแอลดีมาบรรจุในภาชนะของเครื่องฉายรังสีสตรอนเชียม-90 อิเรดิเอเตอร์ ซึ่งบรรจุ ทีแอลดีได้ครั้งละ 50 ซิป นำภาชนะบรรจุ ทีแอลดีเข้าฉายรังสี ตั้งจำนวนรอบการหมุนของภาชนะ 50 รอบ บรรจุ ทีแอลดีชุดใหม่เข้าฉายรังสี จนครบทั้ง 200 ซิป หลังจากฉายรังสีแล้วนำทีแอลดีไปอบหลังการฉายรังสี เพื่อกำจัดฟีดที่พลังงานต่ำออกไปโดย ทีแอลดี 700 ทำการอบที่ 100 °C เป็นเวลา 10 นาที หรือการเลือกอบโปรแกรมที่ 2 ส่วนทีแอลดี 200 จะทำการอบที่ 100 °C เป็นเวลา 20 นาที หรือเลือกใช้โปรแกรมที่ 2 จำนวน 2 ครั้ง ทีแอลดีที่ผ่านการอบหลังการฉายรังสีแล้วนำมาอ่านโดยใช้เครื่องอ่านของบริษัท Harshaw รุ่น M3500 โดยการตั้ง TTP ดังนี้

**สำหรับ ทีแอลดี 700**

อัตราการให้ความร้อน	10 °C ต่อวินาที
อุณหภูมิสูงสุดในการอ่าน	280 °C
เวลาที่ใช้ในการอ่าน	16 2/3 วินาที

**สำหรับ ทีแอลดี 200**

อัตราการให้ความร้อน	10 °C ต่อวินาที
อุณหภูมิสูงสุดในการอ่าน	300 °C
เวลาที่ใช้ในการอ่าน	26 2/3 วินาที

ควรทำการรอบก่อนการฉายรังสี ฉายรังสี นำไปอบหลังการฉายรังสี แล้วนำมาอ่านใหม่ เช่นนี้อย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อเป็นการจัดโครงสร้างของทีแอลดีให้คงที่ เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วนำทีแอลดีทั้งสองชนิดมาหาค่าแก้เนื่องจากความไวที่แตกต่างกัน หรือการหาค่า ECC โดยนำทีแอลดีไปอบก่อนฉายรังสีหลังจากนั้นนำมาบรรจุในถาดของเครื่องฉายรังสีสตรอนเซียม-90 อิเรดิเอเตอร์ ฉายรังสีจำนวน 50 รอบ นำทีแอลดีไปอบหลังการฉายรังสีแล้วนำมาอ่านด้วยเครื่องอ่านทีแอลดี เมื่ออ่านเสร็จเรียบร้อยแล้วใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านคำนวณค่า ECC ซึ่งถูกตั้งชื่อไว้และจัดเก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านทีแอลดีและสามารถเรียกมาใช้งานได้โดยอัตโนมัติโดยการตั้งคำสั่งในโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องอ่าน ทีแอลดีที่หาค่า ECC และเก็บค่าไว้ในคอมพิวเตอร์แล้วจะเป็นทีแอลดีที่พร้อมนำไปใช้งานต่อไป

### 3.4 การออกแบบและการสร้างชุดตรวจสอบคุณภาพ

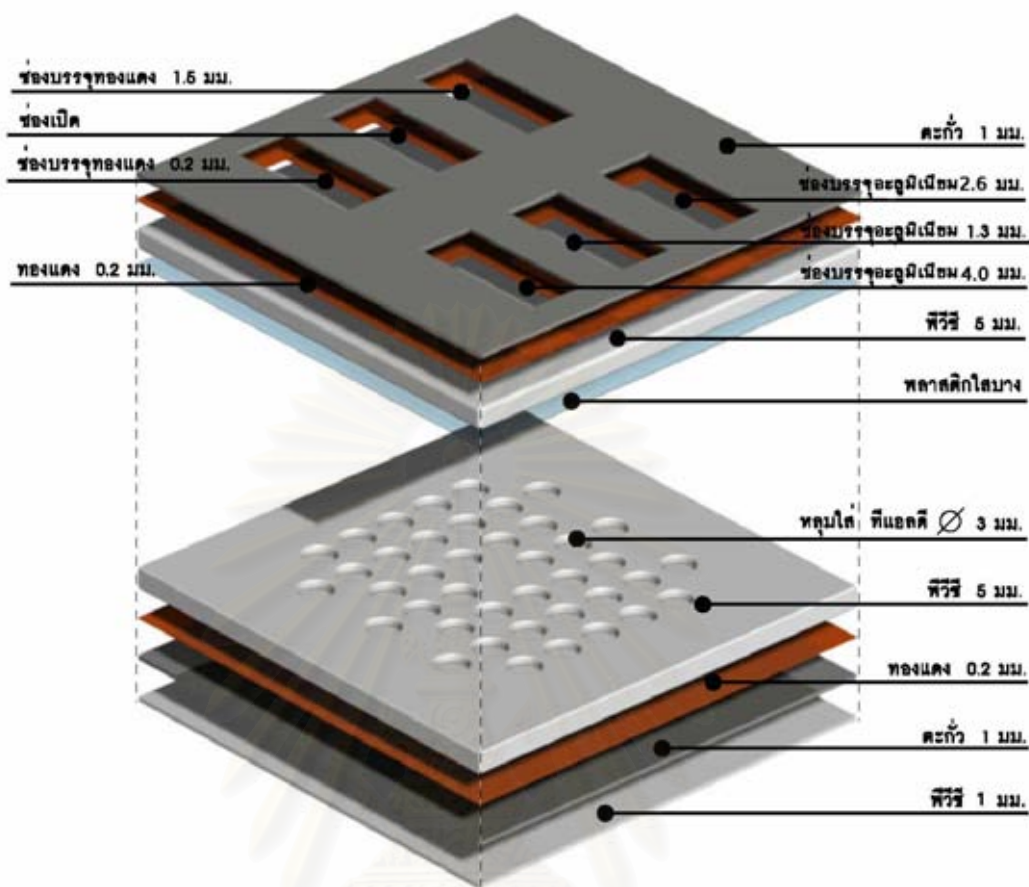
ในการออกแบบเลือกวัสดุที่ใช้ทำฐาน (Base) ของชุดตรวจสอบคุณภาพเป็นแผ่นพีวีซี (PVC) ขนาด 110 มิลลิเมตร x 110 มิลลิเมตร หนาประมาณ 5 มิลลิเมตร เนื่องจากมีความเหนียวไม่แตกหักเมื่อถูกกระแทก เหมาะที่จะใช้ส่งทางไปรษณีย์ เจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ลึกประมาณ 1 มิลลิเมตร เป็นเมตริก ( $R_i \times C_j$ ) ขนาด 7 x 7 ห่างกันช่องละ 1 เซนติเมตร ทั้งในแนวแถว (Row) และแนวสดมภ์ (Column) เพื่อให้บรรจุทีแอลดีชิพ โดย  $R_i$  หมายถึงแถวที่  $i$  โดย  $i$  มีค่าเท่ากับ 1 ถึง 7 ส่วน  $C_j$  หมายถึงสดมภ์ที่  $j$  โดย  $j$  มีค่าเท่ากับ 1 ถึง 7 เช่นกัน และ 0 แสดงตำแหน่งที่บรรจุ ทีแอลดี ดังแสดงในรูปที่ 3.9

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
R1	0	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0	0	0	0
R3	0	0	0	0	0	0	0
R4	0	0	0	0	0	0	0
R5	0	0	0	0	0	0	0
R6	0	0	0	0	0	0	0
R7	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งการเจาะหลุมเพื่อบรรจุ ทีแอลดี

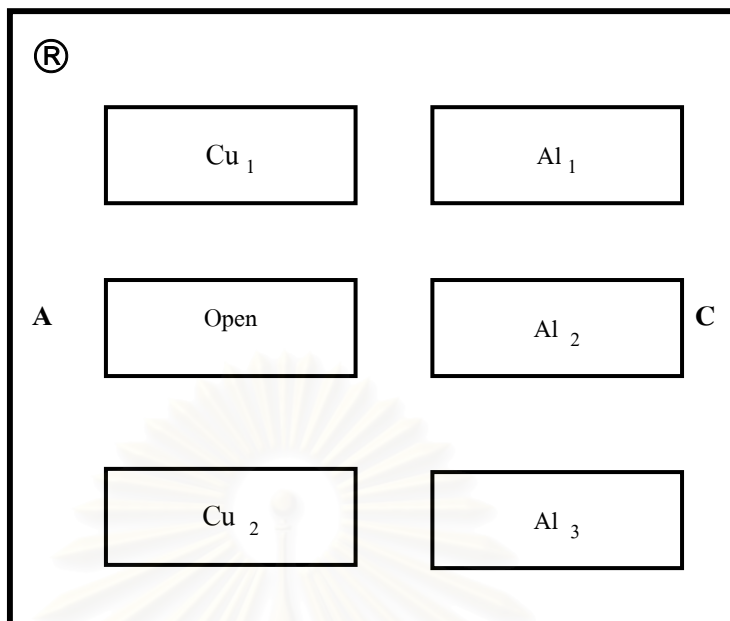
ด้านล่างของแผ่นพีวีซีรองด้วยแผ่นตะกั่วหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันรังสีสะท้อนจากพื้นเตียงคนไข้ แต่เนื่องแผ่นตะกั่วมีลักษณะอ่อนตัวจึงใช้แผ่นพีวีซีหนาประมาณ 1 มิลลิเมตรประกบแผ่นตะกั่วไว้อีกชั้นหนึ่งและใช้แผ่นทองแดงหนาประมาณ 0.2 มิลลิเมตรรองระหว่างแผ่นตะกั่วและแผ่นพีวีซีที่เจาะหลุมเพื่อป้องกันรังสีทุติยภูมิเช่นรังสีเอกซ์ที่เกิดจากแผ่นตะกั่ว ด้านบนของแผ่นพีวีซีที่เจาะหลุมปิดด้วยแผ่นพลาสติกใสบางๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ ทีแอลดี หลุดออกจากหลุมกรณีชุดตรวจสอบคุณภาพเอียงหรือพลิก ส่วนแผ่นที่ใช้ยึดแผ่นกรองรังสีทำจากแผ่นพีวีซีขนาดเท่ากับแผ่นที่ใช้ทำฐานโดยนำมาเจาะช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 12 มิลลิเมตร x 30 มิลลิเมตร

จำนวน 6 ช่อง ขนาดของช่องสี่เหลี่ยมจะครอบคลุมหลุมที่บรรจุทีแอลดีจำนวน 3 ชิป ดังนั้น สัญญาณของทีแอลดีที่นำมาใช้ในการทดลองใดๆ จะคิดจากสัญญาณเฉลี่ยของทีแอลดีจำนวน 3 ชิปเสมอ ช่องสี่เหลี่ยมดังกล่าวมีไว้เพื่อให้แผ่นกรองรังสีที่ทำด้วยทองแดงความหนาแตกต่างกันจำนวน 2 ช่อง ใช้สำหรับวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุด ช่องที่เหลือจำนวน 4 ช่องนั้น ใช้สำหรับวิเคราะห์ความหนาครึ่งค่า โดยใส่แผ่นอะลูมิเนียมความหนาแตกต่างกัน จำนวน 3 ช่อง และที่เหลืออีก 1 ช่องเป็นช่องเปิดที่ไม่ใส่แผ่นกรองรังสี สำหรับสัญญาณทีแอลดีใส่ช่องเปิดดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์หาเอกซ์โพเซอร์ได้อีกด้วย บริเวณด้านข้างของช่องทั้งหมดคลุมด้วยแผ่นตะกั่วบางโดยรอบเพื่อป้องกันรังสีสะท้อนที่เกิดบริเวณด้านข้างของช่อง ส่วนประกอบด้านโครงสร้างของชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นแสดงในรูปที่ 3.10 สำหรับการนำไปใช้งานให้บรรจุทีแอลดีลงในหลุมของแผ่นฐาน นำวิธีแผ่นที่บรรจุแผ่นกรองรังสีชนิดต่างๆมาวางประกบด้านบนให้ช่องที่เจาะตรงกับบริเวณที่บรรจุทีแอลดี จากการออกแบบชุดตรวจสอบคุณภาพให้เป็นที่เหลี่ยมจัตุรัส ดังนั้นสามารถวางชุดตรวจสอบคุณภาพให้แผ่นกรองรังสีอยู่ในแนวแอนไอศ-แคโอด หรือตั้งฉากกับแนวแอนไอศ-แคโอดได้ดังนี้ สมมติให้แนวแอนไอศ-แคโอดของหลอดรังสีเอกซ์อยู่ในแนวแกน X ให้วางชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นไว้ได้หลอดรังสีเอกซ์โดยให้แนว (A-C) อยู่ในแนวแกน X เช่นกัน โดยให้เครื่องหมายกำหนดตำแหน่งด้วยสัญลักษณ์  $\otimes$  อยู่ที่บนมุมซ้ายตามรูปที่ 3.11 การวางลักษณะนี้จะใช้ทีแอลดีในแถวที่ 2, 4 และ 6 สำหรับการวิเคราะห์ค่าตัวประกอบเทคนิค หากต้องการวางชุดตรวจสอบคุณภาพในแนวที่ตั้งฉากกับแนวแอนไอศ-แคโอดของหลอดรังสีเอกซ์ ให้หมุนชุดตรวจสอบคุณภาพในทิศตามเข็มนาฬิกา สัญลักษณ์  $\otimes$  จะหมุนมาอยู่ที่มุมขวาบน แนว (A-C) จะอยู่ในแนวแกน Y หรือตั้งฉากกับแนวแอนไอศ-แคโอดของหลอดรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 3.12 การวางลักษณะนี้จะใช้ทีแอลดีในแถวที่ 2, 4 และ 6 สำหรับการวิเคราะห์ค่าตัวประกอบเทคนิค การจัดวางตำแหน่งของแผ่นกรองรังสีดังแสดงในรูปทั้งสองนี้ เพื่อต้องการศึกษาการจัดวางตำแหน่งของเครื่องตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นทั้งการวางเพื่อฉายรังสีทั้งในแนวนอนและตั้งฉากกับแนวแอนไอศ-แคโอดของหลอดรังสีเอกซ์ หลังจากการออกแบบพื้นฐานนี้ให้นำชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.13 และ รูปที่ 3.14 ไปฉายรังสีสำหรับการทดสอบต่างๆ และนำไปใช้งานจริงต่อไป

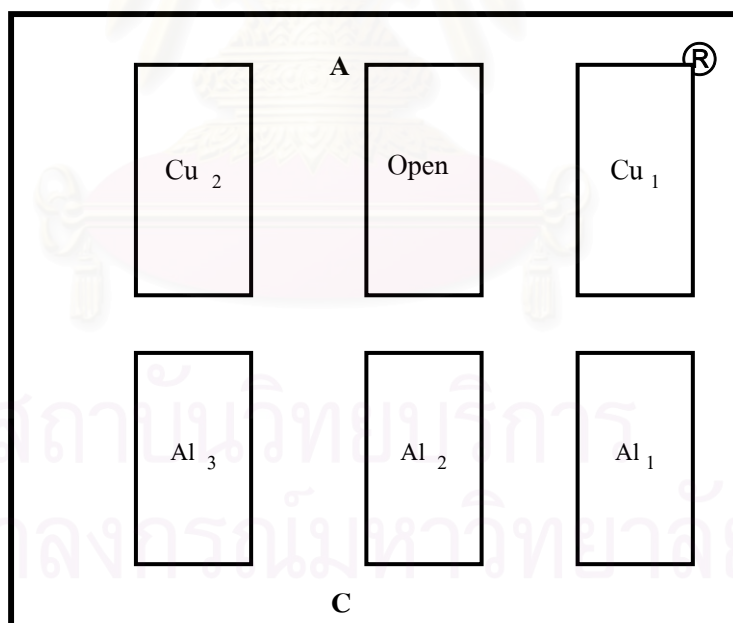


รูปที่ 3.10 แสดงส่วนประกอบด้านโครงสร้างของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

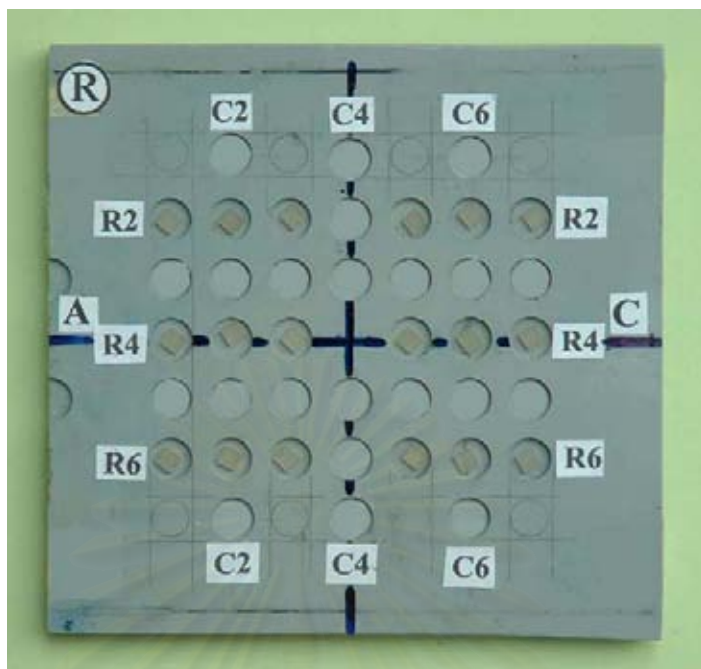


รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งของแผ่นกรองรังสีในชุดตรวจสอบคุณภาพ  
ในแนวแอนโนด-แคโทด ของหลอดรังสีเอกซ์

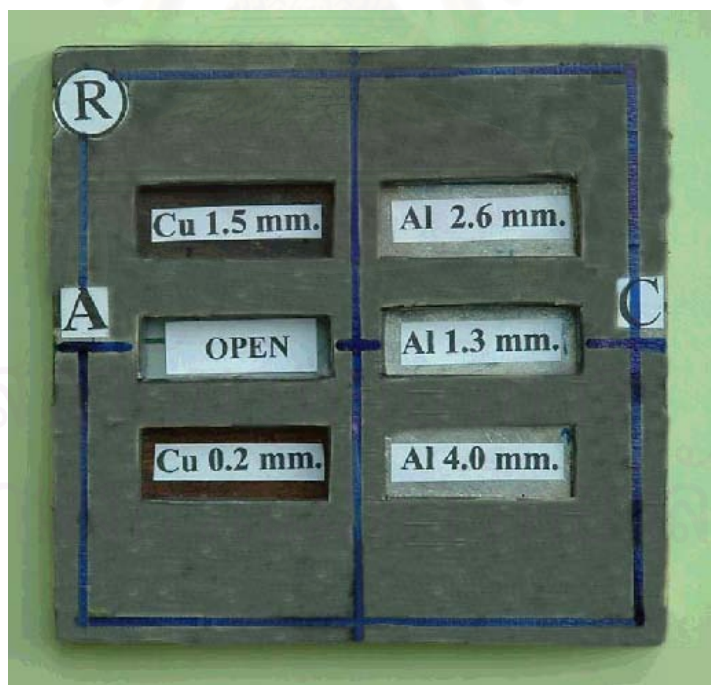


รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งของแผ่นกรองรังสีในชุดตรวจสอบคุณภาพใน  
แนวตั้งฉากกับแนวแอนโนด-แคโทด ของหลอดรังสีเอกซ์





รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งของทีแอลดี ที่บรรจุอยู่ในหลุมของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งของแผ่นกรองรังสีต่างๆของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น

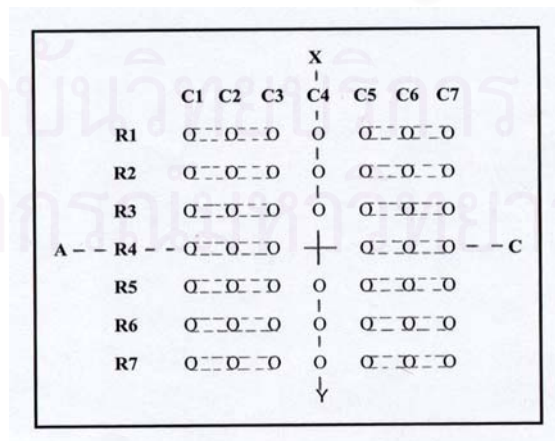
## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบ

#### 4.1 การทดสอบเพื่อพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพและผลการทดสอบ

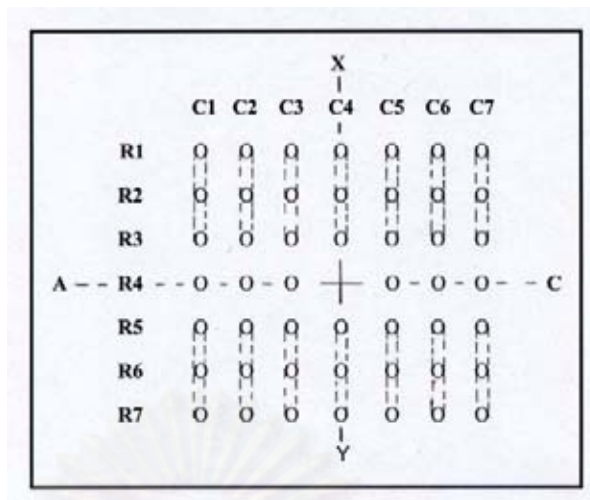
##### 4.1.1 การทดสอบ ผลของ ฮีลเอฟเฟกต์ (Heel effect) กับตำแหน่งที่วางทีแอลดี

เนื่องจากมุมในการวางเป้า (Target) ของหลอดรังสีเอกซ์ ทำให้ปริมาณรังสีที่ออกมาทั้งสองข้างมีค่าไม่เท่ากัน โดยด้านแคโทดของหลอดจะมีค่ามากกว่าด้านแอโนด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ฮีลเอฟเฟกต์ ดังนั้นการทดสอบนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลของฮีลเอฟเฟกต์ว่า ทีแอลดีที่ได้รับรังสีในแนวแอโนด-แคโทดและตั้งฉากกับแนวแอโนด-แคโทดจะให้ผลที่แตกต่างกันอย่างไร เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบการบรรจุทีแอลดีในชุดตรวจสอบคุณภาพที่จะพัฒนาขึ้นต่อไป การทดสอบทำได้โดยบรรจุทีแอลดี 700 ใส้ในหลุมบนชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นทุกหลุมตามรูปที่ 3.9 นำไปวางบนเตียงห่างจากโฟกัสของหลอดเป็นระยะทาง 73 เซนติเมตร โดยให้แนวของแถวที่ 4 (R4) อยู่ในแนวแอโนด-แคโทด หรือแนว (A-C) และแนวของสดมภ์ที่ 4 (C4) อยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับแนวแอโนด-แคโทด หรือแนว (X-Y) ของหลอดรังสีเอกซ์ตามรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ฉายรังสีที่ความต่างศักย์ 80 กิโลโวลต์ กระแสหลอด 200 มิลลิแอมแปร์ ใช้เวลาการฉายรังสี 0.2 วินาที หลังจากฉายรังสีแล้วนำทีแอลดีไปอบหลังการฉายรังสีที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที นำทีแอลดีไปอ่านเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไปโดยสัญญาณทีแอลดีที่นำมาใช้ 1 ค่า ได้จากค่าเฉลี่ยจากทีแอลดี จำนวน 3 ซิป ในแนวแถว หรือแนวสดมภ์ตามแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดกลุ่มของทีแอลดีในแนวแอโนด-แคโทด หรือแนว A-C จำนวน 7 แถว

(R1 ถึง R7)



รูปที่ 4.2 แสดงการจัดกลุ่มของทีแอลดีในแนวตั้งฉากกับแนวแอนโดด-แคโอด หรือแนว X-Y จำนวน 7 สดมภ์ (C1 ถึง C7)

#### ผลการทดสอบ ผลของ ฮีลเอฟเฟค กับตำแหน่งที่วางทีแอลดี

ผลสัญญาณของทีแอลดี ในแนวแถว หรือแนว (A-C) แสดงในตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของสัญญาณ ทีแอลดีด้านใกล้แอนโดด (ด้าน A) และด้านแคโอด (ด้าน C) ของหลอดรังสีเอกซ์จากทีแอลดี มีค่า 24.613 nC และ 25.940 nC ตามลำดับ เนื่องจากการใช้งานจริงจะใช้เพียง 6 ชุดเท่านั้น ได้แก่แถวที่ R2, R4 และ R6 ด้านแอนโดดและแคโอด ด้านละ 3 ค่า โดยด้านแอนโดดมีค่าของสัญญาณเป็น 24.344, 24.135 และ 24.294 nC ตามลำดับ ส่วน ด้านแคโอด มีค่าเป็น 25.605, 25.712 และ 25.458 nC ตามลำดับเช่นกัน สัญญาณตรงตำแหน่งที่จะนำไปใช้งานในแถวที่ 2, 4 และ 6 นี้จะแสดงด้วยตัวอักษรเข้ม

เช่นเดียวกับหากคิดในแนวสดมภ์ โดยให้แนว A-C เป็นแนวแบ่งเขตด้านบนและด้านล่าง จะได้ค่าของสัญญาณตั้งแต่ สดมภ์ที่ 1 ถึง 7 หรือ C1 ถึง C7 โดยมีค่าที่อยู่เหนือแนว A-C จำนวน 7 ค่า และอยู่ใต้แนว A-C จำนวน 7 ค่าเช่นกัน ดังแสดงในตาราง ที่ 4.2 จะเห็นว่าถ้าใช้แนวสดมภ์ที่ 4 หรือ C4 เป็นแนวแบ่งระหว่างค่าของสัญญาณด้านใกล้แอนโดด (ด้าน A) และด้านใกล้แคโอด (ด้าน C) ของหลอดรังสีเอกซ์ และหากนำไปใช้งานจะใช้สดมภ์ที่ 2, 4 และ 6 หรือ C2, C4 และ C6 ตามลำดับทั้งด้านบนแนว A-C และด้านใต้แนว A-C โดยมีค่าของสดมภ์ที่ 2 เป็น 24.297 และ 24.825 nC สำหรับสดมภ์ที่ 4 มีค่า 25.369 และ 25.228 nC ส่วนสดมภ์ที่ 6 มีค่า 26.857 และ 26.589 nC ตามลำดับ ซึ่งค่าของสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่จะนำไปใช้งานแสดงด้วยตัวอักษรเข้ม

ตารางที่ 4.1 แสดงสัญญาณของทีแอลดี ในแต่ละแถว โดยแยกเป็นด้านใกล้แอนโอดและด้านใกล้แคโทด ค่าของสัญญาณตรงตำแหน่งที่จะนำไปใช้งานแสดงด้วยตัวอักษรเข้ม

ตำแหน่งของแถว	สัญญาณ (nC) ของทีแอลดี ด้านใกล้แอนโอด (A)	สัญญาณ (nC) ของทีแอลดี ด้านใกล้แคโทด (C)
1	25.664	25.468
<b>2</b>	<b>24.344</b>	<b>25.605</b>
3	23.501	26.315
<b>4</b>	<b>24.135</b>	<b>25.712</b>
5	24.294	27.635
<b>6</b>	<b>24.294</b>	<b>25.458</b>
7	26.060	25.390
ค่าเฉลี่ย	24.613	25.940

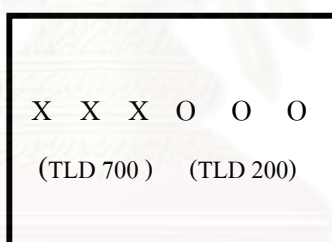
ตารางที่ 4.2 แสดงสัญญาณของทีแอลดี ในแต่ละสดมภ์โดยแยกเป็นด้านบนของแถว แอนโอด-แคโทด และด้านล่าง ของแถวแอนโอด-แคโทด ค่าของสัญญาณตรงตำแหน่งที่จะนำไปใช้งานแสดงด้วยตัวอักษรเข้ม

ตำแหน่ง	สดมภ์ 1	สดมภ์ 2	สดมภ์ 3	สดมภ์ 4	สดมภ์ 5	สดมภ์ 6	สดมภ์ 7
ด้านบน	24.219	<b>24.297</b>	24.986	<b>25.369</b>	26.258	<b>26.875</b>	27.029
ด้านล่าง	24.378	<b>24.825</b>	25.306	<b>25.228</b>	26.182	<b>26.303</b>	26.743
ค่าเฉลี่ย	24.299	<b>24.561</b>	25.146	<b>25.299</b>	26.220	<b>26.589</b>	26.882

จากผลการทดสอบดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกการวางทีแอลดีในแถวแอนโอด-แคโทดหรือแถว (A-C) ของหลอดรังสีเอกซ์ โดยด้านแอนโอดหรือด้าน (A) แถวที่ 2 และ 6 ใช้คู่กับแผ่นกรองรังสีชนิดทองแดงเพื่อใช้วิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุด แถวที่ 4 ใช้เป็นช่องเปิด ใช้สำหรับวิเคราะห์เอกซ์โพเซอร์ ส่วนด้านแคโทดหรือด้าน (C) แถวที่ 2, 4 และ 6 ใช้คู่กับแผ่นกรองชนิดอะลูมิเนียม และใช้แถวที่ 4 ด้านแอนโอดอีก 1 ค่า สำหรับวิเคราะห์ความหนาครั้งค่า การเลือกลักษณะนี้เนื่องจากปริมาณเอกซ์โพเซอร์เฉพาะด้านแอนโอดหรือแคโทดอย่างเดียวนั้นค่าไม่แตกต่างกันมากนักทำให้ไม่จำเป็นต้องหาค่าแก้ไขเนื่องจากผลของฮิลเอฟเฟค ผู้วิจัยจะแก้ค่าในแถวที่ 4 ด้านแอนโอดที่นำไปใช้งานรวมในการวิเคราะห์ความหนาครั้งค่าเท่านั้น ด้วยค่า  $(25.712 / 24.135)$  หรือ เท่ากับ 1.06

**4.1.2 การทดสอบเพื่อเลือกชนิดของอุปกรณ์วัดรังสีและความหนาของแผ่นกรองที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์หาความต่างศักย์สูงสุด** เป็นการทดสอบเพื่อเลือกชนิดของทีแอลดี และความหนาของแผ่นทองแดงที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคตามที่ต้องการโดยมีการทดสอบดังต่อไปนี้

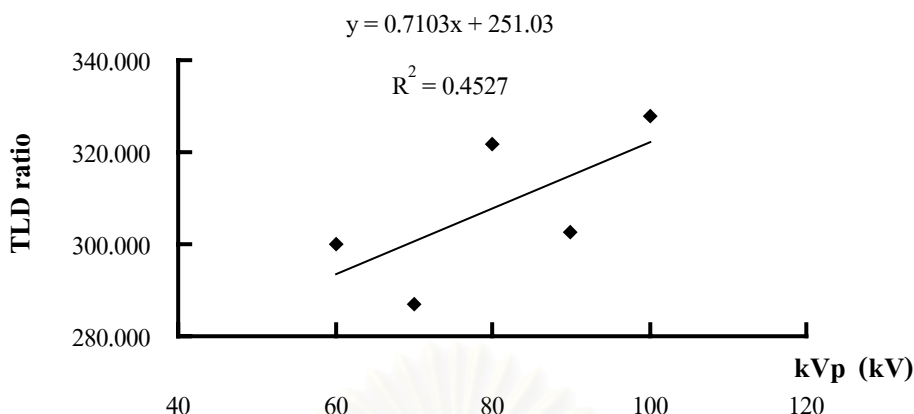
**4.1.2.1 การทดสอบเพื่อหาความเหมาะสมในการนำทีแอลดีต่างชนิดที่มีความไวแตกต่างกันมาใช้ในการวัดความต่างศักย์สูงสุดของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจัย** เพื่อทดสอบว่าอัตราส่วนของสัญญาณจากทีแอลดีที่ต่างชนิดกันมีความไวแตกต่างกันจะสามารถนำมาใช้หาความต่างศักย์สูงสุดได้หรือไม่ โดยบรรจุทีแอลดี 700 และทีแอลดี 200 ซึ่งมีความไวต่างกันจำนวนอย่างละ 3 ชิป ในหลุมแถวกลางของชุดตรวจสอบคุณภาพ ที่ไม่ได้ใส่แผ่นกรองรังสีใดๆ ตามที่กำหนดดังรูปที่ 4.3 โดย X เป็นตำแหน่งที่บรรจุ ทีแอลดี 700 และ O เป็นตำแหน่งที่บรรจุ ทีแอลดี 200 นำชุดตรวจสอบคุณภาพไปฉายรังสีจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ โดยวางชุดตรวจสอบคุณภาพได้หลอดรังสีเอกซ์ ห่างจากโฟกัสของหลอด 50 เซนติเมตร ตั้งค่ากระแสหลอดเป็น 200 มิลลิแอมแปร์ เวลาในการฉายรังสี 0.2 วินาที ทำการฉายรังสี โดยตั้งค่าความต่างศักย์สูงสุดเป็น 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลโวลต์ ตามลำดับ โดยแต่ละค่าของกิโลโวลต์เปลี่ยน ทีแอลดี ชุดใหม่ทุกครั้ง นำทีแอลดีไปอบหลังการฉายรังสี นำมาอ่าน แล้ววิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 4.3 แสดงการบรรจุทีแอลดี 700 และ ทีแอลดี 200 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนของสัญญาณกับค่าความต่างศักย์สูงสุด

ผลการทดสอบเพื่อหาความเหมาะสมในการนำทีแอลดีต่างชนิดที่มีความไวแตกต่างกันมาใช้ในการวัดความต่างศักย์สูงสุดของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจัย โดยนำค่าลำดับของอัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดีทั้งสองชนิดและความต่างศักย์สูงสุดมาเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่า อัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดีต่างชนิดกันเพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสมในการนำมาใช้หาความต่างศักย์สูงสุด เนื่องจากกราฟของค่าลำดับมีความแปรปรวนสูง มีการกระจายของข้อมูลมาก และค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเชิงเส้น (Linear regression coefficient) หรือ  $R^2$  มีค่าต่ำ



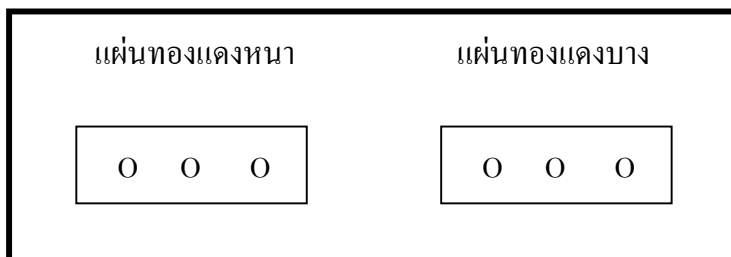


รูปที่ 4.4 แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด(kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณจากทีแอลดี 200/700 (TLD ratio)

#### 4.1.2.2 การทดสอบเพื่อเลือกชนิดของทีแอลดีที่เหมาะสมเพื่อใช้คู่กับแผ่นกรองรังสี

ทองแดงความหนาต่างๆในการหาความต่างศักย์สูงสุด เพื่อทดสอบว่าอัตราส่วนของสัญญาณทีแอลดี 700 และทีแอลดี 200 ได้แผ่นกรองรังสีความหนาต่างๆจะแปรผันตรงกับความต่างศักย์สูงสุดหรือไม่ โดยทำการทดลองกับทีแอลดี 700 ก่อน บรรจุทีแอลดี 700 ในหลุมแฉกกลางของชุดตรวจสอบคุณภาพ ครั้งละ 6 ซิป นำคู่ของแผ่นทองแดงหนา 0.6 ม.ม. และ 0.2 ม.ม. มาวางเหนือหลุมที่บรรจุทีแอลดี ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ทำการฉายรังสีชุดตรวจสอบคุณภาพโดยวางชุดตรวจสอบคุณภาพได้หลอดรังสีเอกซ์ห่างจากโฟกัสของหลอด 50 เซนติเมตร ตั้งค่ากระแสหลอด 200 มิลลิแอมแปร์ เวลาการฉายรังสี 0.2 วินาที ตั้งความต่างศักย์สูงสุดเป็น 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลโวลต์ตามลำดับ โดยต้องเปลี่ยนทีแอลดีใหม่ทุกครั้งที่ยื่นความต่างศักย์สูงสุด ทำการทดลองเช่นเดียวกันโดยเปลี่ยนคู่แผ่นทองแดงความหนาเป็น คู่อื่นๆ เช่น 1.0 ม.ม. / 0.2 ม.ม., 1.4 ม.ม. / 0.2 ม.ม. 1.0 ม.ม. / 0.6 ม.ม., 1.4 ม.ม. / 0.6 ม.ม. และ 1.4 ม.ม. / 1.0 ม.ม. ตามลำดับ เมื่อฉายรังสีแล้วนำทีแอลดีไปอบหลังการฉายรังสี นำไปอ่าน เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดีกับความต่างศักย์สูงสุด โดยใช้โปรแกรมเอกเซลวิเคราะห์ลักษณะของความสัมพันธ์ต่อไป หลังจากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกันโดยใช้ ทีแอลดี 200 ใช้แผ่นทองแดงคู่ต่างๆ จำนวน 6 คู่เหมือนกัน ฉายรังสีที่เทคนิคเดียวกัน นำทีแอลดีไปอ่าน แล้วนำมาวิเคราะห์ผลโดยการเขียนกราฟเหมือนการทดลองของทีแอลดี 700 หลังจากนั้นเปรียบเทียบผลการทดลองของทีแอลดีทั้งสองชนิดเพื่อเลือกชนิดของทีแอลดีที่จะนำมาทดลองต่อไป โดยเพิ่มคู่แผ่นทองแดงความหนาต่างๆอีก 3 ชุดตามที่แสดงในตารางที่ 4.3 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ เพื่อเลือกคู่ความหนาที่เหมาะสมที่สุด



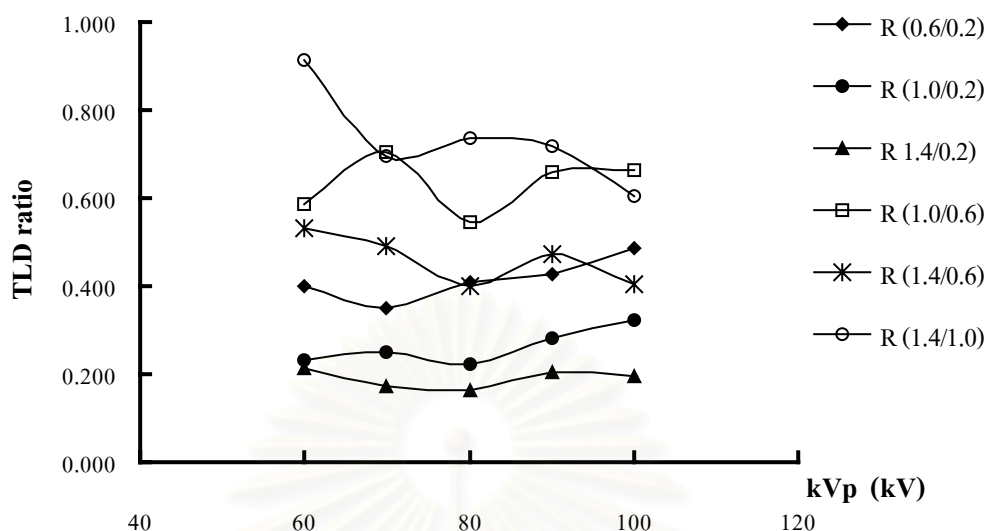


รูปที่ 4.5 แสดงการวางตำแหน่ง ของทีแอลดี ได้แผ่นทองแดงหนา และแผ่นทองแดงบาง

ตารางที่ 4.3 แสดงคู่ความหนาของแผ่นทองแดงจำนวน 3 ชุด ที่ใช้ในการทดลอง เลือกคู่ความหนาที่เหมาะสม

ลำดับที่	คู่ความหนาแผ่นกรองชุด ที่ 1 (มม./มม.)	คู่ความหนาแผ่นกรองชุด ที่ 2 (มม./มม.)	คู่ความหนาแผ่นกรองชุด ที่ 3 (มม./มม.)
1	1.0 / 0.1	1.0 / 0.5	0.8 / 0.4
2	1.5 / 0.1	1.5 / 0.5	1.2 / 0.4
3	-	2.0 / 0.5	1.6 / 0.4
4	-	1.5 / 1.0	1.2 / 0.8
5	-	2.0 / 1.0	1.6 / 0.8
6	-	2.0 / 1.5	1.6 / 1.2

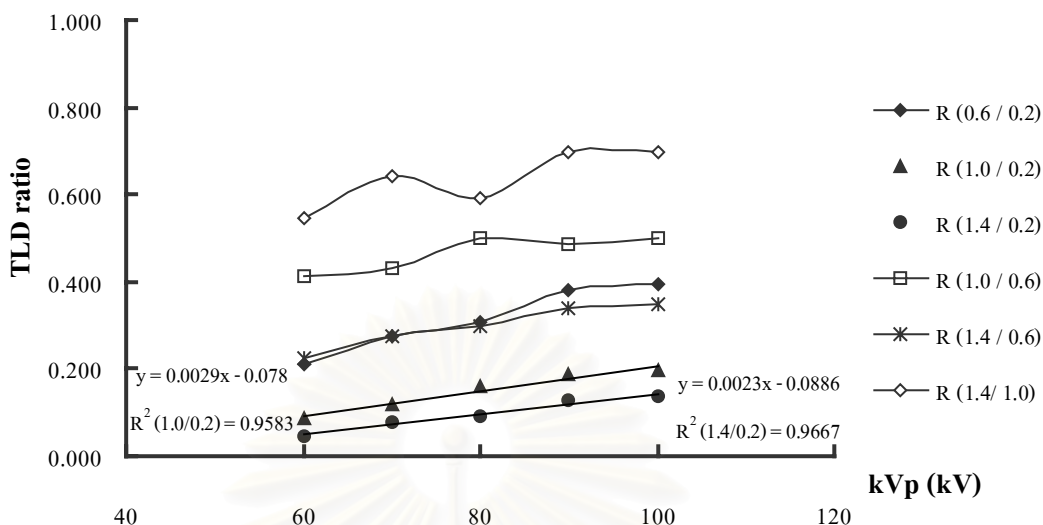
ผลการทดสอบเพื่อเลือกชนิดของทีแอลดีที่เหมาะสมเพื่อใช้คู่กับแผ่นกรองรังสีทองแดงความหนาต่างๆในการหาความต่างศักย์สูงสุด สำหรับทีแอลดี 700 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสัญญาณของทีแอลดีและความต่างศักย์สูงสุด จะได้กราฟตามรูปที่ 4.6 ซึ่งพบว่า ความหนาของแผ่นทองแดงที่ไม่แตกต่างกันมาก เช่น 1.4 / 1.0, 1.0 / 0.6, 0.6 / 0.2 กราฟจะไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่นอน แต่ที่ความหนาต่างกันมาก เช่น 1.0 / 0.2 และ 1.4 / 0.2 ความสัมพันธ์มีแนวโน้มจะเป็นเชิงเส้นแต่ค่อนข้างจะคงที่ ดังนั้นทีแอลดีชนิด 700 ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับหาความต่างศักย์สูงสุด



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณจากทีแอลดี 700 (TLD ratio) เมื่อใช้คู่แผ่นทองแดงต่างๆ

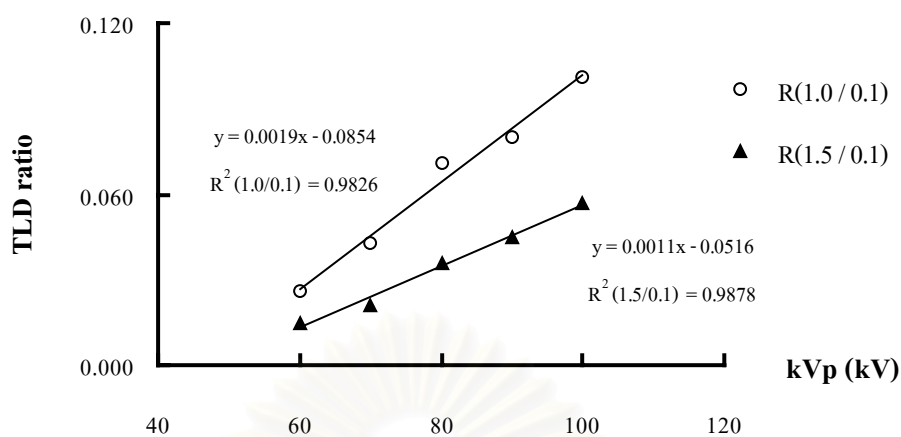
เมื่อทดสอบกับทีแอลดี 200 โดยใช้คู่แผ่นทองแดงเหมือนกัน ฉายรังสีที่เทคนิคเดียวกัน เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสัญญาณของทีแอลดี และความต่างศักย์สูงสุดจะได้กราฟตามรูปที่ 4.7 พบว่ามีเพียงบางคู่ของแผ่นทองแดงเท่านั้นที่ให้ความสัมพันธ์ค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเชิงเส้นหรือ  $R^2$  โดยที่  $R^2$  ของคู่แผ่นกรอง (1.4 / 0.2) และ (1.0 / 0.2) มีค่า 0.9667 และ 0.9583 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้ ทีแอลดี 200 มาใช้หาความต่างศักย์สูงสุด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

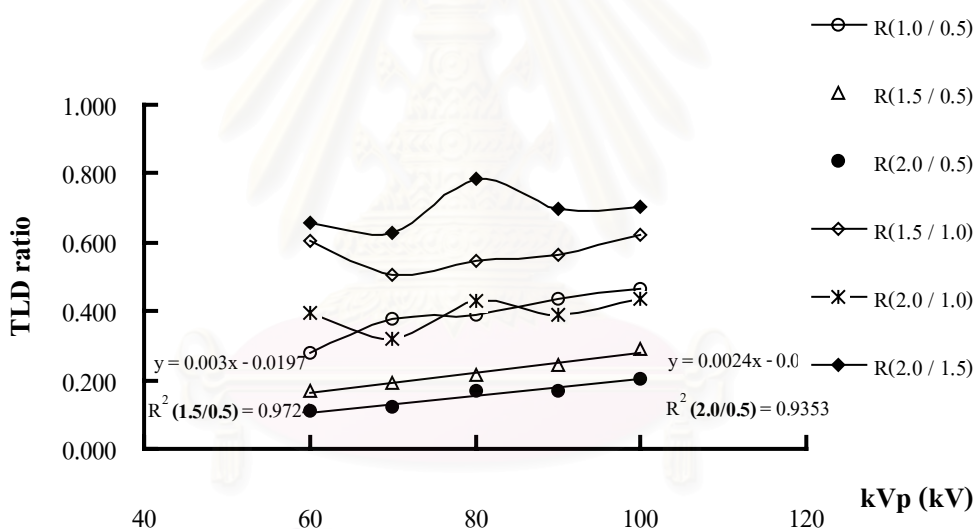


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณจากทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้คู่แผ่นทองแดงต่างๆ เหมือนทีแอลดี 700

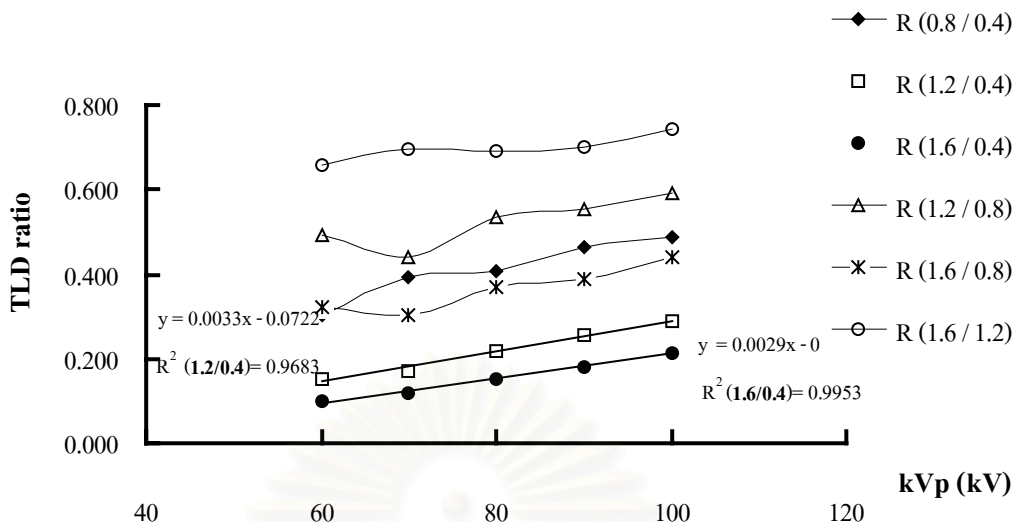
จากการทดลองที่แสดงด้วยกราฟรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้คู่แผ่นกรอง (1.0 / 0.2) จะได้สมการความสัมพันธ์เป็น  $Y = 0.0029 X - 0.078$  โดยมีค่า  $R^2 = 0.9583$  และสำหรับคู่แผ่นกรอง (1.4 / 0.2) จะได้สมการความสัมพันธ์เป็น  $Y = 0.0023 X - 0.0886$  โดยมีค่า  $R^2 = 0.9667$  ซึ่งมีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเชิงเส้น จึงทำการทดลองต่อโดยเพิ่มคู่แผ่นกรองทองแดงให้มากขึ้นเพื่อเลือกคู่ความหนาที่เหมาะสมที่สุด โดยคู่แผ่นกรองชุดที่ 1 แสดงในกราฟรูปที่ 4.8 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสัญญาณทีแอลดีและความต่างศักย์สูงสุดเป็นเชิงเส้น แต่อัตราส่วนจะมีค่าน้อยเนื่องจากสัญญาณที่ผ่านแผ่นกรอง 0.1 มิลลิเมตรที่เป็นตัวหามีค่ามากจึงทำการทดสอบเพียง 2 ชุดเท่านั้น สำหรับแผ่นกรองชุดที่ 2 แสดงด้วยกราฟรูปที่ 4.9 พบว่าคู่แผ่นกรอง (1.5 / 0.5) และ (2.0 / 0.5) ให้ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นค่อนข้างดีและเช่นกันอัตราส่วนมีค่าน้อยเนื่องจากสัญญาณที่ผ่านแผ่นกรอง 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรมีค่าน้อย ส่วนแผ่นกรองชุดที่ 3 แสดงด้วย กราฟรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อใช้คู่แผ่นกรอง (1.6 / 0.4) จะได้สมการความสัมพันธ์เป็น  $Y = 0.0029 X - 0.0801$  โดยที่ ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9953 ซึ่งมีความเป็นเชิงเส้นดีเช่นกัน



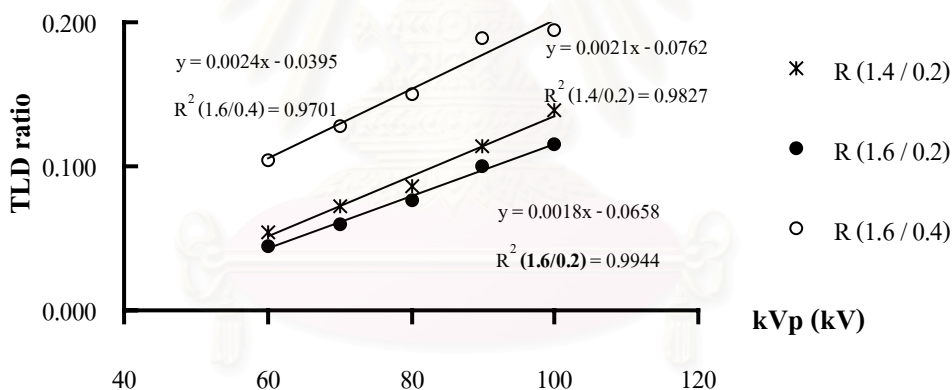
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณจากที่แอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้ คู่แผ่นกรองชุดที่ 1



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณจากที่แอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้ คู่แผ่นกรองชุดที่ 2



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณจากทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้ คู่แผ่นกรองชุดที่ 3

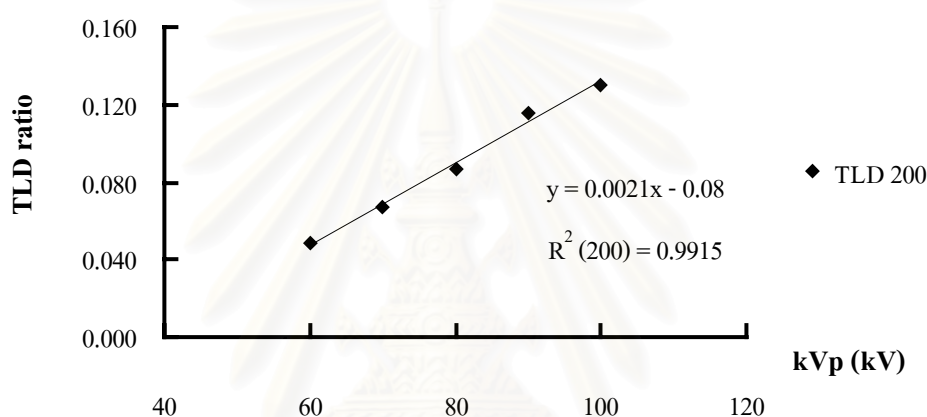


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้คู่แผ่นทองแดง คู่ที่ให้ความเป็นเชิงเส้นสูง

ส่วนกราฟ รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดลองโดยใช้คู่แผ่นกรอง (1.4 / 0.2) และ (1.6 / 0.4) ที่ให้ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นค่อนข้างดีมาทดลองต่อเพื่อหาคู่แผ่นกรองที่เหมาะสมโดยเพิ่มคู่แผ่นกรอง (1.6 / 0.2) เข้าไปอีก 1 คู่ ผลการทดลองพบว่า แผ่นกรองดังกล่าวทั้ง 3 ชุด ให้ค่าความเป็นเชิงเส้นสูง โดยชุดของแผ่นกรอง 1.4 / 0.2 และ 1.6 / 0.2 จะให้ค่า R<sup>2</sup> มากกว่าชุดแผ่นกรอง 1.6 / 0.4 แต่



เนื่องจากแผ่นกรองที่หนา 1.6 มิลลิเมตร จะให้สัญญาณที่น้อยไปเมื่อนำไปฉายรังสีที่ความต่างศักย์ 60 หรือ 70 กิโลโวลต์ และเนื่องจากแผ่นทองแดงที่มีความหนา 1.6 หรือ 0.4 มิลลิเมตร ก่อนข้างหา ยาก ความหนาของแผ่นกรองทั้งสองชุดได้จากการนำแผ่นทองแดงหนา 0.2 มิลลิเมตรหลายๆแผ่น มาซ้อนกันทำให้มีช่องว่าง จึงได้ทดลองใหม่โดยใช้แผ่นทองแดงที่มีความหนาใกล้เคียง และเกิด จากการนำแผ่นทองแดงมาประกบให้น้อยที่สุด จึงทดลองเลือกใช้ความหนาขนาด 1.5 มิลลิเมตร และ 0.2 มิลลิเมตร และนำมาทดลองต่อ ปรากฏผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.12 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนของสัญญาณ จากทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อใช้คู่แผ่นทองแดง ( 1.5 ม.ม. / 0.2 ม.ม.)

ผลจากการทดลองตามรูปที่ 4.12 พบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุดกับอัตรา ส่วนสัญญาณจากทีแอลดี 200 เมื่อใช้คู่แผ่นทองแดง (1.5 / 0.2 ) มีลักษณะความเป็นเชิงเส้นสูง โดย มีสมการเป็น  $Y$  (TLD ratio) = 0.0021  $X$  (kVp) - 0.080 และ  $R^2$  มีค่า 0.9915 ดังนั้นการวิจัยนี้จึงจะ ใช้ทีแอลดี 200 คู่กับแผ่นทองแดง 1.5 มิลลิเมตร และ 0.2 มิลลิเมตร ในการวัดความต่างศักย์สูงสุด

**4.1.3 การทดสอบเพื่อหาความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมที่เหมาะสมสำหรับการหาความหนาครั้งค่า** โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมที่เหมาะสมในการหาความหนาครั้งค่า เนื่องจากในการออกแบบชุดตรวจสอบคุณภาพ ได้ออกแบบช่องสำหรับใส่แผ่นกรองรังสีไว้สำหรับวิเคราะห์หาความหนาครั้งค่า จำนวน 4 ช่อง โดย 3 ช่องสำหรับใส่แผ่นกรองอะลูมิเนียม อีก 1 ช่องที่เหลือเป็นช่องเปิดไม่ใส่แผ่นกรองใดๆ และกำหนดความหนาของแผ่นกรองมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากความหนาครั้งค่าของรังสีเอกซ์วินิจฉัยกำหนดด้วยความหนาเป็นมิลลิเมตรของอะลูมิเนียม ดังนั้นต้องเลือกความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมให้สามารถกรองรังสีลดหลั่นกันลงมาและความหนาสุดท้ายต้องสามารถกรองรังสีได้มากกว่าครึ่งของปริมาณรังสีที่ไม่ได้ผ่านแผ่นกรอง ในการทดสอบทำโดยบรรจุทีแอลดี 700 ในชุดตรวจสอบคุณภาพจำนวน 4 ช่อง ได้แผ่นอะลูมิเนียมความหนาที่เลือกไว้จำนวน 3 ช่อง และอีก 1 ช่องที่เหลือซึ่งเป็นช่องเปิด นำชุดตรวจสอบคุณภาพนี้ไปฉายรังสีจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยชนิด 1PF ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ แล้วนำทีแอลดีไปอบหลังการฉายรังสี นำไปอ่านหาค่าสัญญาณของทีแอลดีได้ช่องเปิดและได้แผ่นกรองอะลูมิเนียมต่าง ๆ ใช้โปรแกรมเอกเซลเขียนกราฟและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณของทีแอลดีที่ผ่านแผ่นกรองและความหนาของแผ่นกรองอะลูมิเนียม คำนวณความหนาครั้งค่าซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ค่าสัญญาณลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ไม่ได้ใส่แผ่นกรองโดยใช้ สมการที่ 2.4 ความหนาดังกล่าวจะเป็นความหนาครั้งค่าของพลังงานนั้นเมื่อเทียบกับความหนาของอะลูมิเนียมของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น

**ผลการทดสอบเพื่อหาความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมที่เหมาะสมสำหรับการหาความหนาครั้งค่า** โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมที่หาได้ตามท้องตลาด และมีความหนาแตกต่างกัน 3 ค่า จากผลการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อใช้อะลูมิเนียมชนิดที่ 1 ซึ่งเป็นชนิดธรรมดาที่มีความหนา 1.3, 2.6 และ 4.0 มิลลิเมตรตามลำดับสามารถกรองรังสีให้ลดหลั่นลงมาโดยที่ความหนา 4.0 มิลลิเมตรได้จากการซ้อนกันของความหนา 1.3 มิลลิเมตรจำนวน 3 แผ่น สามารถกรองรังสีให้ลดลงเหลือร้อยละ 35.5 ของปริมาณรังสีที่ไม่ได้ผ่านแผ่นกรอง อะลูมิเนียมชนิดที่ 2 เป็นชนิดผิวมันมีความหนา 1.8, 3.7 และ 5.6 ซึ่งความหนา 3.7 และ 5.6 มิลลิเมตร เกิดจากการซ้อนกันของแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 1.8 มิลลิเมตรจำนวน 2 และ 3 แผ่น ความหนาของอะลูมิเนียมชุดดังกล่าวนี้สามารถกรองรังสีให้ลดหลั่นลงมาได้ดีเหมือนชนิดที่ 1 แต่ความหนาที่มากก็ทำให้เกิดรังสีสะท้อนได้มากขึ้น ทำให้ชนิดที่ 1 ดีกว่า ส่วนชนิดที่ 3 เป็นอะลูมิเนียมธรรมดาความหนาต่างๆที่ได้เกิดจากการนำความหนาแผ่นละประมาณ 1 มิลลิเมตรมาซ้อนกันซึ่งต้องซ้อนกันถึง 4 แผ่นจึงจะสามารถกรองรังสีได้มากกว่าร้อยละ 50 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกอะลูมิเนียมชนิดที่ 1 ซึ่งมีความหนา 1.3, 2.6 และ 4.0 มิลลิเมตรมาบรรจุในชุดตรวจสอบคุณภาพและใช้ร่วมกับช่องที่ไม่ได้ผ่านแผ่นกรองรังสีเพื่อนำมาหาความหนาครั้งค่าต่อไป

ตารางที่ 4.4 แสดงความหนาของแผ่นอะลูมิเนียม สัญญาณของทีแอลดีที่อ่านได้ให้ความหนาที่สอดคล้องกัน และร้อยละของการกรองรังสี

ชนิดของ อะลูมิเนียม	ความหนา (ม.ม.)	สัญญาณของ ทีแอลดี (nC)	ร้อยละของการ กรองรังสี
1	0	55.4	100
	1.3	37.1	69.9
	2.6	28.7	49.8
	4.0	20.8	35.5
2	0	55.2	100
	1.8	37.0	66.0
	3.7	26.8	48.3
	5.6	19.4	35.2
3	0	55.3	100
	2.2	37.6	68.0
	3.1	32.1	58.0
	3.8	27.8	50.2
	4.4	23.4	42.4

#### 4.2. การทดสอบเพื่อปรับปรุงคุณภาพของชุดตรวจสอบคุณภาพและผลการทดสอบ

วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลของรังสีทุติยภูมิและรังสีสะท้อนต่อการวิเคราะห์หาความต่างศักย์สูงสุดเพื่อปรับปรุงคุณภาพของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น

**4.2.1 การทดสอบการใช้แผ่นตะกั่วเพื่อป้องกันรังสีสะท้อนกลับ** เนื่องจากเตียงคนไข้ที่จะนำชุดตรวจสอบคุณภาพไปวางเพื่อวัดตัวประกอบเทคนิคของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ ณ ที่ต่างๆ อาจทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน จึงทำให้เกิดรังสีสะท้อนกลับ (Back scattering radiation) ต่างกัน ดังนั้นจึงทดสอบผลของรังสีสะท้อนกลับต่ออัตราส่วนของทีแอลดี โดยใช้ตะกั่วรองที่ฐานของชุดตรวจสอบคุณภาพครั้งหนึ่ง และอีกครึ่งหนึ่งไม่มีตะกั่วรองฐาน ใช้ทีแอลดี 200 บรรจุในหลุม ของชุดตรวจสอบคุณภาพ ทั้งส่วนที่มีและไม่มีแผ่นตะกั่วรองฐาน นำแผ่นกรองทองแดงที่มีความหนาแตกต่างกัน และผ่านการคัดเลือกแล้วว่ามีความเหมาะสมมาวางบนหลุมที่บรรจุทีแอลดี นำชุดตรวจสอบคุณภาพไปฉายรังสีโดยใช้ตั้งความต่างศักย์สูงสุด 80 กิโลโวลต์ กระแสหลอด 200 มิลลิแอมแปร์

เวลาในการฉายรังสี 0.2 วินาทีระยะจากโพกัสของหลอดรังสีเอกซ์กับชุดตรวจสอบคุณภาพ 50 เซนติเมตร โดยวางชุดตรวจสอบคุณภาพบนวัสดุแทนเตียงคนไข้ ที่เป็น เหล็ก อะลูมิเนียม ไม้ และเตียงคนไข้ธรรมดา เมื่อฉายรังสีแล้วนำทีแอลดีไปอบหลังการฉายรังสี นำมาอ่าน วิเคราะห์อัตรา ส่วนของสัญญาณทีแอลดีได้ผ่านกรองทั้งสอง

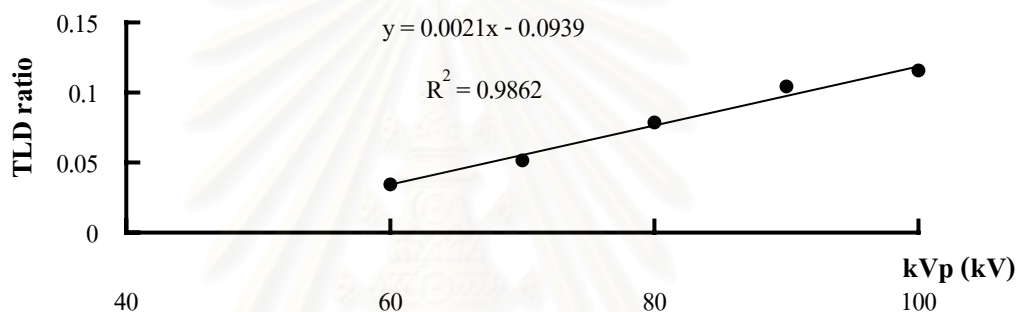
**ผลการทดสอบการใช้แผ่นตะกั่วเพื่อป้องกันรังสีสะท้อนกลับ** ผลการทดสอบดังแสดง ในตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อไม่มีตะกั่วเป็นฐานรอง อัตราส่วนของสัญญาณของทีแอลดีได้คู่แผ่น ทองแดงจะมีค่าต่างกันออกไป แต่เมื่อใช้ตะกั่วรองฐานของชุดตรวจสอบคุณภาพแล้ว ไม่ว่าจะนำไปวางบนวัสดุที่แตกต่างกัน ค่าของอัตราส่วนดังกล่าวค่อนข้างคงที่

ตารางที่ 4.5 แสดงอัตราส่วนของสัญญาณของทีแอลดี ได้แผ่นทองแดง (1.5 ม.ม. / 0.2 ม.ม.) เมื่อมี แผ่นตะกั่วรองฐานและไม่มีแผ่นตะกั่วรองฐานของชุดตรวจสอบคุณภาพ เมื่อวางบน วัสดุแทนเตียงคนไข้ต่างชนิดกัน

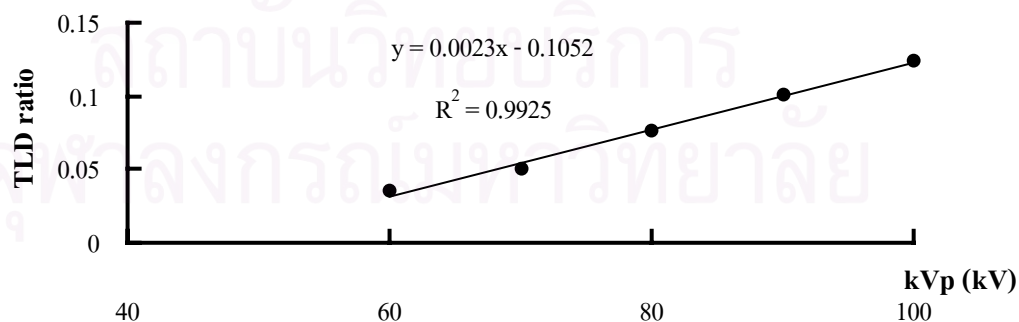
วัสดุแทนเตียงคนไข้	อัตราส่วนของสัญญาณของทีแอลดีได้คู่แผ่น ทองแดง (1.5 ม.ม. / 0.2 ม.ม.)	
	ไม่มีตะกั่วรองฐาน	มีตะกั่วรองฐาน
เหล็ก	0.0934	0.0862
อะลูมิเนียม	0.1341	0.0842
ไม้	0.1429	0.0859
เตียงธรรมดา	0.1312	0.0858

**4.2.2 การทดสอบการป้องกันรังสีทุติยภูมิ** ในการวัดรังสีจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์นอกจาก ทีแอลดีจะได้รับรังสีปฐมภูมิจากหลอดรังสีเอกซ์แล้วยังได้รับรังสีทุติยภูมิจากแผ่นตะกั่วที่ใช้รอง ฐานของชุดตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งทำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ระดับพลังงานต่างๆ ระดับพลังงาน ที่มีผลมากในการวัดรังสีมีค่าประมาณ 88 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ (keV) เพื่อป้องกันรังสีเอกซ์เฉพาะ ตัวที่เกิดขึ้นดังกล่าวจึงทดลองใช้แผ่นทองแดง 0.2 มิลลิเมตร คูณคลื่นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวดังกล่าว โดยบรรจุทีแอลดี 200 จำนวน 2 ชุด ๆ ละ 3 ซิป ลงในชุดตรวจสอบคุณภาพ ใช้แผ่นทองแดงรอง เหนือแผ่นตะกั่วแต่อยู่ใต้ทีแอลดีชุดหนึ่ง ส่วนทีแอลดีอีกชุดไม่ต้องรองด้วยแผ่นทองแดง ทำการ ฉายรังสีชุดตรวจสอบคุณภาพที่ความต่างศักย์ 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลโวลต์ ตามลำดับโดย แต่ละค่าของความต่างศักย์ต้องเปลี่ยนทีแอลดีใหม่ทุกครั้ง เมื่อฉายรังสีแล้วนำทีแอลดีไปอบหลัง การฉายรังสี นำไปอ่านแล้ววิเคราะห์หาความต่างศักย์สูงสุด

**ผลการทดสอบการป้องกันรังสีทศวิทยุมิ** เมื่อนำอัตราส่วนของสัญญาณที่แอลดีได้แผ่นทองแดงทั้งสองและความต่างศักย์สูงสุดมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ โดยรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์เมื่อไม่มีแผ่นทองแดงวางเหนือแผ่นตะกั่ว ส่วนรูปที่ 4.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์เมื่อมีแผ่นทองแดงวางเหนือแผ่นตะกั่ว จากกราฟทั้งสองจะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีแผ่นทองแดงรองอัตราส่วนของสัญญาณที่ 90 กิโลโวลต์ จะสูงกว่าเมื่อมีแผ่นทองแดงรอง แต่ค่า  $R^2$  มีค่าน้อยกว่า ดังนั้นจึงควรใช้แผ่นทองแดงมาดูดกลืนรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดจากแผ่นตะกั่วเมื่อฉายรังสีชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นที่ความต่างศักย์สูงสุด 90 กิโลโวลต์ สำหรับสร้างกราฟการสอบเทียบหรือเมื่อเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ที่ต้องการวัดมีค่าความต่างศักย์สูงสุดเบี่ยงเบนเข้าใกล้ 90 กิโลโวลต์



รูปที่ 4.13 แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนสัญญาณจาก ทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อไม่มีแผ่นทองแดงรองเหนือแผ่นตะกั่ว



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุด (kVp) และอัตราส่วนสัญญาณจากทีแอลดี 200 (TLD ratio) เมื่อมีแผ่นทองแดงรองเหนือแผ่นตะกั่ว



### 4.3 การสอบเทียบและผลการสอบเทียบค่าตัวประกอบเทคนิคที่ต้องการวัด

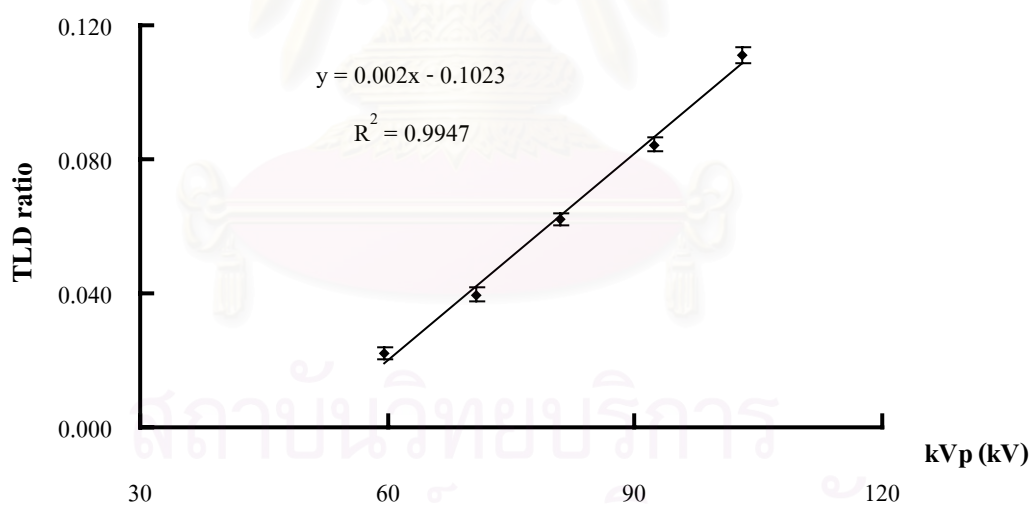
วัตถุประสงค์ในการพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพเพื่อวิเคราะห์หรือวัดตัวประกอบเทคนิค 3 ตัว ได้แก่ ความต่างศักย์สูงสุด ความหนาครึ่งค่าและเอกซ์โพเซอร์ ดังนั้นจึงต้องมีการสอบเทียบตัวประกอบเทคนิค 3 ตัวนี้ทั้งจากเครื่องตรวจสอบคุณภาพมาตรฐาน RMI เครื่องวัดรังสี มาตรฐาน และเครื่องฉายรังสีมาตรฐานกับเครื่องตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น

**4.3.1 การสอบเทียบความต่างศักย์สูงสุด** เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน RMI และจากเครื่องตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ โดยวิธีการต่อไปนี วางเครื่องตรวจสอบคุณภาพมาตรฐาน RMI ให้ห่างจากโฟกัสของหลอดรังสีเอกซ์เป็นระยะ 50 เซนติเมตร ตั้งค่ากระแสหลอดที่ 200 มิลลิแอมแปร์ เวลาการฉายรังสี 0.2 วินาที วัดค่าความต่างศักย์สูงสุดที่ 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลโวลต์ตามลำดับ ทำการวัดอย่างน้อย 3 ครั้ง คำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต่างศักย์สูงสุดที่วัดได้ สำหรับการวัดความต่างศักย์สูงสุดโดยชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นทำได้โดยบรรจุทีแอลดี 200 ลงในชุดตรวจสอบคุณภาพตามตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ตั้งเทคนิคการฉายรังสีเหมือนการใช้เครื่อง RMI ฉายรังสีชุดตรวจสอบคุณภาพโดยตั้งค่าความต่างศักย์เป็น 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลโวลต์ ตามลำดับ แต่ละค่าของความต่างศักย์ทำการฉายรังสี 3 ครั้ง และต้องเปลี่ยนทีแอลดีใหม่ทุกครั้ง หลังจากฉายรังสีแล้วนำทีแอลดีมาอบหลังการฉายรังสี นำมาอ่าน หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณได้แก่กรองรังสีทองแดงที่แต่ละความต่างศักย์สูงสุด

**ผลการสอบเทียบความต่างศักย์สูงสุด** ความต่างศักย์สูงสุดเฉลี่ยที่วัดได้จากเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และอัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดีจากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น ที่ความต่างศักย์เดียวกัน ซึ่งได้จากการอ่านค่าละ 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 4.6 และเมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์สูงสุดที่วัดจากเครื่องวัด RMI บนแกน X และอัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดี บนแกน Y โดยใช้โปรแกรมเอกเซล ได้กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งได้สมการความสัมพันธ์เป็น  $Y = 0.002 X - 0.1023$  โดย  $R^2$  มีค่าเป็น 0.9942 กราฟที่ได้นี้จะใช้ในการสอบเทียบหาค่าความต่างศักย์สูงสุดของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ต่อไป

ตารางที่ 4.6 แสดงความต่างศักย์สูงสุดที่ตั้ง ความต่างศักย์สูงสุดที่วัดได้จากเครื่อง RMI และ อัตราส่วนสัญญาณของ ทีแอลดี เมื่อนำไปฉายรังสีที่ความต่างศักย์ต่างๆจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยที่ใช้ในการสอบเทียบ

ความต่างศักย์สูงสุดที่ตั้ง (kV)	ความต่างศักย์สูงสุดจากเครื่อง RMI (kV)	อัตราส่วนสัญญาณของ ทีแอลดี
60	59.5 ± 0.1	0.022 ± 0.002
70	70.7 ± 0.2	0.040 ± 0.002
80	81.0 ± 0.1	0.062 ± 0.002
90	92.3 ± 0.1	0.084 ± 0.002
100	103.1 ± 0.1	0.111 ± 0.003



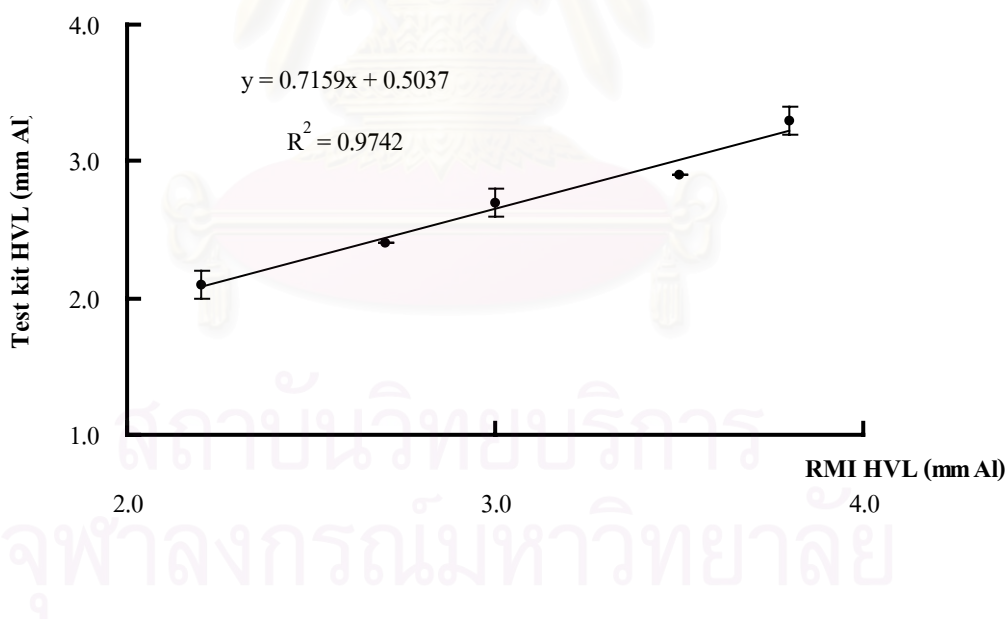
รูปที่ 4.15 กราฟมาตรฐาน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ สูงสุด (kVp) ที่วัดจากเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และอัตราส่วนสัญญาณจาก ทีแอลดี (TLD ratio) จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น

**4.3.2 การสอบเทียบความหนาครั้งค่า** วัดปริมาณเอกซ์โพเซอร์โดยใช้เครื่องวัดเอกซ์โพเซอร์มาตรฐาน RMI เพื่อนำไปหาความหนาครั้งค่าที่ความต่างศักย์สูงสุด 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลโวลต์ เริ่มวัดค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ 60 กิโลโวลต์โดยไม่ใช้แผ่นกรองรังสี ต่อจากนั้นวัดเอกซ์โพเซอร์โดยใช้แผ่นกรองอะลูมิเนียมมาตรฐานชนิด 1100 ของบริษัท RMI ความหนา 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 4.0 และ 4.5 มิลลิเมตรตามลำดับ แต่ละค่าของความหนาดังกล่าววัดเอกซ์โพเซอร์อย่างน้อย 3 ครั้ง เฉลี่ยค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ความหนาต่างๆ หลังจากนั้นใช้โปรแกรมเอกเซลเขียนกราฟและหาสมการเอกซ์โพเนนเชียล คำนวณความหนาครั้งค่าที่พลังงานของรังสี 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลโวลต์ตามลำดับ โดยใช้สมการที่ 2.4 หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาครั้งค่า สำหรับการวัดความหนาครั้งค่าโดยชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น ทำได้โดยบรรจุ ทีแอลดี 700 ลงในชุดตรวจสอบคุณภาพตามตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ ตั้งเทคนิคการฉายรังสีเหมือนการใช้เครื่องวัดเอกซ์โพเซอร์ RMI ฉายรังสีชุดตรวจสอบคุณภาพโดยตั้งค่าความต่างศักย์เป็น 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลโวลต์ ตามลำดับ แต่ละค่าของความต่างศักย์ทำการฉายรังสี 3 ครั้ง และต้องเปลี่ยน ทีแอลดี ใหม่ทุกครั้ง หลังจากฉายรังสีแล้ว นำทีแอลดีมาอบหลังการฉายรังสี นำมาอ่าน หาค่าเฉลี่ยของสัญญาณทีแอลดีได้แผ่นอะลูมิเนียมความหนา 1.3, 2.6 และ 4.0 มิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนสัญญาณของทีแอลดีได้ช่องเปิดที่อยู่ด้านใกล้เอนโดซึ่งมีค่าของสัญญาณน้อยกว่าสัญญาณด้านใกล้แคโทดเนื่องจากผลของฮิลเฟลด์ ดังนั้นจึงแก้ค่าดังกล่าวด้วยแฟกเตอร์ 1.06 ตามผลการทดสอบข้อ 4.1.1 หลังจากนั้นใช้โปรแกรมเอกเซลเขียนกราฟและหาสมการเอกซ์โพเนนเชียล คำนวณความหนาครั้งค่าที่พลังงานของรังสี 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลโวลต์ ตามลำดับ โดยใช้สมการที่ 2.4 หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาครั้งค่า ความหนาครั้งค่าที่คำนวณได้เป็นค่าความหนาครั้งค่าเมื่อเทียบกับแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นซึ่งเป็นคนละชนิดกับแผ่นอะลูมิเนียมมาตรฐานที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ใช้อยู่ ดังนั้นใช้โปรแกรมเอกเซล เขียนกราฟและหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาครั้งค่าของพลังงานต่างๆที่คำนวณได้จากเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และจากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น

**ผลการสอบเทียบความหนาครั้งค่า** ผลการคำนวณความหนาครั้งค่าโดยใช้เครื่องวัดทั้งสอง แสดงในตารางที่ 4.7 และเมื่อนำมาเขียนกราฟโดยให้แกน X แทนความหนาครั้งค่าของ RMI แกน Y แทนความหนาครั้งค่าของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นจะได้รับความสัมพันธ์ในรูป  $Y = 0.7159 X + 0.5037$  โดยค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9742 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 กราฟที่ได้นี้จะป็นกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการสอบเทียบความหนาครั้งค่าต่อไป

ตารางที่ 4.7 แสดงความหนาครึ่งค่า ในหน่วยมิลลิเมตรของอะลูมิเนียม(mm Al) ที่วิเคราะห์ได้จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นและจากเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI ที่ความต่างศักย์สูงสุด (kV) ต่างๆ

ความต่างศักย์สูงสุด (kV)		ความหนาครึ่งค่า (mm Al)	
ค่าที่ตั้ง	ค่าที่วัดจาก RMI	ชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น	เครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI
60	59.5 ± 0.1	2.1 ± 0.1	2.2 ± 0.1
70	70.7 ± 0.2	2.4 ± 0.0	2.7 ± 0.0
80	81.0 ± 0.1	2.7 ± 0.1	3.0 ± 0.0
90	92.3 ± 0.1	2.9 ± 0.0	3.5 ± 0.0
100	103.1 ± 0.1	3.3 ± 0.1	3.8 ± 0.1



รูปที่ 4.16 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาครึ่งค่าที่คำนวณได้จากเครื่องตรวจสอบคุณภาพ RMI กับค่าที่คำนวณได้จากชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น (Test kit)

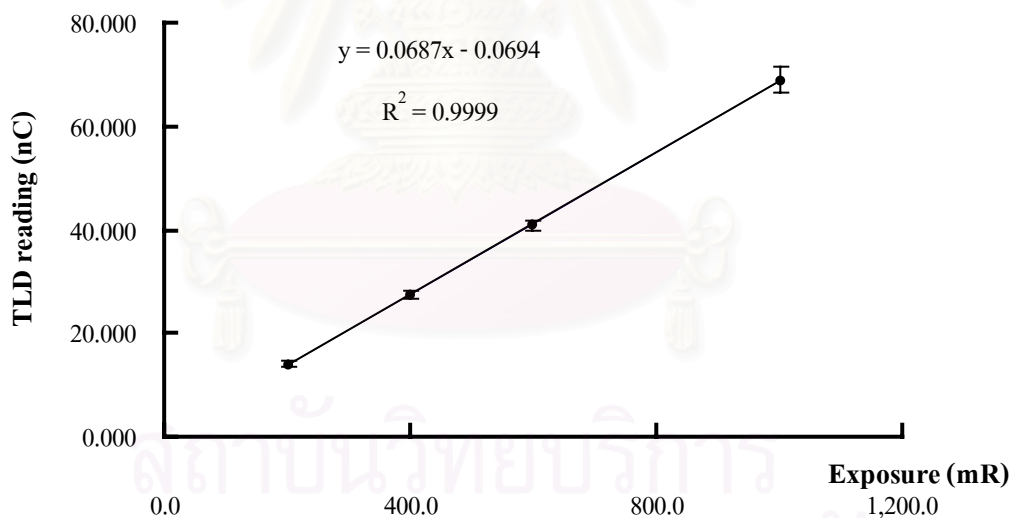
**4.3.3 การสอบเทียบปริมาณเอกซ์โพเซอ์** เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างสัญญาณของทีแอลดีที่อ่านได้จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นได้ช่องเปิดกับปริมาณรังสีมาตรฐานจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์รักษาลี้กมาตรฐานและเครื่องวัดรังสีมาตรฐานของห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ การสอบเทียบใช้วิธีแทนที่ (Substitution method) โดยใช้หัววัดรังสีมาตรฐานชนิดห้องแตกตัว (Ionization chamber) TK30 ปริมาตร 30 ลูกบาศก์เซนติเมตรและเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน NP 2100 วัดปริมาณเอกซ์โพเซอ์ ที่ความต่างศักย์สูงสุด 70 กิโลโวลต์ กระแสหลอด 12 มิลลิแอมแปร์ ระยะทางจากโฟกัสของหลอดถึงจุดที่ทำการสอบเทียบ 2 เมตร ที่ความต่างศักย์สูงสุดนี้เทียบเท่ากับค่าพลังงานยังผล 29 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ หรือหากคิดในรูปของความหนาแน่นจะเท่ากับ ความหนา 2 มิลลิเมตรของอะลูมิเนียม วัดปริมาณเอกซ์โพเซอ์ในอากาศ จำนวน 4 ค่า ได้แก่ 200, 400, 600 และ 1000 มิลลิเรินเกนต์ตามลำดับ แต่ละค่าของเอกซ์โพเซอ์ทำการวัดอย่างน้อย 5 ครั้ง หากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเอกซ์โพเซอ์แต่ละปริมาณที่อ่านได้จากหัววัดรังสีมาตรฐาน หลังจากนั้นบรรจุทีแอลดี 700 ชุดละ 3 ซิป ในชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นแล้วนำมาฉายรังสี ณ ตำแหน่งเดียวกับหัววัดรังสีมาตรฐานโดยให้ได้รับปริมาณเอกซ์โพเซอ์เท่าที่กำหนดไว้เหมือนหัววัดรังสีมาตรฐานซึ่งควบคุมปริมาณรังสีโดยหัววัดรังสีที่เรียกว่าห้องแตกตัวมอนิเตอร์ (Monitor chamber) แต่ละค่าของปริมาณเอกซ์โพเซอ์ฉายรังสีทีแอลดี จำนวน 3 ครั้ง เมื่อฉายรังสีแล้วนำทีแอลดีไปอบหลังการฉายรังสี นำไปอ่าน หากค่าเฉลี่ยสัญญาณของทีแอลดีที่แต่ละค่าของเอกซ์โพเซอ์

**ผลการสอบเทียบปริมาณเอกซ์โพเซอ์** ผลการวัดปริมาณเอกซ์โพเซอ์ในหน่วยมิลลิเรินเกนต์ ของห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ที่ได้จากการวัด 5 ครั้ง และผลการวัดสัญญาณของทีแอลดีที่ได้จากการฉายรังสี ที่ปริมาณเอกซ์โพเซอ์ที่สอดคล้องกันแสดงในตารางที่ 4.8 เมื่อนำมาเขียนกราฟโดยให้แกน X แทนปริมาณเอกซ์โพเซอ์มาตรฐาน แกน Y แทนสัญญาณของทีแอลดีจะได้กราฟความสัมพันธ์ในรูปสมการ  $Y = 0.0687 X - 0.0694$  ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9999 ดังแสดงในรูปที่ 4.17 กราฟนี้จะใช้ในการสอบเทียบปริมาณเอกซ์โพเซอ์ต่อไป



ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเอกซ์โพเชอร์ (mR) จากห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิและ  
สัญญาณจากทีแอลดี 700 ที่นายรังสี ณ ตำแหน่งเดียวกัน

เอกซ์โพเชอร์จากห้อง ปฏิบัติการมาตรฐาน (mR)	สัญญาณจาก ทีแอลดี (nC)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
202.4 ± 1.9	14.3	13.8	14.0	14.1 ± 0.4
400.6 ± 1.4	27.6	27.4	26.8	27.3 ± 0.7
599.9 ± 0.9	40.4	40.4	41.9	40.9 ± 0.9
1003.0 ± 0.7	66.7	69.6	70.7	69.0 ± 2.3



รูปที่ 4.17 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Exposure (mR) จากห้องปฏิบัติการ  
เครื่องวัดรังสีมาตรฐานและสัญญาณจากทีแอลดี 700 (TLD reading) ที่นายรังสี  
ณ ตำแหน่งเดียวกัน

#### 4.4 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของชุดตรวจสอบคุณภาพและผลการทดสอบ

การวัดตัวประกอบเทคนิคต่างๆเช่นความต่างศักย์สูงสุด เวลาในการฉายรังสี และปริมาณเอกซ์โพซิเจอร์ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์โดยเครื่องตรวจสอบคุณภาพระบบอิเล็กทรอนิกส์นั้น ส่วนใหญ่วัดได้พร้อมกันในการฉายรังสีเพียงครั้งเดียว เครื่องบางรุ่นสามารถวัดได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น เครื่องบางรุ่นมีข้อกำหนดในการจัดแนววาง (Orientation) เช่นในกรณีของเครื่องยี่ห้อ Kiethley หรือ NERO ต้องวางเครื่องในแนวตั้งฉากกับแนวแอนโอด-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์ เพื่อลดปัญหาของฮิลเอฟเฟค ในขณะที่ยี่ห้อ RMI ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับฮิลเอฟเฟค เป็นต้น โดยทั่วไปเมื่อนำเครื่องระบบอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้มาใช้งาน ผลการวัดของเครื่องจะไม่ขึ้นกับปริมาณเอกซ์โพซิเจอร์หรือผลคูณระหว่างกระแสหลอดกับเวลาที่ใช้นาฬิกา (mAs) ในส่วนของระยะทางก็เช่นกันการเปลี่ยนระยะทางไม่มากนักจะไม่มีผลกับการวัดเช่นกัน อาจกล่าวได้ว่าผลการวัดไม่ขึ้นกับค่า mAs และระยะทาง ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบคุณสมบัติดังกล่าวของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นเช่นกัน โดยจะไม่ทดสอบผลของ mAs และระยะทางที่มีต่อปริมาณเอกซ์โพซิเจอร์เนื่องจากโดยทั่วไปเอกซ์โพซิเจอร์แปรตาม mAs แต่แปรผกผันกับระยะทาง

**4.4.1 การทดสอบผลของปริมาณ mAs ที่มีต่อการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาแน่นค่าของชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น** เพื่อทดสอบว่าผลการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาแน่นค่าจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อค่า mAs เปลี่ยนแปลงไปจากค่ามาตรฐานที่จะใช้ในการวัดจริงที่ 40 mAs และกำหนดจากผลคูณของกระแสหลอด 200 มิลลิแอมแปร์กับเวลาการฉายรังสี 0.2 วินาที (200 mA x 0.2 sec) เนื่องจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ทุกเครื่องอาจไม่สามารถตั้งค่า mAs ตามที่กำหนดได้ การทดสอบทำได้โดยบรรจุทีแอลดี 200 และทีแอลดี 700 ลงในชุดตรวจสอบคุณภาพ นำไปฉายรังสีจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัย ตั้งค่าความต่างศักย์สูงสุดที่ 80 กิโลโวลต์ ระยะทางจากโฟกัสของหลอดถึงชุดตรวจสอบคุณภาพเท่ากับ 50 เซนติเมตร ฉายรังสีที่ 8, 10, 20, 30 และ 40 mAs โดยตั้งค่ากระแสหลอดให้คงที่ ที่ 200 มิลลิแอมแปร์ ปรับเวลาการฉายรังสีเพื่อให้ mAs เป็นไปตามที่กำหนดไว้ และทดลองตั้งค่ากระแสหลอดให้คงที่ ที่ 100 มิลลิแอมแปร์ แล้วปรับเวลาการฉายรังสีเพื่อให้ mAs เป็นไปตามที่กำหนดไว้เช่นกัน ฉายรังสีที่ mAs ใดๆ 3 ครั้งโดยต้องเปลี่ยนทีแอลดีทุกครั้งที่เปลี่ยนค่ากระแสหลอดหรือเปลี่ยนเวลาการฉาย เมื่อฉายรังสีเรียบร้อยแล้ว นำทีแอลดีไปอบหลังการฉายรังสี นำไปอ่านเพื่อวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาแน่นค่าเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเทคนิคการตั้งค่ามาตรฐานที่ 40 mAs ต่อไป

**ผลการทดสอบผลของ mAs ที่มีต่อการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาแน่นค่าของชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น** จากผลการทดสอบ วิเคราะห์ได้ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาแน่นค่าที่ mAs ต่างๆของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นและร้อยละของความแตกต่างของค่าที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งเป็นมาตรฐาน 40 mAs แสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าร้อยละของความแตกต่าง

ของความต่างศักย์สูงสุดมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 2.1 ในขณะที่ร้อยละของความแตกต่างของความหนา  
ครึ้งค่ามีค่ามากที่สุดเท่ากับ -6.5 หนึ่งเนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ที่ใช้ทำให้เมื่อตั้งค่า  
กระแสหลอด 200 มิลลิแอมแปร์ ไม่สามารถตั้งค่า 30 mAs ได้ แต่ต้องตั้งที่ 32 mAs

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณเอกซ์โพไซเจอร์ (mAs) ความต่างศักย์สูงสุด (kV) ความหนาครึ้งค่า  
(mm Al) ที่วิเคราะห์ได้จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปลี่ยน mAs และ  
ร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) จากค่าที่วัดได้เมื่อตั้งมาตรฐานที่ 40 mAs

เอกซ์โพไซเจอร์โดส (mAs)	ความต่างศักย์สูงสุด (kV)		ความหนาครึ้งค่า (mm Al)	
	ค่าที่วัดได้	% Diff	ค่าที่วัดได้	% Diff
ค่าตั้งมาตรฐาน 40 (200 x 0.2)	81.7	-	3.1	-
8 (200 x 0.04)	83.2	1.8	3.2	3.2
10 (200 x 0.5)	82.6	1.1	2.9	-6.5
20 (200 x 0.1)	82.4	0.9	3.1	0
32 (200 x 0.16)	81.5	-0.2	3.1	0
8 (100 x 0.08)	82.5	1.0	3.1	0
10 (100 x 0.1)	83.4	2.1	3.2	3.2
20 (100 x 0.2)	82.7	1.2	2.9	-6.5
30 (100 x 0.3)	83.0	1.6	3.1	0
40 (100 x 0.4)	82.7	1.2	3.1	0

**4.4.2 การทดสอบผลของระยะห่างระหว่างโฟกัสของหลอดรังสีเอกซ์กับชุดตรวจสอบที่มีต่อ**  
การวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาครึ้งค่าของชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น เพื่อทดสอบ  
ว่าผลการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาครึ้งค่าจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อระยะทาง  
เปลี่ยนไปเนื่องจากในการวัดจริงอาจมีข้อผิดพลาดในการวัดระยะทางจากโฟกัสของหลอดถึงชุด  
ตรวจสอบคุณภาพที่จะกำหนดไว้ที่ 50 เซนติเมตร ดังนั้นจึงทำการทดสอบว่าถ้าระยะทางผิดพลาด  
จากที่กำหนดไว้ร้อยละ  $\pm 10$  ผลการวิเคราะห์จะผิดพลาดไปเท่าใด การทดสอบทำได้โดยบรรจุ  
ทีแอลดี 200 และ ทีแอลดี 700 ลงในชุดตรวจสอบคุณภาพ นำไปฉายรังสีจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์  
ตั้งค่าความต่างศักย์สูงสุดที่ 80 กิโลโวลต์ กระแสหลอด 200 มิลลิแอมแปร์ เวลาในการฉายรังสี

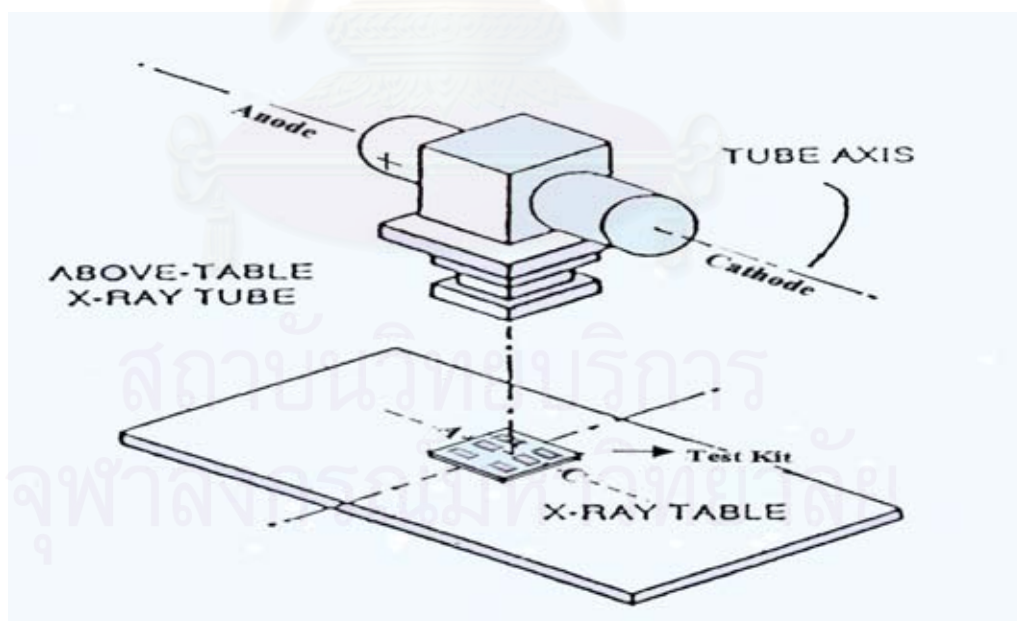
0.2 วินาที กำหนดระยะทางจากโฟกัสของหลอดรังสีเอกซ์ถึงชุดตรวจสอบคุณภาพเป็น 45 50 และ 55 เซนติเมตรตามลำดับ ทำการฉายรังสีที่ระยะทางหนึ่ง ๆ จำนวน 3 ครั้ง โดยเปลี่ยนที่แอลดีใหม่ ทุกครั้งที่ทำการฉายรังสี หลังจากฉายรังสีแล้วนำที่แอลดีไปอบหลังการฉายรังสี นำไปอ่าน วิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาครึ่งค่า จำนวนร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่าที่วัด ได้เมื่อใช้ระยะห่างอื่นกับระยะมาตรฐานที่ 50 เซนติเมตร

**ผลการทดสอบผลของระยะห่างระหว่างโฟกัสของหลอดรังสีเอกซ์กับชุดตรวจสอบที่มี ต่อการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาครึ่งค่าของชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น** ผลการ ทดลองวิเคราะห์ได้ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาครึ่งค่าที่ระยะห่างต่าง ๆ และร้อยละของ ความแตกต่างจากค่าที่วัดได้เมื่อตั้งระยะห่างมาตรฐานที่ 50 เซนติเมตร แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่า ร้อยละของความแตกต่างของความต่างศักย์สูงสุดมีค่ามากที่สุดเท่ากับ -1.0 ในขณะที่ร้อยละของ ความแตกต่างของความหนาครึ่งค่ามีค่ามากที่สุดเท่ากับ -6.5 ส่วนปริมาณเอกซ์โพเชอร์ผู้วิจัยไม่ได้ แสดงไว้ในที่นี้เนื่องจากโดยทั่วไปปริมาณเอกซ์โพเชอร์จะแปรผกผันกับระยะทาง

ตารางที่ 4.10 แสดง ความต่างศักย์สูงสุด (kV) ความหนาครึ่งค่า (mm Al) ที่วิเคราะห์ได้จากชุด ตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น เมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่างโฟกัสของหลอดรังสีเอกซ์กับ ชุดตรวจสอบ และร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) จากค่าที่วัดได้เมื่อตั้งระยะห่าง มาตรฐาน 50 เซนติเมตร

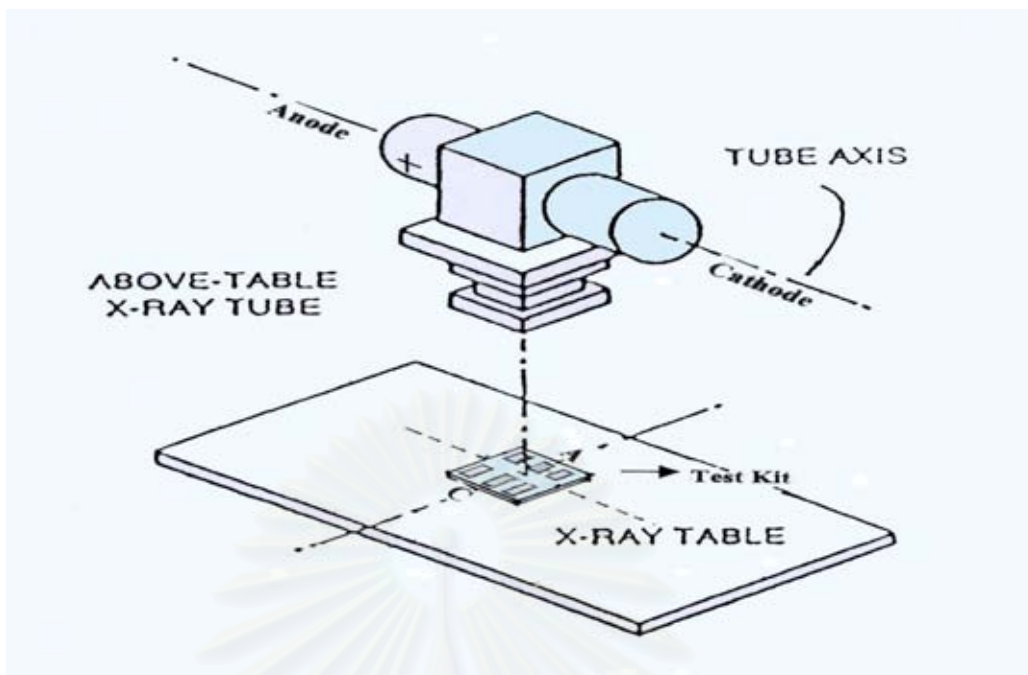
ระยะห่าง (ซ.ม)	ความต่างศักย์สูงสุด (kV)		ความหนาครึ่งค่า (mm Al)	
	ค่าที่วัดได้	% Diff	ค่าที่วัดได้	% Diff
ระยะห่างมาตรฐาน 50	82.2	-	3.1	-
45	81.7	-0.6	2.9	-6.5
55	80.9	-1.0	2.9	-6.5

**4.4.3 การทดสอบผลของอีเลฟเฟคที่มีต่อการวางชุดตรวจสอบคุณภาพ** เพื่อทดสอบว่าการสลับแนวการวาง (Orientation) ในแนวที่แตกต่างไปจากแนวที่ใช้ในการสอบเทียบของชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นมีผลอย่างไรกับการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาครึ่งค่า โดยบรรจุ ทีแอลดี 200 และ ทีแอลดี 700 ลงในชุดตรวจสอบคุณภาพ นำไปฉายรังสีที่ความต่างศักย์ 80 กิโลโวลต์ กระแสหลอด 200 มิลลิแอมแปร์ ใช้เวลาฉายรังสี 0.2 วินาที ระยะห่าง 50 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยวางชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นรวมทั้งหมด 4 ทิศทาง ทิศทางที่ 1 ให้แนวแกน (A-C) ของชุดตรวจสอบคุณภาพอยู่ในแนวแอนโอด-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์ โดย A จะอยู่ทางด้านแอนโอดดังแสดงในรูปที่ 4.18 ซึ่งแนวการวางนี้ใช้ในการสอบเทียบกับเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI ทิศทางที่ 2 หมุนชุดตรวจสอบตามเข็มนาฬิกาให้แนวแกนของชุดตรวจสอบ (A-C) ตั้งฉากกับแนวแอนโอด-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ทิศทางที่ 3 หมุนชุดตรวจสอบต่อในทิศทางเดิมให้แนวแกน (A-C) อยู่ในแนวแอนโอด-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์ แต่ A จะอยู่ด้านแคโทด ส่วนทิศทางที่ 4 หมุนชุดตรวจสอบอีกครั้งในทิศทางเดิมจนแนว (A-C) ตั้งฉากกับแนวแอนโอด-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์ แต่ A จะอยู่ตรงข้ามกับทิศทางที่ 2 ทำการฉายรังสีทิศทางละ 3 ครั้งและต้องเปลี่ยน ทีแอลดี ใหม่ทุกครั้งที่ยาฉายรังสี หลังจากนั้นนำ ทีแอลดี ไปอบหลังการฉายรังสี นำไปอ่านเพื่อวิเคราะห์หาความต่างศักย์สูงสุดและความหนาครึ่งค่า เปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างของค่าที่คำนวณได้ของการวางชุดตรวจสอบในแนวต่างๆ กับแนวที่ใช้ในการสอบเทียบ



รูปที่ 4.18 แสดงการวางชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น (Test kit) ในแนวขนานกับแนวแอนโอด-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์





รูปที่ 4.19 แสดงการวางชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น (Test kit) ในแนวตั้งจากกับแนว  
แอโนด-แคโทด ของหลอดรังสีเอกซ์

ผลการทดสอบผลของฮิลเอฟเฟกต์ที่มีต่อการวางชุดตรวจสอบคุณภาพ ผลการทดสอบ  
แสดงในตารางที่ 4.11 โดยเมื่อวางชุดตรวจสอบคุณภาพในแนวแอโนด-แคโทดของหลอดรังสีเอกซ์  
วิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดได้ 81.8 กิโลโวลต์ ความหนาครึ่งค่า 3.1 มิลลิเมตรของอะลูมิเนียม  
มาตรฐาน หากวางสลับในแนวอื่น ๆ และผลการวิเคราะห์ไม่ได้แก้ค่าเนื่องจากผลของฮิลเอฟเฟกต์  
พบว่าสำหรับความต่างศักย์สูงสุดในทิศทางที่ 3 ที่แนวแกนของชุดตรวจสอบคุณภาพยังคงขนานกับ  
แนวแอโนด-แคโทดแต่แผ่นทองแดงทั้งคู่ไปอยู่ด้านแคโทด ผลวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดผิดพลาด  
ไปร้อยละ 0.5 ในขณะที่ทิศทางที่ 2 และ 4 ที่ตั้งฉากกับแนวแอโนด-แคโทด ผลวิเคราะห์ผิดพลาด  
มากขึ้นเป็นร้อยละ 0.9 และ -2.8 เนื่องจากแผ่นทองแดงจะอยู่คนละด้านกันดังนั้นผลของฮิล  
เอฟเฟกต์จะมากกว่า สำหรับการวิเคราะห์ความหนาครึ่งค่าโดยไม่แก้ค่าผลของฮิลเอฟเฟกต์และวาง  
สลับกับแนวที่ใช้ในการสอบเทียบจะให้ความแตกต่างสูงสุดถึงร้อยละ -16.1 ดังนั้นในการใช้งาน  
จริงต้องระวังเรื่องแนวการวางชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นควรให้อยู่ในแนวเดียวกับแนวที่ใช้  
ในการสอบเทียบ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอกซ์โพซอร์ถึงแม้ไม่ได้ทำการทดสอบแต่ในการ  
สอบเทียบใช้สัญญาณของทีแอลดี ในแนวแกน (A-C) ด้านแอโนด ดังนั้นหากเปลี่ยนตำแหน่งไป  
ผลของฮิลเอฟเฟกต์จะทำให้มีความผิดพลาดมากขึ้น

ตารางที่ 4.11 แสดง ความต่างศักย์สูงสุด (kV) ความหนาครึ่งค่า (mm Al) ที่วิเคราะห์ได้จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปลี่ยนแนวการวางชุดตรวจสอบและร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) จากค่าที่วัดได้ในแนวที่ใช้ในการสอบเทียบ

แนวการวางชุดตรวจสอบ	ความต่างศักย์สูงสุด (kV)		ความหนาครึ่งค่า (mm Al)	
	ค่าที่วัดได้	% Diff	ค่าที่วัดได้	% Diff
ทิศทางที่ 1 (แนวที่ใช้สอบเทียบ)	81.8	-	3.1	-
ทิศทางที่ 2	82.5	0.9	2.9	-6.5
ทิศทางที่ 3	82.2	0.5	2.7	-12.9
ทิศทางที่ 4	79.5	-2.8	2.6	-16.1

**4.4.4 การทดสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบคุณภาพที่ความต่างศักย์สูงสุดอื่นๆ** ชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นจะนำไปใช้วิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคที่ 80 กิโลโวลต์ เท่านั้น ดังนั้นเพื่อทดสอบว่าที่ความต่างศักย์สูงสุดอื่นๆ ชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นยังสามารถวิเคราะห์ความต่างศักย์ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ได้อย่างถูกต้องหรือไม่ จึงได้ทดสอบโดยนำชุดตรวจสอบคุณภาพไปทดสอบหาค่าความถูกต้องที่ความต่างศักย์อื่นๆ เช่นที่ 72 และ 88 กิโลโวลต์ เนื่องจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนดค่าความผิดพลาดของความต่างศักย์สูงสุดไม่เกินร้อยละ  $\pm 10$  ซึ่งตรงกับความต่างศักย์สูงสุด 72 และ 88 กิโลโวลต์ นอกจากนั้นทำการทดสอบความถูกต้องที่ความต่างศักย์สูงสุด 62 กิโลโวลต์ อีก 1 ค่า เนื่องจากต้องนำชุดตรวจสอบคุณภาพไปทดสอบเครื่องชนิด 1 PH ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยโรคฟันที่ใช้ค่าความต่างศักย์สูงสุดต่ำกว่าเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ทั่วไป ในการทดสอบบรรจุที่แอลดี 200 ลงในชุดตรวจสอบคุณภาพ นำไปฉายรังสีโดยตั้งค่ากระแสหลอดที่ 200 มิลลิแอมแปร์ เวลาฉายรังสี 0.2 วินาที และระยะจากโฟกัสของหลอดถึงชุดตรวจสอบคุณภาพ 50 เซนติเมตร แต่ละค่าของความต่างศักย์สูงสุดทำการทดลอง 3 ครั้งและต้องเปลี่ยนที่แอลดีใหม่ทุกครั้งที่ใช้ฉายรังสี เมื่อฉายรังสีแล้วนำที่แอลดีไปอบหลังการฉายรังสี นำไปอ่าน เพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป

**ผลการทดสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบคุณภาพที่ความต่างศักย์สูงสุดอื่นๆ** ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.12 โดยเมื่อตั้งค่าความต่างศักย์สูงสุดที่ 62, 72 และ 88 กิโลโวลต์ วิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดได้เป็น 61.9, 70.4 และ 89.2 กิโลโวลต์ ตามลำดับโดยร้อยละของความแตกต่างสูงสุดมีค่า -3.0

ตารางที่ 4.12 แสดงความต่างศักย์ที่ตั้งและที่วัดได้จากเครื่องวัด RMI ความต่างศักย์ที่วัดได้จากชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น (Test kit) และร้อยละของความแตกต่างของความต่างศักย์สูงสุดที่วัดได้จากเครื่อง RMI และ Test kit

ความต่างศักย์สูงสุด (kV)		ความต่างศักย์สูงสุดที่วิเคราะห์ได้จาก Test kit (kV)	ร้อยละของความแตกต่าง
ค่าที่ตั้ง	ค่าที่วัดจาก RMI		
62	61.7	61.9	0.3
72	72.6	70.4	-3.0
88	90.2	89.2	-1.1

**4.4.5 การหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) และความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคโดยชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น** เพื่อใช้เป็นคุณลักษณะประจำตัว (Specification) ตั้งค่าตัวประกอบเทคนิคที่ความต่างศักย์สูงสุด 80 กิโลโวลต์ กระแสหลอด 200 มิลลิแอมแปร์ เวลาการฉายรังสี 0.2 วินาที ระยะจากจุดโฟกัสของหลอดรังสีเอกซ์ถึงชุดตรวจสอบคุณภาพ 50 เซนติเมตร บรรจุทั้งที่แอลดี 200 และที่แอลดี 700 ทำการฉายรังสีจำนวน 10 ครั้ง เมื่อฉายรังสีแล้ว นำที่แอลดีไปอบหลังการฉายรังสี นำไปอ่าน วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต่างศักย์สูงสุด ความหนาครึ่งค่าและเอกซ์โพเซอร์ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจากเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI เพื่อหาค่าความถูกต้องและค่าความแม่นยำ

**ผลการหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) และความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคโดยชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น** ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.13 โดยมีค่าเฉลี่ยของความต่าง

ศักย์สูงสุด  $80.1 \pm 0.6$  กิโลโวลต์ ค่าเฉลี่ยของความหนาครึ่งค่า  $3.1 \pm 0.2$  มิลลิเมตรของอะลูมิเนียมมาตรฐาน และเอกซ์โพเชอร์  $808.8 \pm 14.2$  มิลลิเรินแกนต์ ตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน RMI พบว่ามีความแตกต่างของความต่างศักย์สูงสุดร้อยละ 1.0 ความหนาครึ่งค่าร้อยละ 3.3 และร้อยละ  $-8.8$  สำหรับปริมาณเอกซ์โพเชอร์

ตารางที่ 4.13 แสดงความต่างศักย์สูงสุด ความหนาครึ่งค่า เอกซ์โพเชอร์จากการวัดจำนวน 10 ครั้ง โดยชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น (Test kit) และแสดงค่าเฉลี่ยและร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่วัดได้โดยใช้เครื่องตรวจสอบคุณภาพ RMI

ครั้งที่	ความต่างศักย์สูงสุด (kV)	ความหนาครึ่งค่า (ม.ม.)	เอกซ์โพเชอร์ (mR)
1	81.8	3.1	810.1
2	82.7	3.1	806.8
3	82.5	2.9	806.1
4	80.7	3.2	791.1
5	81.4	3.1	798.2
6	81.7	2.9	815.7
7	82.3	3.1	803.6
8	82.3	3.1	796.1
9	81.7	3.1	840.5
10	81.2	3.1	820.0
ค่าเฉลี่ย	Test kit	$81.8 \pm 0.6$	$3.1 \pm 0.2$
	RMI	$81.0 \pm 0.1$	$3.0 \pm 0.0$
	% Diff	1.0	3.3
			$808.8 \pm 14.2$
			$737.3 \pm 1.5$
			-8.8

#### 4.5 การทดสอบชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นโดยนำไปใช้งานจริง

หลังจากการออกแบบ แก้ไขปรับปรุงและสอบเทียบตัวประกอบเทคนิคต่าง ๆ โดยการสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาค่าความต่างศักย์สูงสุด ความหนาครึ่งค่าที่สอบเทียบกับแผ่นอะลูมิเนียมมาตรฐานและปริมาณเอกซ์โพซิเจอร์แล้ว จึงนำชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นไปวัดตัวประกอบเทคนิคที่ต้องการจากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจัย โดยในการฉายรังสีกำหนดให้ตั้งค่าความต่างศักย์สูงสุดที่ 80 กิโลโวลต์ กระแสหลอด 200 มิลลิแอมแปร์ เวลาฉายรังสี 0.2 วินาที ระยะจากโฟกัสของหลอดรังสีเอกซ์ถึงชุดตรวจสอบคุณภาพ 50 เซนติเมตร เนื่องจากชุดตรวจสอบคุณภาพที่ออกแบบนี้สามารถวัดตัวประกอบเทคนิคเหล่านี้ได้จากการฉายรังสีพร้อมกัน โดยวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดจากที่แอลดี 200 ได้แผ่นทองแดงชุดที่คัดเลือกแล้ว วิเคราะห์ความหนาครึ่งค่า จากที่แอลดี 700 ได้ช่องเปิด และได้แผ่นอะลูมิเนียม ส่วนเอกซ์โพซิเจอร์วิเคราะห์ได้จากที่แอลดี 700 ได้ช่องเปิด ในการวัดจริงผู้วิจัยจะเดินทางออกไปวัดด้วยตนเองและบางส่วนได้ฝากเจ้าหน้าที่ของกองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ออกไปตรวจสอบคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจัยตามคำร้องขอของผู้ประกอบการเพื่อนำผลการตรวจไปยื่นขออนุญาต การมีไว้ในครอบครองหรือเพื่อผลิตรังสีเอกซ์หรือนำผลการตรวจไปใช้ในระบบประกันคุณภาพหรือการตรวจประจำปีเพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากรังสี ในการเก็บข้อมูลนี้จะวัดค่าตัวประกอบเทคนิคโดยใช้เครื่องตรวจสอบคุณภาพมาตรฐานของบริษัท RMI ก่อน หลังจากนั้นจึงฉายรังสีชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เทคนิคการฉายรังสีที่เหมือนกันแล้วจึงนำที่แอลดีในชุดตรวจสอบคุณภาพมาอ่าน เพื่อวิเคราะห์หาตัวประกอบเทคนิคต่างๆตามวิธีที่กำหนดไว้เปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน RMI ชนิดของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ที่ออกไปวัดจะครอบคลุมตามที่กำหนดไว้ในขอบเขตของการวิจัยได้แก่ เครื่องชนิด 1 PH จำนวน 10 เครื่อง เครื่องชนิด 1 PF จำนวน 10 เครื่อง และเครื่องชนิด 3P6 หรือ 3P12 และ HF ตลอดจนเครื่องชนิด CP อีกจำนวน 10 เครื่องเช่นกัน รวมเครื่องทั้งหมดที่ทำการทดสอบจำนวน 30 เครื่อง

**ผลการทดสอบชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นโดยนำไปใช้งานจริง** จากการวัดเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดต่างๆ ดังนี้

1. ชนิด 1PH จำนวน 10 เครื่อง ทั้งหมดเป็นเครื่องวินิจัยโรคฟัน
2. ชนิด 1PF จำนวน 10 เครื่อง เป็นเครื่องวินิจัยโรคทั่วไป
3. ชนิด 3P6, 6P12, HF และชนิด CP จำนวน 10 เครื่อง เป็นเครื่องวินิจัยโรคทั่วไป สำหรับชนิด CP เป็นเครื่องชนิดเคลื่อนที่ได้ (Mobile) ทั้งหมด



ผลการวัดโดยเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และผลที่วิเคราะห์ได้โดยชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น สำหรับเครื่องชนิด 1 PH แสดงในตารางที่ 4.14 ทุกเครื่องไม่สามารถตั้งความต่างศักย์สูงสุดที่ 80 กิโลโวลต์ได้ ในการวิจัยนี้จึงตั้งความต่างศักย์สูงสุดและ mAs แตกต่างกันไป แต่กำลังสูงสุดของเครื่องนั้นๆ

สำหรับผลของเครื่องชนิด 1 PF แสดงในตารางที่ 4.15 ซึ่งทุกเครื่องสามารถตั้งความต่างศักย์สูงสุดที่ 80 กิโลโวลต์ได้ และ 40 mAs มีอยู่เพียง 1 เครื่องที่ตั้งได้เพียง 20 mAs เท่านั้น เนื่องจากเป็นเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยโรคสัตว์ที่ใช้กำลังต่ำ ผลการวัดพบว่ามีบางเครื่องไม่ผ่านมาตรฐานทั้งความต่างศักย์สูงสุดและความหนาครึ่งค่าทั้งจากการวัดโดยเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และโดยชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น ซึ่งผลการวัดดังกล่าวแสดงด้วยตัวอักษรเข้ม

สำหรับผลของเครื่องชนิด 3P6, 3P12, HF และ CP แสดงในตารางที่ 4.16 ซึ่งทุกเครื่องสามารถตั้งความต่างศักย์สูงสุดที่ 80 กิโลโวลต์และ 40 mAs ได้ยกเว้นเครื่องชนิด CP ซึ่งตั้ง mAs ได้แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.14 แสดงจำนวนเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 1PH เอกซ์โพเชอร์ (mAs) ความต่าง ศักย์สูงสุด (kVp) ที่ตั้งจากเครื่อง (Setting) ความหนาครึ่งค่า (HVL) และเอกซ์โพเชอร์ (Exposure) จากการวัดโดยเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และจากชุดตรวจสอบมาตรฐานที่พัฒนาขึ้น (Test kit) ร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) ของผลที่วิเคราะห์ได้จาก เครื่องมือทั้งสองชนิด

ลำดับ ที่	mAs	kVp (kV)				HVL (mm Al)			Exposure (mR)		
		Setting	RMI	Test kit	% Diff	RMI	Test kit	% Diff	RMI	Test kit	% Diff
1	4.8	65	<b>58.2</b>	<b>57.9</b>	-0.5	1.6	1.5	-6.3	190	141	-25.5
2	4	70	68.6	67.7	-1.2	1.8	1.7	-4.3	129	144	11.6
3	4	65	<b>59.5</b>	<b>60.3</b>	1.3	1.6	1.4	-12.5	159	174	9.4
4	7.2	60	59.2	58.6	-1.0	1.52	1.61	6.7	211	135	-36.0
5	6.4	70	<b>77.9</b>	<b>77.5</b>	-0.5	<b>2.7</b>	<b>1.8</b>	<b>-33.3</b>	<b>130</b>	<b>227</b>	<b>74.6</b>
6	4.4	70	67.4	70.3	4.3	2.1	2.2	4.8	215	258	20.0
7	4	70	67.8	69.4	2.4	1.9	2.2	<b>15.8</b>	224	260	16.1
8	4	70	73.6	72.4	-1.6	1.7	1.7	0	114	173	51.8
9	4	70	71.0	70.8	0.3	1.7	1.7	0	231	321	39.0
10	4	70	70.1	71.9	2.6	2.1	2.2	4.8	157	265	68.8

ตารางที่ 4.15 แสดงจำนวนเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 1PF เอกซ์โพเชอร์ (mAs) ความต่างศักย์สูงสุด (kVp) ความหนาครึ่งค่า (HVL) และเอกซ์โพเชอร์ (Exposure) จากการวัดโดยเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และจากชุดตรวจสอบมาตรฐานที่พัฒนาขึ้น (Test kit) ร้อยละของความแตกต่าง (% Diff) ของผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือทั้งสองชนิด

ลำดับที่	mAs	kVp(kV)			HVL(mm Al)			Exposure(mR)		
		RMI	Test kit	%Diff	RMI	Test kit	%Diff	RMI	Test kit	%Diff
1	40	<b>91.3</b>	<b>90.3</b>	-1.1	3.7	3.6	-2.8	482	532	10.4
2	40	80.6	82.2	2.0	3.1	3.2	3.1	502	542	8.0
3	40	76	76.8	1.1	2.8	2.7	-3.7	499	530	6.2
4	40	81.6	82.5	1.1	2.6	2.5	-4.0	497	468	-5.8
5	40	76.8	78.8	5.2	3.3	3.1	-6.1	409	466	13.9
6	40	84.4	83.3	1.3	3.7	3.7	0.0	941	1075	14.2
7	40	<b>62.4</b>	<b>61.2</b>	-1.9	<b>1.9</b>	<b>1.7</b>	<b>-11.8</b>	564	487	-13.7
8	20	82.8	84.0	1.4	2.6	2.6	0.0	325	370	13.8
9	40	79.6	82.4	3.5	3.4	3.2	-6.2	608	574	-5.6
10	40	81.9	84.4	3.1	3.0	3.0	0.0	581	612	5.3

ตารางที่ 4.16 แสดงจำนวนเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 3P6, 3P12, HF และ CP เอกซ์โพเชอร์ (mAs) ความต่างศักย์ สูงสุด ( kVp ) ความหนาครึ่งค่า (HVL) และเอกซ์โพเชอร์ (Exposure)จากการวัด โดยเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และจากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น (Test kit) ร้อยละของความแตกต่าง ( % Diff) ของผลวิเคราะห์ ที่ได้จาก เครื่องมือทั้งสองชนิด

ลำดับที่	ชนิด เครื่อง	mAs	kVp(kV)			HVL(mm Al)			Exposure(mR)		
			RMI	Test kit	% Diff	RMI	Test kit	% Diff	RMI	Test kit	% Diff
1	HF	40	79.0	79.8	1.0	4.0	3.7	-7.1	820	845	3.0
2	HF	40	81.3	81.3	0.0	3.8	3.6	3.8	908	874	-3.7
3	HF	40	80.1	83.3	4.0	4.5	4.4	1.7	626	787	<b>25.7*</b>
4	HF	40	81.7	82.0	0.4	3.2	3.3	4.9	1344	1252	-6.8
5	HF	40	82.3	86.5	5.1	3.6	3.4	4.6	940	947	0.7
6	3P6	40	80.0	81.2	1.5	3.5	3.3	4.1	738	859	<b>16.4*</b>
7	3 P12	40	81.9	82.9	1.2	3.8	3.7	7.7	1070	1136	6.2
8	CP	40	79.6	83.5	4.9	3.9	3.9	0	1010	903	-10.6
9	CP	20	80.9	82.9	2.5	3.5	3.2	9.3	400	481	<b>20.3*</b>
10	CP	40	76.1	73.9	-2.9	2.9	2.7	7.3	940	1150	<b>22.3*</b>

หมายเหตุ \* เครื่องจำกัดลำรังสี(Beam limiting device)ไม่ได้มาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปและวิจารณ์

**5.1.1 การออกแบบและการสร้างชุดตรวจสอบคุณภาพ** ชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นสำหรับวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์โดยวิธีวัดค่าความเข้มของรังสีจากสัญญาณที่อ่านได้ของอุปกรณ์วัดรังสีชนิดทีแอลดี สัญญาณดังกล่าวจะผ่านแผ่นกรองรังสีชนิดและความหนาต่างกัน สำหรับความต่างศักย์สูงสุดวิเคราะห์จากอัตราส่วนของทีแอลดี 200 ที่ผ่านแผ่นทองแดงความหนา 0.2 และ 1.5 มิลลิเมตร ส่วนความหนาครึ่งค่าวิเคราะห์จากสัญญาณของ ทีแอลดี 700 ที่ผ่านแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 1.3, 2.6, 4.0 มิลลิเมตรและสัญญาณที่ไม่ผ่านแผ่นกรองรังสีในการออกแบบชุดตรวจสอบคุณภาพเลือกใช้แผ่นพีวีซีเป็นวัสดุใช้ทำฐานสำหรับบรรจุทีแอลดี เนื่องจากมีความเหนียวไม่แตกหักง่ายเหมาะที่จะใช้ส่งทางไปรษณีย์ ใช้แผ่นตะกั่วหนา 1 มิลลิเมตรรองที่ตัวฐานเพื่อป้องกันรังสีสะท้อนกลับจากพื้นเพียงคนใช้ที่ใช้วางชุดตรวจสอบคุณภาพเนื่องจากเตียงอาจทำจากวัสดุที่แตกต่างกันรังสีสะท้อนกลับจึงแตกต่างกันและเพื่อป้องกันรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดจากแผ่นตะกั่วจึงใช้แผ่นทองแดงหนา 0.2 มิลลิเมตรรองระหว่างฐานและแผ่นตะกั่ว ส่วนแผ่นกรองรังสีบรรจุอยู่ในแผ่นพีวีซีขนาดเท่ากับพีวีซีแผ่นฐานเจาะเป็นช่องขนาดเท่ากับแผ่นกรองรังสีจำนวน 6 ช่อง ด้านบนของแผ่นพีวีซีปิดทับด้วยแผ่นตะกั่วหนา 1 มิลลิเมตรและแผ่นทองแดงหนา 0.2 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันรังสีสะท้อนและรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดจากตะกั่วเช่นกัน บริเวณช่องทั้ง 6 บุตะกั่วเพื่อป้องกันรังสีสะท้อนด้านข้างและเป็นการจำกัดค่ารังสีให้เฉพาะรังสีปฐมภูมิเท่านั้นที่จะทำอันตรกริยากับอุปกรณ์วัดรังสี แผ่นพีวีซีที่จะเป็นช่องนี้เวลาใช้งานจะวางอยู่บนแผ่นพีวีซีที่เป็นฐาน ตำแหน่งของแผ่นทองแดงและแผ่นอะลูมิเนียมจะอยู่ด้านเดียวกันจากแนวกึ่งกลางของชุดตรวจสอบคุณภาพเพื่อลดผลของฮิลเอฟเฟค

**5.1.2 การสอบเทียบและผลการสอบเทียบค่าตัวประกอบเทคนิคที่ต้องการวัด** การวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคต่างๆต้องทำการการเทียบค่าที่วัดได้จากชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องตรวจสอบคุณภาพมาตรฐานและเครื่องวัดรังสีมาตรฐานโดยใช้เครื่องผลิตรังสีเอกซ์มาตรฐานชนิด IPF ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ผลจากการสอบเทียบพบว่าสำหรับความต่างศักย์สูงสุดอัตราส่วนของสัญญาณจากทีแอลดี (TLD ratio) ได้แผ่นทองแดงความหนา 0.2 และ 1.5 มิลลิเมตรแปรผันตามความต่างศักย์สูงสุด (kVp) ในช่วง 60 – 100 กิโลโวลต์ ได้ความสัมพันธ์ในรูป สมการเป็น  $Y = 0.002 X - 0.0939$  และ  $R^2$  เท่ากับ 0.9862 โดยที่ X คือ ค่า kVp และ Y คือค่า TLD

ratio ส่วนความหนาแน่นค่า ทำการสอบเทียบระหว่างความหนาแน่นค่าที่วิเคราะห์ได้โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในชุดตรวจสอบคุณภาพ (Test kit HVL) กับความหนาแน่นค่ามาตรฐาน (Standard HVL) ที่วิเคราะห์ได้โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมมาตรฐาน ชนิด 1100 ที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ใช้อยู่โดยใช้เครื่องผลิตรังสีเอกซ์เครื่องเดียวกับที่ใช้สอบเทียบความต่างศักย์สูงสุด ได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการ  $Y = 0.7159 X + 0.5037$  และ  $R^2$  มีค่าเท่ากับ 0.9742 โดยที่ X คือค่า Standard HVL และ Y คือค่า HVL ที่วิเคราะห์ได้จาก Test kit สำหรับการสอบเทียบเอกซ์โพเชอร์ (Exposure) ทำการสอบเทียบระหว่างเอกซ์โพเชอร์จากห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์และสัญญาณของทีแอลดี 700 ได้ช่องเปิด (TLD reading) โดยใช้เครื่องผลิตรังสีเอกซ์รักษาสิทธ์ที่ความต่างศักย์สูงสุด 70 กิโลโวลต์ กระแสหลอด 12 มิลลิแอมแปร์ ความหนาแน่นค่าของพลังงานจากรังสีเอกซ์เท่ากับ 2 มิลลิเมตรของอะลูมิเนียม ได้สมการของความสัมพันธ์เป็น  $Y = 0.0687 X - 0.0694$  โดย  $R^2$  มีค่า 0.9990 โดย X คือ TLD reading และ Y คือ Exposure สมการการสอบเทียบทั้งสามนำไปใช้ในการทดสอบชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น โดยนำไปใช้งานจริงเพื่อวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุด ความหนาแน่นค่าและเอกซ์โพเชอร์ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยต่อไป

**5.1.3 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของชุดตรวจสอบคุณภาพและผลการทดสอบ** ผลการทดสอบคุณสมบัติในการวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคสำหรับเงื่อนไขต่างๆ ได้แก่ การทดสอบผลของปริมาณ mAs ที่มีต่อการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาแน่นค่าของชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น โดยเปลี่ยน mAs ในช่วง 8-40 mAs สำหรับกระแสหลอด 200 และ 100 มิลลิแอมแปร์ ผลการทดสอบพบว่า การเปลี่ยน mAs มีผลกับการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาแน่นค่าไม่มากนัก ดังนั้นสามารถฉายรังสีเพื่อวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคที่ mAs ใดๆได้ ส่วนเอกซ์โพเชอร์ถึงแม้จะไม่ได้ทดสอบแต่จะแปรตามค่า mAs ส่วนการทดสอบผลของระยะห่างระหว่างไฟก๊สของหลอดรังสีเอกซ์กับชุดตรวจสอบที่มีต่อการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาแน่นค่าของชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น โดยเมื่อเปลี่ยนระยะทางจากหลอดรังสีเอกซ์ถึงชุดตรวจสอบคุณภาพไปร้อยละ  $\pm 10$  ของระยะทางที่ใช้ในการวัดจริงที่ 50 เซนติเมตร พบว่าระยะทางที่ผิดไปจากระยะที่ใช้วัดจริงไม่เกินร้อยละ  $\pm 10$  มีผลกับการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาแน่นค่าไม่มากนักเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถฉายรังสีที่ระยะทางในช่วงดังกล่าวเพื่อวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคได้ ส่วนเอกซ์โพเชอร์จะแปรผกผันกับระยะทาง สำหรับการทดสอบผลของฮิลเอฟเฟลด์ที่มีต่อการวางชุดตรวจสอบคุณภาพ โดยเมื่อเปลี่ยนแนวการวางชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นแตกต่างไปจากแนวที่ใช้ในการสอบเทียบ ผลการทดสอบพบว่า มีผลกับการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดไม่มากนักแต่มีผลกับการวิเคราะห์ความหนาแน่นค่าสูงสุดถึงร้อยละ -16.1 ดังนั้นการกำหนดแนวการวางชุดตรวจสอบจึงมีความสำคัญหากผิดไปจากแนวที่ใช้ในการสอบเทียบจะมีผลค่อนข้างมากในการวิเคราะห์



**5.1.4 การทดสอบชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นโดยนำไปใช้งานจริง** เมื่อนำชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นไปใช้วิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 1PH สามารถวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดได้ใกล้เคียงกับการวัดโดยเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI โดยมีความแตกต่างสูงสุดเพียงร้อยละ 4.3 และยังพบอีกว่าเครื่องตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นสามารถบ่งชี้ได้ว่าความต่างศักย์สูงสุดที่วิเคราะห์ได้ไม่ได้มาตรฐาน ได้แก่ เครื่องลำดับที่ 5 ในตารางที่ 4.21 ซึ่งเมื่อตั้งความต่างศักย์สูงสุดที่วิเคราะห์ได้ไม่ได้มาตรฐาน ได้แก่ เครื่องลำดับที่ 5 ในตารางที่ 4.21 ซึ่งเมื่อตั้งความต่างศักย์สูงสุด 70 กิโลโวลต์ วิเคราะห์ได้ 77.5 กิโลโวลต์ ในขณะที่เครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI วัดได้ 77.9 กิโลโวลต์ ซึ่งมีความแตกต่างจากค่าที่ตั้งไว้เกินร้อยละ  $\pm 10$  ตามมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ส่วนผลการวิเคราะห์ความหนาเครื่องค่าเทียบกับเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI มีความแตกต่างสูงสุดร้อยละ 33.3 ในขณะที่ปริมาณเอกซ์โพเซอร์มีความแตกต่างสูงสุดร้อยละ 74.6 จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 1PH ได้ดีแต่ในการวิเคราะห์ความหนาเครื่องค่าและปริมาณเอกซ์โพเซอร์มีความผิดพลาดสูงโดยมีสาเหตุดังนี้ สาเหตุประการแรกเนื่องจากปัจจุบันเครื่องชนิด 1 PH ส่วนใหญ่เป็นเครื่องใช้วินิจฉัยโรคฟันมีพลังงานเฉลี่ยต่ำความหนาเครื่องค่ามีค่าน้อยกว่าเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ทั่วไปโดยเฉลี่ยแล้วความหนาเครื่องค่ามีค่าประมาณ 1.6 ถึง 1.7 มิลลิเมตรของอะลูมิเนียมดังนั้นความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมที่ออกแบบไว้ในชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นซึ่งมีความหนา 1.3, 2.6 และ 4.0 มิลลิเมตรมีความหนามากเกินไป สัญญาณของทีแอลดีที่แผ่นอะลูมิเนียมความหนา 4.0 มิลลิเมตรจะเหลือใกล้เคียงกับค่า Background ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้คำนวณและหากเลือกใช้วิธี Two point method คำนวณตามสมการที่ 2.5 ความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ก็มีค่าไม่ใกล้เคียงกับความหนาเครื่องค่าโดยเฉลี่ยของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิดนี้ สาเหตุประการที่สองการกำหนดค่ารังสีของเครื่องชนิดนี้ด้วยกรวยรูปทรงระบอบที่มีขนาดคงที่ทำให้ลำรังสีไม่ครอบคลุมอุปกรณ์วัดรังสีทีแอลดีบนชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้น สัญญาณเฉลี่ยที่นำมาใช้ในการคำนวณของทีแอลดีแต่ละชุดมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงหากต้องการให้ลำรังสีครอบคลุมอุปกรณ์วัดรังสีต้องปรับระยะทางให้ห่างมากขึ้นทำให้สัญญาณของทีแอลดีที่อ่านได้ซึ่งมีค่าน้อยอยู่แล้วน้อยลงไปอีกไม่เหมาะที่จะนำมาใช้คำนวณหาค่าต่างๆเช่นกัน จากสาเหตุดังกล่าวมาแล้วหากต้องการวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ชนิด 1PH ควรปรับเปลี่ยนความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมให้ลดลงและปรับระยะชิดของหลุมบรรจุทีแอลดีให้ลดลงด้วย

ผลการนำไปใช้กับเครื่องชนิด 1PF จำนวน 10 เครื่อง พบว่าได้ผลค่อนข้างดีมากโดยวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดแตกต่างจากการวัดโดยใช้เครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI สูงสุดเพียงร้อยละ 5.2 และสามารถวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดที่ไม่ได้มาตรฐานได้เช่นเดียวกับการใช้เครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI ได้แก่ เครื่องลำดับที่ 1 และ 7 ที่แสดงในตารางที่ 4.15 โดยวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดได้ 90.3 และ 61.2 กิโลโวลต์ ในขณะที่เครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI วัดได้ 91.3

และ 62.4 กิโลโวลต์ ซึ่งแตกต่างจากค่าที่ตั้งที่ 80 กิโลโวลต์ เกินร้อยละ  $\pm 10$  ส่วนความหนาเครื่องค่าผลวิเคราะห์มีความแตกต่างสูงสุดร้อยละ 11.8 และปริมาณเอกซ์โพเซอร์มีความแตกต่างสูงสุดร้อยละ 13.9 จะเห็นได้ว่าการนำชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นมาใช้กับเครื่องชนิด 1PF ก่อนข้างให้ผลที่ดีเนื่องจากการทดสอบเทียบมาตรฐานกับเครื่องชนิดนี้

ผลการนำไปใช้กับเครื่องชนิด 3P6, 3P12, HF หรือ CP จำนวน 10 เครื่องเช่นกันพบว่าอัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดีใต้แผ่นทองแดงที่ความต่างศักย์สูงสุด 80 กิโลโวลต์ สำหรับเครื่องประเภทนี้จะมีค่าสูงกว่าเครื่องชนิด 1PF ที่ใช้เป็นเครื่องมาตรฐานในการสอบเทียบประมาณ 1.28 เท่าดังนั้นในการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดจึงต้องทำการแก้ค่าอัตราส่วนสัญญาณของทีแอลดีก่อนแล้วจึงนำมาเทียบกับกราฟสอบเทียบ หลังจากแก้ค่าดังกล่าวแล้วพบว่าผลการวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดมีความแตกต่างจากเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI สูงสุดร้อยละ 5.1 ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ไม่พบเครื่องที่ไม่ได้มาตรฐานด้านความต่างศักย์สูงสุด ส่วนความหนาเครื่องค่าสามารถวิเคราะห์ได้โดยไม่ต้องแก้ค่าเนื่องจากคำนวณจากเป็นปริมาณที่สัมพันธ์กันโดยผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันสูงสุดร้อยละ 9.3 ส่วนปริมาณเอกซ์โพเซอร์ส่วนใหญ่มีความแตกต่างไม่เกินร้อยละ 10 แต่พบเครื่องที่มีความแตกต่างกันสูงตั้งแต่ร้อยละ 16 ถึง ร้อยละ 25 จำนวน 4 เครื่องซึ่งจากการตรวจสอบเครื่องดังกล่าวโดยเจ้าหน้าที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ พบว่าลำรังสีจากเครื่องจำกัดลำรังสีเหลื่อมล้ำกับลำแสงไฟเกินมาตรฐานซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุให้ปริมาณรังสีด้านแอนโอดมากกว่าปกติทำให้กับสัญญาณของทีแอลดี 700 ใต้ช่องเปิดของชุดตรวจสอบคุณภาพมีค่ามากขึ้น

## 5.2 ลักษณะพิกัดของชุดตรวจสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยที่พัฒนาขึ้น

ขนาด	110 มิลลิเมตร x 110 มิลลิเมตร x 13 มิลลิเมตร
น้ำหนัก	ประมาณ 400 กรัม
ความสามารถในการวิเคราะห์	สามารถนำมาวิเคราะห์ ความต่างศักย์สูงสุด ความหนาเครื่องค่าและเอกซ์โพเซอร์ของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัย สำหรับระบบเรียงกระแสแบบ 1PF, 3P6, 3P16 หรือ HF ได้ดังต่อไปนี้
ความต่างศักย์สูงสุด	ในช่วง 60-100 กิโลโวลต์ โดยมีความผิดพลาดน้อยกว่า $\pm 6\%$ ที่ 80 กิโลโวลต์ เมื่อเทียบกับเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI

ความหนาเครื่องค่า	มีความผิดพลาดน้อยกว่า $\pm 10\%$ ที่ 80 กิโลโวลต์ เมื่อเทียบกับเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ได้มาตรฐาน
เอกซ์โพเซอรั	มีความผิดพลาดน้อยกว่า $\pm 15\%$ ที่ 80 กิโลโวลต์ เมื่อเทียบกับเครื่องตรวจสอบมาตรฐาน RMI และเครื่องผลิตรังสีเอกซ์มาตรฐาน

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยจะเห็นว่าเครื่องตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อตรวจสอบคุณภาพของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยด้านความต่างศักย์สูงสุดได้ทั้งชนิด 1PH, 1PF ชนิด 3P6, 3P12 หรือชนิด HF โดยตั้งระยะระหว่างหลอดรังสีเอกซ์และชุดตรวจสอบคุณภาพ  $50 \pm 5$  เซนติเมตร ผลวิเคราะห์ไม่ขึ้นกับ ค่า mAs หรือแนวการวางชุดตรวจสอบคุณภาพ ส่วนการวิเคราะห์ความหนาเครื่องค่าและปริมาณเอกซ์โพเซอรัขึ้นกับแนวการวาง ดังนั้นหากต้องการวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคทั้ง 3 พร้อมกันต้องกำหนดแนวการวางชุดตรวจสอบคุณภาพให้เหมือนกับการสอบเทียบมาตรฐาน หากพัฒนาไปสู่ระบบการให้ผู้ใช้ฉายรังสีเองแล้วส่งชุดตรวจสอบคุณภาพกลับคืนทางไปรษณีย์เพื่อวิเคราะห์ผลจะต้องเขียนขั้นตอนการฉายรังสีให้ชัดเจนเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว สำหรับเครื่องชนิด 1PH ควรออกแบบความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมให้เหมาะสมใหม่ และหากศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องความหนาของคู่มือทองแดงก็น่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะวิเคราะห์ความต่างศักย์สูงสุดของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยเต้านม ที่ใช้ความต่างศักย์สูงสุดของหลอดรังสีเอกซ์ประมาณ 30-40 กิโลโวลต์

ชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นใช้ทีแอลดีชนิดซิฟซึ่งต้องนำไปอ่านโดยเครื่องที่ต้องมีผู้ควบคุม ต้องนำทีแอลดีเข้าและออกทีละซิฟ ทำให้เสียเวลาในการอ่านค่อนข้างมาก ระบบการเก็บหรือการเตรียมทีแอลดีค่อนข้างยุ่งยาก ต้องไม่สลับตำแหน่งของทีแอลดีมิฉะนั้นจะมีปัญหาเรื่องค่าแก้ความไวที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากต้องการนำมาใช้งานจริงซึ่งมีเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยจำนวนมาก ต้องทำการศึกษาวิจัยต่อในเรื่องของการพัฒนาการนำแผ่นวัดรังสีทีแอลดี (TLD card) ซึ่งสามารถนำไปอ่านด้วยเครื่องอ่านระบบอัตโนมัติและการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคต่างๆ เนื่องจากทีแอลดีในแผ่นวัดรังสีประกบด้วยแผ่นเทฟลอนซึ่งมีการดูดกลืนปริมาณแสงที่ทีแอลดีปล่อยออกมาทำให้สัญญาณที่ได้ลดน้อยลงไป อาจต้องปรับความหนาของคู่มือทองแดง ปัญหาอีกประการหนึ่งของการใช้แผ่นวัดรังสีทีแอลดีคือไม่สามารถเตรียมก่อนนำไปใช้งานโดยการอบที่อุณหภูมิสูงประมาณ  $400^{\circ}\text{C}$  ได้เหมือนกับทีแอลดีชนิดซิฟ ซึ่งต้องแก้ไขโดยหลังจากการอ่านที่อุณหภูมิประมาณ  $280^{\circ}\text{C}$  แล้วผู้ใช้ควรตั้งอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีกที่  $300^{\circ}\text{C}$

แล้วอ่านต่ออีกประมาณ 10 วินาที ช่วงเวลาดังกล่าวนี้จะไม่มีการเก็บค่าของสัญญาณที่อ่านได้ การอ่านลักษณะนี้เรียกว่า Anneal หลังจากนั้นระบบ Cooling ของเครื่องอ่านจะทำงานทำให้สามารถลดอุณหภูมิของแผ่นวัดรังสีได้อย่างรวดเร็ว การให้ความร้อนสูงและถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วนี้จะเป็นการจัดโครงสร้างของผลึกทีแอลดีให้กลับสู่สถานะเดิมเป็นเทคนิคที่บริษัท Harshaw ใช้สำหรับการ Anneal แผ่นวัดรังสีทีแอลดี การพัฒนาชุดตรวจสอบคุณภาพผู้การทำงานระบบอัตโนมัติจะช่วยแก้ไขปัญหาระบบเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ที่ต้องตรวจสอบคุณภาพได้เป็นอย่างดี เพราะสามารถใช้เครื่องตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องตรวจสอบเบื้องต้นได้ หากผลการวิเคราะห์ตัวประกอบเทคนิคไม่ผ่านมาตรฐานก็ให้มีการตรวจซ้ำโดยการใช้เครื่องตรวจสอบมาตรฐาน ทำให้เจ้าหน้าที่ทำงานน้อยลง สามารถวางแผนในการเดินทางออกไปตรวจเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ให้คุ้มค่าเวลาการเดินทางให้มากที่สุด ชุดตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นสามารถผลิตขึ้นได้ในราคาชุดละประมาณ 6000 บาท สามารถใช้งานได้ไม่ต่ำกว่า 100 ครั้ง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะสามารถตรวจเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ทั่วประเทศทุก 1 หรือ 2 ปีซึ่งทำให้เครื่องผลิตรังสีเอกซ์เหล่านี้ได้รับการดูแลด้านคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ อันเป็นประโยชน์กับคนไข้ทำให้ได้รับการคุ้มครองด้านการได้รับปริมาณรังสีที่เหมาะสมจากการวินิจฉัยโรค



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. ปรมาณูเพื่อสันติ, สำนักงาน .พระราชบัญญัติปรมาณูเพื่อสันติและกฎกระทรวง, กรุงเทพมหานคร:สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ , 2504.
2. The International Commission on Radiological Protection . ICRP Publication 15. Protection against Ionizing Radiation from External Sources.p.10. New York : Pergamom Press, 1969.
3. The International Commission on Radiological Protection . ICRP Publication 60. Recommendation of the International Commission on Radilological Protection .pp. 42-49. New York : Pergamom Press, 1990.
4. International Atomic Energy Agency. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for The Safety of Radiation Sources . Safety Series No 115.Vienna : 1996.
5. The International Commission on Radiological Protection . ICRP Publication 26. Recommendation of the International Commission on Radilological Protection .p.3. New York : Pergamom Press, 1977.
6. จิตต์ชัย สุริยะไชยากร และคณะฯ . การควบคุมคุณภาพของภาพเอกซเรย์ . กรุงเทพมหานคร : พี.เอ.ลีฟวิ่ง, 2538.
7. Food and Drug Administration. Code of Federal Regulation. Title 21.Chapter 1.Sub chapter J Radiological Health Part 1000-1050. Washington : Government Printing Office, 1986.
8. วิทยาศาสตร์การแพทย์, กรม. มาตรฐานและคุณสมบัติผู้รับผิดชอบทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดรังสีที่ใช้ในงานการแพทย์ .นนทบุรี : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2544.
9. National Council on Radiation Protection and Measurement. NCRP no. 99 . Quality Assurance for Diagnostic Imaging Equipment . p62. Bethesda U.S.A ,1988.
10. L.A. De Werd , N.B. Chiu ,The Determiation of Radiation Dose by Mail for Diagnostic Radiological Examinations with Thermoluminescent Dosimeters ,Radiation Protection Dosimetry,Vol 47,p 509-512 , Kent : Nuclear Technology Publishing ,1993.
11. Arnold F. Jacobson. Determiation of Peak X- ray Tube Potential from Measurement of Peak Radiation Intensity . Radiology 143: pp. 779-781 .1982.



12. สาโรช ปรีชะวาที. การพัฒนาเครื่องวัดค่ากิโลโวลต์พีคแบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องเอกซเรย์วินิจฉัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
13. D.S. Arnold , A.D. Cotterill , M.C. Fitzgerald . The Development of a Postal Pack for Quality Control Audit of Diagnostic X-Ray Equipment. The Radiation Protection Dosimetry, vol 43, pp 287-288 , Kent : Nuclear Technology Publishing, 1993.
14. จเด็จ เย็นใจ . การพัฒนาระบบวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544 .
15. Thomas S. Curry III, James E. Dowdey, Robert C. Murry. Introduction to Physics of Diagnostic Radiology. 3rd ed. Philadelphia : Lea & Febiger, 1984.
16. Health Education and Welfare, U.S. Department .Public Health Service. Radiological Health Handbook. Washington : U.S. Government Printing Office, 1970.
17. G. Donald Frey , Perry Sprawls. The Expanding Role of Medical Physics in Diagnostic. Wisconsin : Advanced Medical Publishing, 1997.
18. Medical Sciences, Department. Standard Operating Procedure for Determining the Peak kilo Voltage of Diagnostic X-ray Machine . Nontaburi : Department of Medical Sciences, 2001.
19. Medical Sciences, Department. Standard Operating Procedure for Determining the Half Value Layer of Diagnostic X-ray Machine . Nontaburi : Department of Medical Sciences, 2001.
20. S.W.S. Mckeever, M. Moscovitch, P.D. Townsend. Thermoluminescence Dosimetry Materials : Properties and Uses . Kent : Nuclear Technology Publishing, 1995.
21. M. Moscovitch. Dose Algorithms for Personal Thermoluminescence Dosimeter. Radiation Protection Dosimetry. Vol 47, pp 373-380. Kent : Nuclear Technology Publishing, 1993.

## บรรณานุกรม

1. อรรถโกวิท สงวนสัตย์. คู่มือการใช้งานเครื่องอ่าน ทีแอลดี รุ่น M 3500. กรุงเทพมหานคร : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2442.
2. A F McKinlay. Thermoluminescence Dosimetry. Bristol : Adam Hilger., 1981.
3. Harold Elford Johns, John Robert Cunningham. The Physics of Radiology. 4th ed. Illinois : Charles C Thomas Publisher, 1983.
4. J.R. Cameron, N. Suntharalingam, G.N. Kenney . Thermoluminescent Dosimetry. Wisconsin : The University of Wisconsin Press, 1968.
5. John R. Lamarsh . Introduction to Nuclear Engineering. Philippines: Addison- Wesley Publishing, 1975.
6. Keithley Instrument Inc . kVp Divider Instruction Manual. Ohio: 1994.
7. M. Oberhofer, A. Scharmann . Applied Thermoluminescence Dosimetry . Bristol : Adam Hilger, 1979.
8. Radiation Measurements Inc (RMI) . User 's Manual . U.S.A. : 1990.
9. S.W.S. Mckeever . Thermoluminescence of Solids . London : Cambridge University Press, 1985.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 1 แสดงค่า Calibration factor ของเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน NP-2100 ที่พลังงานต่างๆ

Filter No.	kV	mA	FILTRATION				HVL		Effective Energy (keV <sub>eff</sub> )	NP 2100			NE * 2590/B
			Inherent mmAl	Added		mmAl	mmCu	TK-01 R/C		TK-30 R/C	LS-01 R/C	NE 2561 ENCF	
				mmAl	mmCu								mmSn
1	70	12	2	-	-	-	2.0	0.06	29	884*10 <sup>7</sup>	1257*10 <sup>5</sup>	2916*10 <sup>3</sup>	1.019
2	100	10	2	2.11	-	-	4.0	0.15	39	876*10 <sup>7</sup>	1212*10 <sup>5</sup>	2913*10 <sup>3</sup>	1.012
3	105	10	2	0.87	0.08	-	5.0	0.20	43	877*10 <sup>7</sup>	1216*10 <sup>5</sup>	2913*10 <sup>3</sup>	1.017
4	135	10	2	2.00	0.20	-	8.8	0.50	62	869*10 <sup>7</sup>	1210*10 <sup>5</sup>	2920*10 <sup>3</sup>	1.020
5	180	10	2	2.50	0.42	-	12.3	1.00	82	866*10 <sup>7</sup>	1198*10 <sup>5</sup>	2932*10 <sup>3</sup>	1.026
6	220	6	2	2.00	1.26	-	16.1	2.00	112	855*10 <sup>7</sup>	1174*10 <sup>5</sup>	2921*10 <sup>3</sup>	1.026
7	250	6	2	1.56	0.11	-	18.0	3.00	137	-	1172*10 <sup>5</sup>	2912*10 <sup>3</sup>	1.028
8	280	6	2	2.00	0.20	1.56	20.0	4.00	165	853*10 <sup>7</sup>	1174*10 <sup>5</sup>	2925*10 <sup>3</sup>	1.030
<b>Co-60</b>							39.0	12.00	1250	871*10 <sup>7</sup>	1159*10 <sup>5</sup>	-	1.044


\* Sensitivity = 1.041x10<sup>10</sup> R/C

Secondary Standard Dosimetry Laboratory  
 สถาบันมาตรวิทยานานาชาติ  
 Created on 30/3/99 11:59

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข.

รูปที่ 1. แสดงใบรับรองการสอบเทียบมาตรฐานของเครื่องวัดรังสี NP-2100 จากห้องปฏิบัติการ  
สอบเทียบรังสีมาตรฐานปฐมภูมิ ประเทศออสเตรีย



**Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf Ges.m.b.H.**  
Institut für Strahlenschutz

Als staatlich autorisierte Versuchsanstalt  
gemäß dem Gesetz vom 9. 9. 1910, RGBl. 185, betreffend das technische Untersuchungs-, Erprobungs- und Materialprüfungs-wesen

**PRÜFBESCHEINIGUNG Nr. ST 173/84**  
CALIBRATION CERTIFICATE

für for Secondary Standard Chamber TK 30, Ser.No. 111  
for use with digital current integrator NP 2100, Ser.No. 7808

Auftraggeber: Dept. of Medical Sciences  
Division of Radiation Protection Services  
Yod-Se Bangkok

Ergebnis: Calibration factors M (R/C) for the following radiation qualities:

Quality to be set on NP 2100		M (R/C)
1	B 60 X-rays	1.190.10 <sup>8</sup>
2	B 80 "	1.199.10 <sup>8</sup>
3	B 110 "	1.192.10 <sup>8</sup>
4	B 150 "	1.175.10 <sup>8</sup>
5	B 200 "	1.167.10 <sup>8</sup>
6	B 250 "	1.171.10 <sup>8</sup>
*	B 300 "	1.178.10 <sup>8</sup>
7	<sup>137</sup> Cs Gamma	1.170.10 <sup>8</sup>
8	<sup>60</sup> Co Gamma	1.159.10 <sup>8</sup>

\*The calibration factor for this quality has to be set manually.

Diese Bescheinigung umfaßt die Seiten 1 bis 3

Datum: 1984 12 17

Prüfer: Ch.Strachotinsky  
*Ch. Strachotinsky*

Institutsleiter:  
*Strachotinsky*

A-1082 Wien, Lenaugasse 10, Telefon (0222) 42 75 11 Serie · A-2444 Seibersdorf, Telefon (02254) 80-0



## ภาคผนวก ค.

ตารางที่ 1. แสดงมาตรฐานต่างๆของเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจฉัยทั่วไป ที่กำหนด  
โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

ตัวประกอบเทคนิคหรือตัวแปร	มาตรฐาน
1.พลังงานของรังสีเอกซ์ (kVp) 1.1 ความเที่ยงตรง (reproducibility) 1.2 ความแม่นยำ (accuracy)	$\leq 5\%$ $\leq 10\%$
2. เครื่องตั้งเวลา (Exposure timer) 2.1 ความเที่ยงตรง (reproducibility) 2.2 ความแม่นยำ (accuracy)	$\leq 5\%$ $\leq 10\%$
3. ความหนาครึ่งค่า (HVL) ที่ 80 kVp	$\geq 2.3 \text{ mm Al}$
4. ปริมาณรังสี (Radiation output) 1.1 ความเที่ยงตรง (reproducibility) 1.2 ระดับปริมาณรังสี (magnitude) ที่ 80 kVp ระยะ 1 เมตร จากจุดกำเนิดรังสีเอกซ์	$\leq 5\%$ $> 1000 \mu\text{Gy} / \text{mAs}$
5. เครื่องจำกัดลำรังสี (Beam limiting device) 5.1 การเลื่อมของลำรังสีจากลำแสงไฟ 5.2 ความเที่ยงตรงของลำรังสี 5.3 ความเข้มลำแสงไฟที่ระยะ 1 เมตร	$\leq 2\%$ ของ $\text{SID}^*$ $\leq 3^\circ$ $\geq 100 \text{ lux}$
6. ปริมาณรังสีรั่ว ที่ระยะ 1 เมตร จากหลอดรังสีเอกซ์	$\leq 1000 \mu\text{Gy} / \text{h}$

หมายเหตุ SID\* : Source to image distance

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอรรถโกวิท สงวนศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2495 ณ จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี การศึกษามัธยมศึกษา สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นมหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2519 และสำเร็จปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2541 เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542

ประสบการณ์ ได้รับการฝึกอบรมด้านการป้องกันอันตรายจากรังสีและการวัดรังสี ซึ่งจัดโดยหน่วยงานในประเทศได้แก่ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข และสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนได้รับการฝึกอบรมในต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น จีน เวียดนาม เยอรมัน และสหรัฐอเมริกาในด้านการวัดรังสีประจำบุคคล โดยเฉพาะการใช้เครื่องวัดรังสีชนิดทีแอลดี

ผลงานทางวิชาการ เป็นอาจารย์พิเศษสอนนักศึกษาปริญญาตรีของคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ด้านการวัดรังสีโดยใช้ทีแอลดี เป็นอาจารย์พิเศษสอนนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์รังสีและสาขาฟิสิกส์การแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล ด้านการวัดรังสีประจำบุคคล

ผลงานตีพิมพ์ มีดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติการตอบสนองต่อรังสีของฟิล์มเอกซเรย์ฟีนและฟิล์มวัดรังสีประจำบุคคล. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ .36(1) . 2537
2. อัตราเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งของบุคลากรด้านรังสีในประเทศไทย. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.39(1).2540.
3. การตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของแผ่นวัดรังสี ทีแอลดี. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 42(4).2542.
4. การคำนวณปริมาณรังสีจากฟิล์มวัดรังสีโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ .41(3) . 2542
5. ปริมาณรังสีที่รังสีแพทย์ได้รับจากการรักษาผู้ป่วยด้วยวิธีร่วมรักษา. วารสารกรมการแพทย์. ปีที่ 25 ฉบับที่ 6. 2543.

ปัจจุบันรับราชการที่ กองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ตำแหน่งนักฟิสิกส์รังสี 8 วช. หัวหน้าห้องปฏิบัติการวัดรังสีประจำบุคคล