

การวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้สมาร์ทโฟน

นางสาวเหนือตะวัน อ่างศิริภาคย์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MEASUREMENT OF X-RAY DOSE RATE USING SMARTPHONES

Miss Nuatawan Thamrongsiripak



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

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้สมาร์ตโฟน
โดย	นางสาวเหนือตะวัน อ่างศิริภาคย์
สาขาวิชา	นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ดร. สมบูรณ์ รัชมี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ เดโช ทองอร่าม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

เหนือตะวัน อารงสิริภาคย์ : การวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้สมาร์ทโฟน  
(MEASUREMENT OF X-RAY DOSE RATE USING SMARTPHONES) อ.ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก: รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. สมยศ ศรีสถิตย์,  
69 หน้า.

เป็นที่ทราบกันว่าซีมอสที่เป็นเซ็นเซอร์รับภาพในโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นมีความไวต่อรังสีเอกซ์ และรังสีแกมมาซึ่งเป็นผลให้เกิดจุดสว่างที่ไม่พึงประสงค์ปรากฏขึ้นในภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อที่จะใช้ประโยชน์ของเซ็นเซอร์ซีมอสในการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีทาง อุตสาหกรรมและงานอื่น ๆ ที่ใช้รังสีเอกซ์ ในขั้นแรกได้เลือกสมาร์ทโฟนยี่ห้อและรุ่นต่าง ๆ กันโดย พิจารณาจากขนาดของพื้นที่รับภาพ ความละเอียดของภาพ และราคา โดยได้เลือกสมาร์ทโฟน 4 รุ่น มาทดสอบ ได้แก่ Samsung Galaxy SII, Samsung Galaxy SIII, Huawei Ascend P7 และ Nokia N8-00 ในขณะที่ทดสอบเลนส์ของกล้องถ่ายภาพต้องถูกปิดด้วยเทปสีดำเพื่อป้องกันมิให้เซ็นเซอร์ซีมอส ได้รับแสงสว่างแต่รังสีเอกซ์สามารถผ่านทะลุเข้าไปได้ การนับจำนวนของพิกเซลสว่างได้ใช้ซอฟต์แวร์ ImageJ ที่สามารถดาวน์โหลดได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย จากการทดสอบความเที่ยงตรงของจำนวนนับ จากสมาร์ทโฟน พบว่าเซ็นเซอร์รับภาพสมาร์ทโฟนมีความเที่ยงตรงในการวัดรังสีในช่วงค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน  $\pm 3\sigma$  ของค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับการนับด้วยเครื่องนับรังสี จากนั้นนำมาทดสอบกับรังสีเอกซ์ ในช่วงอัตราปริมาณรังสีในช่วงตั้งแต่ 0.48 จนถึง 98.1 มิลลิเรินท์เกินต่อชั่วโมง ค่าความต่างศักย์ 100 ถึง 250 kVp ผลการทดสอบพบว่าจำนวนพิกเซลสว่างเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นกับอัตราปริมาณรังสี เอกซ์ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสามารถใช้สมาร์ทโฟนในการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ได้หากมีการปรับเทียบที่ เหมาะสม ทั้งนี้ได้พัฒนาแอปพลิเคชันที่ทำงานบนสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อให้ สามารถนับจำนวนจุดสว่างและรายงานค่าอัตราปริมาณรังสีได้ทันที

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5670448021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS: X-RAY DOSE RATE / SMARTPHONE / CMOS IMAGE SENSOR

NUATAWAN THAMRONGSIRIPAK: MEASUREMENT OF X-RAY DOSE RATE USING SMARTPHONES. ADVISOR: ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMYOT SRISATIT, 69 pp.

It has been known that CMOS image sensor of smartphones are sensitive to x-rays and gamma-rays causing bright spots on the images. This research aimed to utilize the CMOS image sensors to measure x-ray dose rate in industrial radiography and other x-ray uses. Firstly, smartphones were selected according to size of the image sensor, image resolution and cost. Four smartphones were selected for the test including Samsung Galaxy SII, Samsung Galaxy SIII, Huawei Ascend P7 and Nokia N8-00. During measurement, the camera lens was covered with black adhesive tape to prevent exposure to light allowing only x-rays to pass through. Counting number of bright spots was done by using the ImageJ software which could be freely downloaded. Our precision test showed that the number of counts was within  $\pm 3\sigma$  from the mean as obtained from radiation counters. For x-rays dose rates in the range of 0.48 to 98.1 mR/hr having energies from 100-250 kVp, number of bright spots increased linearly with increase of the dose rate. The results indicated that the smartphones could be used to measure x-ray dose rate when they were properly calibrated. Finally, application software running on Android smartphone was developed for counting the bright spots and displaying the dose rate simultaneously on the smartphones.

Department: Nuclear Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Nuclear Technology

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015

Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงความเมตตากรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง กราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ที่ให้ความรู้ อบรม สั่งสอนคอยให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการสำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์ คุณศิริ ศรีมโนรณ ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ให้สามารถใช้สถานที่ และเครื่องเอกซเรย์ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ และขอขอบคุณ คุณฉลอง ธรรมสุขวงศ์ และเจ้าหน้าที่สำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ซึ่งให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย รวมถึงอนุเคราะห์แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล และอุปกรณ์ประกอบการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี คุณพงษ์ยุทธ ศรีพลอย และนางสาวแสนดี ดิด ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการทำวิจัย ขอขอบคุณนางสาว ทยิดา ทรรปณ์จินดา ซึ่งให้ความช่วยเหลือในด้านการเขียนแอปพลิเคชัน

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ และเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งมาตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเล่าเรียน คอยดูแลเอาใจใส่ เลี้ยงดูข้าพเจ้า และสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจข้าพเจ้ามาโดยตลอด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	1
สารบัญภาพ .....	1
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.4 แผนการดำเนินงาน .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 รังสีเอกซ์.....	5
2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสสาร .....	7
2.2.1 ปฏิกิริยาการณโฟโตอิเล็กทริก.....	7
2.2.2 ปฏิกิริยาการณคอมป์ตัน .....	8
2.3 การวัดรังสี.....	8
2.3.1 หัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊ส.....	9
2.3.2 หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน .....	9
2.3.3 หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ .....	9

2.3.4 อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประจำบุคคล .....	10
2.4 หน่วยวัดทางรังสี.....	10
2.4.1 เอกซ์โพเซเจอร์.....	10
2.4.2 ปริมาณรังสีดูดกลืน.....	11
2.4.3 ปริมาณรังสีสมมูล .....	11
2.5 ผลของรังสีทางชีววิทยา.....	12
2.6 ขีดจำกัดปริมาณรังสี .....	13
2.7 การป้องกันอันตรายจากรังสี .....	13
2.8 เซ็นเซอร์รับภาพ.....	14
2.9 โปรแกรม AoaPhoto Video to Picture Converter 4.0.....	15
2.10 โปรแกรม ImageJ .....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์วิจัย .....	18
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	33
4.1 ศึกษาวิธีการหาอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพซีมอสในสมาร์ทโฟนเพื่อคัดเลือกสมาร์ทโฟน สำหรับการนำมาวิจัย.....	33
4.2 ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของจำนวนนับจากสมาร์ทโฟน .....	35
4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตรา ปริมาณรังสีเอกซ์ .....	40
4.3.1 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตรา ปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล .....	40
4.3.2 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับ อัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้ไอออนไนซ์เซชันแชมเบอร์.....	44



4.4 แอปพลิเคชันสำหรับการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ .....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	60
รายการอ้างอิง .....	62
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	69



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) ต่อชนิดของรังสีก่อไอออน .....	12
ตารางที่ 2 ขีดจำกัดปริมาณรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานและบุคคลทั่วไปจาก ICRP 60.....	13
ตารางที่ 3 พลังงานเฉลี่ยและแผ่นกรองรังสีของรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ 100 , 150 และ 250 kVp.....	22
ตารางที่ 4 ข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะของสมาร์ตโฟนในแต่ละรุ่น.....	28
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ตโฟน 5 รุ่นกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ 150 kVp.....	34
ตารางที่ 6 แสดงผลความเที่ยงตรงของสมาร์ตโฟนรุ่น Nokia N8-00 .....	35
ตารางที่ 7 แสดงผลความเที่ยงตรงของสมาร์ตโฟนรุ่น Huawei Ascend P7.....	36
ตารางที่ 8 แสดงผลความเที่ยงตรงของสมาร์ตโฟนรุ่น Samsung Galaxy SII.....	37
ตารางที่ 9 แสดงผลความเที่ยงตรงของสมาร์ตโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII.....	38
ตารางที่ 10 ผลการทดสอบการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟน ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp .....	40
ตารางที่ 11 ผลการทดสอบการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟน ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp .....	41
ตารางที่ 12 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟน ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp .....	44
ตารางที่ 13 ผลการทดสอบการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟน ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp .....	46
ตารางที่ 14 ผลการทดสอบการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟน ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 250 kVp .....	48
ตารางที่ 15 ผลการเปรียบเทียบโดยการใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount ของสมาร์ตโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII.....	56

ตารางที่ 16 ผลการเปรียบเทียบโดยการใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount ของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7 .....	57
ตารางที่ 17 ผลการทดสอบหาค่าความแตกต่างของอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp เมื่อทดสอบกับแอปพลิเคชัน NECU GXdose ของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII.....	59
ตารางที่ 18 ผลการทดสอบหาค่าความแตกต่างของอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp เมื่อทดสอบกับแอปพลิเคชัน NECU GXdose ของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7 .....	59



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า .....	5
ภาพที่ 2 กระบวนการเกิดรังสีเอกซ์จากหลอดเอกซเรย์ .....	6
ภาพที่ 3 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ .....	7
ภาพที่ 4 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก .....	7
ภาพที่ 5 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน .....	8
ภาพที่ 6 ทิศทางการเคลื่อนที่ของรังสีเอกซ์จากปรากฏการณ์คอมป์ตัน .....	8
ภาพที่ 7 ลักษณะของ Image sensor.....	14
ภาพที่ 8 แผนภาพโครงสร้างและหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ซีมอส .....	15
ภาพที่ 9 การแปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์รูปภาพด้วยโปรแกรม Aao video to picture converter 4.0 .....	16
ภาพที่ 10 หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งานโปรแกรม ImageJ .....	16
ภาพที่ 11 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Rigaku Radioflex รุ่น Radioflex-200EGM2 (ซ้าย) แผง ควบคุม (microcomputerized controller) (ขวา) .....	18
ภาพที่ 12 สมาร์ทโฟน 5 รุ่น ได้แก่ ก.) Nokia N8-00 ข.) Samsung Galaxy SIII ค.) Samsung Galaxy SII ง.) Samsung Galaxy mini GTS5570 จ.) Huawei Ascend P7 .....	19
ภาพที่ 13 แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล.....	20
ภาพที่ 14 Water phantom .....	20
ภาพที่ 15 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ PTW-Freiburg .....	21
ภาพที่ 16 แผงควบคุมเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ PTW-Freiburg.....	21
ภาพที่ 17 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Stabilipan .....	22
ภาพที่ 18 ไอออนไนซ์เซชันแชมเบอร์ Saint-Gobain Crystals & Detectors UK Ltd รุ่น 2575 600cc thin window ionization chamber.....	23

ภาพที่ 19 ภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟน ขณะถ่ายภาพรังสีเอกซ์พลังงาน 120 kVp ตั้งค่ากระแสที่ 3.5 mA โดยกำบังหน้าหลอดเอกซเรย์ (Tube port) ด้วยแผ่นตะกั่วหนา 1 mm เพื่อลดความเข้มของรังสีเอกซ์.....	24
ภาพที่ 20 ภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟน ขณะถ่ายภาพรังสีเอกซ์พลังงาน 150 kVp ตั้งค่ากระแสที่ 3.5 mA โดยกำบังหน้าหลอดเอกซเรย์ (Tube port) ด้วยแผ่นตะกั่วหนา 1 mm เพื่อลดความเข้มของ รังสีเอกซ์.....	24
ภาพที่ 21 ภาพจำลองลักษณะการจัดวางแผ่นวัดรังสีไอเอสแอล และสมาร์ทโฟนบน Water phantom.....	30
ภาพที่ 22 การจัดวางเพื่อทำการทดลองการปรับเทียบรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ที่ 100 และ 150 kVp ณ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.....	31
ภาพที่ 23 การจัดวางเพื่อทำการทดลองการปรับเทียบรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ที่ 250 kVp ณ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์....	32
ภาพที่ 24 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟน 5 รุ่น กับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ความต่างศักย์ 150 kVp.....	34
ภาพที่ 25 กราฟแสดงความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 ที่ช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ .....	36
ภาพที่ 26 กราฟแสดงความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7 ที่ช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ .....	37
ภาพที่ 27 กราฟแสดงความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SII ที่ช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ .....	38
ภาพที่ 28 กราฟแสดงความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII ที่ช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ .....	39
ภาพที่ 29 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 และ Samsung Galaxy SIII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp.....	41

ภาพที่ 30 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟนรุ่น Nokia N8-00 และ Samsung Galaxy SIII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp.....	42
ภาพที่ 31 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟนรุ่น Nokia N8-00 และ Samsung Galaxy SIII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 และ 150 kVp.....	42
ภาพที่ 32 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟนรุ่น Nokia N8-00 Huawei Ascend P7 Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp.....	45
ภาพที่ 33 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟนรุ่น Nokia N8-00 Huawei Ascend P7 Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp.....	47
ภาพที่ 34 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟนรุ่น Nokia N8-00 Huawei Ascend P7 Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 250 kVp.....	49
ภาพที่ 35 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟนรุ่น Samsung Galaxy SII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 150 และ 250 kVp .....	50
ภาพที่ 36 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 150 และ 250 kVp.....	50
ภาพที่ 37 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟนรุ่น Huawei Ascend P7 ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 150 และ 250 kVp .....	51
ภาพที่ 38 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ตโฟนรุ่น Nokia N8-00 ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 150 และ 250 kVp.....	51
ภาพที่ 39 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXcount .....	53
ภาพที่ 40 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXcount โหมดการนับแบบ Real Time.....	54
ภาพที่ 41 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXdose .....	54
ภาพที่ 42 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXdose .....	55

ภาพที่ 43 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXdose โหมดการนับแบบ Real Time .....	56
ภาพที่ 44 กราฟเปรียบเทียบโดยการใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount ของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII .....	57
ภาพที่ 45 กราฟเปรียบเทียบโดยการใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount ของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7 .....	58



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ทางอุตสาหกรรม เป็นวิธีหนึ่งในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive testing) ที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีข้อดีคือ ได้ภาพเป็นหลักฐานที่สามารถมองเห็นและแปลความหมายได้ชัดเจน [1] โดยงานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ทางอุตสาหกรรมจะใช้ในการตรวจสอบจุดบกพร่องของชิ้นงานที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบรอยเชื่อมระบบท่อลำเลียง รอยร้าว หรือการสึกกร่อนของชิ้นงาน ทั้งนี้การตรวจสอบดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีสูง เพื่อให้รังสีเอกซ์สามารถทะลุทะลวงผ่านชิ้นงานได้ ซึ่งนั่นหมายถึงความเสี่ยงที่จะได้รับรังสีเพิ่มมากขึ้นสำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี (Radiographer) และบ่อยครั้งงานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ทางอุตสาหกรรมไม่สามารถย้ายชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบมายังห้องปฏิบัติการได้จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบภาคสนาม ซึ่งจะมีความเสี่ยงในการได้รับรังสีมากกว่าการทำงานในห้องปฏิบัติการซึ่งมีการคำนวณความหนาของผนังห้องเอกซเรย์เพื่อไม่ให้รังสีเอกซ์แผ่ออกไปนอกห้องเกินกว่ามาตรฐานกำหนดไว้แล้ว ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการทำงานร่วมกับสารกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ในการปฏิบัติงานแต่ละครั้งสิ่งที่จำเป็นอย่างมากคือเครื่องสำรวจรังสี (Survey meter) โดยใช้ในการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับในขณะทำงาน ตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีรั่วไหล และตรวจวัดความสามารถป้องกันรังสีของแผ่นกำบังรังสีซึ่งถือเป็นการประกันความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานและบุคคลทั่วไปที่อยู่บริเวณนั้นได้

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพโดยใช้รังสีแกมมา หรือรังสีเอกซ์ ร่วมกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ตัวอย่างงานวิจัยเรื่องการพัฒนาเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ ซึ่งนางวิจัยดังกล่าวได้พัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ให้ผลได้รวดเร็วโดยใช้ฉากเรืองรังสีร่วมกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตยูเอสบี จึงทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมและตั้งค่าต่าง ๆ รวมทั้งสามารถดูภาพและเก็บบันทึกภาพได้ ทั้งนี้เมื่อทำการทดสอบภาพที่ได้กลับพบว่าเกิดสัญญาณรบกวนซึ่งมีลักษณะเป็นพิกเซลสว่างเล็ก ๆ ปรากฏขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่รังสีเอกซ์ได้ทำอันตรกิริยากับเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของเม็ดสีภายในภาพ จากปัญหาการเกิดสัญญาณรบกวนในการถ่ายภาพด้วยรังสี แสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องถ่ายภาพมีการตอบสนองต่อรังสีเซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor) ถูกบรรจุอยู่ในอุปกรณ์ที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น



กล้องวงจรปิด กล้องถ่ายรูป กล้องโทรทัศน์ขนาดเล็ก และกล้องสมาร์ทโฟน ซึ่งงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟน ซึ่งกล้องสมาร์ทโฟนส่วนใหญ่จะใช้เซ็นเซอร์รับภาพชนิดซีมอส (CMOS, Complementary Metal Oxide Semiconductor)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะใช้ประโยชน์ซีมอสเซ็นเซอร์ในการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรมและงานอื่น ๆ ที่ใช้รังสีเอกซ์ เนื่องจากเครื่องมือวัดรังสีในขณะที่ปฏิบัติงานแต่ละครั้งอาจมีไม่มากพอสำหรับผู้ปฏิบัติงาน ในขณะที่ปัจจุบันสมาร์ทโฟนได้กลายมาเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งของบุคคล และออกแบบมาให้มีคุณสมบัติในการถ่ายรูปหรือบันทึกวิดีโอได้ ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาคุณสมบัติของเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟน ในการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ รวมถึงพัฒนาเทคนิคการใช้วัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ในลำดับต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนสำหรับการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์เพื่อความปลอดภัยในงานถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรม

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ทดสอบการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนต่อรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานในช่วง 100-250 kVp
2. เลือกสมาร์ทโฟนที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในวิจัยอย่างน้อย 3 รุ่น
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ซึ่งเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดรังสี เช่น ไอออนไนซ์เซชันแชมเบอร์ (Ionization chamber) และแผ่นวัดรังสีโอเอสแอล (Optically Stimulated Luminescence)

### 1.4 แผนการดำเนินงาน

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เลือกสมาร์ทโฟนที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในงานวิจัยอย่างน้อย 3 รุ่น
3. ทดสอบการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนต่อรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานในช่วง 100-250 kVp
4. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสม

5. หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์
6. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ได้เทคนิคที่เหมาะสมในการใช้เซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนสำหรับการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์เพื่อความปลอดภัยในงานถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรม

### 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ. 2553 สมาน อิงไธสง [2] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำควบคุมระยะไกล (DEVELOPMENT OF A HIGH RADIATION RESISTANT VISUALISING SYSTEM FOR UNDER WATER REMOTE INSPECTION) งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูง เพื่อตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงใช้แล้วในงานบำรุงรักษาเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปว.-1/1 โดยเลือกใช้กล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กความละเอียด 2 ล้านพิกเซล เมื่อกำลังโทรทัศน์ชนิดซีมอสได้รับปริมาณรังสีทำให้เกิดพิกเซลสว่างรบกวนพื้นหลังภาพ ซึ่งการลดปริมาณพิกเซลสว่างที่เกิดขึ้นจะใช้ตะกั่วกำบังรังสีร่วมกับระบบมองภาพแบบกระจกทำมุมสะท้อน เพื่อไม่ให้กล้องโทรทัศน์รับรังสีโดยตรง หลักการเลือกกล้องโทรทัศน์จะเลือกกล้องที่มีความไวต่อรังสีต่ำ โดยมีการทดสอบผลของรังสีเอกซ์ต่อกล้องโทรทัศน์จากผู้ผลิต 3 บริษัท ทำการแปรเปลี่ยนพลังงานเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ตั้งแต่ 20 kV ถึง 300 kV ที่กระแสคงที่ 1 mA การวิเคราะห์ผลทำโดยนำภาพเคลื่อนไหวไปสร้างภาพนิ่งด้วยโปรแกรม Fast Stone Capture เพื่อนำภาพนิ่งที่แต่ละพลังงานมาประมวลผลการรบกวนโดยใช้โปรแกรมประมวลผล จากการศึกษาผลของอัตราปริมาณรังสีต่อจำนวนพิกเซลสว่างพบว่า จำนวนของพิกเซลสว่างเพิ่มขึ้นตามอัตราปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น

ปี พ.ศ. 2555 อัครา อัครเนตร [3] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ให้ผลได้รวดเร็วโดยใช้ฉากเรืองรังสีร่วมกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตยูเอสบี จึงทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมและตั้งค่าต่าง ๆ รวมทั้งสามารถดูภาพและเก็บบันทึกภาพได้ ทั้งนี้เมื่อทำการทดสอบเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในภาพ เกิดจากการที่รังสีเอกซ์เข้าไปรบกวนเซ็นเซอร์รับภาพทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของเม็ดสีภายในภาพ ซึ่งมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ชนิดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ พลังงานที่ใช้ ความเข้มของลำรังสี ความไวแสง ความกว้างของรูรับแสง ระยะเวลาในการถ่ายภาพ จึงได้ทดสอบหาคุณภาพของภาพโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยปรับค่าคุณสมบัติกล้อง ไม่ว่าจะเป็น ความไว

แสง (ISO) ความกว้างของรูรับแสง (f) ระยะเวลาในการถ่ายภาพ จากนั้นใช้โปรแกรม ImageJ วัดค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในภาพ และนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า การตั้งค่า ISO สูงมีสัญญาณรบกวนมากขึ้น การเปิดรูรับแสงกว้างขึ้นก็ทำให้มีสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ ISO 200-400 f5.6 และระยะเวลาในการถ่ายภาพ 10-13 วินาที แต่การปรับค่ากล้องที่ดีที่สุดควรคำนึงถึงเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ชิ้นงานที่ทำการทดสอบ และชนิดของฉากเรืองรังสีที่ใช้

ปี พ.ศ. 2555 M.Gumiela , R.Kozik [4] ได้ทำการวิจัยเรื่อง THE INFLUENCE OF IONIZING RADIATION ON CHEAP CMOS AND CCD IMAGE SENSORS โดยทำการทดสอบการตอบสนองของเซ็นเซอร์รับภาพชนิด CMOS (Active Pixel Sensor) และ CCD (Charge-Couple Device) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดรังสี โดยใช้เซ็นเซอร์รับภาพจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ กล้องถ่ายรูปดิจิทัล กล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอส และกล้องจากโทรศัพท์มือถือ ทำการทดสอบกับรังสี 5 ประเภท ได้แก่ รังสีแอลฟา รังสีเบตา รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ และรังสีโปรตอน หลักการทำงานสำหรับการวัดรังสีโดยเซ็นเซอร์รับภาพทั้งสองชนิดจะมีพื้นฐานคล้ายกับการเกิดอันตรกิริยาของรังสีแต่ละประเภทกับหัววัดรังสีประเภทสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งผลการทดสอบพบว่า เซ็นเซอร์รับภาพทั้ง 2 ชนิด มีความไวต่อรังสีทั้ง 5 ชนิด และหากได้ทำการปรับเทียบแล้ว เซ็นเซอร์รับภาพเหล่านี้จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดรังสีได้

ปี พ.ศ. 2557 Joshua J. Cogliati , Kurt W. Derr and Jayson Wharton [5] ได้ทำการวิจัยเรื่อง USING CMOS SENSORS IN A CELLPHONE FOR GAMMA DETECTION AND CLASSIFICATION โดยงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการใช้เซ็นเซอร์รับภาพจากสมาร์ทโฟนเป็นเครื่องมือวัดรังสีแกมมา ใช้เครื่องฉายต้นกำเนิดรังสี  $^{60}\text{Co}$  และ  $^{137}\text{Cs}$  โดยจะใช้เซ็นเซอร์รับภาพจากกล้องด้านหลังของสมาร์ทโฟนทั้ง 4 รุ่น ทำการทดสอบโดยการถ่ายภาพขณะฉายรังสี จำนวน 40 ภาพที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ และทำการหมุนเปลี่ยนทิศทางของเซ็นเซอร์รับภาพตั้งแต่ 0 – 270 องศา ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมในสมาร์ทโฟน ผลการวิจัยพบว่าเซ็นเซอร์กล้องของสมาร์ทโฟนสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือวัดอัตราปริมาณรังสีได้ และเนื่องจากสมาร์ทโฟนแต่ละรุ่นมีความไวต่อรังสีต่างกัน ดังนั้นยังมีสมาร์ทโฟนอีกหลายรุ่นที่สามารถเป็นเครื่องมือวัดรังสีที่มีคุณภาพสูงได้เช่นกัน

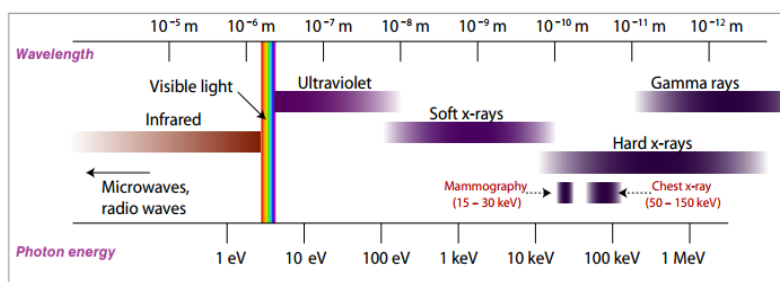
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 รังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในงานด้านต่าง ๆ โดยการใช้คุณสมบัติการทะลุผ่านของรังสีเอกซ์ ไม่ว่าจะเป็นด้านทางการแพทย์ ในการตรวจวินิจฉัยจากการถ่ายภาพ ทั้งการถ่ายภาพบนแผ่นฟิล์มและการถ่ายภาพที่แสดงผลผ่านทางระบบคอมพิวเตอร์แบบ CT-scan การถ่ายภาพลักษณะนี้ถ้ารังสีเอกซ์สามารถเคลื่อนที่ผ่านรอบคนใช้ในแนวตัดขวางและแสดงผลเป็นภาพ 3 มิติได้ นอกจากการตรวจวินิจฉัยแล้วทางการแพทย์ยังใช้รังสีเอกซ์ในการปลดเชื้อเครื่องมือหรือผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ การใช้ประโยชน์จากรังสีเอกซ์ด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ การตรวจสอบรอยร้าว รอยเชื่อม หรือการสึกกร่อนของชิ้นงาน โดยไม่จำเป็นต้องทำลายวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ และการตรวจสอบความปลอดภัย เช่น การใช้รังสีเอกซ์ตรวจสอบกระเป๋าสัมภาระในสนามบิน การใช้รังสีเอกซ์ในการตรวจจับโลหะ หรือวัตถุระเบิด เป็นต้น

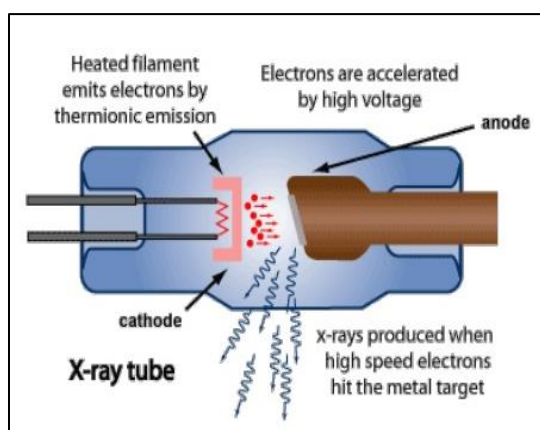
รังสีเอกซ์ถูกค้นพบโดยศาสตราจารย์โรเบิร์ต วิลเฮล์ม ในปี คริสต์ศักราช 1895 ซึ่งได้สรุปว่า รังสีเอกซ์เป็นรังสีประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่ารังสีแกมมา ดังที่แสดงในภาพที่ 1 เป็นรังสีก่อก่อไอออน มีความสามารถในการทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้ดี



ภาพที่ 1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : Radiological Protection Institute of Ireland . Science & technology in action 9<sup>th</sup> edition

กระบวนการเกิดรังสีเอกซ์ภายในหลอดเอกซ์เรย์ ภายในหลอดสุญญากาศประกอบด้วยขั้วลบ (Cathode) หรือไส้หลอด ขั้วบวก (Anode) หรือเป้าโลหะ ซึ่งขั้วทั้งสองจะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอด จนอุณหภูมิสูงเพียงพอจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดและถูกเร่งให้ไปกระทบกับเป้าโลหะในขั้วบวก อิเล็กตรอนความเร็วสูงวิ่งเข้าไปใกล้นิวเคลียสของเป้าโลหะ ส่งผลให้อิเล็กตรอนสูญเสียพลังงานไปเป็นพลังงานความร้อน และพลังงานส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นรังสีเอกซ์



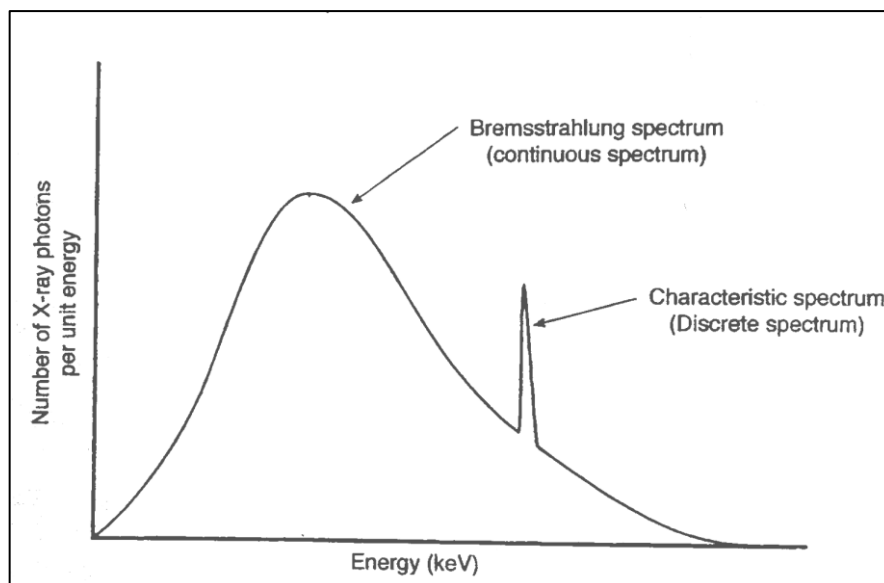
ภาพที่ 2 กระบวนการเกิดรังสีเอกซ์จากหลอดเอกซเรย์

ที่มา : [www.nde-ed.org](http://www.nde-ed.org) . Production of x-rays

กระบวนการเกิดเบรมส์ชตราลุง (Bremsstrahlung) เมื่ออิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสซึ่งมีประจุบวก ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนพลังงานสูงนั้นเปลี่ยนทิศทาง และมีพลังงานลดลง โดยการปลดปล่อยพลังงานออกมาเป็นรังสีเอกซ์ ซึ่งเรียกว่าเบรมส์ชตราลุง การเกิดเบรมส์ชตราลุงจะเกิดขึ้นภายในหลอดรังสีเอกซ์ และสามารถเกิดขึ้นเมื่อรังสีบีตาพลังงานสูงเข้าทำอันตรกิริยากับตัวกลางที่มีเลขเชิงอะตอมสูง

กระบวนการเกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic X-ray) เมื่ออิเล็กตรอนพลังงานสูงเข้าชนกับอิเล็กตรอนของอะตอมในตัวกลาง และมีพลังงานมากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนในวงถัดไปจะเข้ามาแทนที่ พร้อมปลดปล่อยพลังงาน ซึ่งออกมาในรูปของ รังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ โดยพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ได้จากธาตุตัวกลางจะมีพลังงานที่ต่างกันเนื่องจากการจัดชั้นพลังงานของแต่ละธาตุต่างกัน จึงมีการนำรังสีเอกซ์เฉพาะตัวไปใช้ในงานด้านการวิเคราะห์ธาตุ หรือ XRF (X-ray fluorescence)

เนื่องจากกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์ ประกอบด้วย 2 กระบวนการข้างต้น ลักษณะสเปกตรัมจึงมีทั้งสเปกตรัมต่อเนื่องจากเบรมส์ชตราลุง และสเปกตรัมไม่ต่อเนื่องจากรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ ดังภาพที่ 3



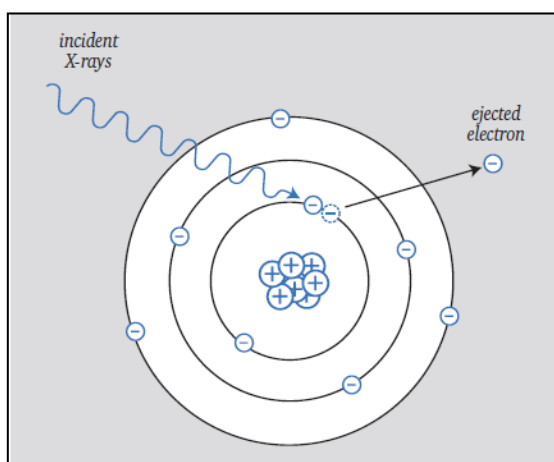
ภาพที่ 3 สเปกตรัมรังสีเอกซ์

ที่มา : นวลฉวี (2553)

## 2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสสาร

### 2.2.1 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) เกิดขึ้นเมื่อรังสีเอกซ์กระทบสสารแล้วถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนของสสาร หากพลังงานที่ถ่ายเทให้สูงกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงนั้น อิเล็กตรอนก็จะหลุดออกจากอะตอมได้ เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) โดยมีพลังงานจลน์เท่ากับผลต่างของพลังงานรังสีเอกซ์กับพลังงานยึดเหนี่ยว [6]

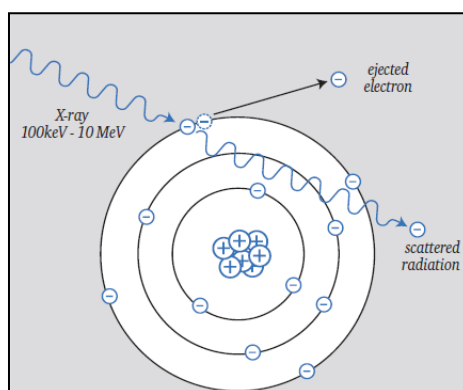


ภาพที่ 4 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ที่มา : GE Inspection Technologies (2007)

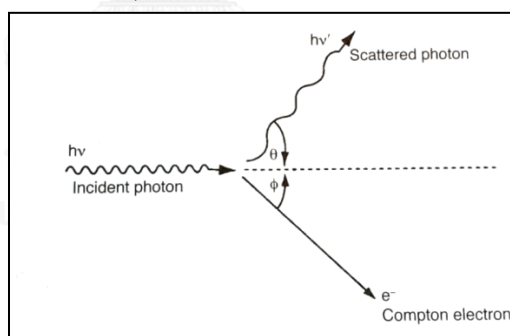
## 2.2.2 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

ในปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton Effect) รังสีเอกซ์เข้าชนกับอิเล็กตรอนในอะตอมของสสารแบบยืดหยุ่น ในการชนแบบนี้ ทั้งโมเมนตัมและพลังงานไม่สูญหาย รังสีเอกซ์จะสูญเสียพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมไปในทิศทางมุม  $\phi$  กับทิศทางการเคลื่อนที่เดิมของรังสีเอกซ์ ดังภาพที่ 5 เรียกอิเล็กตรอนที่หลุดว่า คอมป์ตันอิเล็กตรอน (Compton electron) ส่วนรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานลดลงจะกระเจิงออกจากอะตอมในมุม  $\theta$  ปรากฏการณ์นี้จึงเรียกอีกอย่างว่า การกระเจิงคอมป์ตัน (Compton scattering)



ภาพที่ 5 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

ที่มา: GE Inspection Technologies (2007)



ภาพที่ 6 ทิศทางการเคลื่อนที่ของรังสีเอกซ์จากปรากฏการณ์คอมป์ตัน

ที่มา: นวลฉวี (2553)

## 2.3 การวัดรังสี

เมื่อรังสีเป็นพลังงานที่ไม่สามารถมองเห็นหรือจับต้องได้ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่สามารถตรวจวัดการมีอยู่ของกัมมันตรังสี หรือปริมาณรังสี ซึ่งเครื่องมือวัดทางรังสีถูกออกแบบมาสำหรับการใช้งานในหลากหลายรูปแบบ สำหรับการใช้วัดชนิดของรังสีกัมมา ไอออน พลังงาน และปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน หากแบ่งเครื่องมือวัดรังสีตามตัวกลางในการเกิดอันตรกิริยาภายในหัววัดรังสี สามารถแบ่งประเภทของหัววัดรังสีได้ 3 ประเภท ได้แก่ หัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊ส หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ

### 2.3.1 หัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊ส

หัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊ส (Gas filled detector) ลักษณะทั่วไปของหัววัดจะมีเส้นลวดเป็นขั้วแอโนด ผนังโลหะของหัววัดเป็นขั้วแคโทด ต่อขั้วทั้งสองด้วยศักย์ไฟฟ้า หลักการทำงานเมื่อรังสีเข้าทำอันตรกิริยากับแก๊สที่อยู่ในหัววัดทำให้เกิดการแตกตัวของคู่อิออน ศักย์ไฟฟ้าภายในหัววัดทำให้ประจุขั้วบวกและขั้วลบเคลื่อนที่ไปยังแคโทดและแอโนด เกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งหมายถึงปริมาณรังสีที่เข้าสู่หัววัด เครื่องมือวัดรังสีที่ใช้หัววัดรังสีชนิดนี้ เช่น หัววัดรังสีไกเกอร์ มุลเลอร์ (Geiger-Muller tube , GM tube) โดยส่วนมากจะนำมาใช้เป็นเครื่องสำรวจรังสี (Survey meter) เพื่อตรวจหาและประเมินปริมาณรังสีเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน หัววัดรังสีไอออนไนเซชันแชมเบอร์ (Ionization chamber) เป็นหัววัดที่มักนำมาใช้ในงานด้านการวัดปริมาณรังสี การเปรียบเทียบระบบวัดปริมาณรังสี หัววัดชนิดนี้สามารถนับจำนวนคู่อิออนที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด โดยที่ไม่มีการเพิ่มคุณสมบัติขยายจำนวนคู่อิออน และสามารถวัดระดับพลังงานของรังสีได้กว้าง

### 2.3.2 หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน

หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน (Scintillation detector) หลักการทั่วไปของหัววัดชนิดนี้คือ เมื่อรังสีเข้าทำอันตรกิริยากับสารเรืองแสง (Scintillator) จะทำให้เกิดกระบวนการเรืองแสงในรูปของโฟตอน จำนวนโฟตอนที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณและพลังงานของรังสี จากนั้นจะถูกนำไปเพิ่มปริมาณแสงเรืองโดยหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube) และเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า สารเรืองแสงนั้นสามารถเป็นทั้ง ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส หัววัดรังสีที่ใช้สารเรืองแสงประเภทของแข็ง เช่น NaI(Tl) นิยมใช้เพื่อวัดรังสีแกมมา เนื่องจากมีความหนาแน่น และเลขเชิงอะตอมสูง

### 2.3.3 หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ

หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) หลักการทำงานหัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบกับอิเล็กตรอนในแถบเวเลนซ์ (Valence band) หากได้รับพลังงานเพียงพอ อิเล็กตรอนจะสามารถข้ามผ่านแถบต้องห้าม (Forbidden gap) ไปยังแถบการนำ (Conduction band) เรียกว่าเกิดการกระตุ้น (Excitation) ของอิเล็กตรอน ทำให้ตำแหน่งเดิมของอิเล็กตรอนนั้นว่างลงเรียกว่า โฮล (Hole) จึงกล่าวได้ว่าพลังงานที่ได้รับทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล (Electron hole-pair) ซึ่งคล้ายกับการแตกตัวเป็นไอออนในตัวกลางที่เป็นแก๊ส โดยโฮลมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นประจุบวก ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ในสนามไฟฟ้า แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกับอิเล็กตรอน การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และโฮล แสดงถึงการนำไฟฟ้าของสารนั้น



### 2.3.4 อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

เป็นเครื่องมือวัดรังสีขนาดเล็กเหมาะสำหรับผู้ปฏิบัติงานได้ปกติตัวได้ตลอดระยะเวลาการทำงาน และมีการบันทึกค่าปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ ได้อย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประจำบุคคลเช่น แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล หลักการทำงานทั่วไปคือ แผ่นวัดรังสีชนิดไอเอสแอล เป็นผลึกของสารประกอบ  $Al_2O_3 : C$  ซึ่งมีคุณสมบัติที่เมื่อได้รับพลังงานจากรังสีแล้วจะสะสมพลังงานเอาไว้โดยการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน เมื่อมีการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวกความเข้มที่เหมาะสม ผลึกจะคายพลังงานที่ได้รับมาส่วนหนึ่งในรูปของแสงสีน้ำเงิน ปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะแปรตามปริมาณรังสีที่ได้รับ เนื่องจากการคายอิเล็กตรอนในขบวนการกระตุ้นแต่ละครั้ง จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกมาเพียงบางส่วนเท่านั้น ทำให้สามารถทำการกระตุ้นได้หลายครั้งจึงทำให้มีคุณสมบัติในการอ่านซ้ำได้ เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณรังสี HP(10) หรือปริมาณรังสีสมมูลที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อ ที่ระดับความลึก 10 mm ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและพลังงานรังสีที่ตกกระทบ HP(0.07) หรือปริมาณรังสีสมมูลเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อ ที่ระดับความลึก 0.07 mm ของผิวหนัง มือและเท้า HP(3) หรือปริมาณรังสีสมมูลสำหรับเลนส์ตา ตามข้อกำหนดของ International Commission on Radiation Unit and Measurement Report No.47 หรือ ICRU – 47

## 2.4 หน่วยวัดทางรังสี

เพื่อที่จะอธิบายผลของรังสีและประเมินความเสี่ยงในการได้รับรังสี การนิยามปริมาณและหน่วยวัดรังสีเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งคณะกรรมการระหว่างประเทศด้านการวัดและหน่วยวัดรังสี (International Commission on Radiology Units and Measurements , ICRU) เป็นองค์กรที่นิยามปริมาณและหน่วยวัดรังสี

### 2.4.1 เอกซ์โพเชอร์

เอกซ์โพเชอร์ (Exposure, X) เป็นหน่วยที่ใช้วัดปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการที่รังสีเอกซ์หรือแกมมาทำให้อากาศเกิดการแตกตัวเป็นไอออน มีหน่วยเป็น เรินต์เกน (Roentgen, R) SI unit ใช้หน่วยเอกซ์โพเชอร์เป็นคูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg) โดย 1 เรินต์เกน หมายถึงปริมาณรังสีเอกซ์หรือแกมมาที่ทำให้อากาศ 0.001293 กรัม (ปริมาตร 1 ลบ.ซม. ที่ S.T.P) เกิดการแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า 1 esu

$$1 R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg$$

#### 2.4.2 ปริมาณรังสีดูดกลืน

ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed dose) เป็นหน่วยที่ใช้วัดปริมาณพลังงานของรังสีที่ถ่ายเทให้วัตถุต่อหน่วยมวล มีหน่วยเป็น rad ปริมาณรังสีดูดกลืน 1 rad หมายถึง พลังงานรังสีที่ถ่ายเทให้วัตถุ 100 erg ต่อมวล 1 กรัม ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} 1 \text{ rad} &= 100 \text{ erg/g} \\ &= 0.01 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

ปัจจุบันในหน่วย SI unit ปริมาณรังสีดูดกลืน มีหน่วยเป็น เกรย์ (Gray , Gy) ซึ่งหมายถึงพลังงานรังสีที่ถ่ายเทให้กับวัตถุ 1 J ต่อมวล 1 kg

$$\begin{aligned} 1 \text{ Gy} &= 1 \text{ J/kg} \\ &= 100 \text{ rad} \end{aligned}$$

#### 2.4.3 ปริมาณรังสีสมมูล

ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent) เป็นหน่วยที่ใช้ในการศึกษาทางชีววิทยาที่เกิดจากรังสีชนิดต่าง ๆ เนื่องจากรังสีแต่ละชนิดสามารถทำให้เกิดความอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ต่างกัน ถึงแม้ปริมาณรังสีดูดกลืนจะมีค่าเท่ากันก็ตาม ในการคำนวณหน่วยนี้จึงมีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Quality factor, Q) เข้ามาเป็นค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณรังสีดูดกลืน ปริมาณรังสีสมมูลมีหน่วยเป็น เรม (Roentgen equivalent man, rem) สามารถแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

$$H \text{ (rem)} = D \text{ (rad)} \times Q$$

โดยที่ H หมายถึง ปริมาณรังสีสมมูล

D หมายถึง ปริมาณรังสีดูดกลืน

Q หมายถึง ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ

ปัจจุบันในหน่วย SI unit ปริมาณรังสีสมมูล มีหน่วยเป็น ซีเวิร์ต (Sievert, Sv) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์กับหน่วย เกรย์ ได้ดังนี้

$$H \text{ (Sv)} = D \text{ (Gy)} \times Q$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) ต่อชนิดของรังสีก่อไอออน

ชนิดของรังสีก่อไอออน	Q
รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา	1
รังสีเบตา	1
เทอร์มัลนิวตรอน	5
นิวตรอนเร็ว	20
รังสีแอลฟา	20

## 2.5 ผลของรังสีทางชีววิทยา

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีทางนิวเคลียร์มาประยุกต์ใช้กับงานในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นเป็นทางด้านการแพทย์ ได้แก่ การตรวจวินิจฉัยโรคด้วยการถ่ายภาพเอกซเรย์ เวชศาสตร์นิวเคลียร์ ทางเกษตร ได้แก่ การปรับปรุงพันธุ์พืช การควบคุมแมลง การฉายรังสีอาหาร และทางอุตสาหกรรม ได้แก่ การถ่ายภาพด้วยรังสี เครื่องมือวัดความชื้น การวัดความหนา หรือการวัดระดับ เป็นต้น แต่เป็นที่ทราบกันดีว่ารังสีสามารถทำให้เกิดผลต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตได้เสมอ ซึ่งสามารถแบ่งแยกได้หลายหัวข้อดังนี้

### 2.5.1 ผลชัดเจน (Non-Stochastic effects) และ ผลไม่ชัดเจน (Stochastic effects)

ผลชัดเจน เป็นผลทางรังสีที่มีระดับปริมาณรังสีขีดเริ่ม โดยหากได้รับปริมาณรังสีต่ำกว่าขีดเริ่มจะไม่มี ความผิดปกติต่อร่างกายใด ๆ ผลความผิดปกติทางร่างกายจะรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเมื่อรับปริมาณรังสี เพิ่มขึ้น

ผลไม่ชัดเจน เป็นผลทางรังสีซึ่งขึ้นอยู่กับโอกาส ไม่มีระดับปริมาณรังสีขีดเริ่ม โดยหากได้รับปริมาณ รังสีเพิ่มขึ้นโอกาสที่จะเกิดผลความผิดปกติต่อร่างกายสูงขึ้น แต่ผลความผิดปกติทางร่างกายจะไม่เพิ่ม ความรุนแรงขึ้น ตัวอย่างเช่นการเกิดมะเร็ง และ ความผิดปกติทางพันธุกรรม

### 2.5.2 ผลต่อร่างกาย (Somatic effects) และ ผลต่อพันธุกรรม (Hereditary effects)

ผลต่อร่างกาย คือผลที่เกิดขึ้นจากการที่รังสีส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางเซลล์ร่างกาย ซึ่งผลกระทบนี้ จะเกิดขึ้นกับบุคคลที่ได้รับรังสีเท่านั้นจะไม่สามารถส่งต่อไปทางพันธุกรรมได้ ผลต่อร่างกายสามารถ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ ผลจากการได้รับรังสีแบบเฉียบพลัน (Acute effects) และ ผลจากการได้รับ รังสีแบบล่าช้า (Delayed effects) ผลแบบเฉียบพลัน เมื่อได้รับปริมาณรังสีเกินกำหนด ผลของ รังสีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ยกตัวอย่างเช่น การคลื่นไส้ อาเจียน อากาศเพสีย ผิวหนังมีผื่นแดง หรือ จำนวนเม็ดเลือดขาวลดลง เป็นต้น ผลจากการได้รับรังสีแบบล่าช้า สามารถเกิดได้ทั้งที่ได้รับปริมาณ

รังสีมากภายในครั้งเดียว และการได้รับรังสีในปริมาณระดับรังสีต่ำ แต่ได้รับติดต่อกันยาวนาน ส่งผลทำให้เกิดมะเร็ง ต้อกระจกและทำให้มีอายุขัยที่สั้นลงได้  
ผลต่อพันธุกรรม เกิดจากการที่รังสีส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางเซลล์สืบพันธุ์ ทำให้สามารถเกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม และถ่ายทอดไปสู่รุ่นลูกหลานได้

## 2.6 ขีดจำกัดปริมาณรังสี

จากอันตรายของรังสีที่สามารถเกิดขึ้นได้ จึงมีองค์กรที่คอยดูแลสำหรับการป้องกันอันตรายจากรังสีโดยมีกฎระเบียบและข้อบังคับสำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี และบุคคลทั่วไป ซึ่งก็คือ คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศด้านป้องกันรังสี (International Commission on Radiological Protection , ICRP) โดยกำหนดขีดจำกัดปริมาณรังสียังผลเพื่อลดการเกิดผลจากรังสีแบบ Stochastic effects และกำหนดขีดจำกัดปริมาณรังสีสมมูลเพื่อป้องกันการเกิดผลจากรังสีแบบ Non-stochastic effects [7]

ตารางที่ 2 ขีดจำกัดปริมาณรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานและบุคคลทั่วไปจาก ICRP 60

	ขีดจำกัดปริมาณรังสี (mSv/y)	
	ผู้ปฏิบัติงาน	บุคคลทั่วไป
ปริมาณรังสียังผล	20 <sup>1</sup> เฉลี่ยในช่วง 5 ปีติดต่อกัน	1 <sup>2</sup>
ปริมาณรังสีสมมูล		
เลนส์ตา	150	15
ผิวหนัง	500	50
มือ,เท้า	500	-

<sup>1</sup> ผู้ปฏิบัติงาน ไม่ควรได้รับปริมาณรังสียังผลเกิน 50 mSv ต่อปี

<sup>2</sup> ในกรณีพิเศษบุคคลทั่วไปสามารถได้รับปริมาณรังสียังผลสูงได้ แต่ในช่วง 5 ปี เฉลี่ยแล้วจะต้องไม่เกิน 1 mSv ต่อปี

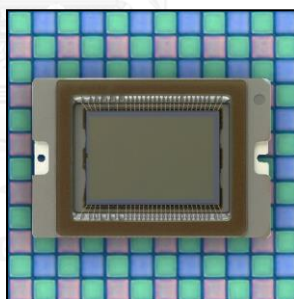
## 2.7 การป้องกันอันตรายจากรังสี

หลักการป้องกันอันตรายจากรังสี สามารถแยกออกเป็น 2 ประเภทคือ การป้องกันรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีภายนอกร่างกาย (External Radiation) และ การป้องกันรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีภายในร่างกาย (Internal Radiation) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวเพียงการป้องกันรังสีจากภายนอก

เท่านั้น การลดปริมาณรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีภายนอก สามารถทำได้โดย การใช้เวลา (Time) อยู่กับแหล่งกำเนิดรังสีให้น้อยที่สุด การใช้ระยะห่าง (Distance) เนื่องจากความเข้มของรังสีจะแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง ดังนั้นจึงควรปฏิบัติงานให้อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีมากที่สุด การใช้ตัวกำบัง (Shielding) โดยการวางตัวกำบังไว้ระหว่างแหล่งกำเนิดรังสี และผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งควรเลือกตัวกำบังให้เหมาะกับแหล่งกำเนิดรังสี หากแหล่งกำเนิดรังสีเป็นรังสีแกมมา หรือรังสีเอกซ์ ตัวกำบังควรใช้วัสดุที่มีเลขเชิงอะตอมสูง เช่น เหล็ก ตะกั่ว คอนกรีต เป็นต้น และต้องคำนึงถึงความหนาของวัสดุที่ใช้กับความแรงของต้นกำเนิดรังสีเช่นกัน

## 2.8 เซ็นเซอร์รับภาพ

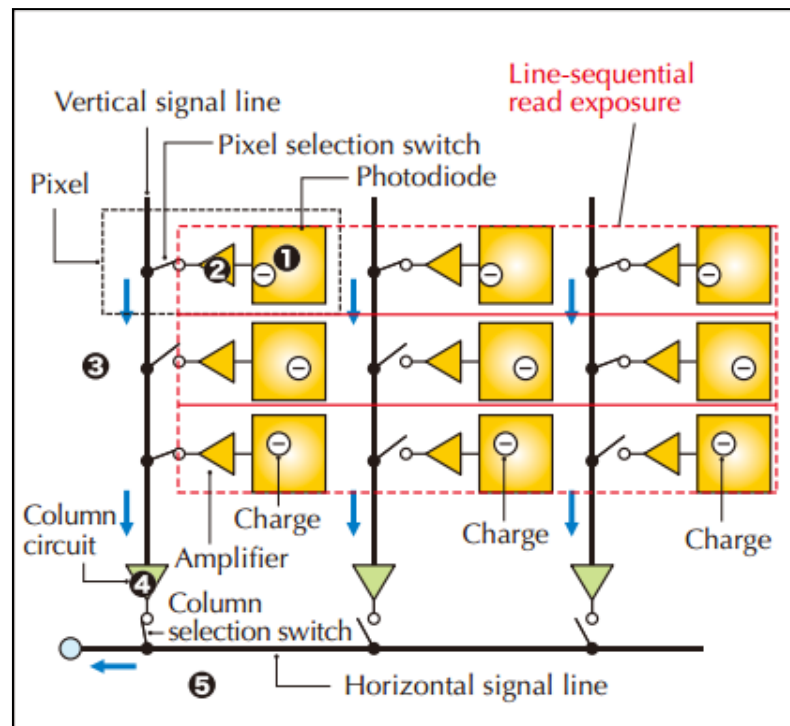
กล้องถ่ายภาพมีต้นกำเนิดมาเมื่อเกือบ 200 ปีที่แล้ว เริ่มต้นจากการมีลักษณะเป็นกล่องสีดำ ประกอบด้วย เลนส์ (Lens) มีหน้าที่รวมแสง รูรับแสง (Aperture) ควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านเลนส์เข้ามา และส่วนของชัตเตอร์ (Shutter) มีหน้าที่เปิด-ปิดช่องรับแสง ซึ่งเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการรับแสงของกล้อง ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างกล้องถ่ายรูปแบบดั้งเดิมและกล้องดิจิทัลปัจจุบันคือตัวรับภาพ สำหรับกล้องดั้งเดิมนั้นจะใช้ฟิล์มเป็นตัวรับภาพ แต่กล้องดิจิทัลปัจจุบันจะใช้เซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor) [8]



ภาพที่ 7 ลักษณะของ Image sensor

ที่มา: Dennis P. Curtin (2011)

ในปัจจุบันมีการใช้อิมเมจเซ็นเซอร์อยู่ 2 รูปแบบคือ CCD (charge-coupled device) และ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ซึ่งจะกล่าวถึงหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ซีมอสเท่านั้น เพราะเป็นชนิดของเซ็นเซอร์ที่ใช้ในกล้องโทรศัพท์มือถือส่วนใหญ่



ภาพที่ 8 แผนภาพโครงสร้างและหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ซีมอส

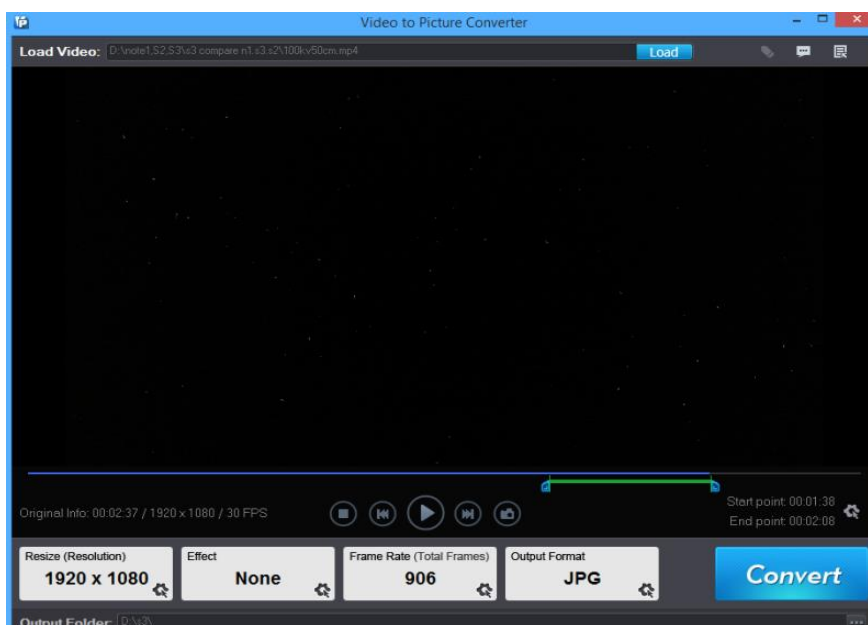
ที่มา: Dennis P. Curtin (2011)

จากภาพที่ 8 สามารถอธิบายหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ซีมอส ดังนี้ (1) เมื่อ Photon ตกกระทบกับ Photodiode จะเกิดประจุไฟฟ้าขึ้นและประจุไฟฟ้านั้นจะถูกเก็บสะสมไว้ (2) ประจุไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า และจะถูกนำไปขยายสัญญาณโดย Amplifier ซึ่งบรรจุอยู่ในวงจรของแต่ละพิกเซลบนเซ็นเซอร์ซีมอส (3) สัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านทางเส้นสัญญาณในแนวตั้ง เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นข้อมูลดิจิทัลโดย A/D converter (4) กำหนด noise signal และลบสัญญาณรบกวน ที่แต่ละคอลัมน์ของพิกเซลโดยวิธี Correlated double sampling (5) เมื่อลบสัญญาณรบกวนออกไปแล้วข้อมูลดิจิทัลที่ได้จะถูกส่งออกไปที่เส้นสัญญาณแนวนอน ข้อมูลดิจิทัลนั้นจะสามารถเปลี่ยนเป็นภาพได้ ตัวเลขมากเท่ากับส่วนขาว ตัวเลขน้อยเท่ากับส่วนดำ ตามสัดส่วนกันไป [9]

## 2.9 โปรแกรม AoaoPhoto Video to Picture Converter 4.0

โปรแกรม AoaoPhoto Video to Picture Converter 4.0 เป็นโปรแกรมที่สามารถแปลงไฟล์วิดีโอนามสกุล AVI, MPG, WMV, MKV, MOV, MP4, 3GP, RMVB เป็นไฟล์รูปภาพนามสกุล JPG, GIF, BMP, TGA, TIF, PCX, ICO เป็นต้น โปรแกรมนี้สามารถกำหนดช่วงวิดีโอ (Video Trimmer) สำหรับการแปลงจากไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์รูปภาพ โดยกำหนดช่วงเวลาที่เริ่ม (Start point) และช่วงเวลาที่สิ้นสุด (End point) สามารถปรับความละเอียด (Resolution) ของไฟล์รูปภาพได้ สามารถกำหนดและควบคุมอัตราเฟรมได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการสร้างภาพเคลื่อนไหว

นามสกุล .GIF และใส่เทคนิคพิเศษ (special effects) เมื่อนำไฟล์วิดีโอเข้าโปรแกรม โปรแกรมจะบอกถึงคุณสมบัติของไฟล์วิดีโอที่ต้องการแปลง ไม่ว่าจะเป็น ระยะเวลา ความละเอียด และ อัตราเฟรมของไฟล์วิดีโอ [10]

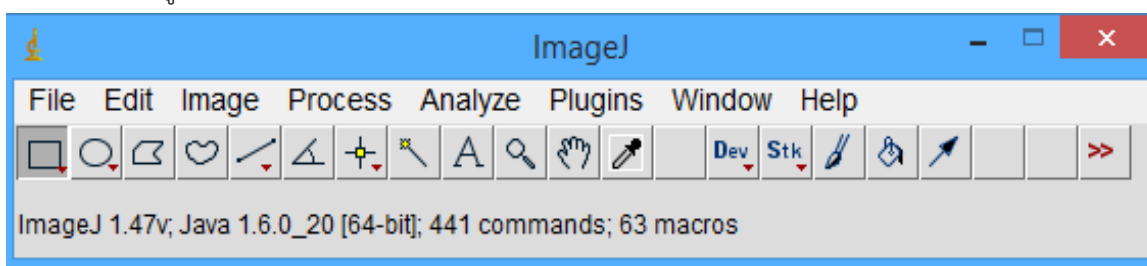


ภาพที่ 9 การแปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์รูปภาพด้วยโปรแกรม Aoa video to picture converter

4.0

## 2.10 โปรแกรม ImageJ

โปรแกรม ImageJ ได้ร้บพัฒนาขึ้นโดย Wayne Rasband ซึ่งมีพื้นฐานโปรแกรมมาจากโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ NIH Image ที่ใช้สำหรับระบบปฏิบัติการMcIntosh โปรแกรม ImageJ เป็นโปรแกรมประมวลผลภาพ และวิเคราะห์ภาพที่ถูกเขียนขึ้นในภาษา Java สนับสนุนการใช้งานทั้งแบบออนไลน์ (online applet) และการติดตั้งโปรแกรมลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกระบบปฏิบัติการไม่ว่าจะเป็น ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows, Mac OS X และ Linux ที่ติดตั้ง Java เวอร์ชัน1.5 หรือเวอร์ชันที่สูงกว่า



ภาพที่ 10 หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งานโปรแกรม ImageJ

ImageJ เป็น Open source software ซึ่งสามารถติดตั้งโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายและเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ได้พัฒนา แก้ไข หรือดัดแปลงโปรแกรม เมื่อต้องการนำไฟล์ภาพมาวิเคราะห์สามารถอ่านรูปแบบไฟล์ภาพได้หลายสกุลได้แก่ TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS และ Raw สามารถเปิดภาพสำหรับวิเคราะห์ได้พร้อมกันหลายภาพในเวลาเดียว (stacks) สามารถคำนวณพื้นที่และปริมาณ Pixel คำนวณค่าระยะทางและมุมได้ วัดความหนาแน่นของรูปภาพแล้วแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่งหรือ Histograms ตามการเลือกของผู้ใช้ ImageJ ได้ถูกนำมาใช้ในด้านการวิเคราะห์ภาพทางวิทยาศาสตร์มากมาย เช่น วัดความยาวของดีเอ็นเอเพื่อศึกษาโครงสร้าง (Measuring DNA Contour Lengths) การวิเคราะห์อนุภาค (Particle counting) ไม่ว่าจะเป็นการนับ คำนวณหาพื้นที่และเปอร์เซ็นต์ หรือหาค่าเฉลี่ยของอนุภาค เป็นต้น [11]





### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากเซ็นเซอร์รับภาพสีมอสของสมาร์ทโฟนในการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ เพื่อความปลอดภัยในงานถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรม ในขั้นแรกจะศึกษาวิธีการหาอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพสีมอสในสมาร์ทโฟนเพื่อคัดเลือกสมาร์ทโฟนที่เหมาะสมแก่การนำมาวิจัย จากนั้นทดสอบความเที่ยงตรงของสมาร์ทโฟน และศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ ซึ่งสามารถทราบอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ได้โดยใช้ แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล และไอออนไนซ์เซชันแชมเบอร์

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์วิจัย

3.1.1 ศึกษาวิธีการหาอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพสีมอสในสมาร์ทโฟนเพื่อคัดเลือกสมาร์ทโฟนที่เหมาะสมแก่การนำมาวิจัย

1. เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Rigaku รุ่น Radioflex-200EGM2 สามารถปรับความต่างศักย์ได้ตั้งแต่ 70-200 kVp และสามารถปรับกระแสได้ 2 ช่วง คือ ช่วงต่ำ 3.5 mA และ ช่วงมาตรฐาน 5 mA แผ่นกรองรังสีภายใน (inherent filter) ประกอบด้วยอะลูมิเนียม 2 mm และ เบริลเลียม 1 mm



ภาพที่ 11 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Rigaku Radioflex รุ่น Radioflex-200EGM2 (ซ้าย) แผงควบคุม (microcomputerized controller) (ขวา)

2. สมาร์ทโฟน 5 รุ่น ได้แก่ Nokia N8-00, Samsung Galaxy SIII, Samsung Galaxy SII, Samsung Galaxy mini GTS5570 และ Huawei Ascend P7

### 3. เทปพันสายไฟ



ภาพที่ 12 สมาร์ทโฟน 5 รุ่น ได้แก่ ก.) Nokia N8-00 ข.) Samsung Galaxy SIII  
ค.) Samsung Galaxy SII ง.) Samsung Galaxy mini GTS5570 จ.) Huawei Ascend P7

#### 3.1.2 ทดสอบความเที่ยงตรงของสมาร์ทโฟิน

1. ต้นกำเนิดรังสีเอมเรียม-241
2. สมาร์ทโฟน 4 รุ่น ได้แก่ Nokia N8-00, Samsung Galaxy SIII, Samsung Galaxy SII และ Huawei Ascend P7
3. เทปพันสายไฟ

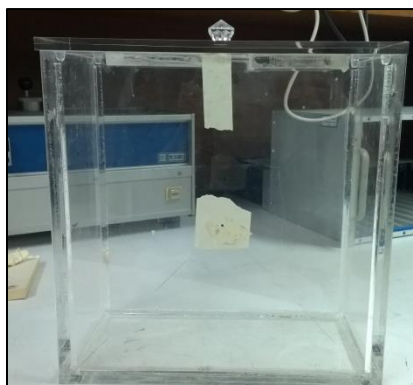
#### 3.1.3 ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟินกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์

##### 3.1.3.1 ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟินกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นวัดรังสีไอเอสแอลเป็นเครื่องมือในการวัดปริมาณรังสีเอกซ์

1. เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Rigaku รุ่น Radioflex-200EGM2
2. สมาร์ทโฟน 2 รุ่น ได้แก่ Nokia N8-00 และ Samsung Galaxy SIII
3. แผ่นวัดรังสีไอเอสแอลจากสำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ จำนวน 50 แผ่น
4. หุ่นจำลองน้ำ (Water phantom) ขนาดความยาว 30 cm ความกว้าง 15 cm ความสูง 30 cm จากสำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
5. เทปพันสายไฟ



ภาพที่ 13 แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล

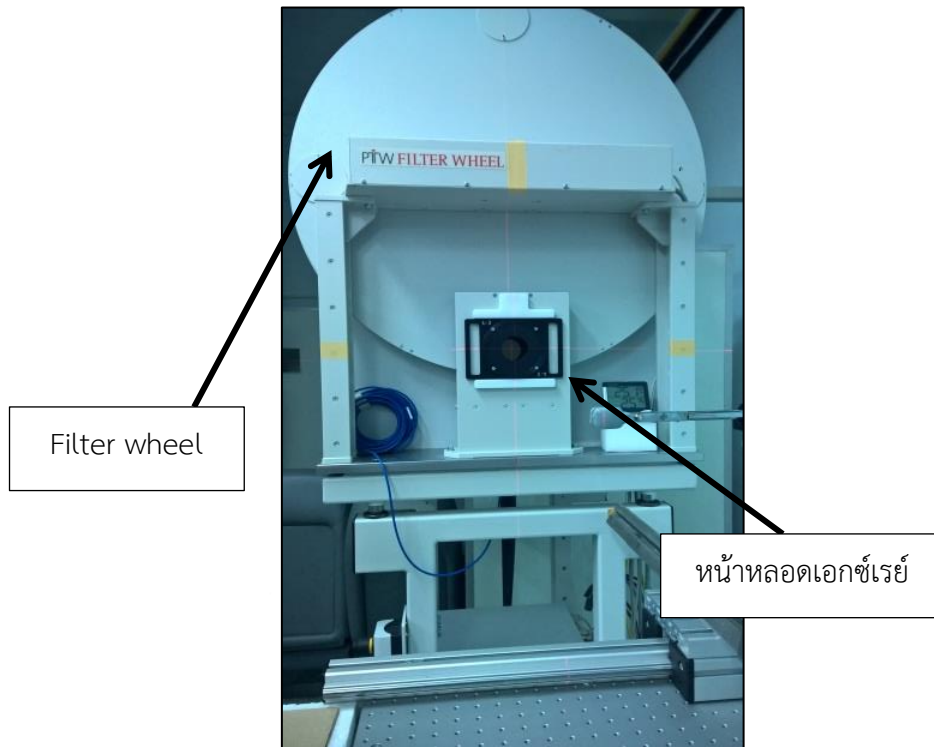


ภาพที่ 14 Water phantom

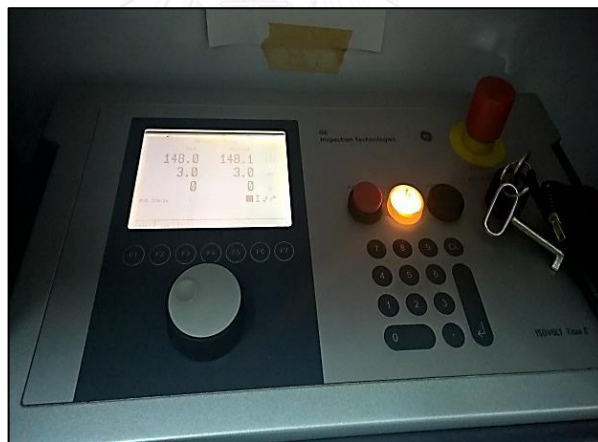
3.1.3.2 ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้ไอออนไนซเซชันแชมเบอร์เป็นเครื่องมือการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์

1. ชุดเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ PTW-Freiburg ประกอบไปด้วย หลอดเอกซเรย์ แหล่งจ่ายไฟ เครื่องควบคุม และระบบระบายความร้อน ระบบการฉายรังสีของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์รุ่นนี้ ถูกออกแบบมาให้มีความแม่นยำและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานสำหรับการสอบเทียบ อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีเอกซ์ ที่ใช้ในทางการแพทย์วินิจฉัยด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray diagnostics) และการรักษาด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray therapy) ซึ่งระบบการฉายรังสีจะประกอบไปด้วย หลอดเอกซเรย์ (X-ray tube) เอกซเรย์ชัตเตอร์ (X-ray shutter) และ ช่องใส่แผ่นกรองรังสี (filter wheel)

เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์นี้สามารถปรับความต่างศักย์ได้ถึง 320 kVp และปรับกระแสได้ถึง 50 mA แผ่นกรองรังสีภายใน (inherent filter) ประกอบด้วย เบริลเลียม 3 mm สำหรับชุดเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ PTW-Freiburg ใช้ในการปรับเทียบรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ที่ 100 และ 150 kVp ตั้งค่ากระแสผ่านหลอดเอกซเรย์ที่ 3 mA

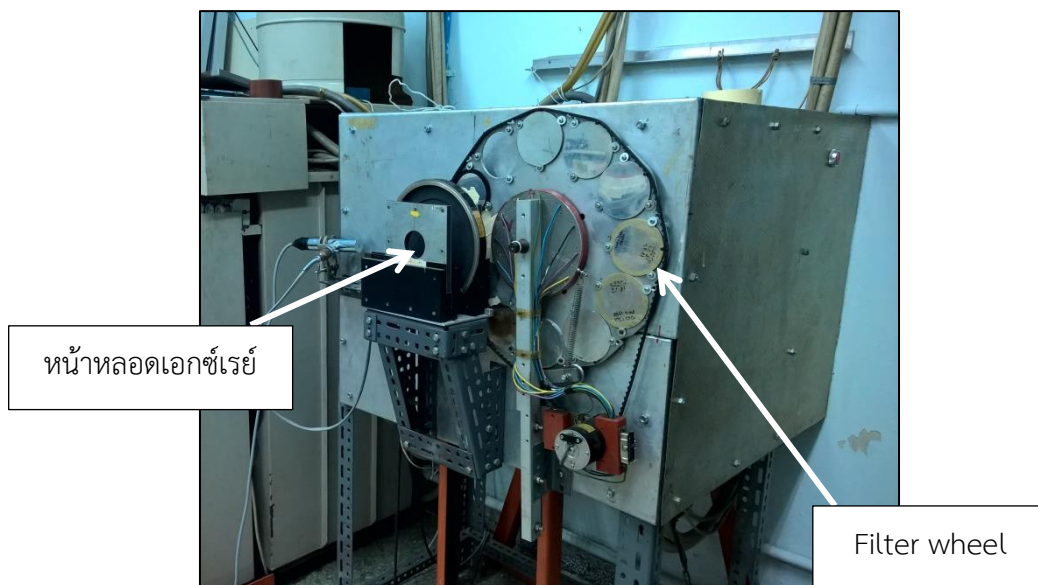


ภาพที่ 15 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ PTW-Freiburg



ภาพที่ 16 แผงควบคุมเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ PTW-Freiburg

2. เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Stabilipan ใช้ในการปรับเทียบรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ที่ 250 kVp ตั้งค่ากระแสผ่านหลอดเอกซเรย์ที่ 4 mA



ภาพที่ 17 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Stabilipan

ตารางที่ 3 พลังงานเฉลี่ยและแผ่นกรองรังสีของรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ 100, 150 และ 250 kVp

Radiation quality	Mean energy (keV)	Tube potential (kV)	Additional Filtration (mm)			
			Pb	Sn	Cu	Al
N-100	83	100			4.80	0.50
N-150	118	150		2.57		0.50
N-250	208	250	3.00	2.20		4.00

3. ไอออนไนซ์เซชันแชมเบอร์ Saint-Gobain Crystals & Detectors UK Ltd รุ่น 2575 600 cc thin window ionization chamber หัววัดรุ่นนี้ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสำหรับวัดปริมาณการแตกตัวในอากาศของรังสีเอกซ์ รังสีแกมมา รังสีดูดกลืนจากเบตา และลำอิเล็กตรอนที่กระเจิง สามารถวัดจากระดับพลังงานตั้งแต่ 8 kV – 2 MV ซึ่งหัววัดรุ่นนี้เหมาะสมกับการนำมาเปรียบเทียบเพื่อเป็นค่ามาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary standard)



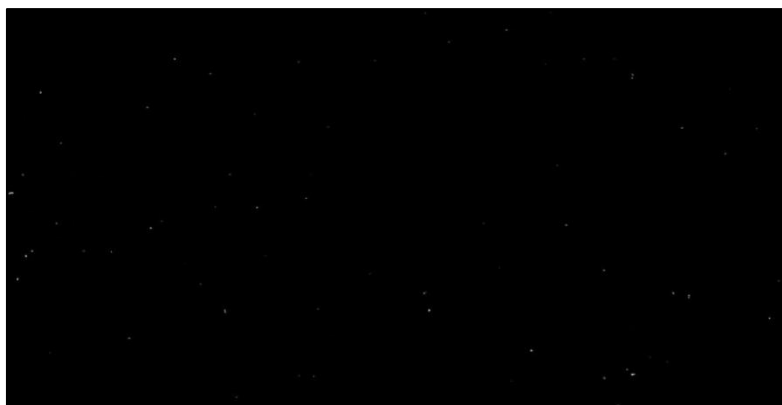
ภาพที่ 18 ไอออนไนซ์เซชันแชมเบอร์ Saint-Gobain Crystals & Detectors UK Ltd รุ่น 2575  
600cc thin window ionization chamber

4. โทรศัพท์ 4 รุ่น ได้แก่ Nokia N8-00, Samsung Galaxy SIII, Huawei Ascend P7 และ Samsung Galaxy SII
5. เทปพันสายไฟ

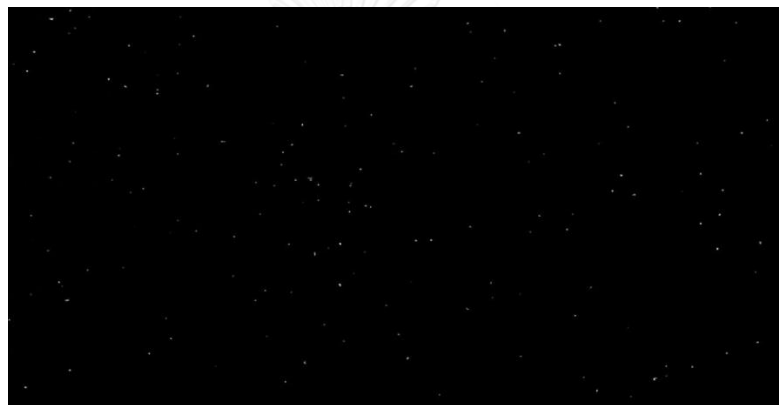
### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 ศึกษาวิธีการหาอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพซีมอสในสมาร์ทโฟนเพื่อคัดเลือกสมาร์ทโฟนที่เหมาะสมแก่การนำมาวิจัย

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่าเซ็นเซอร์รับภาพมีความไวต่อรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา จึงได้ทำการทดสอบโดยนำเทปดำมาปิดทับเลนส์ของกล้องสมาร์ทโฟน เพื่อกันไม่ให้แสงตกกระทบลงบนเซ็นเซอร์ซีมอสในกล้องสมาร์ทโฟน จากนั้นทำการถ่ายภาพในขณะที่ฉายรังสีเอกซ์ ลักษณะภาพถ่ายที่ได้แสดงในภาพที่ 19 และ 20 พบว่ามีลักษณะฟลักเซลสว่างปรากฏขึ้นบนภาพ จากนั้นจึงทำการศึกษาหาวิธีในการนับฟลักเซลสว่างที่เกิดขึ้นนี้

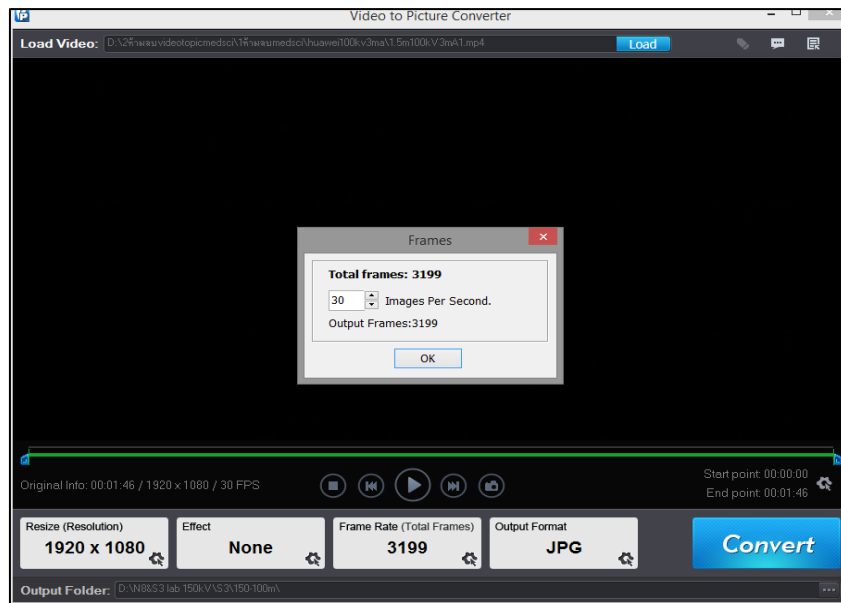


ภาพที่ 19 ภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟน ขณะที่ฉายรังสีเอกซ์พลังงาน 120 kVp ตั้งค่ากระแสที่ 3.5 mA โดยกำบังหน้าหลอดเอกซเรย์ (Tube port) ด้วยแผ่นตะกั่วหนา 1 mm เพื่อลดความเข้มของรังสีเอกซ์

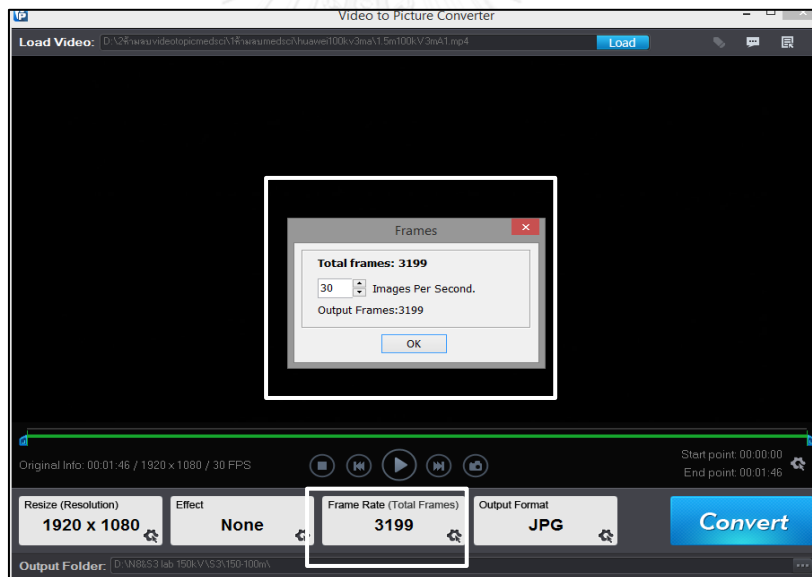


ภาพที่ 20 ภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟน ขณะที่ฉายรังสีเอกซ์พลังงาน 150 kVp ตั้งค่ากระแสที่ 3.5 mA โดยกำบังหน้าหลอดเอกซเรย์ (Tube port) ด้วยแผ่นตะกั่วหนา 1 mm เพื่อลดความเข้มของรังสีเอกซ์

การหาอัตรานับรังสีเอกซ์จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนจะใช้การบันทึกวิดีโอของกล้องสมาร์ทโฟน โดยใช้เซ็นเซอร์รับภาพของกล้องหลังของสมาร์ทโฟน อาศัยคุณสมบัติอัตราภาพนิ่งต่อวินาที (Frame per second) เหตุที่ใช้การบันทึกวิดีโอเพราะสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วภายในเวลาอันสั้น วิธีการหาอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนมีดังนี้

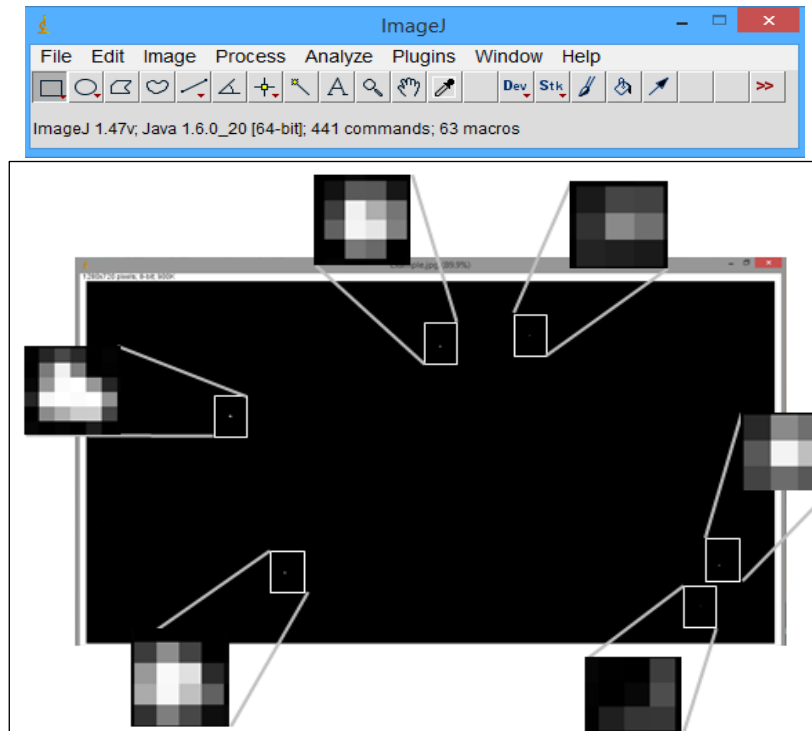


1. ใช้สมาร์ทโฟนบันทึกวิดีโอขณะที่ฉายรังสีเอกซ์ และนำไฟล์วิดีโอที่บันทึกไว้โอนเข้าโปรแกรม Aoa video to picture converter เพื่อทำการแปลงข้อมูลจากภาพเคลื่อนไหวแยกออกมาเป็นภาพนิ่งในแต่ละเฟรม

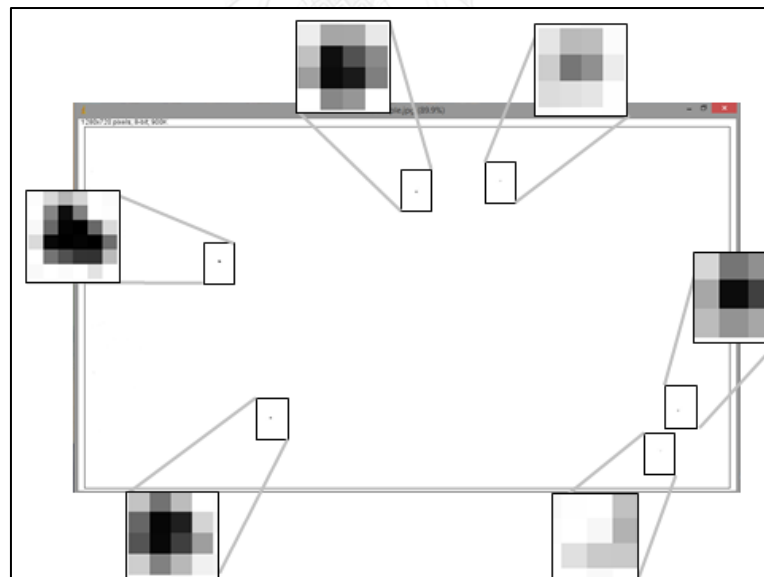


2. ตั้งค่าอัตราเฟรมตามอัตราเฟรมสูงสุดของสมาร์ทโฟนรุ่นนั้นๆ

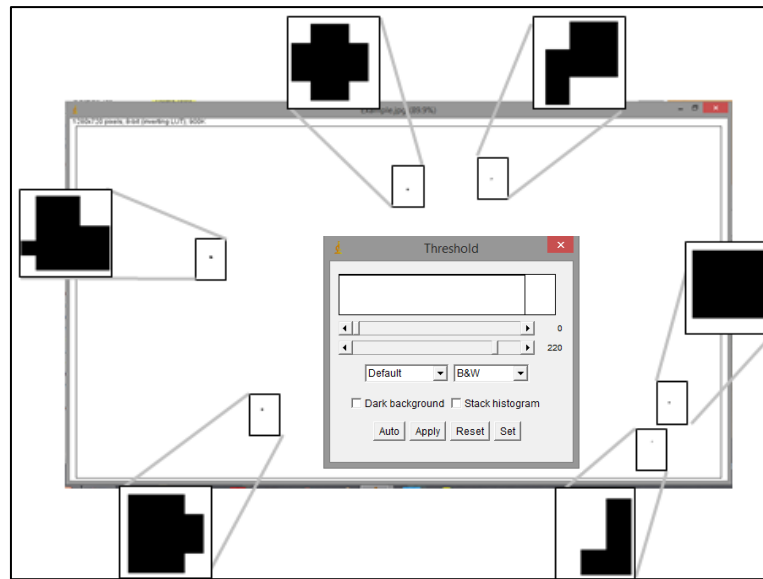




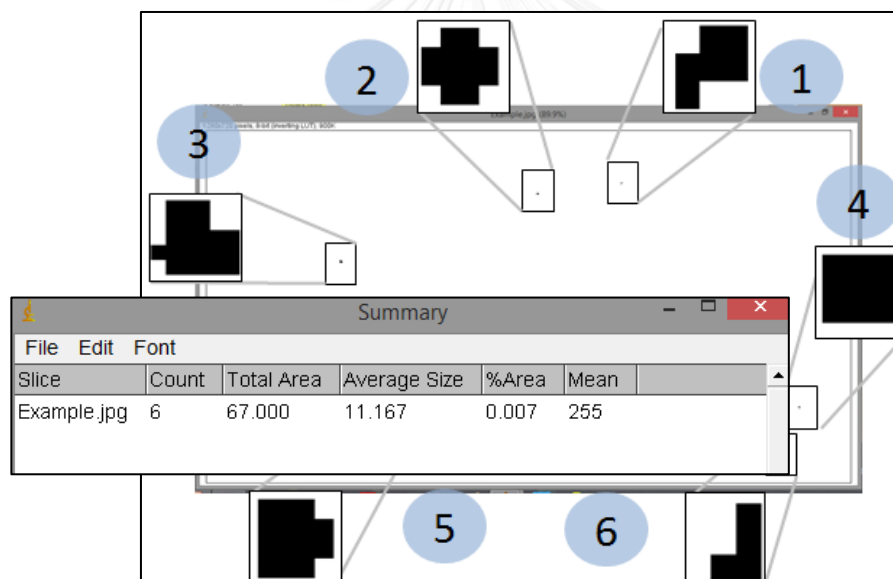
3. ใช้โปรแกรม Image J เพื่อประมวลผลฟลักเซลสว่างที่ปรากฏ โดยนำกลุ่มภาพนิ่งเข้า โปรแกรม (Import image sequence)



4. ทำการสลับสี (Invert) และเปลี่ยนเป็นโหมดสีแบบ 8-Bit Gray scale



5. กำหนด Threshold ของภาพ เพื่อตัดสัญญาณรบกวน (Noise) และเพื่อกำหนดให้โปรแกรมนับเฉพาะลักษณะพิกเซลที่ต้องการ



6. ทำการวิเคราะห์และนับพิกเซลสว่าง (Analyze Particles) และนำผลการนับจำนวนพิกเซลสว่างในแต่ละเฟรมรวมกัน (Frame integral)

ตารางที่ 4 ข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะของสมาร์ทโฟนในแต่ละรุ่น

บริษัท/รุ่น	ระบบปฏิบัติการ	ชนิดของเซ็นเซอร์กล้อง	ขนาดของเซ็นเซอร์	ความละเอียดของวิดีโอ	อัตราภาพ	ความละเอียดของภาพ (ล้านพิกเซล)	รูรับแสง
Samsung Galaxy Mini GTS5570	Android	CMOS	ไม่มีข้อมูล	320X240	14	3.15	ไม่มีข้อมูล
Samsung Galaxy SII (I9100)	Android	CMOS BSI	1/3.2"	1920X1080	24	8	f/2.7
Samsung Galaxy SIII (I9300)	Android	CMOS BSI	1/3"	1920X1080	30	8	f/2.6
Huawei Ascend P7	Android	CMOS BSI	ไม่มีข้อมูล	1920X1080	30	12.98	f/2.0
Nokia N8-00	Symbian	CMOS	1/1.83"	1280X720	30	12	f/2.8

### 3.2.2 การทดสอบความเที่ยงตรงของค่านับวัดจากสมาร์ทโฟน

การทดสอบความเที่ยงตรงเป็นคุณลักษณะที่แสดงถึงความสามารถในการทำซ้ำของเครื่องมือวัด โดยหากทำการทดสอบในลักษณะเดียวกัน ข้อมูลการวัดในแต่ละครั้งจะต้องมีความใกล้เคียงกัน ในขั้นตอนนี้จะตรวจสอบข้อมูลจากการกำหนดขอบเขตค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง  $\pm 3\sigma$  หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 99.73% ทำการทดสอบความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟน 4 รุ่น ได้แก่ Nokia N8-00, Huawei Ascend P7, Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII โดยมี อะเมริเซียน-241 เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมา ใช้เวลาในการวัดนาน 20 วินาที และทำการวัดซ้ำเป็นจำนวน 40 ครั้ง นอกจากนี้ต้นกำเนิดรังสี และสมาร์ทโฟนจะต้องอยู่ในตำแหน่งเดิม

### 3.2.3 ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตรา

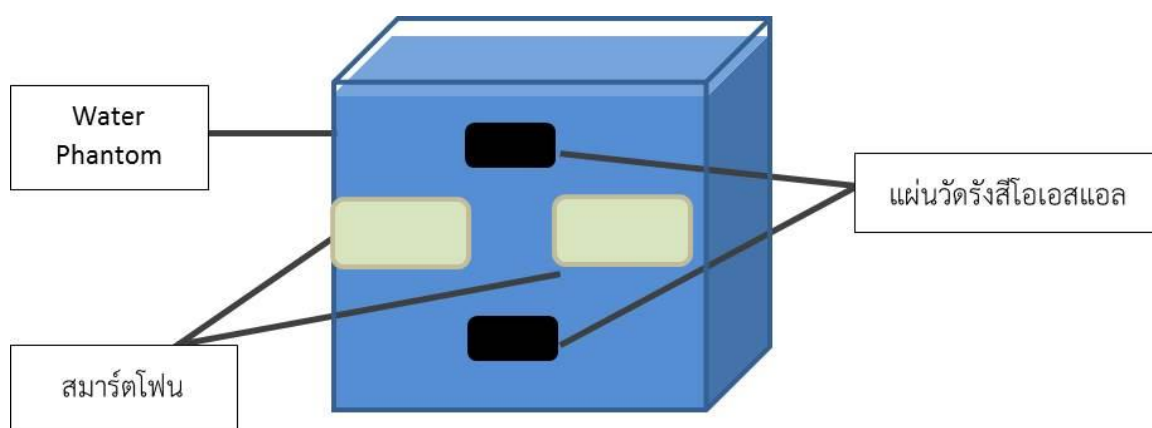
ปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล

การวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์จะใช้แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดรังสีของก้องรังสี และเครื่องมือแพทย์กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ การรายงานผลปริมาณรังสีเป็น Personal dose equivalent, Hp (10) หมายถึงปริมาณรังสีสมมูลที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อที่ระดับความลึกจากผิว 10 mm ซึ่งมีหน่วยเป็น ไมโครซีเวิร์ต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. นำเทปพันสายไฟปิดหน้ากล้องหลังสมาร์ทโฟน เพื่อป้องกันไม่ให้เซ็นเซอร์รับภาพได้รับแสงสว่าง
2. นำแผ่นวัดรังสีไอเอสแอล จำนวน 2 แผ่น และสมาร์ทโฟนติดกับ Water phantom ดังภาพที่ 21
3. จัดวางเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ และ Water phantom โดยให้ส่วนของเซ็นเซอร์กล้องสมาร์ทโฟนอยู่ระดับกึ่งกลางกับหน้าหลอดเอกซเรย์
4. เปิดสวิตช์เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เรย์ เพื่อทำการอุ่นเครื่อง
5. ปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 100 และ 150 kVp กระแสไฟฟ้าคงที่ 3.5 mA
6. บันทึกวิถีไอพร้อมกำหนดเวลาฉายรังสีเอกซ์ 30 วินาที
7. ทำการแปรเปลี่ยนระยะทางเพื่อนำมาสร้างกราฟระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์และอัตรานับจากสมาร์ทโฟน

8. นำวิดีโอที่บันทึกเข้าโปรแกรม Aao video to picture converter เพื่อแปรเปลี่ยนจากภาพเคลื่อนไหวเป็นภาพนิ่ง โดยกำหนดอัตราเฟรมจากอัตราเฟรมสูงสุดของสมาร์ทโฟนรุ่นนั้น ๆ
9. นำกลุ่มภาพที่ได้จากการแปลงเข้าโปรแกรม ImageJ เพื่อทำการนับพิกเซลสว่าง ดังที่กล่าวถึงในขั้นตอนการหาอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 21 ภาพจำลองลักษณะการจัดวางแผ่นวัดรังสีไอเอสแอล และสมาร์ทโฟนบน Water phantom

### 3.2.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้ไอออนไนซ์เซชันแชมเบอร์

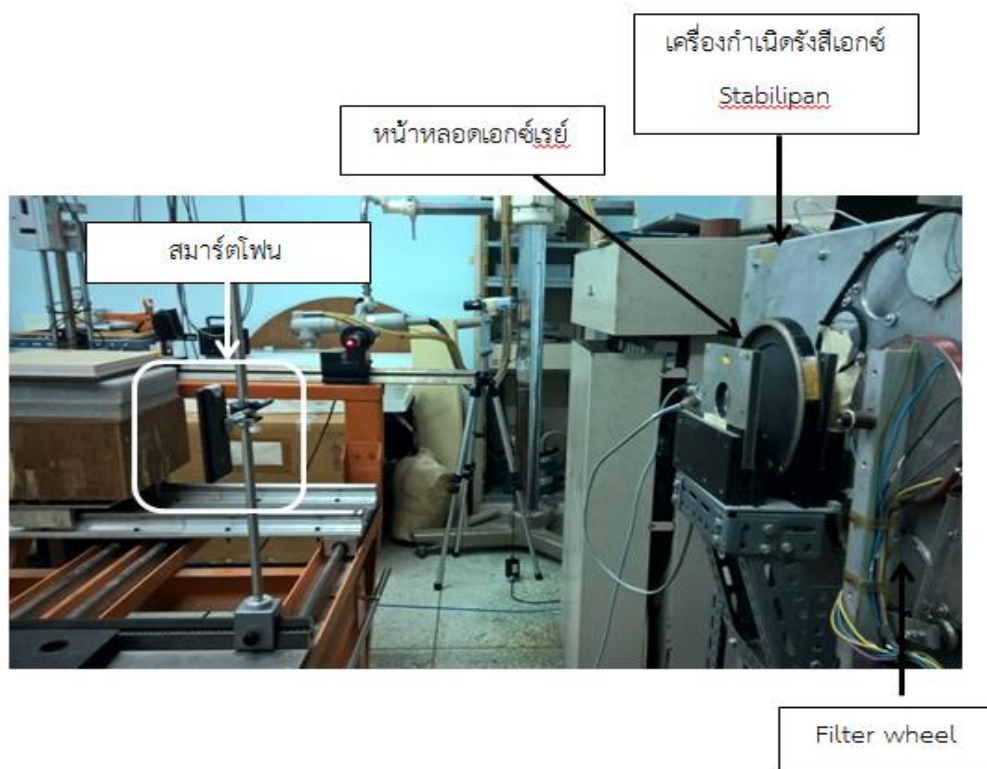
#### วิธีดำเนินงานวิจัย

1. นำเทปพันสายไฟปิดหน้ากล้องหลังสมาร์ทโฟน เพื่อป้องกันไม่ให้เซ็นเซอร์รับภาพได้รับแสงสว่าง ใช้สมาร์ทโฟน 4 รุ่น ได้แก่ Nokia N8-00, Samsung Galaxy SIII, Huawei Ascend P7 และ Samsung Galaxy SII
2. จัดวางเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ และ สมาร์ทโฟน โดยให้ส่วนของเซ็นเซอร์กล้องสมาร์ทโฟนอยู่ระดับกึ่งกลางหน้าหลอดเอกซเรย์
3. เปิดสวิตช์เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เรย์เพื่อทำการอุ่นเครื่อง
4. ปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 100, 150 และ 250 kVp กระแสไฟฟ้า 3 mA สำหรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 100 และ 150 kVp กระแสไฟฟ้า 4 mA สำหรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 250 kVp
5. บันทึกวิดีโอพร้อมกำหนดเวลาฉายรังสีเอกซ์

6. ทำการแปรเปลี่ยนระยะทางเพื่อนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์และอัตรานับจากสมาร์ทโฟน โดยทำการแปรเปลี่ยนที่ระยะ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50 และ 4 m
7. นำวิดีโอที่บันทึกเข้าโปรแกรม Aao video to picture converter เพื่อแปรเปลี่ยนจากภาพเคลื่อนไหวเป็นภาพนิ่ง โดยกำหนดอัตราเฟรมจากอัตราเฟรมสูงสุดของสมาร์ทโฟนรุ่นนั้น ๆ
8. นำกลุ่มภาพที่ได้จากการแปลงเข้าโปรแกรม ImageJ เพื่อทำการนับพิกเซลสว่าง ดังที่กล่าวถึงในขั้นตอนการหาอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 22 การจัดวางเพื่อทำการทดลองการเปรียบเทียบรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ที่ 100 และ 150 kVp ณ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์



ภาพที่ 23 การจัดวางเพื่อทำการทดลองการปรับเทียบรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ที่ 250 kVp ณ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

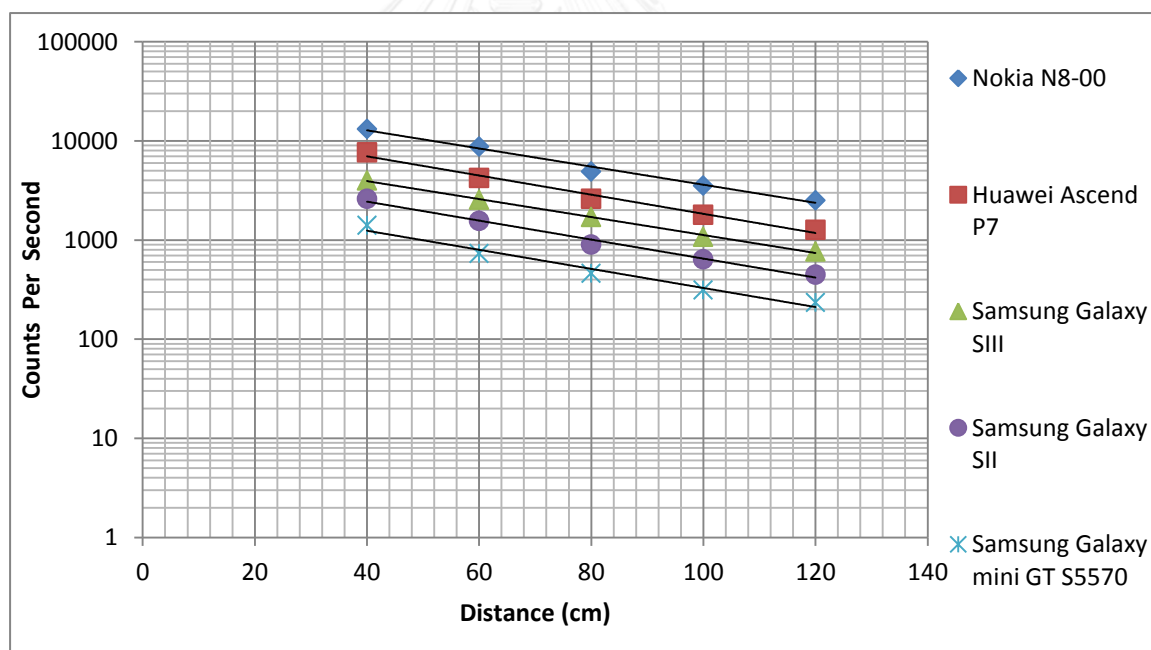
### 4.1 ศึกษาวิธีการหาอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพซีมอสในสมาร์ทโฟนเพื่อคัดเลือกสมาร์ทโฟนสำหรับการนำมาวิจัย

การหาอัตรานับรังสีเอกซ์จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนจะใช้การบันทึกวิดีโอของกล้องสมาร์ทโฟน เหตุที่ใช้การบันทึกวิดีโอเพราะสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วภายในเวลาอันสั้น เมื่อต้องการนับจำนวนพิกเซลสว่าง วิดีโอจะถูกนำไปแปลงเป็นภาพนิ่งด้วยโปรแกรม Aao video to picture converter จากนั้นนำกลุ่มภาพนิ่งเข้าโปรแกรม ImageJ ก่อนที่จะทำการนับจำนวนพิกเซลสว่างจำเป็นต้องกำหนด Threshold ของภาพ เพื่อตัดสัญญาณรบกวน และเพื่อกำหนดให้โปรแกรมนับเฉพาะลักษณะพิกเซลที่ต้องการ หลังจากนั้น ทำการนับ และวิเคราะห์จำนวนพิกเซลสว่างในแต่ละเฟรม จากนั้นนำผลการนับจำนวนพิกเซลสว่างในแต่ละเฟรมรวมกัน และหารด้วยจำนวนเวลาที่ทำการฉายรังสีเอกซ์ การคัดเลือกสมาร์ทโฟนสำหรับการนำมาวิจัยในขั้นตอนนี้สมาร์ทโฟนที่นำมาเป็นตัวอย่างในการคัดเลือกสมาร์ทโฟนจะมีทั้งหมด 5 รุ่น สำหรับนำมาวิจัย ซึ่งพิจารณาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ราคา และความสามารถในการหาซื้อ เนื่องจากสมาร์ทโฟนบางรุ่นอาจไม่สามารถหาซื้อได้แล้ว ณ ปัจจุบัน นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงคุณสมบัติเฉพาะของกล้องสมาร์ทโฟนรุ่นนั้น ๆ ได้แก่ ขนาดของเซ็นเซอร์รับภาพ ขนาดของพื้นที่รับภาพ อัตราเฟรม และความกว้างของรูรับแสง เกณฑ์การพิจารณาการคัดเลือกสมาร์ทโฟนจากทั้งหมด 5 รุ่นจะพิจารณาจากความไวต่อรังสีเอกซ์ของสมาร์ทโฟน โดยผลการทดสอบเป็นไปตาม ตารางที่ 5



ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟน 5 รุ่น กับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ 150 kVp

ระยะห่าง (cm)	อัตรานับต่อวินาที				
	Nokia N8-00	Huawei Ascend P7	Samsung Galaxy SIII	Samsung Galaxy SII	Samsung Galaxy mini GT S5570
40	13158.26	7649.07	3997.65	2602.05	1407.17
60	8752.86	4247.58	2558.28	1560.64	733.91
80	4914.33	2616.17	1713.47	902.84	461.33
100	3546.77	1799.97	1076.27	642.04	314.85
120	2519.24	1269.40	764.68	447.03	234.14



ภาพที่ 24 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟน 5 รุ่น กับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ 150 kVp

จากกราฟในภาพที่ 24 เป็นลักษณะกราฟแบบ Semi log โดยสเกลแนวตั้งเป็นสเกลล็อก สเกลในแนวนอนเป็นเชิงเส้น พบว่าอัตรานับต่อวินาทีจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนทั้ง 5 รุ่น ได้แก่ Samsung Galaxy Mini GTS5570, Samsung Galaxy SII, Samsung Galaxy SIII,

Huawei Ascend P7 และ Nokia N8-00 ความไวต่อรังสีเอกซ์ของสมาร์ทโฟนสามารถเรียงตามลำดับดังนี้ Nokia N8-00, Huawei Ascend P7, Samsung Galaxy SIII, Samsung Galaxy SII และ Samsung Galaxy Mini GTS5570 ดังนั้นสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00, Huawei Ascend P7, Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII จะถูกนำไปทดสอบในขั้นตอนวิจัยขั้นต่อไป

#### 4.2 ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของจำนวนนับจากสมาร์ทโฟน

ทำการทดสอบความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟน 4 รุ่น โดยมีอะเมริเซียม-241 เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมา ใช้เวลาในการวัด 20 วินาที และทำการวัดซ้ำเป็นจำนวน 40 ครั้ง ตรวจสอบข้อมูลจากการกำหนดขอบเขตค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง  $\pm 3\sigma$  หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 99.73%

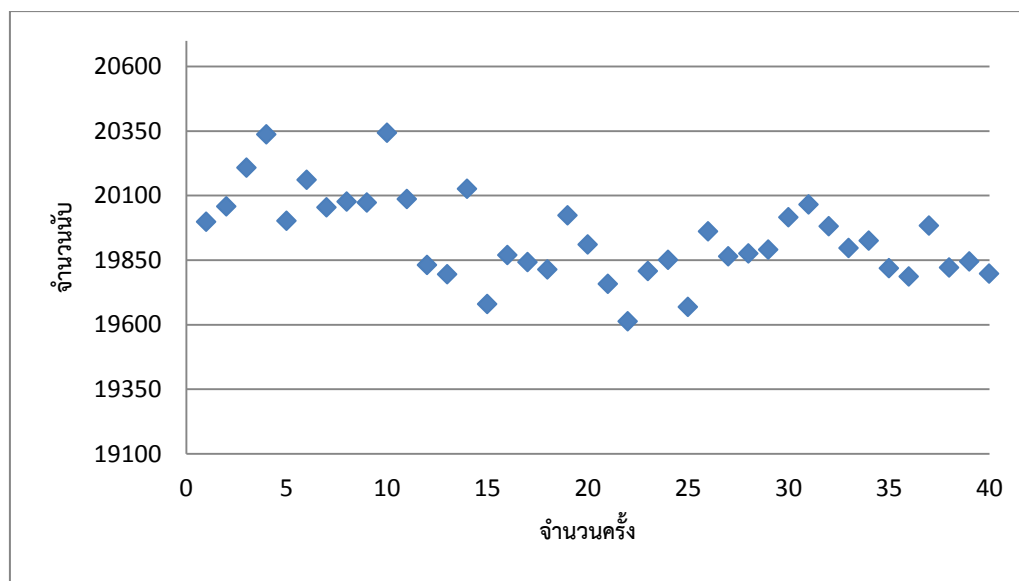
ตารางที่ 6 แสดงผลความเที่ยงตรงของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00

จำนวนนับ				
19998	20073	19842	19669	19897
20058	20343	19814	19961	19925
20208	20086	20023	19864	19819
20337	19831	19910	19875	19786
20002	19795	19758	19890	19983
20161	20126	19613	20016	19821
20054	19680	19808	20065	19845
20077	19869	19851	19981	19797

ค่าเฉลี่ยทั้งหมด 19937.78

$\sqrt{x}$  141.20

สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (CV) 0.83

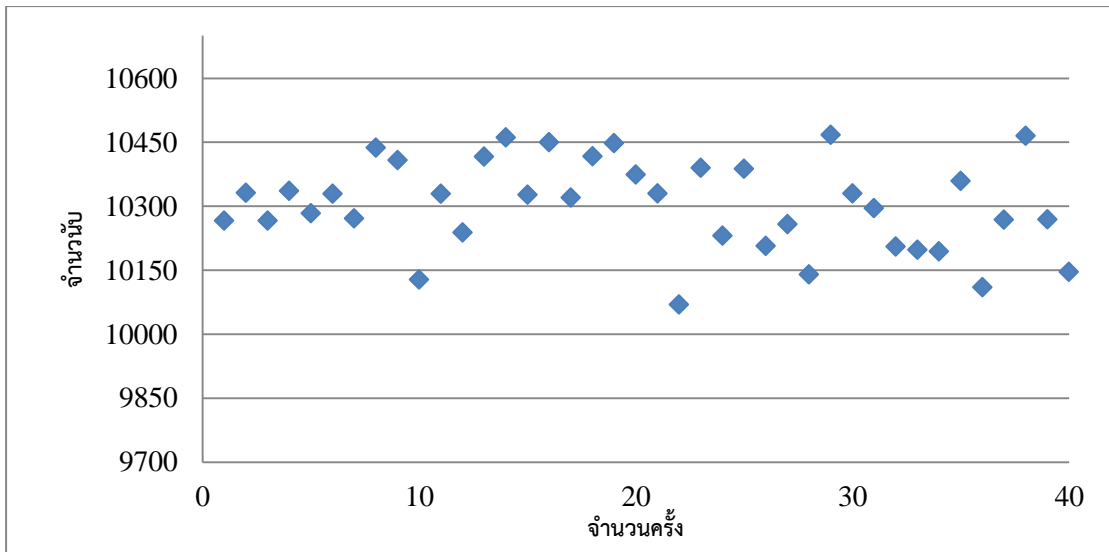


ภาพที่ 25 กราฟแสดงความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 ที่ช่วงค่าเบี่ยงเบน  
มาตรฐาน  $\pm 3\sigma$

ตารางที่ 7 แสดงผลความเที่ยงตรงของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7

จำนวนนับ				
10266	10408	10320	10388	10198
10331	10128	10417	10207	10194
10266	10329	10448	10258	10359
10336	10238	10374	10140	10110
10283	10416	10330	10467	10268
10329	10461	10069	10330	10465
10271	10327	10390	10295	10269
10437	10450	10231	10205	10146

ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	10303.90
$\sqrt{x}$	101.51
สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (CV)	0.98515

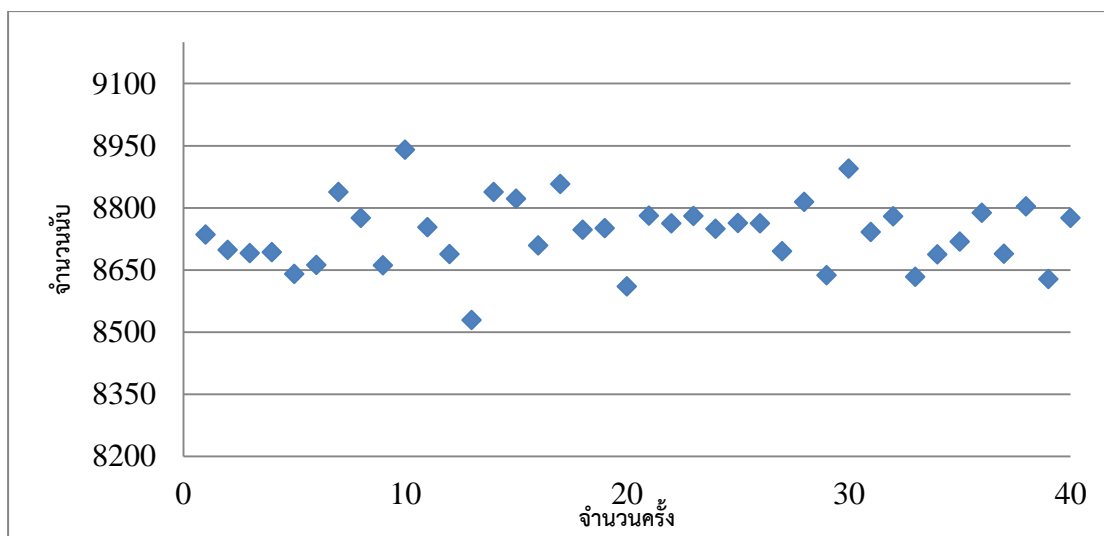


ภาพที่ 26 กราฟแสดงความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7 ที่ช่วงค่า  
เบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 3\sigma$

ตารางที่ 8 แสดงผลความเที่ยงตรงของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SII

จำนวนนับ				
3450	3472	3396	3379	3399
3480	3476	3336	3563	3383
3472	3289	3292	3427	3472
3507	3369	3448	3562	3427
3503	3590	3368	3589	3416
3436	3414	3353	3379	3345
3338	3473	3385	3377	3289
3373	3409	3557	3442	3471

ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	3427.65
$\sqrt{x}$	58.55
สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (CV)	2.3



ภาพที่ 27 กราฟแสดงความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII ที่ช่วงค่า  
เบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 3\sigma$

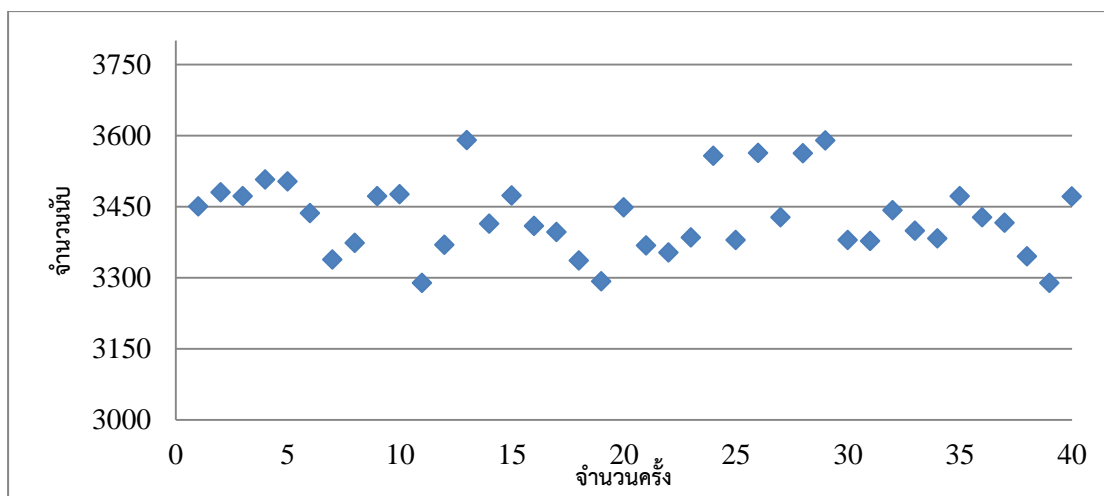
ตารางที่ 9 แสดงผลความเที่ยงตรงของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII

จำนวนนับ				
8735	8661	8857	8763	8633
8698	8940	8747	8762	8687
8690	8753	8751	8695	8718
8693	8688	8610	8814	8788
8640	8529	8781	8637	8689
8662	8838	8762	8894	8803
8838	8822	8780	8741	8628
8775	8709	8749	8779	8775

ค่าเฉลี่ยทั้งหมด 8737.85

$\sqrt{x}$  93.48

สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (CV) 0.93534



ภาพที่ 28 กราฟแสดงความเที่ยงตรงในการนับวัดของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII ที่ช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 3\sigma$

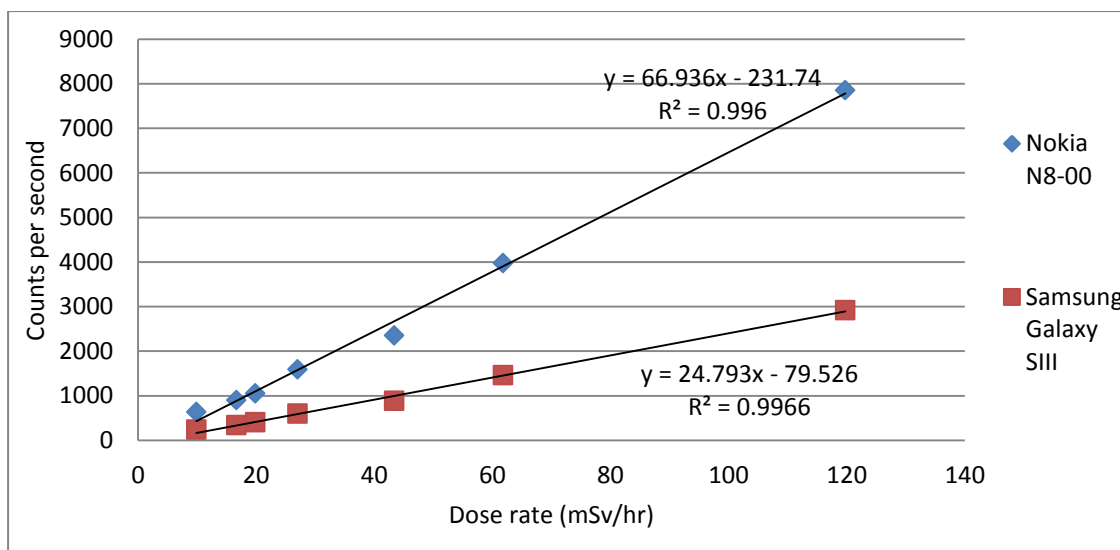
การทดสอบความเที่ยงตรงเป็นคุณลักษณะที่แสดงถึงความสามารถในการทำซ้ำของเครื่องมือวัด โดยหากทำการทดสอบในลักษณะเดียวกัน ข้อมูลการวัดในแต่ละครั้งจะต้องมีความใกล้เคียงกัน ผลการวิจัยข้างต้นของสมาร์ทโฟน 4 รุ่น ได้แก่ Nokia N8-00, Huawei Ascend P7, Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII แสดงให้เห็นว่ามีความเที่ยงตรงในการนับวัดรังสีที่ช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 3\sigma$  เนื่องจากค่านับวัดทั้ง 40 ค่าอยู่ในช่วง  $\pm 3\sigma$  ทั้งสิ้น

### 4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์

4.3.1 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟน ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp

อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ (mSv/hr)	อัตรานับต่อวินาที	
	Nokia N8-00	Samsung Galaxy SIII
9.87	635.73±0.84	238.74±0.52
16.67	897.87±1.00	338.15±0.61
19.87	1051.30±1.08	402.66±0.67
27.04	1587.47±1.33	597.03±0.81
43.39	2351.86±1.62	886.81±0.99
61.80	3977.04±2.10	1457.80±1.27
119.78	7851.59±2.95	2920.87±1.80

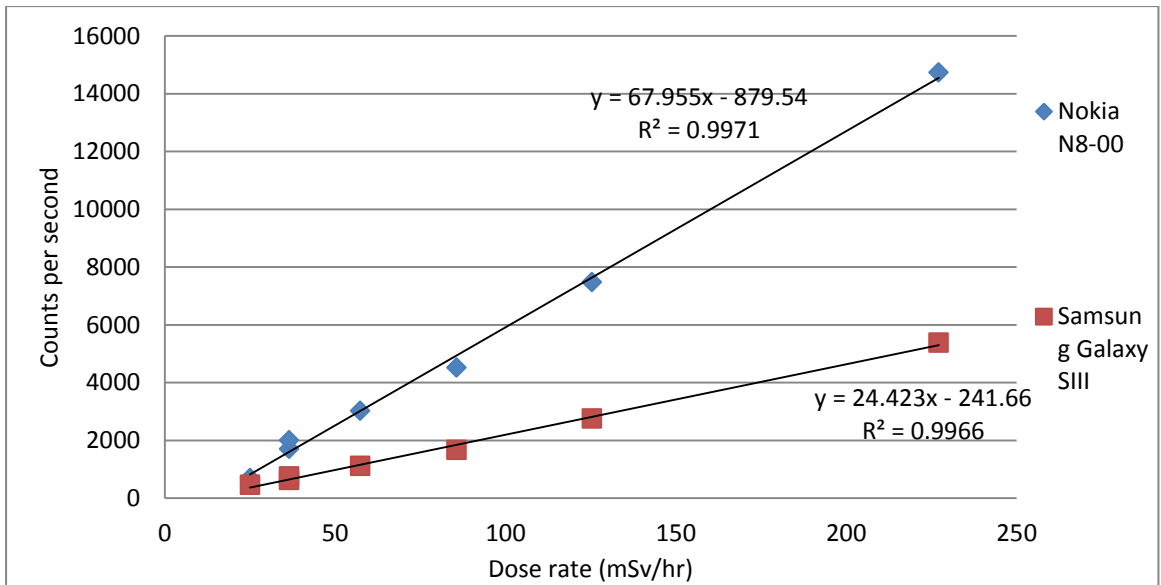


ภาพที่ 29 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 และ Samsung Galaxy SIII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp

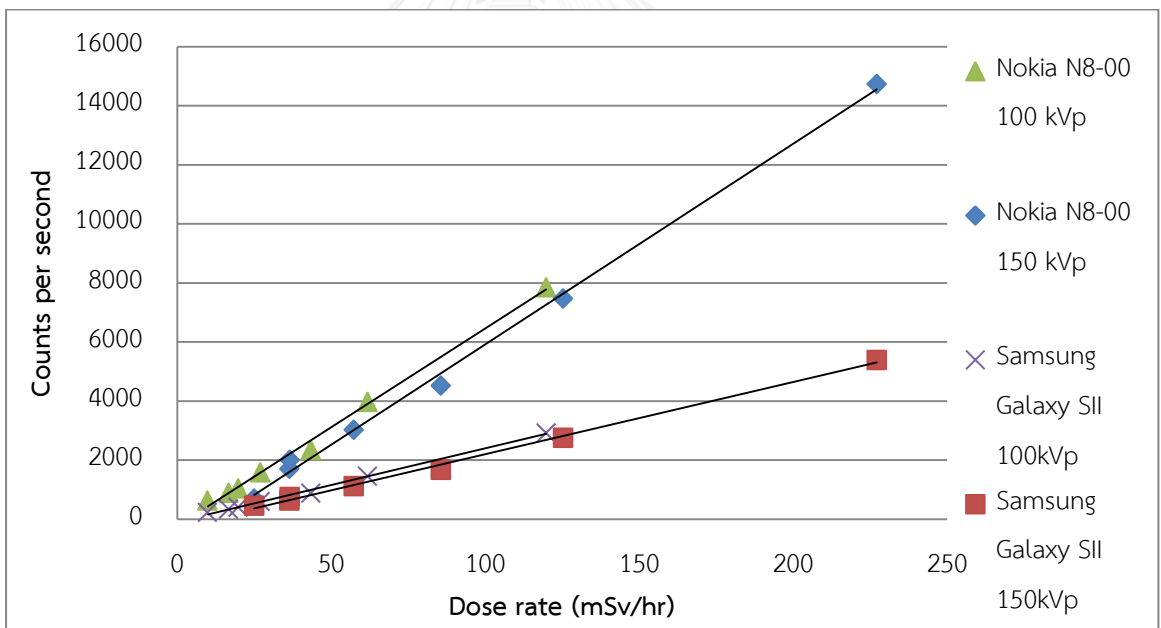
ตารางที่ 11 ผลการทดสอบการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟน ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp

อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ (mSv/hr)	อัตรานับต่อวินาที	
	Nokia N8-00	Samsung Galaxy SIII
25.01	702.08±0.88	463.62±0.72
36.49	1708.35±1.38	635.26±0.84
36.52	2008.58±1.49	758.35±0.92
57.37	3024.51±1.83	1120.18±1.12
85.63	4525.13±2.24	1676.77±1.36
125.36	7476.19±2.88	2762.79±1.75
227.15	14731.42±4.05	5387.36±2.45





ภาพที่ 30 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 และ Samsung Galaxy SIII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp



ภาพที่ 31 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 และ Samsung Galaxy SIII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 และ 150 kVp

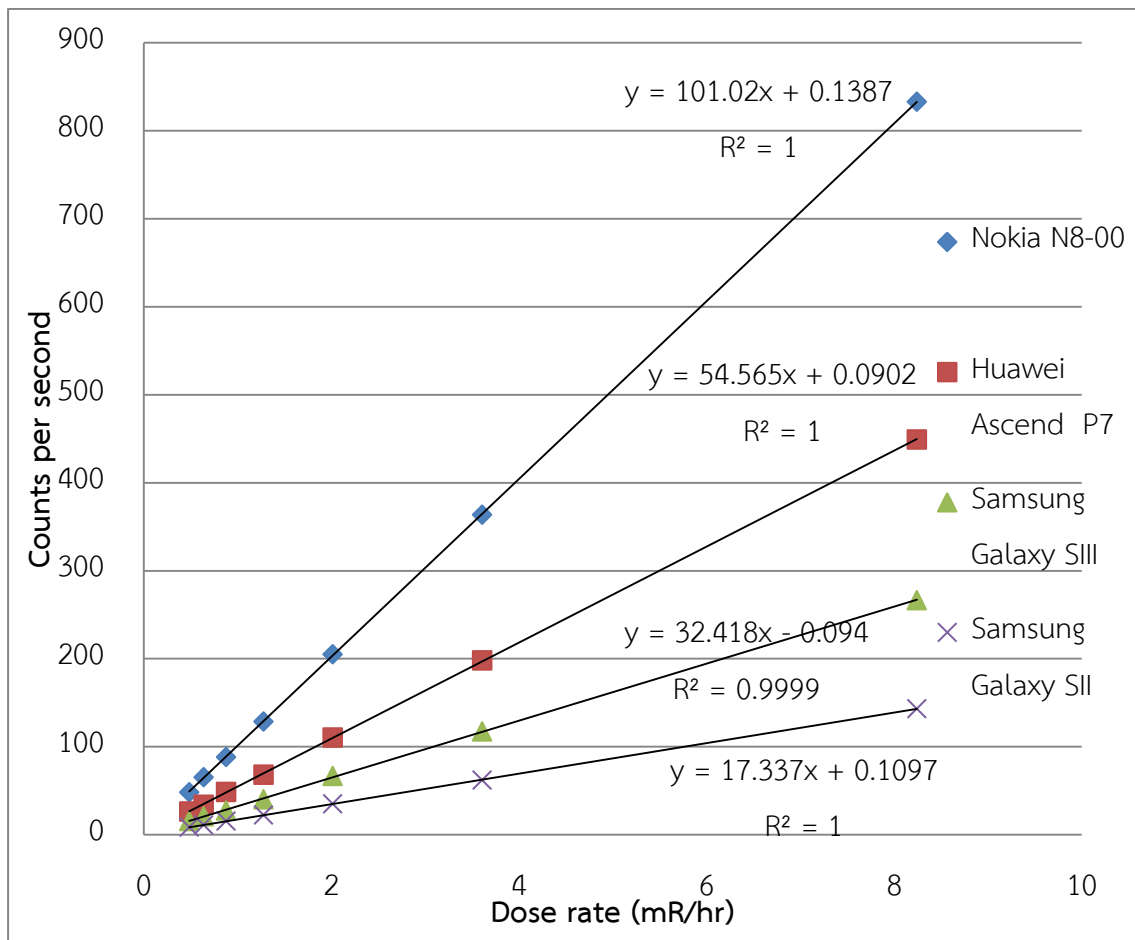
จากกราฟที่ 29 และ 30 การทดสอบอัตราปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ 100 และ 150 kVp กระแสคงที่ 3.5 mA ช่วงอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ 11 ถึง 262 mSv/hr ต่ออัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 และ Samsung Galaxy SIII แสดงให้เห็นว่าสมาร์ทโฟนทั้งสองรุ่น แปรผันตามอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่เพิ่มขึ้น และมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 ที่ค่าความต่างศักย์ที่ 100 และ 150 kVp มีความเป็นเชิงเส้น 0.9960 และ 0.9971 ตามลำดับ ส่วนสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII ที่ค่าความต่างศักย์ที่ 100 และ 150 kVp มีความเป็นเชิงเส้น 0.9966 โดยทั้ง 2 ค่าความต่างศักย์สมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 มีความไวต่อรังสีเอกซ์มากกว่า Samsung Galaxy SIII ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบในขั้นตอนการคัดเลือกสมาร์ทโฟน

จากกราฟ 31 เมื่อพิจารณาอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่เท่ากันในแต่ละค่าความต่างศักย์พบว่า อัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp จะมีการตอบสนองได้ดีกว่าที่อัตราปริมาณรังสีเอกซ์พลังงาน 150 kVp เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่ำกว่ามีโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยากับเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนโดยการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกมากกว่ารังสีเอกซ์ที่พลังงานสูง โดยรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงมีโอกาสที่จะทะลุผ่านโดยไม่เกิดอันตรกิริยาเซ็นเซอร์รับภาพได้

4.3.2 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้ไอออนไนเซชันแชมเบอร์

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp

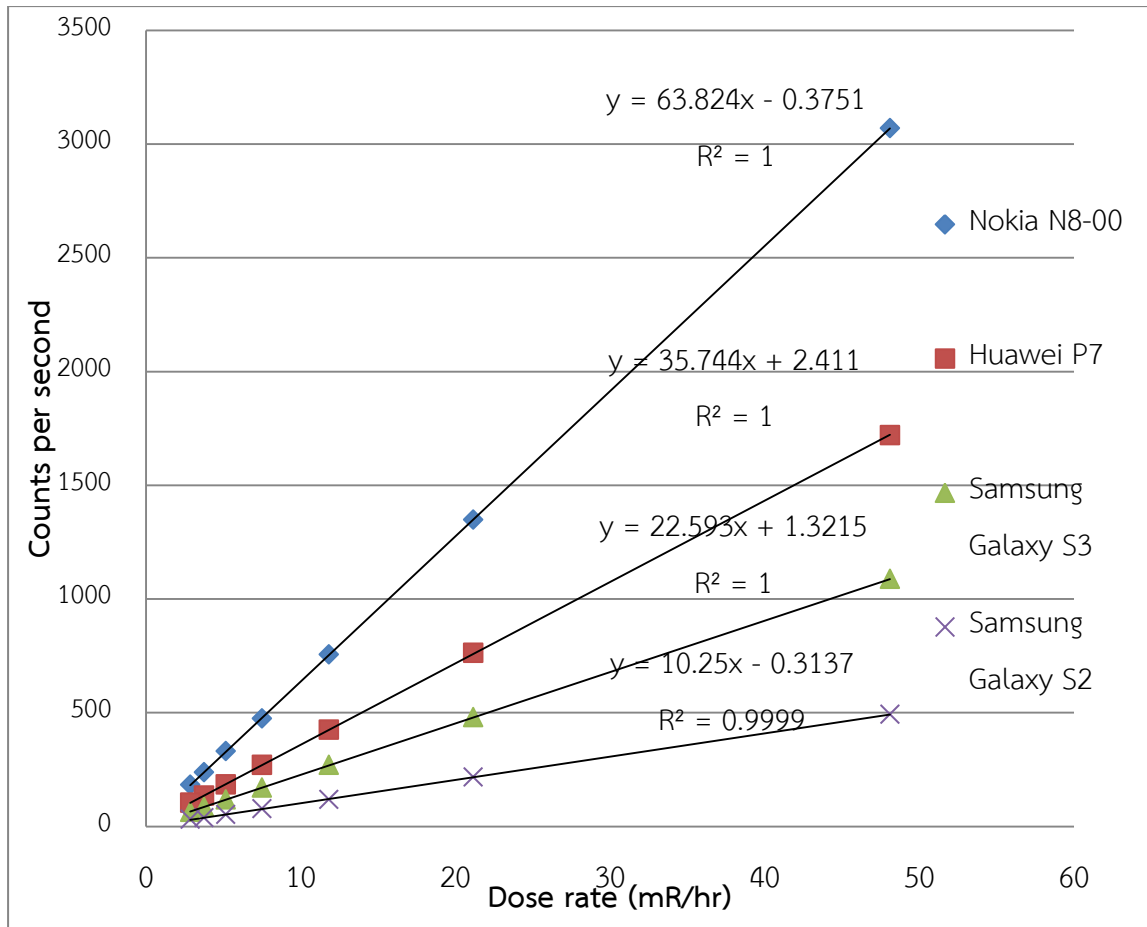
อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ (mR/hr)	อัตรานับต่อวินาที			
	Nokia N8-00	Huawei Ascend P7	Samsung Galaxy SIII	Samsung Galaxy SII
0.48	48.33±0.12	26.44±0.09	15.40±0.07	8.47±0.05
0.64	65.45±0.13	34.26±0.10	20.89±0.08	11.03±0.06
0.88	88.32±0.16	48.65±0.12	27.58±0.09	15.61±0.07
1.28	128.81±0.38	68.41±0.28	40.21±0.21	22.33±0.08
2.01	205.00±0.48	110.64±0.35	66.86±0.27	35.20±0.20
3.61	363.79±0.64	198.23±0.47	117.37±0.36	62.14±0.26
8.24	832.89±0.96	449.31±0.71	266.72±0.54	143.16±0.40



ภาพที่ 32 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00, Huawei Ascend P7, Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII ต่ออัตรา ปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 kVp

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของ  
 สมาร์ทโฟน ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp

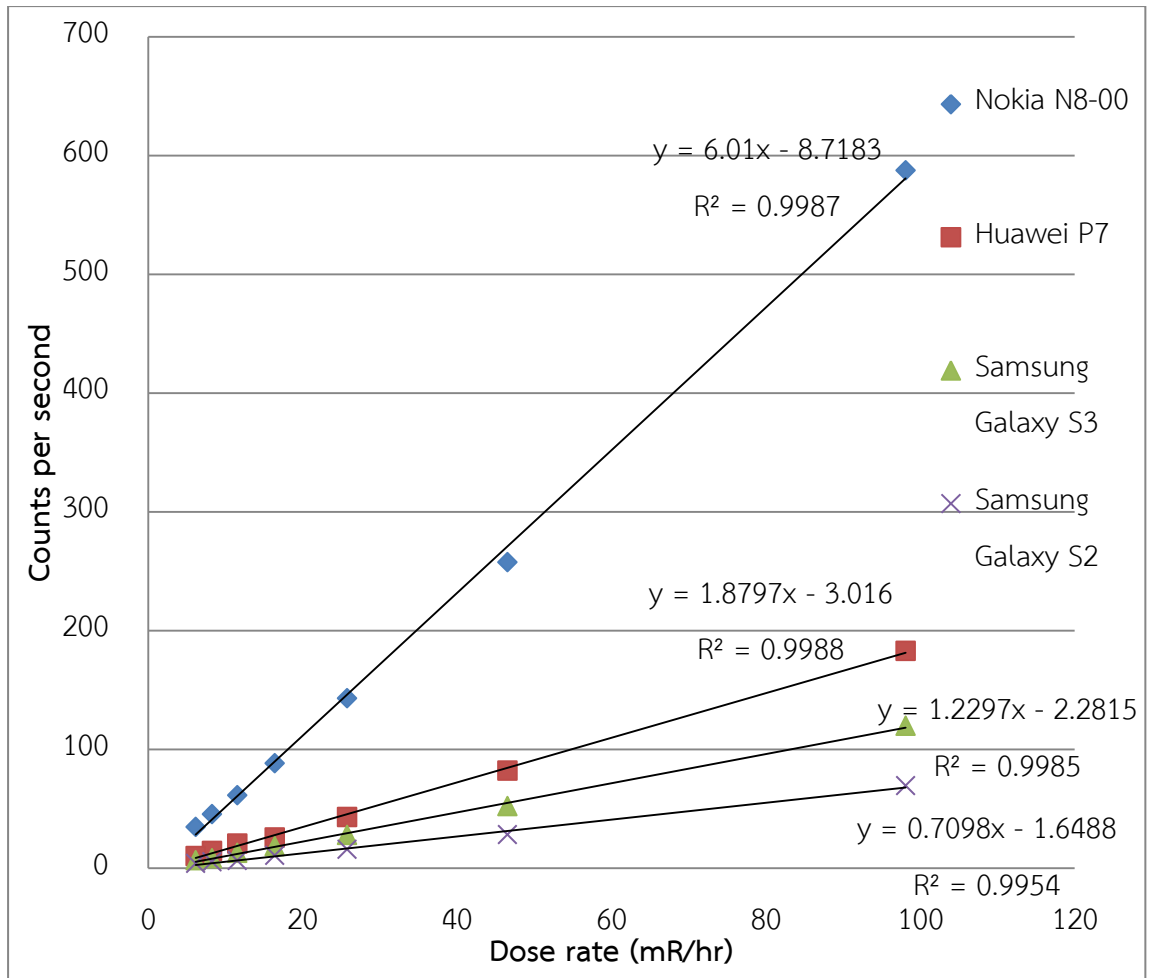
อัตราปริมาณ รังสีเอกซ์ (mR/hr)	อัตรานับต่อวินาที			
	Nokia N8-00	Huawei Ascend P7	Samsung Galaxy SIII	Samsung Galaxy SII
2.85	183.40±0.45	103.83±0.34	64.13±0.27	30.67±0.18
3.76	238.17±0.51	136.02±0.39	86.6±0.31	38.02±0.21
5.16	330.60±0.61	184.85±0.45	118.22±0.36	52.30±0.24
7.50	474.94±0.73	270.30±0.55	169.88±0.43	77.22±0.29
11.82	755.98±0.92	425.65±0.69	269.84±0.55	118.17±0.36
21.16	1348.67±1.22	763.00±0.92	480.19±0.73	216.9±0.49
48.10	3070.23±1.85	1720.07±1.38	1087.58±1.10	493.07±0.74



ภาพที่ 33 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00, Huawei Ascend P7, Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII ต่ออัตรา ปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp

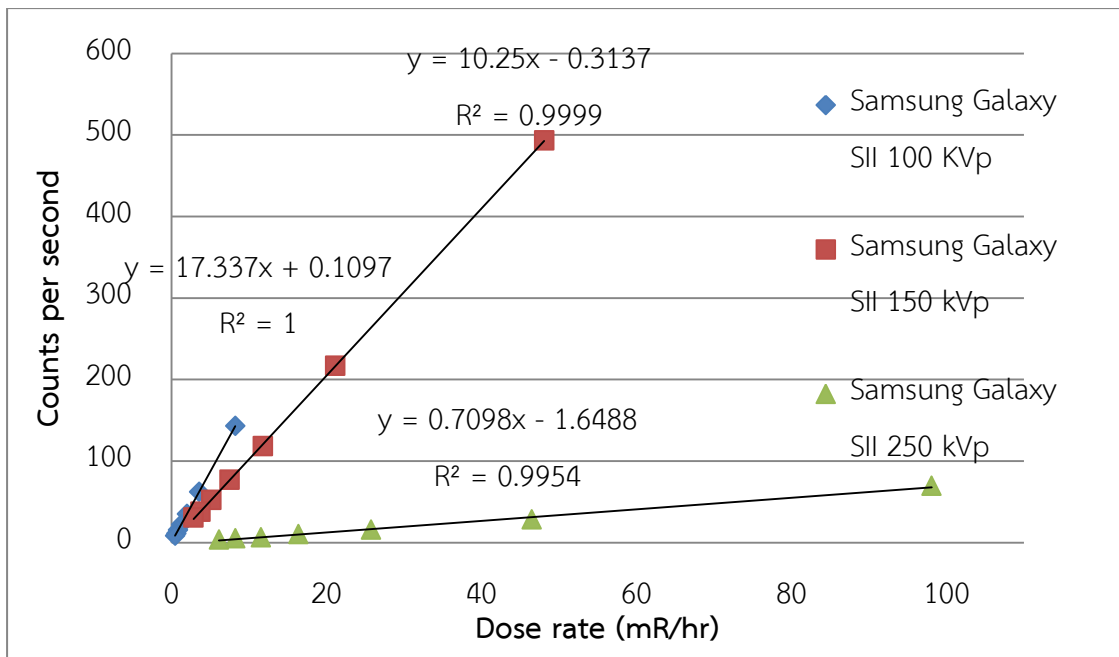
ตารางที่ 14 ผลการทดสอบการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของ  
 สมาร์ทโฟน ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 250 kVp

อัตราปริมาณ รังสีเอกซ์ (mR/hr)	อัตรานับต่อวินาที			
	Nokia N8-00	Huawei Ascend P7	Samsung Galaxy SIII	Samsung Galaxy SII
6.14	34.57±0.20	9.95±0.11	6.57±0.09	3.77±0.06
8.24	45.5±0.22	14.44±0.13	8.09±0.09	5.30±0.08
11.55	61.3±0.26	20.50±0.26	12.86±0.12	6.38±0.08
16.40	88.15±0.31	25.63±0.31	18.30±0.14	10.53±0.11
25.76	142.85±0.40	43.07±0.40	27.74±0.18	15.70±0.13
46.51	257.42±0.53	82.12±0.53	52.25±0.24	28.27±0.18
98.10	587.47±0.81	182.97±0.81	119.77±0.36	69.47±0.28

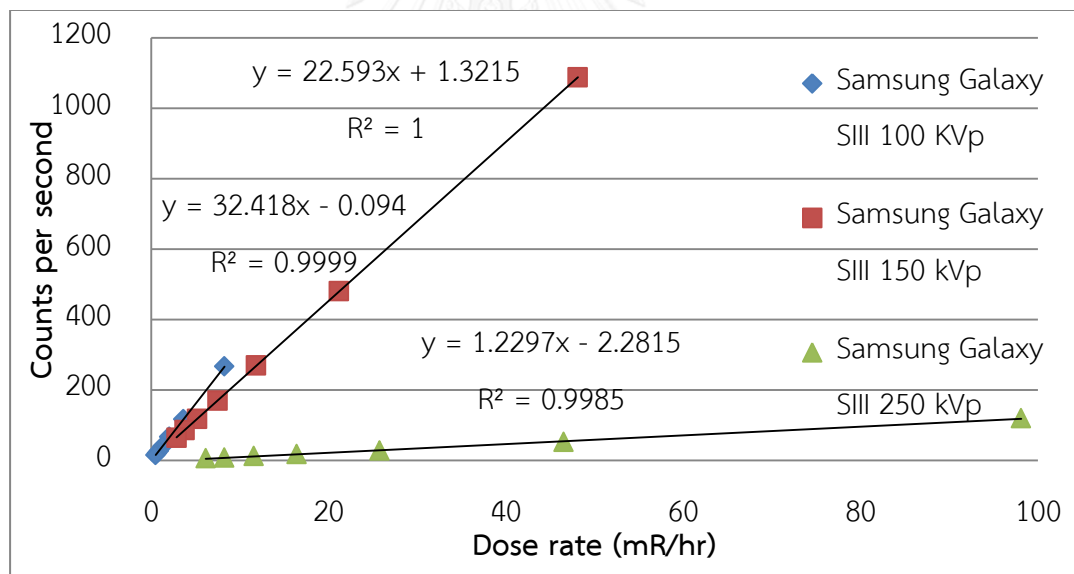


ภาพที่ 34 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตราการนับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00, Huawei Ascend P7, Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII ต่ออัตรา ปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 250 kVp

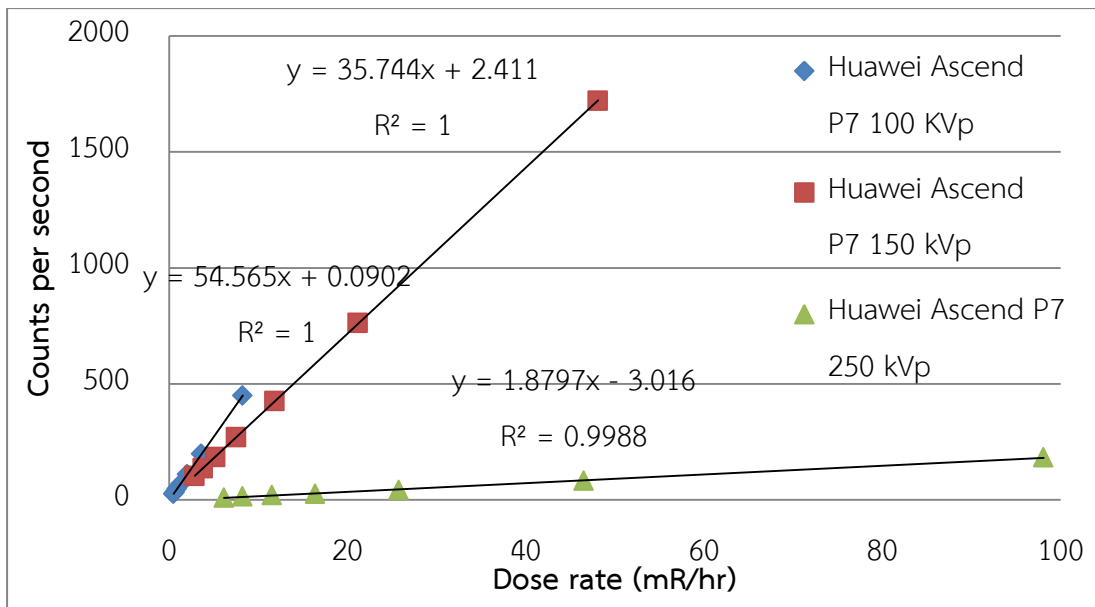




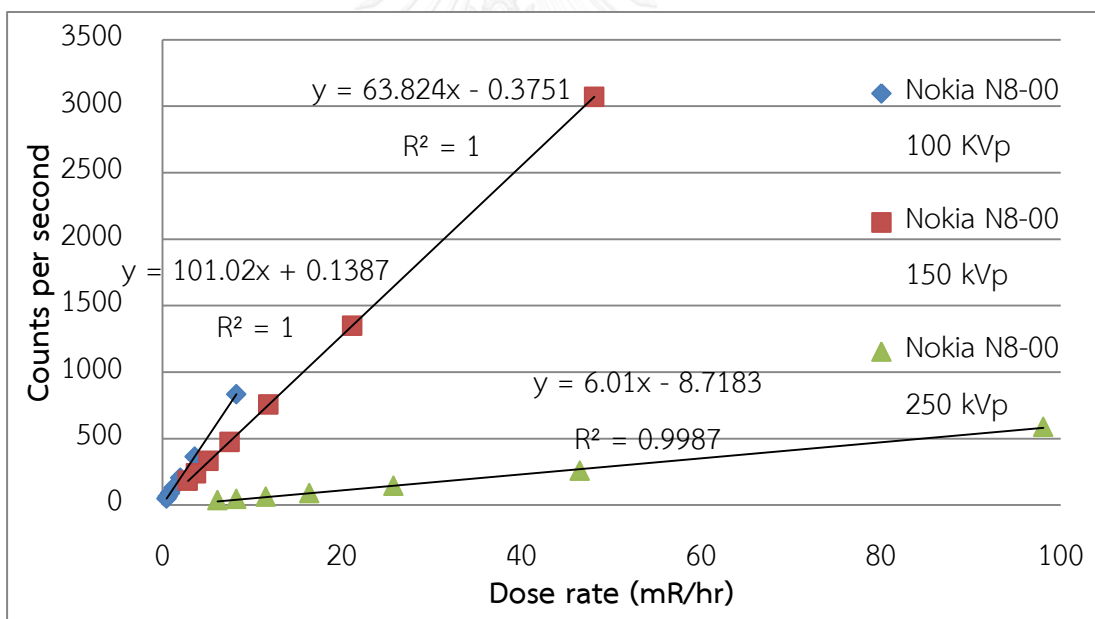
ภาพที่ 35 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 150 และ 250 kVp



ภาพที่ 36 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 150 และ 250 kVp



ภาพที่ 37 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7 ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 150 และ 250 kVp



ภาพที่ 38 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 ต่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 100 150 และ 250 kVp

จากกราฟที่ 32-34 การทดสอบอัตราปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ 100 150 และ 250 kVp ช่วงอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ 0.48 ถึง 98.1 mR/hr ต่อ อัตรานับจาก เซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 , Huawei Ascend P7 , Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII แสดงให้เห็นว่าสมาร์ทโฟนทั้ง 5 รุ่น แปรผันตามอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่เพิ่มขึ้น และมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น

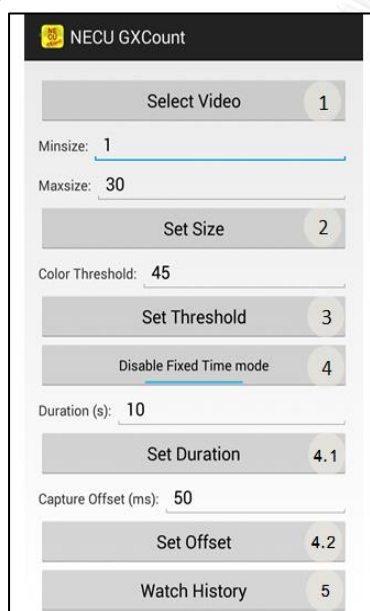
จากกราฟ 35-38 เมื่อพิจารณาอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่เท่ากันในแต่ละค่าความต่างศักย์พบว่า อัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนที่ค่าความต่างศักย์ที่ต่ำกว่า จะมีการตอบสนองได้ดีกว่าที่ค่าความต่างศักย์สูง เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่ำกว่ามีโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยากับ เซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟน โดยการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกมากกว่ารังสีเอกซ์ที่พลังงานสูง โดยรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงมีโอกาสที่จะทะลุผ่านโดยไม่เกิดอันตรกิริยาเซ็นเซอร์รับภาพได้



#### 4.4 แอปพลิเคชันสำหรับการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์

ผลการวิจัยข้างต้นทำให้ทราบว่าอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ การพัฒนาแอปพลิเคชันทำให้สามารถนับฟิสิกเซลสว่าง และสามารถแปลงเป็นอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ได้อย่างเบ็ดเสร็จ ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน และรวดเร็วในการแสดงผลเพิ่มขึ้น หลักการทำงานสำหรับการนับฟิสิกเซลสว่างยังคงเป็นหลักการเดิมจากงานวิจัยข้างต้น โดยการนับแต่ละเฟรมแล้วนำมารวมกัน ลบสัญญาณรบกวนด้วยการกำหนด Threshold แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมี 2 แอปพลิเคชัน ได้แก่ NECU GXcount และ NECU GXdose ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 แอปพลิเคชัน NECU GXcount เป็นแอปพลิเคชันสำหรับการนับรวมฟิสิกเซลสว่างที่ปรากฏขึ้น



ภาพที่ 39 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXcount

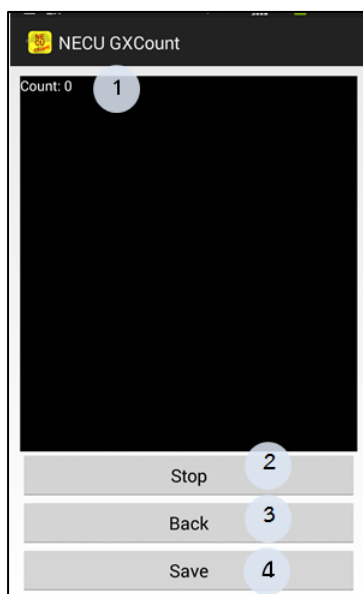
1. การเลือกโหมดเพื่อที่จะทำการนับวัดรังสี
  - 1.1 Capture Video โหมดนี้จะทำการบันทึกวิดีโอก่อนแล้วจึงทำการนับฟิสิกเซลสว่าง
  - 1.2 Choose video from Gallery เป็นโหมดที่สามารถเลือกวิดีโอจากแกลเลอรีในสมาร์ทโฟน แล้วจึงทำการนับฟิสิกเซลสว่าง
  - 1.3 Real Time โหมดนี้สามารถนับวัดฟิสิกเซลสว่างได้ ณ ขณะปัจจุบัน
2. การกำหนดขนาดฟิสิกเซลสว่างที่ต้องการนับ
3. การกำหนด Threshold เพื่อลบสัญญาณรบกวน
4. กำหนดเวลาในการนับฟิสิกเซลสว่าง แบ่งออกเป็น 2 ฟังก์ชัน ได้แก่

4.1 ตั้งเวลาในการนับฟิสิกเซลสว่าง โดยมีหน่วยเป็น วินาที สามารถใช้ได้กับโหมดในหัวข้อที่ 1 ทั้ง 3 โหมด

4.2 การกำหนดจำนวนอัตราเฟรมที่ต้องการนับ ในโหมด Capture Video และ Choose video from Gallery

5. ประวัติจำนวนฟิสิกเซลสว่างที่ได้ทำการบันทึก

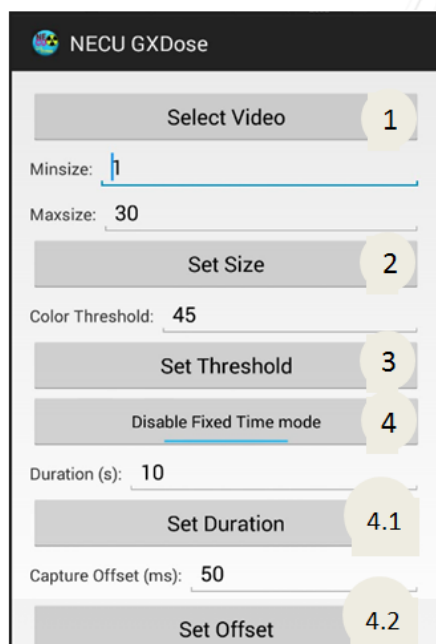
### แอปพลิเคชัน NECU GXcount โหมดการนับแบบ Real Time



1. ผลค่านับจำนวนฟลักเซลทั้งหมด
2. ปุ่มสำหรับการเริ่มต้นนับ และหยุดการนับ
3. ปุ่มสำหรับการกดย้อนหลังไปยังหน้าแรกของแอปพลิเคชัน
4. ปุ่มบันทึกผลการนับฟลักเซลสว่าง

ภาพที่ 40 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXcount โหมดการนับแบบ Real Time

#### 4.4.2 แอปพลิเคชันสำหรับการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ NECU GXdose



1. การเลือกโหมดเพื่อที่จะทำการนับวัดรังสี
  - 1.1 Capture Video โหมดนี้จะทำการบันทึกวิดีโอก่อนแล้วจึง ทำการนับฟลักเซลสว่าง
  - 1.2 Choose video from Gallery เป็นโหมดที่สามารถเลือกวิดีโอจากแกลเลอรีในสมาร์ตโฟน แล้วจึงทำการนับฟลักเซลสว่าง
  - 1.3 Real Time โหมดนี้สามารถนับวัดฟลักเซลสว่างได้ ณ ขณะปัจจุบัน

ภาพที่ 41 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXdose

Formular:  $y = 0.5104 * x + -0.3269$

Set Formular 5

Duration for Dose rate (s): 4

Set Duration for Dose rate 6

Iteration for mean Dose rate: 3

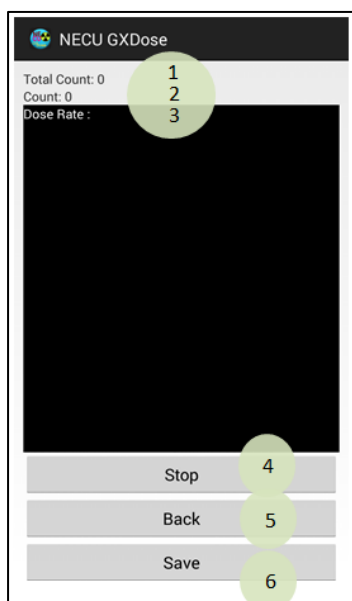
Set Iteration 7

Watch History 8

ภาพที่ 42 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXdose

2. การกำหนดขนาดฟลักซ์แสงที่ต้องการนับ
3. การกำหนด Threshold เพื่อลบสัญญาณรบกวน
4. กำหนดเวลาในการนับฟลักซ์แสง แบ่งออกเป็น 2 ฟังก์ชัน ได้แก่
  - 4.1 ตั้งเวลาในการนับฟลักซ์แสง โดยมีหน่วยเป็น วินาที สามารถใช้ได้กับโหมดในหัวข้อที่ 1 ทั้ง 3 โหมด
  - 4.2 การกำหนดจำนวนอัตราเฟรมที่ต้องการนับ ในโหมด Capture Video และ Choose video from Gallery
5. กำหนดสมการเปรียบเทียบ
6. กำหนดเวลาในการนับรวมฟลักซ์แสง ก่อนแปลงเป็นอัตราปริมาณรังสี มีหน่วยเป็นวินาที
7. กำหนดจำนวนครั้งในการเฉลี่ยอัตราปริมาณรังสีก่อนแสดงผล
8. ประวัติของจำนวนฟลักซ์แสงที่ทำการบันทึก

### แอปพลิเคชัน NECU GXdose โหมดการนับแบบ Real Time



1. ผลค่านับจำนวนฟิสิกเซลทั้งหมด
2. แสดงผลการนับฟิสิกเซลสว่างต่อวินาที
3. แสดงผลอัตราปริมาณรังสี
4. ปุ่มสำหรับการเริ่มต้นนับ และหยุดการนับ
5. ปุ่มสำหรับการกดย้อนหลังไปยังหน้าแรก  
ของแอปพลิเคชัน
6. ปุ่มบันทึกผลการนับฟิสิกเซลสว่าง

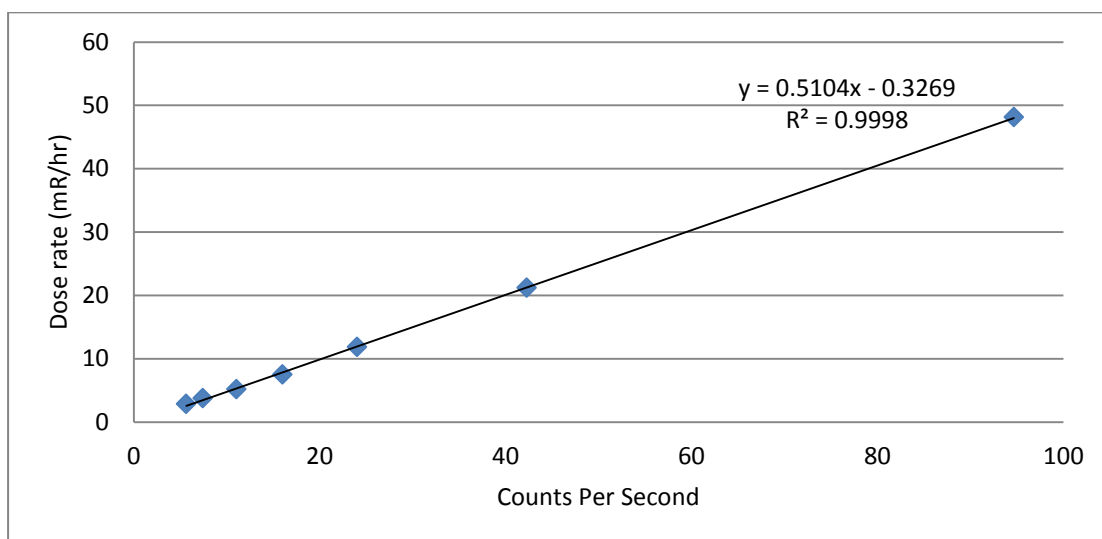
ภาพที่ 43 หน้าจอแอปพลิเคชัน NECU GXdose โหมดการนับแบบ Real Time

#### 4.4.3 การเปรียบเทียบสมาร์ตโฟนโดยการใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount

สมาร์ตโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII และ Huawei Ascend P7 ทำการเปรียบเทียบกับรังสีเอกซ์ค่าความต่างศักย์ 150 kVp กระแสไฟฟ้า 3 mA โดยใช้หัววัดไอออนไนเซชัน แคมเบอร์เป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสี

ตารางที่ 15 ผลการเปรียบเทียบโดยการใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount ของสมาร์ตโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII

อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ (mR/hr)	อัตรานับต่อวินาที
2.85	5.65±0.08
3.76	7.42±0.09
5.16	11.05±0.11
7.49	16.00±0.13
11.82	24.02±0.16
21.16	42.27±0.22
48.10	94.68±0.32

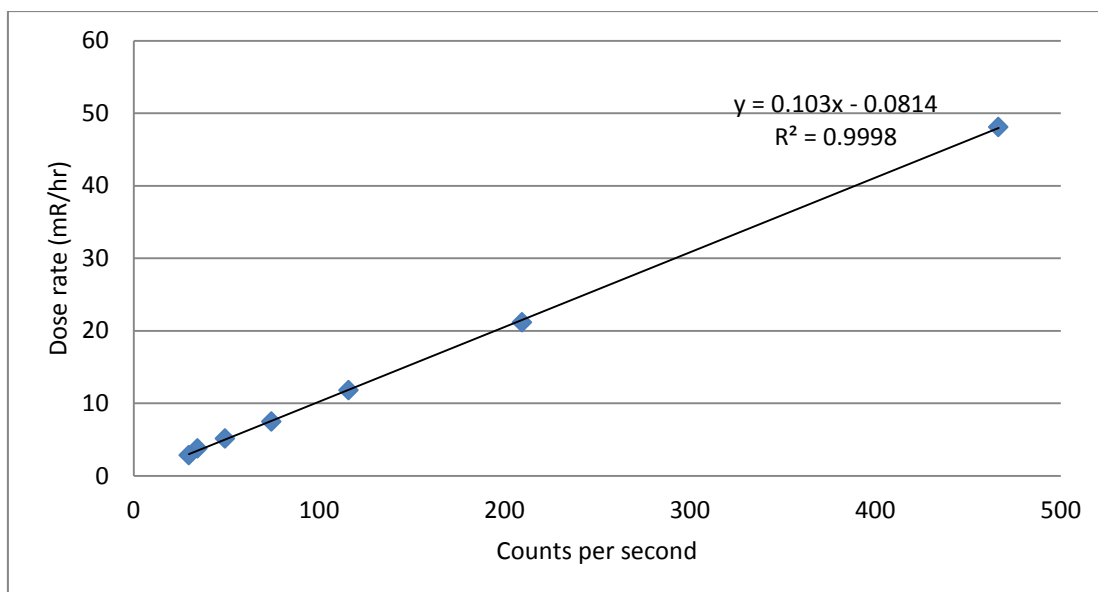


ภาพที่ 44 กราฟเปรียบเทียบโดยการใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount ของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII

ตารางที่ 16 ผลการเปรียบเทียบโดยการใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount ของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7

อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ (mR/hr)	อัตรานับต่อวินาที
2.85	29.77±0.18
3.76	34.42±0.20
5.16	49.28±0.23
7.49	74.47±0.29
11.82	116.07±0.36
21.16	209.57±0.48
48.10	466.53±0.72





ภาพที่ 45 กราฟเปรียบเทียบโดยใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount ของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7

ผลการเปรียบเทียบด้วยการใช้แอปพลิเคชัน NECU GXcount พบว่า อัตรานับของสมาร์ทโฟน ทั้ง 2 รุ่น แปรผันตามอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่เพิ่มขึ้น และมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น จาก ภาพที่ 44 และ 45 ทำให้ทราบสมการเปรียบเทียบ สมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII สมการเปรียบเทียบคือ  $y=0.5104x - 0.3269$  สมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7 สมการเปรียบเทียบคือ  $y = 0.103x - 0.0814$  นำสมการเปรียบเทียบนี้เข้าไปตั้งค่าในแอปพลิเคชัน NECU GXdose เพื่อ สามารถใช้แอปพลิเคชันวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ได้

4.4.4 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของอัตราปริมาณรังสีเอกซ์เมื่อทดสอบกับแอปพลิเคชัน NECU GXdose

สมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII และ Huawei Ascend P7 ทำการทดสอบกับรังสี เอกซ์ค่าความต่างศักย์ 150 kVp กระแสไฟฟ้า 3 mA ที่ตำแหน่งห่างจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 1 เมตร ถึง 3 เมตร โดยเทียบอัตราปริมาณรังสีกับหัววัดไอออนไนเซชัน แคมเบอร์

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบหาค่าความแตกต่างของอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp เมื่อทดสอบกับแอปพลิเคชัน NECU GXdose ของสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII

อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ (mR/hr)	ค่าที่วัดได้ (X) mR/hr		$\bar{X}$	ความแตกต่าง
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
48.10	53.48	52.19	52.84±0.24	+4.74
11.82	13.99	12.88	13.44±0.12	+1.62
5.16	5.73	5.61	5.67±0.08	+0.51

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบหาค่าความแตกต่างของอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 150 kVp เมื่อทดสอบกับแอปพลิเคชัน NECU GXdose ของสมาร์ทโฟนรุ่น Huawei Ascend P7

อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ (mR/hr)	ค่าที่วัดได้ (X) mR/hr		$\bar{X}$	ความแตกต่าง
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
48.10	46.48	45.98	46.23±0.23	-1.87
11.82	10.75	12.09	11.42±0.11	-0.40
5.16	5.35	4.91	5.13±0.08	-0.03

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่าเซ็นเซอร์รับภาพมีความไวต่อรังสีเอกซ์ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดฟลักเซลสว่างที่ไม่พึงประสงค์ปรากฏขึ้นในภาพ จึงนำมาสู่แนวคิดในการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนเพื่อการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ศึกษาวิธีการหาอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพซีมอสในสมาร์ทโฟนเพื่อคัดเลือกสมาร์ทโฟนสำหรับการนำมาวิจัย เนื่องจากงานวิจัยนี้จะใช้คุณสมบัติของเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟน การเก็บข้อมูลเพื่อหาอัตรานับทำได้โดยการใช้อัลกอริทึมในโน้ตบุคการบันทึกวิดีโอ เหตุเพราะสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ จากไฟล์วิดีโอจึงทำการแปลงเป็นภาพนิ่งด้วยโปรแกรม Aao video to picture converter ภาพนิ่งที่ถูกแปลงนำเข้าโปรแกรม ImageJ เพื่อทำการวิเคราะห์และนับฟลักเซลสว่างที่เกิดขึ้น ใช้การกำหนด Threshold เพื่อลบสัญญาณรบกวนต่าง ๆ เพื่อให้โปรแกรมนับเฉพาะฟลักเซลที่เกิดจากการทำอันตรกิริยาจากรังสี และกำหนดลักษณะฟลักเซลสว่างที่ต้องการวิเคราะห์ การคัดเลือกสมาร์ทโฟนนั้นจะคัดเลือกสมาร์ทโฟนที่มีความไวต่อรังสี ซึ่งสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00, Huawei Ascend P7, Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII ถูกคัดเลือกและนำไปทดสอบในขั้นตอนวิจัยขั้นต่อไป

5.2 การทดสอบความเที่ยงตรงของค่านับวัดจากสมาร์ทโฟน จากการคัดเลือกในขั้นตอนแรกสมาร์ทโฟนทั้ง 4 รุ่นจะนำมาทดสอบความเที่ยงตรง พบว่ามีความเที่ยงตรงในการนับวัดรังสีในช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 3\sigma$  เนื่องจากค่านับวัดทั้ง 40 ค่าอยู่ในช่วง  $\pm 3\sigma$  ทั้งสิ้น สมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00, Huawei Ascend P7, Samsung Galaxy SIII และ Samsung Galaxy SII มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน ดังนี้ 0.83%, 1.00%, 0.94% และ 2.30% ตามลำดับ

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์

5.3.1 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นวัดรังสีไอเอสแอล เป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสีเอกซ์ พบว่าสมาร์ทโฟนทั้ง 2 รุ่นที่นำมาทดสอบ อัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ มีความสัมพันธ์ลักษณะเชิงเส้น เมื่ออัตราปริมาณรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น อัตรานับจากสมาร์ทโฟนจะเพิ่มขึ้นตามด้วย โดยสมาร์ทโฟนรุ่น Nokia N8-00 ที่ค่าความต่างศักย์ที่ 100 และ 150 kVp มีความเป็นเชิงเส้น 0.9960 และ 0.9971 ตามลำดับ ส่วนสมาร์ทโฟนรุ่น Samsung Galaxy SIII ที่ค่าความต่างศักย์ที่ 100 และ 150 kVp มีความเป็นเชิงเส้น 0.9966

5.3.2 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์โดยใช้หัววัดไอออนไนซ์เซชันแคมเบอร์ เป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสีเอกซ์ ซึ่งทำการวัดในห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ค่าความต่างศักย์ที่ 100, 150 และ 250 kVp อัตราปริมาณรังสี 0.48 - 98.1 mR/hr พบว่า สมาร์ทโฟนทั้ง 4 รุ่นที่นำมาทดสอบมีความสัมพันธ์ลักษณะเชิงเส้นระหว่างอัตรานับจากเซ็นเซอร์รับภาพในสมาร์ทโฟนกับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์

โดยการทดสอบข้างต้นพบว่า อัตรานับที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนที่ค่าความต่างศักย์ต่ำกว่า จะมีการตอบสนองได้ดีกว่าที่อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ความต่างศักย์สูงกว่า เนื่องจากเกิดการตอบสนองต่อพลังงานที่ต่างกัน (Energy dependence)

#### 5.4 การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการนำมาใช้วัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์

เพื่อความสะดวกในการใช้สมาร์ทโฟนสำหรับการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ แอปพลิเคชันจึงถูกพัฒนาขึ้นสำหรับสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นในโหมดของการวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์แบบ Real time ผลการทดสอบพบว่าแอปพลิเคชันสามารถนับฟิสิกเซลสว่างและแสดงผลอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ได้อย่างเบ็ดเสร็จ

ผลของงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าเซ็นเซอร์ซีมอสในสมาร์ทโฟนสามารถนำมาใช้วัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ได้ซึ่งผู้ปฏิบัติงานทางด้านงานถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรมและงานอื่น ๆ ที่ใช้รังสีเอกซ์ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในลักษณะของเครื่องมือวัดอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ ซึ่งผู้ปฏิบัติงานทุกคนสามารถพกพาติดตัวได้ตลอดระยะเวลาการทำงาน

#### ข้อเสนอแนะ

1. ในการเลือกสมาร์ทโฟนเพื่อนำมาศึกษาวิจัยนั้นควรมีตัวอย่างสมาร์ทโฟนในหลากหลายรุ่น และบริษัทผู้ผลิต เพื่อใช้ในการทดสอบมากขึ้น
2. การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับและอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ ควรทดสอบช่วงอัตราปริมาณรังสี และช่วงค่าความต่างศักย์ให้มีช่วงที่กว้างมากขึ้น เพื่อดูความสัมพันธ์ และการตอบสนองต่อพลังงานต่าง ๆ มากขึ้น
3. สำหรับแอปพลิเคชันเพื่อทำให้อัตรานับมากขึ้น ควรเก็บข้อมูลเพิ่มเติมด้วยการเพิ่มจำนวนอัตราเฟรมในการนับฟิสิกเซลสว่าง และในการวัดแต่ละครั้ง อัตราเฟรมที่ใช้ นับฟิสิกเซลสว่างควรมีค่าเท่ากัน หรือมีความเสถียร เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการบอกอัตราปริมาณรังสี
4. การใช้ Wifi camera เพื่อทดแทนการใช้สมาร์ทโฟนในการรับรังสีโดยตรง ซึ่ง Wifi camera สามารถเชื่อมต่อแบบ Wi-Fi และ Bluetooth ผ่านแอปพลิเคชันบน ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และ IOS เพื่อควบคุมการใช้งานแบบไร้สาย

### รายการอ้างอิง

1. นเรศร์ จันทน์ขาว, เอกสารประกอบการเรียนเรื่องการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาสำหรับงานอุตสาหกรรม .2548, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. สมาน อิงไธสง, การพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำควบคุมระยะไกล 2553, สาขานิเวศลิยร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศลิยร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. อัครา อัครเนตร, การพัฒนาเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่แสดงผลแบบสามมิติ . 2555, สาขานิเวศลิยร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศลิยร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. Michal Gumieła , R.K., *Studies of the applicability of CMOS and CCD sensors for detection, dosimetry and imaging of alpha, beta, gamma, X-ray and proton beamspots*. 2012: p. 1-6.
5. Joshua J. Cogliati, K.W.D., Jayson Wharton, *Using CMOS Sensors in a Cellphone for Gamma Detection and Classification*. 2014: p. 1-26.
6. นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, นิเวศลิยร์เทคโนโลยีพิมพ์ .พื้นฐานและการประยุกต์ใช้ด้านดินและพืช: ครั้งที่1 . 2553, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ :กรุงเทพมหานคร.
7. Cember, H. and T.E. Jonhson, *Introduction to Health Physics*. 2009: The McGraw-Hill Companies.
8. Dennis P. Curtin, *An Extension to PhotoCourse Digital Photography Textbooks Sensors, Pixels and Image Sizes*. 2011, United States of America.
9. SONY IP VIDEO MONITORING SYSTEM – TECHNICAL DOCUMENTATION, *Advantage of the CMOS sensor*.
10. Studio A.D, *AoaoPhoto Video to Picture converter 4.0*. 2008.
11. Ferreira, T., W.Rasband, *ImageJ/FIJI 1.46*. 2012. p. 198.



## ผลการอ่านค่าแผ่นวัดรังสีไอเอสแอล จากกองรังสีและเครื่องมือแพทย์

## กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

source		CASE NO.	Deep ( $\mu$ Sv)	Shal ( $\mu$ Sv)	Len ( $\mu$ Sv)
		XA025609725	130	130	130
		XA02560977V	110	110	110
Background		XA01508910L	110	110	110
		XA01518601O	100	90	100
		XA025609717	130	130	130
	Distance(cm)	Average	116	114	116
x-ray _3.5 mA _100 kV	50	XA02813635D	1174	1136	1174
	50	XA02813733F	1114	1046	1114
	75	XA02813726A	514	476	514
	75	XA028137096	654	626	654
	100	XA02813707A	394	406	404
	100	XA02813715D	434	446	434
	125	XA028137088	264	256	264
	125	XA02813711L	254	246	254
	150	XA02813714F	174	166	174
	150	XA02813713H	204	216	204
	175	XA028139159	174	166	174
	175	XA02813825A	144	136	144
	200	XA028139175	94	86	94
	200	XA02813862C	94	126	94

Source	Distance	CASE NO.	Deep ( $\mu\text{Sv}$ )	Shal ( $\mu\text{Sv}$ )	Len ( $\mu\text{Sv}$ )
x-ray _3.5 mA _150 kV	50	XA02813725C	2034	1926	2034
	50	XA02813706C	2324	2226	2324
	75	XA028136379	1304	1276	1304
	75	XA02813712J	1094	1046	1094
	100	XA02813722I	794	816	794
	100	XA02813705E	844	866	844
	125	XA02813724E	574	606	574
	125	XA02813710N	524	496	524
	150	XA02813820K	304	286	304
	150	XA028138185	394	386	394
	175	XA02813822G	314	306	314
	175	XA028138177	384	376	384
	200	XA028138937	214	206	214
	200	XA028139183	264	296	264





**2575 & 2576**

**600cc THIN WINDOW IONISATION  
CHAMBER  
&  
STABILITY CHECK SOURCE**

**INSTRUCTION MANUAL**



**Saint-Gobain Crystals & Detectors UK Ltd**



The 2575 is designed as a high performance chamber for the measurement of exposure to X and gamma radiation and absorbed dose from beta radiation and electron beam scatter. It is, therefore suitable for calibration as a secondary or tertiary standard.

The chamber may be supported in the radiation field by means of the removable handle provided, or fixed in users own jig using the three tapped holes in flat base. Correct use of the three additional windows supplied gives an energy response within  $\pm 5\%$  for Photons from 8 kVp to 2 MV

#### Physical Specification

construction	Cylindrical thick walled chamber with thin front window and re-entrant fully guarded electrode configuration.
External Dimensions	Chamber Body: Length 83 mm. Diameter 125.1 mm. Handle: Projection from Body Diameter
Internal Dimensions	Internal Dimensions of Chamber wall 112.8 mm. Collector Electrode Diameter 58.1 mm. Centre Electrode Diameter 4.00 mm.
Window Thickness	Chamber Window $4.5 \text{ mg/cm}^{-2}$ Additional Window 'A' $25 \text{ mg/cm}^{-2}$ Additional Window 'B' $620 \text{ mg/cm}^{-2}$ Additional Window 'C' $795 \text{ mg/cm}^{-2}$

Reference Point	The reference point is at intersection of the plane through the line engraved around the wall with the 2575 axis.
Connecting Cable	10m long, Terminated by a PET 200 series triaxial free plug.
Energy Range for X and Gamma Radiation	X-rays (generating potential) 0.010 to 2.0 MV Gamma Radiation 0.008 to 1.5 MeV The above assumes that windows A, B or C are used where appropriate.
Energy Range for Beta Radiation	For Beta Particles of E max and electrons of energy from 0.15 MeV to 2 MeV



### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว เหนือตะวัน อารงสิริภาคย์ เกิดเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2533 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิเวศลิยร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศลิยร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

