

การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลข



นายสขใจ เกียรติศักดิ์วัฒนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-582-549-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019431

117125637

DEVELOPMENT OF A PERSONAL DIGITAL DOSIMETER



MR. SUKJAI KIATISAKWATANA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Nuclear Technology
Graduate School
Chulalongkorn University

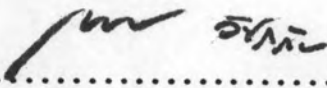
1993

ISBN 974-582-549-2

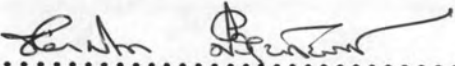
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลข
โดย นายสุโขทัย เกียรติศักดิ์วัฒนา
ภาควิชา นิเวศศาสตร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. อรรถพร ภัทรสมันต์

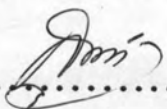


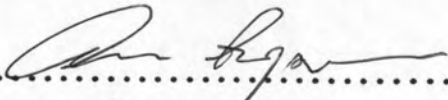
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

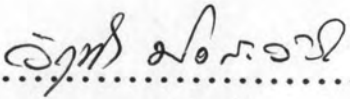

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. นารอง วิชาญ)

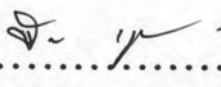
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ อรรถพร ภัทรสมันต์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช)


..... กรรมการ
(นายศิริชัย เขื่อนมีสุข)

สุขใจ เกียรติศักดิ์วัฒนา : การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลข
(DEVELOPMENT OF A PERSONAL DIGITAL DOSIMETER) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. สุวิทย์
ปทุมชัยยะ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. อรรถพร ภัทรสุมันต์, 109 หน้า. ISBN 974-582-549-2

เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นนี้ ออกแบบให้ใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่หาได้ภายในประเทศเป็นหลัก มีขนาดกระทัดรัดเพื่อพกพาขณะปฏิบัติงานได้สะดวก ทั้งนี้เพื่อให้มีราคาประหยัด บำรุงรักษาง่ายและทนต่อสภาพใช้งานในสภาวะแวดล้อมของประเทศ นอกจากนี้การใช้ไอซีตระกูลซีโมสช่วยให้สิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าน้อย เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลสามารถวัดปริมาณรังสีสะสมได้ในช่วง 0 - 9999 มิลลิเรนท์เกิน แสดงผลด้วยตัวเลขไดโอดเปล่งแสง ซึ่งจะช่วยให้สามารถอ่านค่าปริมาณรังสีในที่มืดได้อย่างชัดเจน มีระบบส่งเสียงเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงสภาวะปริมาณรังสีในบริเวณปฏิบัติงาน 4 รูปแบบ คือ ปริมาณรังสีสะสมเมื่อถึงพิกัดที่ตั้งไว้ ปริมาณรังสีทุก 1 มิลลิเรนท์เกิน ปริมาณรังสีที่ส่งเกินพิกัดของหัววัดรังสี และอัตราปริมาณรังสีที่สามารถตั้งพิกัดได้ทีละระดับ 2.5, 10 และ 25 มิลลิเรนท์-เกินต่อชั่วโมง ตัวเครื่องขนาด 7.4 x 12 x 3 ซม.³ น้ำหนักรวม 300 กรัม ทำงานด้วยแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ขนาด 4.8 โวลต์ 180 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมง โดยวัดรังสีด้วยหัววัดรังสีไกเกอร์ขนาดเล็ก

ผลทดสอบการทำงานและปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นพบว่าสามารถวัดอัตราปริมาณรังสีได้ไม่เกิน 2.5 เรนท์เกินต่อชั่วโมง มีความคลาดเคลื่อนในการวัดน้อยกว่า ± 20 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงพลังงาน 100 - 1330 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีความแม่นยำและความเที่ยงตรงในการวัดปริมาณรังสีที่พลังงานของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 เท่ากับ ± 14 เปอร์เซ็นต์ และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับช่วงอัตราปริมาณรังสีไม่เกิน 2.5 เรนท์เกินต่อชั่วโมง เมื่อประจุไฟฟ้าเต็มที่สามารถใช้งานต่อเนื่องได้นาน 7 ชั่วโมง มีการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า 300 มิลลิวัตต์ ขณะที่ศักดาไฟฟ้าต่ำสุดของแบตเตอรี่ที่ 4.53 โวลต์ มีผลทำให้การวัดคลาดเคลื่อนน้อยกว่า ± 15 เปอร์เซ็นต์



ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต *[Signature]*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *[Signature]*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม *[Signature]*

C216946 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEY WORD: PERSONAL DOSIMETER/DIGITAL DOSIMETER
SUKJAI KIATISAKWATANA : DEVELOPMENT OF A PERSONAL DIGITAL
DOSIMETER . THESIS ADVISOR : ASST.PROF.SUVIT PUNNACHAIYA,
THESIS CO-ADVISOR : ATTAPORN PATTARASUMUNT. 109 pp.
ISBN 974-582-549-2



A compact size personal dosimeter was developed using electronic parts mainly available locally with the aim of having a low cost dosimeter capable of operating in local ambient conditions with ease of maintenance. Besides, the use of CMOS IC's reduces power consumption considerably. The dosimeter has a measuring range of 0-9999 mR using 7 segment LED display clearly readable even in the illuminated area. It is also equipped with alarm system to monitor presettable dose accumulation, dose rate at each 1 mR, saturation of GM detector at high level dose and the radiation surpassing levels selectable in steps of 2.5, 10 and 25 mR/hr. The dosimeter has a size of 7.4 x 12 x 3 cm³ with a weight of 300 g and is powered with four 1.2 V AAA size rechargeable Ni-Cd batteries with an energy capacity of 180 mAh each. A miniature GM tube for gamma and X-ray measurement is used as radiation detector.

The results of performance testing and calibration show that the dosimeter can measure a dose rate upto 2.5 R/hr with an error less than of $\pm 20\%$ in energy range of 100-1330 keV. Using Cs-137 standard calibration source, the accuracy and precision of the dosimeter at dose limit of 2.5 R/hr are $\pm 14\%$ and 3% respectively. The dosimeter can be continuously operated for 7 hr with fully charged batteries at 300 mW power consumption, while at the lowest operational battery voltage of 4.53 V the dosimeter shows an error less than $\pm 15\%$.

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา.....2535

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และอาจารย์อรุณพร กัทธสมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รวมทั้ง นายศิริชัย เขียนมีสุข ผู้อำนวยการกองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง ณ ที่นี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณกองการวัดกัมมันตภาพรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard Dosimetry Laboratory, SSDL-OAEP) โดยเฉพาะคุณธงชัย สุดประเสริฐ ที่ได้ช่วยเหลือในการทดสอบ ปรับเทียบเครื่องต้นแบบเป็นอย่างดี และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนวิจัยวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาที่ช่วยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	4
2 การวัดปริมาณรังสี	
2.1 ความปลอดภัยด้านการปฏิบัติการเกี่ยวกับรังสี.....	5
2.1.1 หลักการป้องกันอันตรายจากรังสีเบื้องต้น.....	6
2.1.2 หน่วยวัดปริมาณรังสี.....	7
2.2 การวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	9
2.2.1 อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประเภทอ่านค่าวัดทางอ้อม.....	9
2.2.2 อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประเภทอ่านค่าวัดได้ทันที.....	12
2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล	
แบบอิเล็กทรอนิกส์.....	13
2.3.1 ระบบวัดส่วนหน้าของเครื่องวัด.....	14
2.3.2 วงจรปรับเทียบปริมาณรังสี.....	22
2.3.3 วงจรส่งเสียงเตือนและบอกปริมาณรังสี.....	23

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3	
3.1	
3.1.1	
3.1.2	
3.1.3	
3.1.4	
3.1.5	
3.1.6	
3.1.7	
3.2	
3.3	
4	
4.1	
4.2	
4.2.1	
4.2.2	
4.2.3	
4.2.4	
4.3	
4.3.1	
4.3.2	
4.4	
4.5	

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4.6 การทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของเครื่องวัดปริมาณรังสี (dose rate dependence).....	61
4.7 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลเมื่อวัดแบบต่อเนื่อง (integral linearity).....	62
4.8 การทดสอบความแม่นยำ (accuracy).....	64
4.9 การทดสอบความเที่ยงตรง (precision).....	66
4.10 การทดสอบผลตอบสนองต่อศักดาไฟฟ้าต่ำ.....	66
5 สรุปวิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	72
5.2 ลักษณะพิภพของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น (NT 1401).....	74
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	76
เอกสารอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก ก	79
ภาคผนวก ข	82
ภาคผนวก ค	84
ภาคผนวก ง	86
ประวัติผู้เขียน	109

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ของกระแสที่จ่ายให้ไหลกลับศักดาไฟฟ้าของวงจร แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง.....	43
4.2 ความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าต่ำและศักดาไฟฟ้าสูงของวงจรแหล่ง จ่ายไฟฟ้าศักดาสูง.....	45
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัลส์และศักดาไฟฟ้าทางออกของ เรทมิเตอร์.....	49
4.4 ความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าต่ำและการสั้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของ เครื่องวัดปริมาณรังสี.....	51
4.5 ความสัมพันธ์ของระยะเวลาใช้งานและศักดาไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	53
4.6 ผลการเปรียบเทียบปริมาณรังสีสะสม.....	56
4.7 เปรียบเทียบผลการทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสี ระหว่างเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องที่ผลิตจาก ต่างประเทศ.....	58
4.8 เปรียบเทียบผลการทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัด ปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นและเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ.....	60
4.9 เปรียบเทียบผลการทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของ เครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นและเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ.....	61
4.10 เปรียบเทียบผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณ รังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นและที่ผลิตจากต่างประเทศ.....	63
4.11 ผลทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	65
4.12 แสดงผลความเที่ยงตรงของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	66
4.13 ค่าคลาดเคลื่อนจากผลของศักดาไฟฟ้า.....	67
ข.1 ตารางเลือกค่าหาความถี่ที่ตำแหน่งต่างๆของ SW ₂	82
ข.2 ตารางเลือกค่าหาความถี่ที่ตำแหน่งต่างๆของ SW ₃	83

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะของฟิล์มแบบจุ่มก่อนบรรจุแผ่นฟิล์มใสกติก..... 10
2.2	ลักษณะของชุดเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์ ไอออนไนเซชัน แซมเบอร์..... 12
2.3	ลักษณะของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์..... 13
2.4	แผนภาพของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์..... 14
2.5	ลักษณะของหัววัดรังสีไกเกอร์ขนาดเล็ก..... 15
2.6	วงจรหัววัดรังสีไกเกอร์แบบ AC และ DC coupling..... 15
2.7	วงจรพื้นฐานของวงจรดี-ซี คอนเวอร์เตอร์..... 16
2.8	วงจรริงกิง-โชน ดี-ซีคอนเวอร์เตอร์..... 17
2.9	เส้นกราฟแสดงการทำงานของวงจรริงกิง-โชน ดี-ซีคอนเวอร์เตอร์. 18
2.10	รูปคลื่นสัญญาณและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรริงกิง-โชน ดี-ซีคอนเวอร์เตอร์..... 19
2.11	วงจรทรานส์ฟอร์มเมอร์ ดี-ซี คอนเวอร์เตอร์..... 20
2.12	วงจรตรีเพนไทด์โคเรคเคอร์เรนท์คอนเวอร์เตอร์..... 20
2.13	วงจรพุก-พูล ดี-ซีคอนเวอร์เตอร์..... 21
2.14	ระบบวัดส่วนหน้าและรูปสัญญาณพัลส์..... 22
2.15	การทำงานของวงจรหารปริมาณนับรังสี..... 23
2.16	แผนภาพการทำงานของระบบส่งเสียงเตือนเพื่อบอกสภาวะต่างๆ..... 24
3.1	แผนภาพของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น..... 26
3.2	วงจรหัววัดรังสีไกเกอร์แบบ DC coupling..... 27
3.3	วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสีกคาสูง..... 28
3.4	แผนภาพการทำงานของวงจรแต่งรูปสัญญาณ..... 29
3.5	วงจรแต่งรูปสัญญาณ..... 29
3.6	วงจรปรับเทียบค่าปริมาณรังสี..... 30
3.7	แผนภาพของวงจรมับรังสีและแสดงผลปริมาณรังสี..... 31
3.8	วงจรมับรังสีและแสดงปริมาณรังสี..... 32

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 วงจรโศสเรท.....	33
3.10 วงจรเตือนและบอกปริมาณรังสี.....	34
3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ.....	36
3.12 วงจรของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลข.....	37
3.13ก. การวางอุปกรณ์บนหน้าปัทม์ของเครื่องวัด.....	38
3.13ข. แผนผังแสดงการจัดวางแผ่นวงจรและอุปกรณ์ภายในกล่องบรรจุ.....	39
3.14 วงจรแผ่นพิมพ์ที่ออกแบบขึ้น.....	40
3.15 กล่องบรรจุแผ่นวงจรและอุปกรณ์.....	40
4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถในการจ่าย กระแสไฟฟ้า.....	42
4.2 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้ากับกระแสที่จ่ายให้ กับโหลด.....	44
4.3 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าต่ำ และศักดาไฟฟ้าสูง.....	45
4.4 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำกับวงจรแหล่ง จ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง.....	46
4.5 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบรูปสัญญาณจากวงจรหัววัดรังสี.....	47
4.6 รูปสัญญาณพัลส์จากวงจรหัววัดรังสี.....	47
4.7 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการทำงานของวงจรเรทมิเตอร์.....	48
4.8 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของอัตราพัลส์และศักดาไฟฟ้าทางออกของ เรทมิเตอร์.....	49
4.9 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรตรวจสอบสภาวะศักดาไฟฟ้าต่ำ.....	50
4.10 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการสั่นเปลื้องกำลังไฟฟ้า.....	51
4.11 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าต่ำและการสั่นเปลื้องกำลังไฟฟ้า ของเครื่องวัดปริมาณรังสี.....	52
4.12 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่.....	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13	เส้นกราฟความสัมพันธ์ของระยะเวลาใช้งานและศักดาไฟฟ้าของ แบตเตอรี่..... 54
4.14	แผนภาพการจัดอุปกรณ์ปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล... 55
4.15	แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบทิศทางการวัดรังสี..... 57
4.16	เส้นกราฟเปรียบเทียบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดของเครื่องวัด ปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นและของต่างประเทศ (Alnor รุ่น RAD-21L)..... 57
4.17	เส้นกราฟเปรียบเทียบผลการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัด ปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นและที่ผลิตจากต่างประเทศ (Alnor รุ่น RAD-21L)..... 59
4.18	เส้นกราฟเปรียบเทียบผลการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีระหว่างเครื่อง วัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นและเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ..... 62
4.19	เส้นกราฟเปรียบเทียบผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของค่าปริมาณรังสี จากเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นและเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ..... 64
4.20	เส้นกราฟความสัมพันธ์ของแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าต่ำและผลตอบสนอง ของค่าที่อ่าน..... 67
4.21	เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลขที่สร้างขึ้น..... 68
4.22	ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่สร้างขึ้น..... 68
4.23	เปรียบเทียบขนาดเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่สร้างขึ้นกับ ปากกา..... 69
4.24	เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลขที่สร้างขึ้นกับ เครื่องวัดชนิดเดียวกันจากต่างประเทศ..... 69
4.25	ภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ..... 70
4.26	ชุดควบคุมห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ..... 70
4.27	อุปกรณ์ปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผล ผลเชิงตัวเลข..... 71