

ระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัดสำหรับใช้ในการกำหนดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสี

นายทศพร พัสดู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MULTIPLE GAMMA-RAY DETECTORS SYSTEM FOR LOCATING SOURCE  
POSITION

MR.TOSAPORN PASSADU

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010


Copyright of Chulalongkorn University


หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัดสำหรับใช้ในการกำหนดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสี
โดย	นายทศพร พัสดู
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

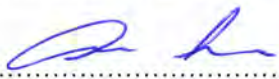
  
.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงษ์)

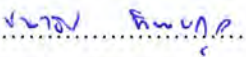
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สัตยชัย นิลสุวรรณไชเชิต)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

  
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ชนาธิป ทิพยกุล)

ทศพร พัสดู : ระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัดสำหรับการกำหนดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสี. (MULTIPLE GAMMA-RAY DETECTORS SYSTEM FOR LOCATING SOURCE POSITION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ.สมยศ ศรีสถิตย์, 86 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบ และทดสอบระบบตรวจวัดรังสีแกมมา ที่ใช้หัววัดรังสีชนิด NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว จำนวน 12 หัววัด ในการวัดรังสีแกมมาภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ กัน หัววัดรังสีทั้ง 12 ชุดเชื่อมต่อกับเครื่องนับรังสี 12 ช่อง ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์นับรังสี/อัตรานับรังสี อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว และแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงรวมอยู่ด้วยกัน โดยมีไมโครคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมเพื่อใช้ในการควบคุม การตั้งค่าต่าง ๆ และการแสดง/ส่งข้อมูลจำนวนนับรังสีของหัววัดรังสีแต่ละชุด นอกจากนี้สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ สทท. ยังได้พัฒนาโปรแกรมให้ระบบสามารถแสดงผลในรูปของกราฟอัตรานับรังสีจากหัววัดรังสีทั้ง 12 ชุดได้พร้อมกันแบบเวลาจริง

ในขั้นแรกทำการเปรียบเทียบหัววัดรังสีทั้ง 12 หัววัด โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) วางกึ่งกลางของวงกลมโดยจัดวางหัววัด 12 หัววัดไว้รอบเป็นวงกลมให้มีระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี 24 ซม. เท่ากัน ซึ่งค่าสัดส่วนจำนวนนับรังสีจะถูกใช้ในการปรับแก้ค่าอัตรานับรังสีจากหัววัดรังสีแต่ละชุดในการวัดรังสีครั้งต่อไป ในขั้นต่อมาได้จัดหัววัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 60 ซม. X 60 ซม. และสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 60 ซม. X 90 ซม. ตามลำดับ ซึ่งพบว่าจำนวนนับรังสีจากหัววัดรังสีแต่ละชุดขึ้นอยู่กับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีในทุกกรณี ผลการทดสอบระบบวัดรังสีชุดนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ในการประเมินตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีได้ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสีและความแม่นยำในการประเมินตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีด้วยการทดสอบขั้นสุดท้ายได้จัดหัววัดภายในห้องขนาด 2.6 ม. X 3.0 ม. โดยมีต้นกำเนิดรังสีแกมมา 2 ตัว วางอยู่ในตำแหน่งที่ต่าง ๆ กัน

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....  
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....  
ปีการศึกษา.....2553.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....



## 5070559421 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : CALIBRATION SYSTEM / GAMMA-RAY DETECTION SYSTEM / RADIATION SAFETY / POSITION OF GAMMA-RAY SOURCE

TOSAPON PASSADU : MULTIPLE GAMMA-RAY DETECTORS SYSTEM FOR LOCATING SOURCE POSITION . ADVISOR : ASSOC.PROF.NARES CHANKOW, CO-ADVISOR : ASSOC.PROF.SOMYOT SRISATIT, 86 pp.

In this research, a 12 1" x 1" NaI(Tl) detectors gamma-ray detection system was calibrated and tested for measurement of gamma-rays under various conditions. The detectors were connected to a 12-channel counter consisted of counters/rate meters, single channel analyzers and high voltage power supply units. The system was connected to a microcomputer via a serial port for controlling, parameter setting, and displaying/transferring of counting data. Moreover, the Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization) or TINT has developed a software allowing the user to perform parameter settings and to observe real-time counting data of all detectors graphically on the screen.

Firstly, the 12 detectors were calibrated by placing a 100 µCi (3.7 MBq) Cs-137 source at the center of a circle of 24 cm radius while the detectors were placed facing the source along the perimeter of the circle. The relative counting data obtained would be used to normalize the counting rate of each detector for the next measurements. Later, the detectors were arranged along the perimeters of a 60 cm x 60 cm square and a 60 cm x 90 cm rectangle while the source was placed at different positions within the rectangle and the square respectively. It was found that the obtained counting rates depended upon the distances between the source and the detectors in all cases. The results indicated that this system could be used to assess position of the gamma-ray source. Effects of detector collimation on the counting rate and on the accuracy of the source position assessment were also investigated. Finally, the detectors were arranged along the wall of a 2.6 m x 3 m room with 2 gamma-ray sources at different position.

Department	::..Nuclear Technology..	Student's Signature.....	<i>Tosaporn Passadu</i>
Field of Study	::..Nuclear Technology..	Advisor's Signature.....	<i>Nares Chankow</i>
Academic Year	::..2010.....	Co-advisor's Signature.....	<i>Somyot Srisatit</i>

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาและองค์ความรู้ต่าง ๆ ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านใน ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ในทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนในการให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณ คุณสมยศ ปทุมเมือง, คุณอำไพ สุขบำรุง, ดร.ชนาธิป ทิพยกุล, ดร.แสนสุข เวชชการัตน์, คุณธนรงค์ แสงจันทร์ และเจ้าหน้าที่หน่วยความปลอดภัย สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) ทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและคำแนะนำสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำหรับงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ คุณธนัญชัย พิรุณพันธ์ และ คุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ดี ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำหรับงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ทุนการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณครอบครัว พี่ๆ น้องๆ ที่คอยเป็นกำลังใจและให้คำปรึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎี .....	6
2.1 คุณสมบัติของรังสีแกมมา.....	6
2.2 การตรวจวัดรังสีแกมมา.....	10
2.3 หัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี (Scintillation Detectors).....	10
2.4 การตอบสนองของรังสีของหัววัดรังสีแกมมาขนาดต่างกัน.....	13
2.5 อัตรานับรังสีสุทธิ ( Net Counting Rate) .....	17
2.6 การหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (Efficiency of Detector) .....	19
2.7 การสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี.....	19
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการได้รับรังสีกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี.....	20
2.9 หลักการพื้นฐานของ Computed Tomography.....	21
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	22
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
3.2 ระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัด.....	25

บทที่	หน้า
3.3 การหาค่าศักดาไฟฟ้า (High Voltage) ที่เหมาะสมสำหรับหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว สำหรับวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน.....	26
3.4 การเปรียบเทียบจำนวนนับของหัววัดแต่ละหัวในระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัด.....	27
3.5 การศึกษาผลของความแรงรังสีจากต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงรังสีต่างกัน....	29
3.6 การออกแบบและการจัดระบบวัดรังสีแกมมา.....	29
3.7 หลักการในการสร้างภาพจากจำนวนนับ.....	30
3.8 วิธีการศึกษาการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี.....	31
3.9 วิธีการสร้างภาพ.....	34
3.9 วิธีการคำนวณค่าขั้นตอน interpolation ใน Microsoft Excel.....	34
4 ผลการวิจัย.....	33
4.1 ผลการหาค่าศักดาไฟฟ้าสำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ NaI (TI) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว.....	36
4.2 ผลการเปรียบเทียบจำนวนนับของหัววัดแต่ละหัวในระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัด.....	37
4.3 ผลการศึกษาความแรงรังสีจากต้นกำเนิดที่มีความแรงรังสีต่างกัน.....	38
4.4 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่วงกลมในตำแหน่งต่างๆ.....	38
4.5 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสในตำแหน่งต่างๆ.....	39
4.6 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในตำแหน่งต่างๆ.....	43
4.7 ผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี.....	48
4.8 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสในตำแหน่งต่างๆโดยใช้คอลลิเมเตอร์...	49
4.9 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในตำแหน่งต่างๆโดยใช้คอลลิเมเตอร์...	53
4.10 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่ห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.6 เมตร x 3 เมตรในตำแหน่ง ต่างๆ.....	58
4.11 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่ห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.6 เมตร x 3 เมตรในตำแหน่งต่างๆ โดยใช้ 2 ต้นกำเนิดรังสี.....	64
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	71



รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก .....	74
ภาคผนวก ก. ....	75
ภาคผนวก ข.....	78
ภาคผนวก ค.....	81
ภาคผนวก ง.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	86

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของซินทิลเลเตอร์ที่เหมาะสมในการวัดรังสีชนิดต่างๆ.....	13
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างแสดงค่าที่ได้จากการปรับเทียบจำนวนนับ (Normalization) ของทั้ง 12 หัววัด.....	28
ตารางที่ 4.1 จำนวนนับรังสีแกมมาที่ค่าศักดาไฟฟ้าต่างๆสำหรับรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60.....	36
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสำหรับนำไปคูณเพื่อใช้ในการปรับเทียบจำนวนนับของแต่ละหัววัด.	37
ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนนับของต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงแรงรังสีต่างๆ.....	38

## สารบัญญภาพ

ฎ

		หน้า
รูปที่ 2.1	การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคต์.....	7
รูปที่ 2.2	การเกิดปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....	8
รูปที่ 2.3	การเกิดแฟร์โพรดักชัน.....	9
รูปที่ 2.4	ระบบวัดรังสีแกมมาแบบหัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี.....	10
รูปที่ 2.5	หัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี.....	11
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้างของหัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี.....	11
รูปที่ 2.7	กลไกการทำงานของหัววัดแบบเรืองรังสี.....	12
รูปที่ 2.8	อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัด พิคที่ได้จากหัววัดขนาดเล็ก.....	14
รูปที่ 2.9	อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัด พิคที่ได้จากหัววัดขนาดใหญ่.....	14
รูปที่ 2.10	อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัด พิคที่ได้จากหัววัดรังสีแกมมาที่ใช้ งานจริง.....	15
รูปที่ 2.11	ค่า P/T Ration ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดต์แต่ละขนาดโดยมี คอลลิเมเตอร์.....	16
รูปที่ 2.12	ค่า P/T Ration ของหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดต์แต่ละขนาดโดยมีระยะห่างของ ต้นกำเนิดรังสี 10 เซนติเมตร.....	16
รูปที่ 2.13	ค่า P/T Ration ของหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดต์แต่ละขนาดโดยมีระยะห่างของ ต้นกำเนิดรังสี 50 เซนติเมตร.....	17
รูปที่ 2.14	ประสิทธิภาพการวัดของรังสีแกมมาสำหรับหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดต์ขนาด 0.05, 0.1, 1.0 และ 3.0 เซนติเมตร เมื่อความหนาหน้าต่างรับรังสีอะลูมิเนียม หนา 10 mg/cm <sup>2</sup> .....	17
รูปที่ 2.15	แสดงหลักการพื้นฐานของ Computed Tomography.....	21
รูปที่ 3.1	หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดต์ (ทัลเลียม) Ludlum Model 44-2 ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว.....	22
รูปที่ 3.2	เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว Ludlum Model 4612 12 ช่อง (12-detector radiation single channel analyzer (SCA)).....	23
รูปที่ 3.3	เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ Notebook Compaq Model 2100.....	23
รูปที่ 3.4	ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 .....	23
รูปที่ 3.5	ต้นกำเนิดรังสี Co-60.. .....	24

## สารบัญญภาพ

ฎ

	หน้า
รูปที่ 3.6	อุปกรณ์กำบังรังสี ( Collimator ) ชนิดตะกั่ว สำหรับหัววัดรังสี 12 หัว..... 24
รูปที่ 3.7	สาย BNC จำนวน 12 เส้น..... 24
รูปที่ 3.8	ภาพหน้าจอของโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผลของระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้หัววัดรังสี 12 หัววัด..... 25
รูปที่ 3.9	แผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบวัดรังสีแกมมาจำนวน 1 หัววัด..... 25
รูปที่ 3.10	กราฟพล็อตแสดงช่วงเลือกใช้ค่าศักดาไฟฟ้า (High Voltage) ที่เหมาะสม..... 27
รูปที่ 3.11	การจัดวางหัววัดรังสีแกมมาเป็นวงกลมเพื่อใช้ในการหาค่าปรับเทียบค่านับวัด (Normalization) ..... 28
รูปที่ 3.12	การจัดวางต้นกำเนิดรังสี Cs-137 กับหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ระยะห่าง 24 เซนติเมตร..... 29
รูปที่ 3.13	การจัดวางหัววัดรังสีแกมมาเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสบนโต๊ะทำงานเพื่อจำลองเปรียบเสมือนห้องเก็บสารรังสี..... 30
รูปที่ 3.14	การจัดวางหัววัดรังสีแกมมาเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนโต๊ะทำงานเพื่อจำลองเปรียบเสมือนห้องเก็บสารรังสี..... 30
รูปที่ 3.15	ตำแหน่งการรวมค่าของแต่ละหัววัดที่วัดได้จากจุดตัดของ 4 หัววัด..... 31
รูปที่ 3.16	หลักการรวมค่าของแต่ละหัววัดที่วัดได้จากจุดตัดของ 4 หัววัด..... 31
รูปที่ 3.17	การวัดรังสีโดยไม่มีคอลลิเมเตอร์..... 32
รูปที่ 3.18	การวัดรังสีโดยมีคอลลิเมเตอร์..... 32
รูปที่ 3.19	การใส่คอลลิเมเตอร์ให้กับหัววัดในพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส..... 32
รูปที่ 3.20	การใส่คอลลิเมเตอร์ให้กับหัววัดในพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า..... 33
รูปที่ 3.21	การไม่ใส่คอลลิเมเตอร์ให้กับหัววัดในพื้นที่สี่เหลี่ยมห้องขนาด 2.6x3 เมตร..... 33
รูปที่ 3.22	การไม่ใส่คอลลิเมเตอร์ให้กับหัววัดในพื้นที่สี่เหลี่ยมห้องขนาด 2.6 x 3 เมตร..... 33
รูปที่ 3.23	แสดงตัวอย่างค่าที่ได้เพื่อนำไปสร้างภาพในทอนสีต่างๆ..... 34
รูปที่ 3.24	ตัวอย่างแสดงตารางค่าที่ได้จากการ interpolation ระหว่างค่า 2 ค่าในโปรแกรม Microsoft Excel..... 35
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีแกมมาที่ค่าศักดาไฟฟ้าต่างๆสำหรับรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 และ Co-60..... 37

รูปที่ 4.2	เส้นสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรง 100 $\mu$ Ci (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในวงกลม.....	39
รูปที่ 4.3	การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....	40
รูปที่ 4.4	ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรง 100 $\mu$ Ci (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....	40
รูปที่ 4.5	ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรง 2 mCi (74 MBq) ในตำแหน่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....	42
รูปที่ 4.6	การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	43
รูปที่ 4.7	ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรง 100 $\mu$ Ci (3.7 MBq) ในตำแหน่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	44
รูปที่ 4.8	ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรง 2 mCi (74 MBq) ในตำแหน่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	46
รูปที่ 4.9	แสดงตำแหน่งของการวางต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu$ Ci (3.7 MBq) ในการศึกษาผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี.....	48
รูปที่ 4.10	ผลกราฟการไม่ใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสีของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu$ Ci (3.7 MBq) ในการศึกษาผลการใช้ คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี.....	48
รูปที่ 4.11	แสดงการใช้คอลลิเมเตอร์ ในการศึกษาผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี.....	49
รูปที่ 4.12	ผลกราฟการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสีของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu$ Ci (3.7 MBq) ในการศึกษาผลการใช้ คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี.....	49
รูปที่ 4.13	การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใส่คอลลิเมเตอร์ให้กับหัววัด.....	50
รูปที่ 4.14	ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu$ Ci (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใส่คอลลิเมเตอร์.....	50

	หน้า
รูปที่ 4.15 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความเข้มรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใส่คอลลิมิเตอร์.....	52
รูปที่ 4.16 การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใส่คอลลิมิเตอร์ให้กับหัววัด.....	54
รูปที่ 4.17 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิดCs-137 ความเข้มรังสี 100 µCi (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใส่คอลลิมิเตอร์.....	54
รูปที่ 4.18 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความเข้มรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใส่คอลลิมิเตอร์.....	56
รูปที่ 4.19 การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้องพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.6 x 3 เมตร.....	59
รูปที่ 4.20 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความเข้มรังสี 100 µCi (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง.....	60
รูปที่ 4.21 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความเข้มรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง.....	61
รูปที่ 4.22 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความเข้มรังสี 100 µCi (3.7 MBq) โดยใช้คอลลิมิเตอร์ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง.....	62
รูปที่ 4.23 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความเข้มรังสี 2 mCi (74 MBq) โดยใช้คอลลิมิเตอร์ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง.....	63
รูปที่ 4.24 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความเข้มรังสี 100 µCi (3.7 MBq) จำนวน 2 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกัน ภายในห้องโดยไม่ใช้คอลลิมิเตอร์.....	65
รูปที่ 4.25 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความเข้มรังสี 100 µCi (3.7 MBq) จำนวน 2 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกัน ภายในห้องโดยใช้คอลลิมิเตอร์.....	66
รูปที่ 4.26 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความเข้มรังสี 2 mCi (74 MBq) และ Cs-137 ความเข้มรังสี 100 µCi (3.7 MBq) จำนวนอย่างละ 1 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกัน ภายในห้องโดยไม่ใช้คอลลิมิเตอร์.....	67



รูปที่ 4.27 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงแรังสี 2 mCi (74 MBq) และ Cs-137 ความแรงแรังสี 100  $\mu$ Ci (3.7 MBq) จำนวนอย่างละ 1 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันในตำแหน่งที่ต่างกัน ภายในห้องโดยใช้คอลลิเมเตอร์..... 68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหาและความสำคัญของปัญหา

การนำรังสีมาใช้ประโยชน์มีกันอย่างแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรมทางการแพทย์ การสำรวจทรัพยากร การควบคุมความมั่นคง ความปลอดภัย รวมถึงการประยุกต์ใช้วิเคราะห์โบราณวัตถุ รังสีที่มนุษย์นำมาใช้เป็นประโยชน์ ได้แก่

- ก. รังสีแอลฟาหรืออนุภาคแอลฟา (Alpha Particle)
- ข. รังสีเบต้าหรืออนุภาคเบต้า (Beta Particle)
- ค. รังสีนิวตรอนหรืออนุภาคนิวตรอน (Neutron Particle)
- ง. รังสีเอกซ์ (X-Rays)
- จ. รังสีแกมมา (Gamma-Rays)

ในงานเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยนั้น มีการควบคุมและวิธีการที่หลากหลายรวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยซึ่งมีประสิทธิภาพมากในการใช้งาน การรักษาความปลอดภัยนั้นยังแยกออกได้หลายประเภท เช่น ความปลอดภัยทางด้านทรัพย์สิน ความปลอดภัยทางด้านชีวิตมนุษย์ การรักษาความปลอดภัยทางด้านทรัพย์สิน เช่น การรักษาของมีค่า การรักษาวัสดุอันตราย ทั้งนี้รวมถึงวัสดุทางด้านนิวเคลียร์ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นวัสดุที่ให้ประโยชน์เป็นอย่างมาก และก็อาจจะให้โทษได้อย่างมากเช่นกัน หากไม่มีการดูแลรักษาที่ดีพอ นั่นคืออาจเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ได้ การดูแลรักษาวัสดุทางด้านนิวเคลียร์นั้น จะมีข้อจำกัดหลายอย่างซึ่งต้องอาศัยความรู้เฉพาะด้านทางนิวเคลียร์ มาออกแบบร่วมกับความรู้แขนงอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรรมโยธา ทำให้ความรู้ทางด้านเทคนิคเชิงนิวเคลียร์นั้นได้มีความสำคัญอย่างยิ่งเกี่ยวกับระบบรักษาความปลอดภัยในสถานปฏิบัติการหรือสถานที่เก็บรักษาวัสดุนิวเคลียร์ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเกี่ยวข้องกับระบบรักษาความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการนิวเคลียร์หรือสถานที่เก็บรักษาวัสดุนิวเคลียร์ โดยการจัดระบบวัดรังสีที่ใช้หัววัดรังสีหลายหัววัดมาวัดรังสีที่มาจากสารรังสีที่ถูกนำเข้ามาในสถานที่หรือมีการเคลื่อนย้ายสารรังสี ผู้ใช้งานสามารถทราบถึงการเคลื่อนไหวของสารรังสีนั้นได้จากคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องไปดู ณ สถานที่จริง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัดสำหรับใช้ในการกำหนดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีพร้อมวิธีการแสดงผล

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีของระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้หัววัดรังสี ชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) [ NaI(Tl ) ] หลายหัววัด

1.3.2 พัฒนาวิธีการแปรผลและแสดงผลของระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัด

1.3.3 ศึกษาทดลองเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการกำหนดตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสี เช่น

- ความแรงของต้นกำเนิดรังสี
- ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสี
- ระยะห่างและการจัดวางหัววัดรังสี
- การใช้คออลลิเมเตอร์
- พลังงานของรังสีแกมมา เป็นต้น

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัดสำหรับใช้ในการกำหนดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีพร้อมวิธีการแสดงผลเพื่อประยุกต์ใช้ในระบบรักษาความปลอดภัย

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาและทดลองระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัดและการย้ายตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสี

1.4.3 ออกแบบวิธีการแปรผลและแสดงผลในการกำหนดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสี

1.4.4 ทดสอบระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัดพร้อมแสดงผลที่พัฒนาขึ้นใน  
ห้องปฏิบัติการ

1.4.5 ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นกับการปฏิบัติงานจริง

1.4.6 สรุป วิเคราะห์ผลที่ได้จากงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ปี พ.ศ.2549 อรรถพร ภัทรสุมันต์ และ กิตติศักดิ์ ชัยสวรรค์ ได้พัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้วยการนำระบบตรวจวัดรังสีแกมมา ไมโครคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ มาพัฒนาเป็นระบบเฝ้าระวังทางรังสีที่ประกอบด้วยสถานีลูกข่ายและสถานีแม่ข่าย เฝ้าระวังรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมโดยสถานีลูกข่ายฯ ทำหน้าที่ตรวจวัด วิเคราะห์ข้อมูลตรวจวัด รายงานผลการตรวจวัดและแจ้งเตือนเมื่อมีจำนวนนับรังสีแกมมาเกินเกณฑ์กำหนด ส่วนสถานีแม่ข่ายฯ ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางรับรายงานผลการตรวจวัดและการแจ้งเตือนเมื่อมีจำนวน นับรังสีแกมมาเกินเกณฑ์กำหนดจากสถานีลูกข่ายฯ โดยมีการรับส่งข้อมูลในรูปแบบข้อความสั้นผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถรายงานผลการตรวจวัด แจ้งเตือนเมื่อมีจำนวนนับรังสีแกมมาเกินเกณฑ์กำหนดและจัดเก็บข้อมูลลงใน ไมโครคอมพิวเตอร์ได้อย่างสะดวกและถูกต้อง เป็นการประยุกต์ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีราคาถูกลงและมีค่าใช้จ่ายต่ำในการ รับส่งข้อมูล

1.6.2 ปี พ.ศ. 2549 สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เดโช ทองอร่าม และ ธีระยุทธ เพลิดพิ้งงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็ก โดยอาศัยสัดส่วนโครงโมดูลตามมาตรฐานยูโรการ์ดเฟรม (Eurocard Frame) เป็นแนวทางและได้ออกแบบโมดูลบรรจุวงจรมีขนาดความกว้าง 4.5 และ 9.0 ซม. สำหรับประกอบชุดวงจรมินิเลททรอนิกส์ที่จำเป็น ในการจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวมและแบบนับแยกเฉพาะพลังงาน ประกอบด้วยโมดูลวงจรมแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ วงจรมแหล่งจ่ายไบอัสศักดาสูง วงจรมขยายสัญญาณพัลส์ วงจรมวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (SCA) วงจรมับรังสี วงจรมตั้งเวลา วงจรมตัดสัญญาณ/เรตมิเตอร์ และวงจรมเชื่อมโยงสัญญาณกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อถ่ายโอนข้อมูล ระบบวัดรังสีแบบโมดูลที่พัฒนาขึ้นออกแบบและสร้างโดยเลือกวัสดุพร้อมอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศเป็นหลักเพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษา

ผลการทดลองจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวมพบว่าสามารถนับรังสีที่อัตรานับสูงสุด  $4.5 \times 10^6$  cps แสดงค่านับวัดสูงสุดที่  $10^6-1$  ครั้ง ตั้งเวลานับรังสีได้ตั้งแต่ 1 วินาที - 99 นาที และสามารถแสดงค่าเฉลี่ยของการนับรังสีด้วยเรตมิเตอร์ได้ในย่าน  $100-10^5$  cps ในขณะที่ระบบแยกนับเฉพาะพลังงานนั้นผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล LLD และ  $\Delta E$  ของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวพบว่าให้ค่า  $R^2 = 0.999$  และ  $0.999$  ตามลำดับ และจากการทดลองวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานด้วยหัววัดรังสี NaI(Tl) พบว่าให้ผลเป็นที่พอใจสำหรับการใช้งานด้านการเรียนการสอนและงานวิจัยพื้นฐาน

1.6.3 ปี พ.ศ. 2545 รัชชัย สุमितร, นเรศร์ จันทน์ขาว และจิรศักดิ์ จงจิตวิมล ได้พัฒนาและทดสอบระบบวัดระดับของวัสดุผง โดยใช้รังสีแกมมาพลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาและกระเจิงกลับของรังสีแกมมา เพื่อวัดระดับของทรายแห้งในถังเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร การทดลองวัดระดับได้ทำทั้งในกรณีที่เติมทรายและถ่ายทรายออก

ต้นกำเนิดรังสีซีซีเซียม-137 ความแรงแรังสี 3.6 มิลลิวูรี่ ( 133 เมกะเบคเคอเรล) พร้อมทั้งคอลลิเมเตอร์ ถูกติดตั้งไว้ข้างนอกถังที่ระดับสูง 48 เซนติเมตร และใช้หัววัดรังสีซีซีเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 2"x2" พร้อมทั้งคอลลิเมเตอร์ ติดตั้งไว้ที่ด้านตรงข้ามเพื่อวัดรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านออกมา ผลการวิจัยพบว่าความเข้มของรังสีแกมมาทะลุผ่านเป็นปฏิภาคผกผันกับความหนาของทรายระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสี เมื่อติดตั้งหัววัดรังสีซีซีเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) เพิ่มอีกหนึ่งหัววัด เพื่อวัดรังสีแกมมาทะลุผ่านที่อีกตำแหน่งหนึ่งหรือเพื่อวัดรังสีแกมมากระเจิงกลับ ทำให้สามารถทำนายลักษณะผิวหน้าของทรายในกรณีที่เติมและถ่ายออกได้

1.6.4 Dale N. ANDERSON, David C. STROMSWOLD, Sharon C. WUNSCHER, Anthony J. PEURUNG, and Randy R. HANSEN Detection and Location of Gamma-Ray Sources With a Modulating Coded Mask บทความนี้นำเสนอหัวข้อการตรวจสอบและค้นหาแหล่งที่ซ่อนวัสดุนิวเคลียร์โดยการวิเคราะห์ข้อมูลตรวจจับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีการมอดูเลตโดยใช้หน้ากากรหัสสามารถตรวจพบที่ระยะทางหลายเมตรในเชิงพื้นที่ของวัสดุป้องกัน (เช่น สลิมเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นจากแผ่นตะกั่วหรือทังสเตน) วางไว้ที่ด้านหน้าของอาร์เรย์แพคเตอร์ตรวจจับการกระจายรังสี ระบบหน้ากากรหัสให้ตรวจสอบที่ดีขึ้นผ่านอัตราส่วนสัญญาณรบกวนที่เพิ่มขึ้น ในสถานการณ์การค้นหาเพื่อให้ได้การเปรียบเทียบประมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแหล่งที่มาและพื้นหลังสามารถตรวจสอบแหล่งพลังงานสูงรังสีในเวลาจริงสถานที่ตั้งของ

แหล่งที่มาที่แม่นยำการทดลองนำเสนอตัวอย่างการใช้หลักแนวคิดของรหัสของระบบหน้ากาก 4 x 4 อารีย์ของเครื่องตรวจจับ NaI กับที่ที่เป็นแหล่ง  $\gamma$  - ray ในเขตกว้าง 4 เมตร สูง 3 เมตร (ประมาณขนาดของแผงด้านข้างของรถบรรทุกขนส่งสินค้าขนาดเล็ก) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าได้ตำแหน่งที่ถูกต้องของแหล่งที่มาตรวจทางรังสีอาจจะกำหนดในอย่างน้อย 100 วินาทีเมื่อแหล่งที่มาคือ 6 เมตรจากเครื่องตรวจจับ



## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 คุณสมบัติของรังสีแกมมา[2,3]

รังสีแกมมาเป็นรังสีชนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) ไม่มีประจุ ไม่มีมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้า มีความเร็วเท่ากับแสง พลังงานของรังสีแกมมาจะมี ความสัมพันธ์กับความถี่ ดังต่อไปนี้

$$E = h\nu \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$E = \frac{1.240 \times 10^{-6}}{\lambda} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

เมื่อ  $E$  คือ พลังงานของรังสีแกมมา (eV)

$h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant =  $4.135 \times 10^{-15}$  eV.s)

$\nu$  คือ ความถี่ของคลื่น ( $s^{-1}$ )

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น (m)

เมื่อนิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนแปลง หลังจากการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ นิวเคลียสจะอยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited State) การลดระดับพลังงานลงมาอยู่ในสถานะพื้น (Ground State) จะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในรูปรังสีแกมมา ถ้าให้สถานะเริ่มต้น นิวเคลียสมีระดับพลังงาน  $E_i$  (สถานะกระตุ้น) และ  $E_f$  เป็นสถานะสุดท้าย ถ้าสถานะสุดท้าย เป็นสถานะพื้น การลดระดับพลังงานจะสิ้นสุด แต่ถ้าสถานะสุดท้ายยังเป็นสถานะกระตุ้นอยู่ การลดระดับพลังงานก็จะเกิดขึ้นอีกจนกระทั่งเป็นสถานะพื้น พลังงานของรังสีแกมมาที่ถูก ปลดปล่อยออกมาจะเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของสถานะเริ่มต้นกับพลังงานของสถานะ สุดท้าย ดังนี้

$$h\nu = \Delta E = E_i - E_f \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

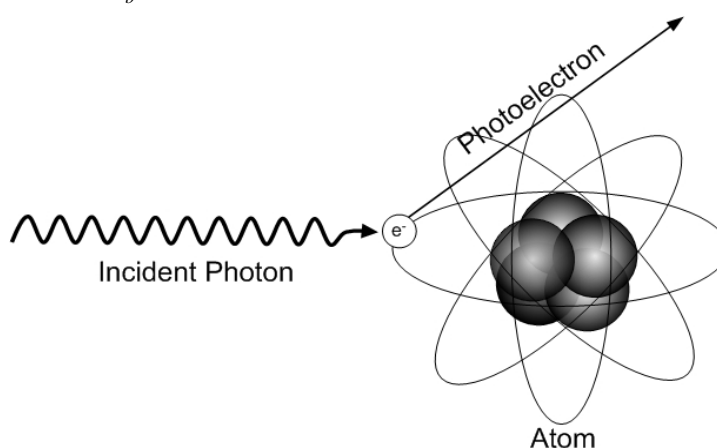
เนื่องจากรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแผ่ออกมาในรูปของโฟตอนหรือควอนตัมของพลังงานที่ไม่มีประจุมวลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง ดังนั้นการวัดพลังงานของรังสีแกมมาจึงต้องอาศัยอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับวัสดุ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป

### 2.1.1 ปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ (Photoelectric Effect) [2,3]

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ เกิดจากรังสีแกมมาพลังงานต่ำแต่มากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงโคจรเมื่อรังสีแกมมาเคลื่อนเข้าชนอะตอมจะถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้อิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปและอิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนอยู่ในวงโคจรด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวจำนวนหนึ่ง ดังนั้น พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจึงมีค่าเท่ากับพลังงานของรังสีแกมมาลบด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน ดังสมการ (2.4)

$$E_e = E_\gamma - E_b \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

- เมื่อ  $E_e$  คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอม  
 $E_\gamma$  คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่เคลื่อนเข้าชนอะตอม  
 $E_b$  คือ พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.1 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์

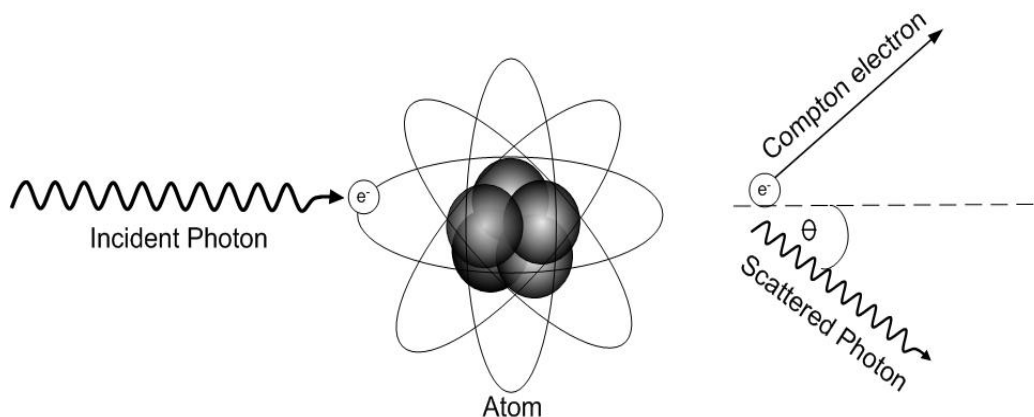
### 2.1.2 ปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (The Compton Effect) [2,3]

เกิดจากการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่ล้อมรอบนิวเคลียสของอะตอมตัวกลางแต่การชนทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานบางส่วนจากโฟตอนและกระเจิงออกจากวงโคจรส่วนโฟตอนที่มีพลังงานเหลืออยู่จะกระเจิงในทิศทางทำมุม  $\theta$  โดยอิเล็กตรอนที่กระเจิงออกมาจากวงโคจรเรียกว่า “รีคอยล์อิเล็กตรอน (Recoil electron)” ได้รับพลังงาน ดังสมการที่ 2.5 และ สมการ ที่ 2.6

$$\text{โดยที่} \quad E_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{โดยที่} \quad E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (1 - \cos \theta) \frac{E}{mc^2}} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

เมื่อ  $E_\gamma =$  พลังงานของโฟตอน  
 $E'_\gamma =$  พลังงานของโฟตอนที่กระเจิงออกมา  
 $\theta =$  มุมที่โฟตอนกระเจิงออกจากแนวเคลื่อนที่



รูปที่ 2.2 การเกิดปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน

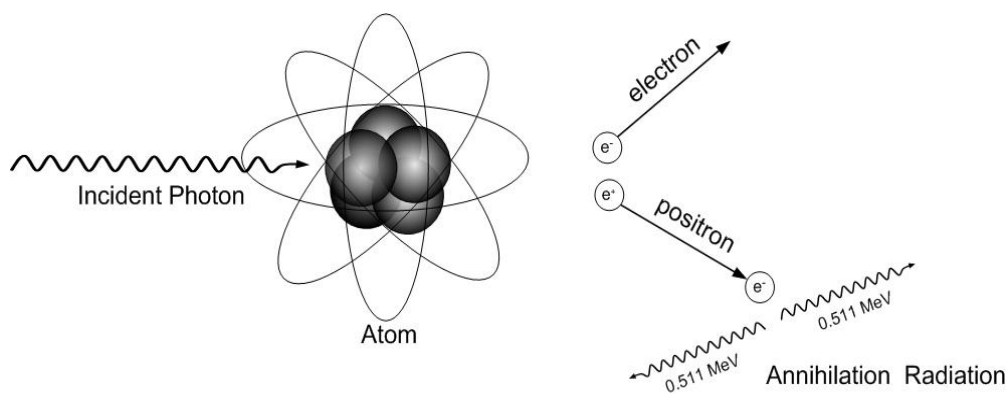
### 2.1.3 การเกิดเพอร์โพรดักชัน (Pair Production) [2,3]

เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับนิวเคลียสในกรณีที่โฟตอนมีพลังงานมากกว่า 1.022 MeV จะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณชั้นโคจรริเล็กตรอนและถ่ายโอนพลังงานบริเวณใกล้เคียง พลังงานของโฟตอนจะทำให้เกิดแถบพลังงานบริเวณสนามประจุคู่อิเล็กตรอนที่เกิดในแถบ พลังงานที่มีการรับพลังงานเพิ่มจะหลุดจากแถบพลังงานเกิดเป็นอิเล็กตรอนประจุลบและ อิเล็กตรอนประจวกคู่หนึ่งจากนั้นอิเล็กตรอนประจวกจะจับอิเล็กตรอนอิสระในบริเวณใกล้เคียง แล้วสลายมวลทันทีทันใด (Annihilation) กลายเป็นรังสีแกมมา 2 ตัว ปลดปล่อยออกมาในทิศทาง ทำมุม 180 องศา โดยรังสีแกมมาแต่ละตัวมีพลังงานจากการสลายมวล 0.511 MeV อันตรกิริยา นี้โฟตอนสูญเสียพลังงานไปดังสมการที่ 2.7 และ สมการที่ 2.8

$$E_{e^-} + E_{e^+} = E_{\gamma} - (mc^2)_{e^-} - (mc^2)_{e^+} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

โดยที่  $E_{e^-} + E_{e^+} = E_{\gamma} - 1.022\text{MeV} \quad \dots\dots\dots(2.8)$

เมื่อ  $m =$  มวลของอิเล็กตรอน หรือโพสิตรอน  
 $c =$  ความเร็วแสง



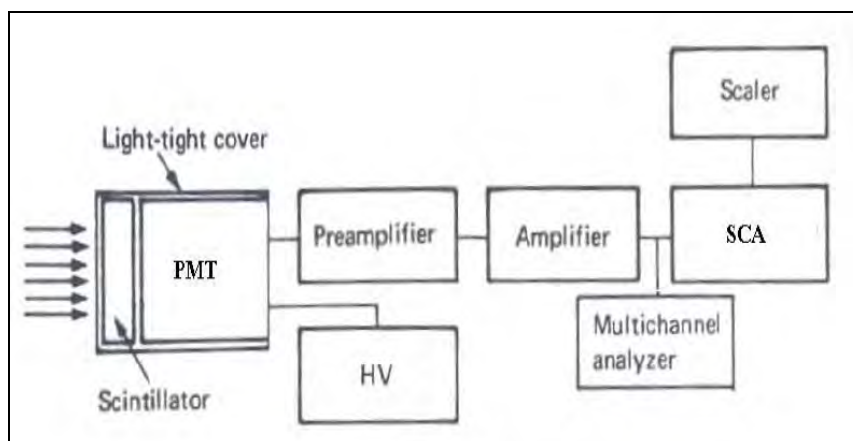
รูปที่ 2.3 การเกิดเพอร์โพรดักชัน

## 2.2 การตรวจวัดรังสีแกมมา[12,13]

ในการตรวจวัดรังสีชนิดต่างๆ วิธีการที่ใช้จะอาศัยคุณสมบัติการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างรังสีกับวัตถุผลที่เกิดขึ้นก็คืออะตอมเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) หรือกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น (Excitation) หัววัดที่ใช้หลักการ การแตกตัวเป็นไอออน ได้แก่ หัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ (Gas-filled Detectors) และ หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Detectors) ส่วนหัววัดที่ใช้หลักการเรืองรังสี ได้แก่ หัววัดรังสีแบบเรืองรังสี (Scintillation Detectors) สัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสีจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป

## 2.3 หัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี (Scintillation Detector) [2,3,11,12]

การทำงานของหัววัดประเภทนี้ อาศัยหลักการเกิดการตื่นตัว (Excitation) ของโมเลกุล หรือทำให้ไอเล็กตรอนของอะตอมของผลึกของสารที่ใช้สร้างหัววัดเปลี่ยนขึ้นไปอยู่ในวงที่สูงขึ้นเมื่อมีพลังงานตกกระทบจากรังสี



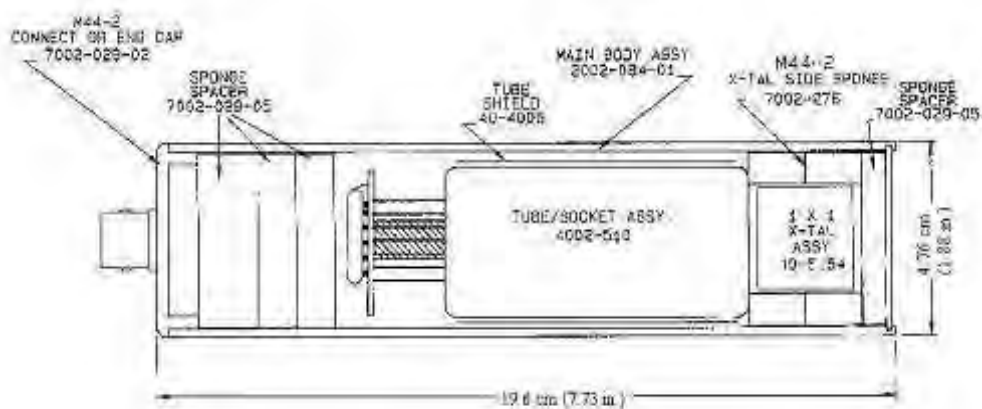
รูปที่ 2.4 ระบบวัดรังสีแกมมาแบบหัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี[3]

หัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี เป็นหัววัดรังสีที่มีกระบวนการวัดรังสีทางอ้อม มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนที่รับอันตรกิริยาและเกิดประกายแสง (Scintillation) ต่อเชื่อมกับส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนประกายแสงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และทวีปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งห่อหุ้มไว้ด้วยภาชนะปิดป้องกันแสงสว่างจากภายนอก บริเวณหลอดทิวทูนอิเล็กทรอนิกส์ (PMT)

จะห่อหุ้มด้วยแผ่นกั้นสนามแม่เหล็ก (mu-metal) เพื่อป้องกันการรบกวนสนามแม่เหล็กซึ่งจะทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนจากบริเวณไดโนด (Dynode) มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.6



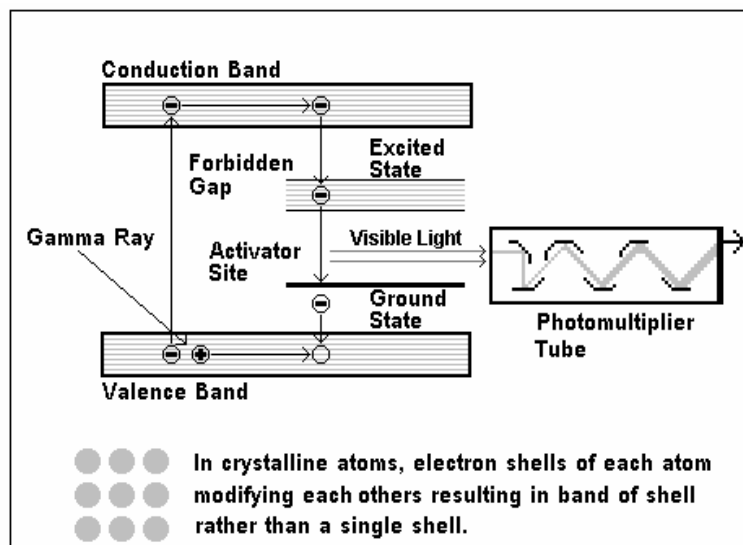
รูปที่ 2.5 หัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของหัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี

หลอดขยายแสงรับแสงที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนให้เป็นอิเล็กตรอนที่ Photocathode อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเรียกว่าโฟโตอิเล็กตรอนถูกเร่งความเร็วไปสู่ขั้วไฟฟ้า Dynode อันต่อไปที่มีความต่างศักย์มากขึ้น ในการวิ่งไปชนกับ Dynode แต่ครั้งมีอิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยเพิ่มจำนวนขึ้นเนื่องจากพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่วิ่งไปชน จำนวนอิเล็กตรอนสุดท้ายทั้งหมดถูกจับไว้ที่ขั้ว Anode จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของแสงที่เกิดที่ตัวสารเรืองแสง และดังนั้นจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดพลังงานรังสีที่ตกกระทบ





รูปที่ 2.7 กลไกการทำงานของหัววัดแบบเรืองรังสี

### 2.3.1 หัววัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) [2,3,11,12]

โซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) นั้นใช้วัดรังสีแกมมา โดยผลิตอยู่ในรูปของผลึก เดี่ยวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดถึง 75 ซม. และมีความหนา 25 ซม. มีความหนาแน่นประมาณ  $3.67 \times 10^3$  กก./เมตร<sup>3</sup> และมีเลขอะตอมสูงประกอบกับปริมาตรขนาดใหญ่ ทำให้มีประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาสูงเมื่อทำเป็นหัววัด ถึงแม้ว่าหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำจะมีการจำแนกพลังงานดีกว่า แต่ในการวัดรังสีแกมมาที่ต้องการหัววัดรังสีปริมาตรขนาดใหญ่ยังไม่มีหัววัดชนิดใด มาแทน NaI(Tl) ได้ สเปกตรัมของแสงที่ปล่อยออกมาจาก NaI(Tl) นั้นจะมียอดพีคที่ 410 นาโนเมตร (nm) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนแสงมีค่าสูงสุดในกลุ่มของตัวเปล่งแสงวับทั้งหมด อย่างไรก็ตาม NaI(Tl) ก็ยังมีข้อเสียอยู่คือ แตกหักง่าย ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความร้อน และเป็นตัวที่ดูดความชื้นได้ดีมาก และ NaI(Tl) มีโพแทสเซียมผสมอยู่จึงทำให้เป็นตัวกำเนิดรังสีกัมมาหลังของ โปแตสเซียม ( $^{40}\text{K}$ )

### 2.3.2 หัววัดแบบเรืองรังสีชนิดอื่นๆ [2,3,11,12]

- หัววัดรังสีแบบซิงค์ซัลไฟด์ ZnS(Ag) โดย ZnS จะเป็นสารเรืองรังสีและใช้เงิน (Ag) เป็นแอคติเวเตอร์ ซึ่ง ZnS(Ag) จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ หัววัดนี้ใช้วัดเฉพาะรังสีแอลฟาและอนุภาคหนัก
- CsI(Tl) สำหรับใช้วัดพลังงานรังสีแกมมา ประสิทธิภาพน้อยกว่า NaI(Tl) แต่มีความสามารถในการแยกแยะพลังงาน (energy resolution) ดีกว่า NaI(Tl) เล็กน้อย

- LiI(Eu) สำหรับใช้วัดนิวตรอน
- CaF<sub>2</sub>(Eu) สำหรับใช้วัดอนุภาคบีตา รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมาพลังงานต่ำ
- Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub> ใช้วัดรังสีแกมมาพลังงานสูงแต่มีความสามารถในการแยกแยะพลังงานไม่ดี

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของซินทิลเลเตอร์หรือสารเรืองแสงที่เหมาะสมในการวัดรังสีชนิดต่างๆ[3,8]

Radiation Detected	Preferred Scintillator	State	Form	Range of Available Dimensions	Special Applications
Alpha	ZnS(Ag)	powder	thin layer	up to 20 $\mu$ m thick any area	
Beta	Anthracence	solid	crystal block	3-6 mm thick up to 5 cm long	
	Plastic	solid	thin disk	up to 15 cm diam	
	Toluene + p terphenyl, Diphenyl	liquid	solution		internal $\beta$ counting (low energy)
X-ray	Nal(Tl)	solid	thin cylinder	3 mm x 5 cm	X-ray fluorescence Dosimetry
	Plastic	solid	sheet	3 mm x 5 cm	
Gamma	Nal(Tl)	solid	cylinder	2 cm - 15 cm diam	Portable detectors Spectrometry
			well	2 cm - 15 cm diam	Small sample, 4 $\pi$ geometry
	Plastic	solid	cylinder	1 cm - 40 cm diam	Mosaic detector high energy
	Toluene + p terphenyl	liquid	large volume, annular		whole-body counting
Neutrons	LiI(Eu)	solid	cylinder	2-5 cm diam	neutron spectrometry
	ZnS(Ag) in Lucite	solid	disk	~5-10 cm diam	fast neutrons (Hornyak detector)
Neutrinos	Loaded liquid	liquid	tank		

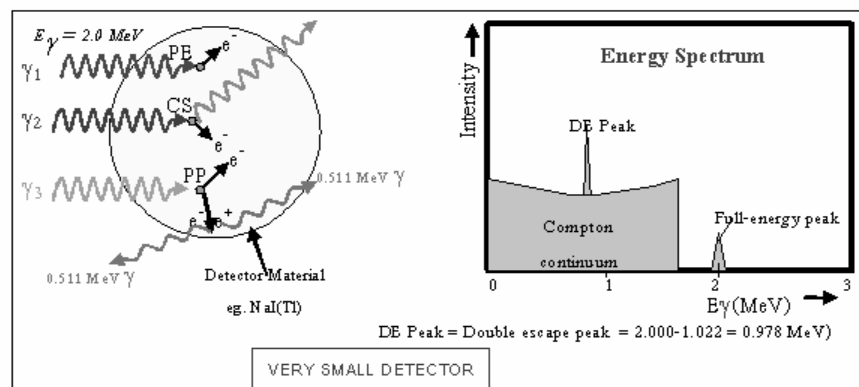
## 2.4 การตอบสนองของรังสีแกมมาของหัววัดรังสีแกมมาขนาดต่างกัน[2,3,13]

การตอบสนองของหัววัดรังสีแกมมา ขึ้นอยู่กับเลขอะตอมของสารเรืองรังสี คุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีแกมมาไปเป็นแสง ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแสงที่เกิดขึ้นไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า และขนาดของหัววัดรังสี สำหรับหัววัดรังสีชนิดเดียวกันที่มีองค์ประกอบเหมือนกัน ประสิทธิภาพในการวัดรังสีและลักษณะของสเปกตรัมรังสีแกมมาขึ้นอยู่กับขนาดของผลึกหรือสารเรืองรังสีเป็นสำคัญ

### 2.4.1 หัววัดขนาดเล็ก (Small Detector) [2,3,13]

หัววัดรังสีขนาดเล็กมีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับรังสีน้อยกว่าหัววัดขนาดใหญ่และเมื่อเกิดอันตรกิริยาก็มีโอกาสที่รังสีจะถ่ายเทพลังงานให้หมดจากอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริก เอฟเฟกต์เท่านั้น ส่วนการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันหลายครั้งจนสามารถดูดกลืนพลังงานได้หมดมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก เนื่องจากหัววัดรังสีมีขนาดเล็ก เมื่อเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

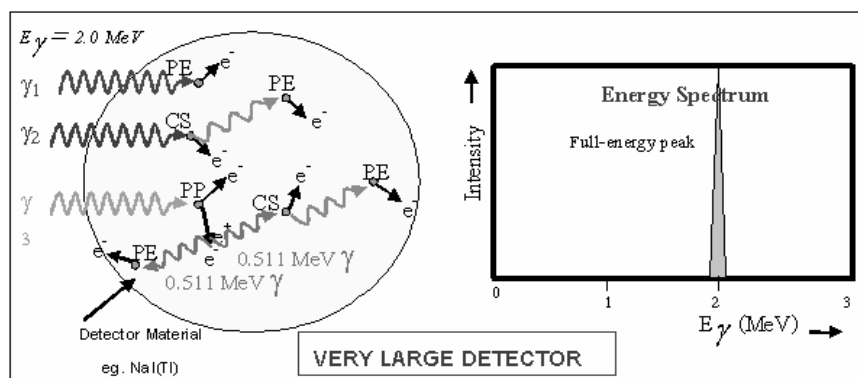
ครั้งเดียวรังสีแกมมาที่มีพลังงานเหลืออยู่จะกระเจิงออกไปนอกหัววัดรังสีได้ง่าย ส่วนของ full-energy peak จึงต่ำและส่วนของ Compton Continuum สูง ดังรูปที่ 2.8 และหากรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงกว่า 1.022 MeV จะได้พลังงานดูดกลืนในหัววัดรังสีเฉพาะพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนกับโพสิตรอนเท่านั้น เพราะรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ที่เกิดแอนนิฮิเลชันของโพสิตรอนกับอิเล็กตรอนมีโอกาสที่จะถูกดูดกลืนน้อย จึงปรากฏเป็นพีคพลังงานที่มีค่าเท่ากับพลังงานรังสีแกมมาลบด้วย 1.022 MeV ซึ่งเรียกว่า double escape peak



รูปที่ 2.8 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัด พีคที่ได้จากหัววัดขนาดเล็ก

### 2.4.2 หัววัดขนาดใหญ่มาก (Very Large Detector) [2,3,13]

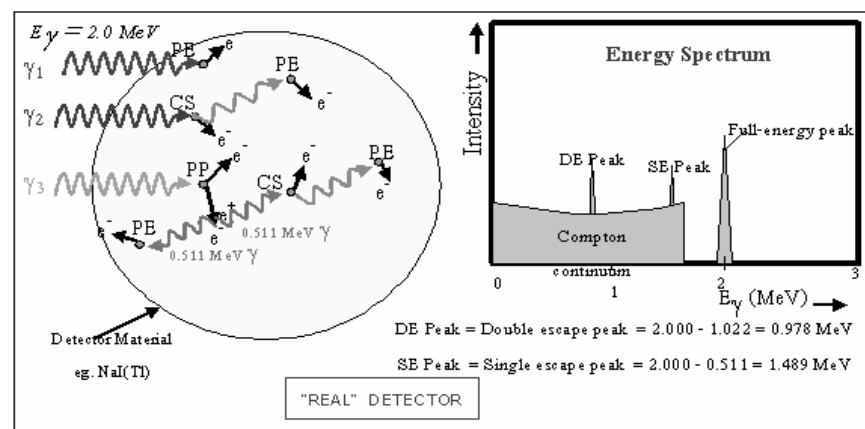
เมื่อหัววัดรังสีมีขนาดใหญ่มาก พลังงานทั้งหมดของรังสีแกมมาจะถูกดูดกลืนหมดในหัววัดรังสีแกมมาโดยการเกิดโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ การกระเจิงแบบคอมป์ตันหนึ่งหรือหลายครั้งแล้วจบลงด้วยโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ และการเกิดแพริโปรดักชันแล้วรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ถูกดูดกลืนหมดสเปกตรัมพลังงานจึงมีพีคเดียวซึ่งมีพลังงานเท่ากับรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัดรังสีไม่มีส่วนของคอมป์ตันเลย



รูปที่ 2.9 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัด พีคที่ได้จากหัววัดขนาดใหญ่

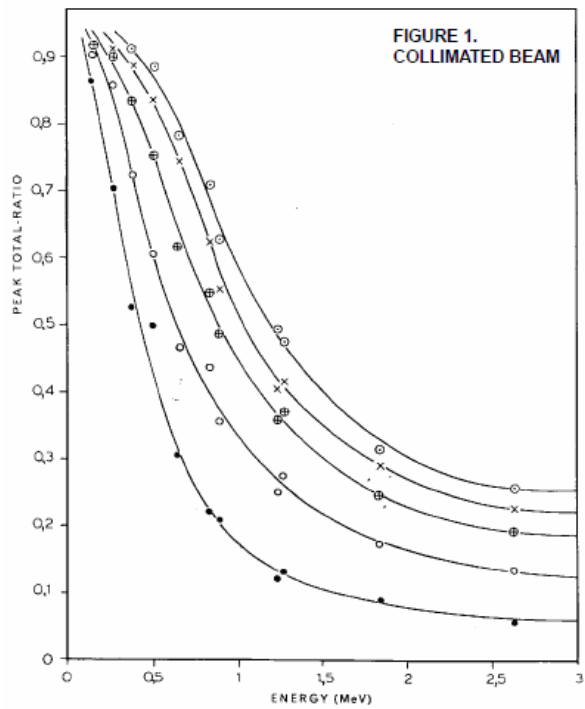
### 2.4.3 หัววัดรังสีที่ใช้งานจริง (real detector) [2,3,13]

สำหรับหัววัดรังสีที่ใช้งานกันทั่วไป full-energy peak สามารถเกิดจากการเกิดโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ และการกระเจิงแบบคอมป์ตันหนึ่งหรือหลายครั้งแล้วจบลงด้วยเกิดโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ รวมทั้งแฟร์โบรคชันแล้วรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ทั้งสองตัวถูกดูดกลืนในหัววัดรังสีหมด อย่างไรก็ตามเนื่องจากหัววัดรังสีไม่ได้มีขนาดใหญ่มากรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ที่เกิดขึ้นอาจหนีออกไปจากหัววัดรังสีได้ 1 หรือ 2 ตัว ก็เป็นไปได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับเกิดการเกิดแอนนิฮิเลชันว่าเกิดบริเวณใดของผลึกหัววัดรังสี จึงมีพีคพลังงานที่หายไปพลังงาน 0.511 MeV (เรียกว่า simple escape peak) หรือหายไป 1.022 MeV (เรียกว่า double escape peak) ปรากฏในสเปกตรัม ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ส่วนจะสัดส่วนของพีคทั้งสองเท่าใด เมื่อเทียบกับ full-energy peak ขึ้นอยู่กับขนาดหัววัดรังสี และพลังงานของรังสี รูปที่ 2.11-2.13 แสดงค่าอัตราส่วนของ full-energy peak ต่อความเข้มรังสีทั้งหมดในสเปกตรัม ซึ่งเรียกว่า “Peak to total ratio” หรือ “P/T Ratio” กับพลังงานของรังสีแกมมาของหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) ขนาดต่างๆกันที่มีคอลลิเมเตอร์และไม่มีคอลลิเมเตอร์ที่ระยะห่าง 10 และ 50 เซนติเมตร



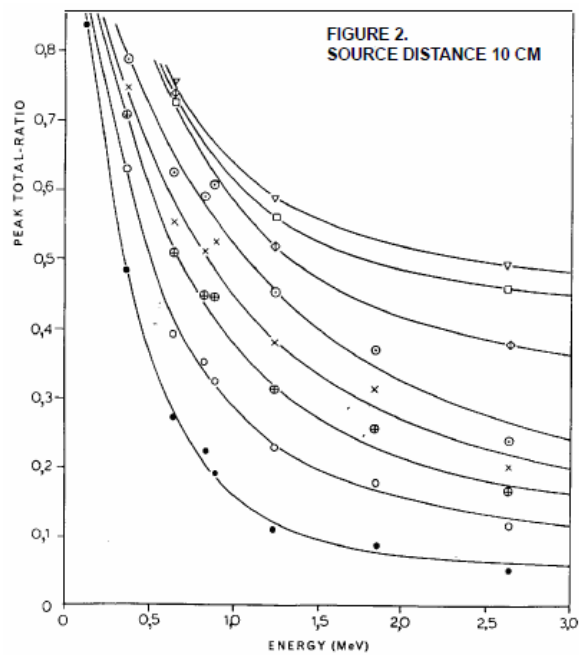
รูปที่ 2.10 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัดพีคที่ได้จากหัววัดรังสีแกมมาที่ใช้งานจริง

CRYSTAL DIMENSIONS KEY	
DIA. x HGT.	
⊙	5" x 5"
×	4" x 4"
⊕	3" x 3"
○	2" x 2"
●	1" x 1"



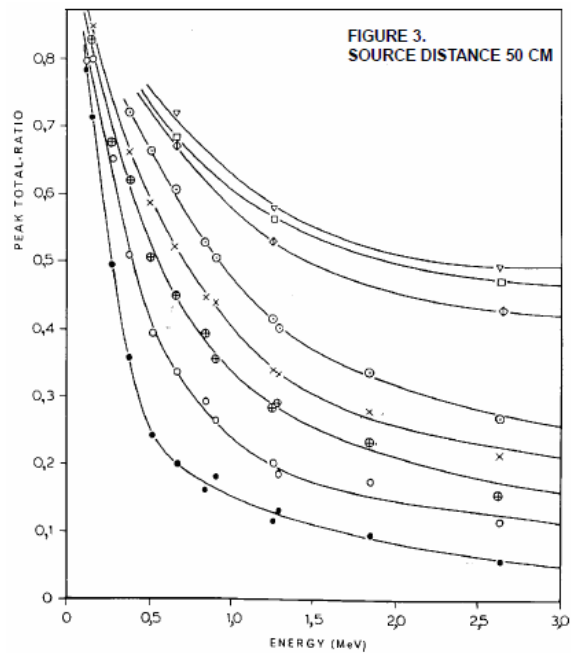
รูปที่ 2.11 ค่า P/T Ratio ของหัววัดรังสีซีไอเดียมไอโอไดต์แต่ละขนาดโดยมีคอลลิเมเตอร์

CRYSTAL DIMENSIONS KEY	
DIA. x HGT.	
▽	8" x 8"
□	9" x 6.5"
◇	8" x 4"
⊙	5" x 5"
×	4" x 4"
⊕	3" x 3"
○	2" x 2"
●	1" x 1"

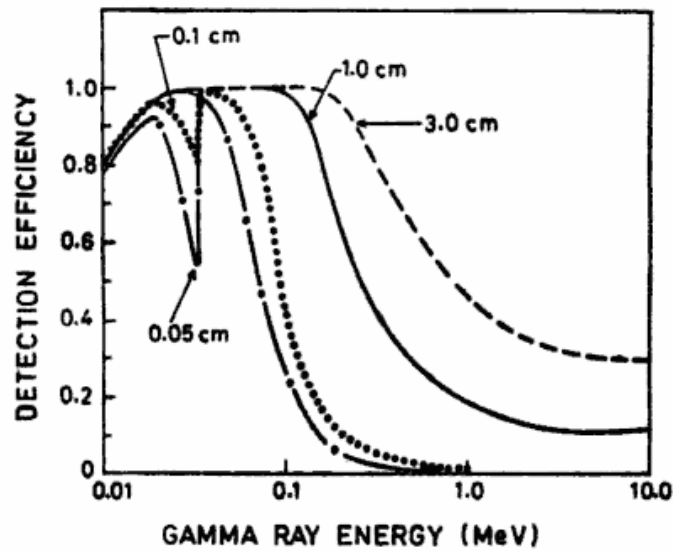


รูปที่ 2.12 ค่า P/T Ratio ของหัววัดรังสีซีไอเดียมไอโอไดต์แต่ละขนาดโดยมีระยะห่างของต้นกำเนิดรังสี 10 เซนติเมตร

CRYSTAL DIMENSIONS KEY	
DIA. × HGT.	
▽	8" × 8"
□	9" × 6.5"
◇	8" × 4"
⊙	5" × 5"
×	4" × 4"
⊕	3" × 3"
○	2" × 2"
●	1" × 1"



รูปที่ 2.13 ค่า P/T Ratio ของหัววัดรังสีซีไอเดียมไอโอไดต์แต่ละขนาดโดยมีระยะห่างของต้นกำเนิดรังสี 50 เซนติเมตร



รูปที่ 2.14 ประสิทธิภาพการวัดของรังสีแกมมาสำหรับหัววัดรังสีซีไอเดียมไอโอไดต์ขนาด 0.05, 0.1, 1.0 และ 3.0 เซนติเมตร เมื่อความหนาหน้าตาารับรังสีอะลูมิเนียมหนา 10 mg/cm<sup>2</sup>

## 2.5 อัตรานับรังสีสุทธิ (Net Counting Rate) [2,3,13]

อัตรานับรังสีสุทธิ หมายถึง อัตรานับรังสีที่ลบอัตรานับรังสีจากค่ารังสีแบคกราวด์ ค่ารังสีแบคกราวด์อาจเกิดขึ้นจากแหล่งกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ สารรังสีที่วางอยู่ใกล้

เครื่องวัด หรือสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองในวงจร (electronic noise) ดังนั้น การวัดรังสีครั้งหนึ่ง ๆ จะเป็นค่าจำนวนนับรวม (Total Counts) ซึ่งหมายถึงค่านับที่เกิดขึ้นจากสารรังสีตัวอย่างที่ต้องการวัดรวมกับค่ารังสีแบคกราวด์ ค่าจำนวนนับสุทธิ (Net Count) หาได้จากการนำค่ารังสีแบคกราวด์ไปลบออกจากค่าจำนวนนับรวม ดังสมการที่ 2.9

$$\text{ค่านับสุทธิ} = \text{ค่านับรวม} - \text{ค่าแบคกราวด์} \dots\dots\dots(2.9)$$

เนื่องจากค่าจำนวนนับรวมและค่าแบคกราวด์ เป็นการวัดโดยตรงที่ทำการวัดแยกจากกัน ดังนั้นถ้าต้องรายงานผลในเทอม  $\bar{x} \pm \sigma$  ซึ่ง  $\sigma$  เป็นค่ารวมของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากค่านับรวม ( $\sigma_t^2$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเนื่องจากค่าแบคกราวด์ ( $\sigma_b^2$ ) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.10

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_b^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการวัดได้ค่านับรวม 1071 counts และค่าแบคกราวด์ 521 counts ค่าจำนวนนับสุทธิคือ  $1071 - 521 = 550$  counts และจากสมการที่ 2.8 คำนวณ  $\sigma = \sqrt{1071 + 521} = 39.9$  ดังนั้น ในการรายงานผล จะกล่าวว่า ได้ค่านับสุทธิ =  $550 \pm 39.9$  counts

ในบางครั้งที่มีการรายงานผลการวัดรังสีเป็นอัตรานับรังสี (Counting Rate) ซึ่งแสดงถึงค่านับต่อหน่วยเวลา เช่น วัดรังสีได้ 1120 counts ในเวลา 5 วินาที จะแสดงได้ว่า

$$\text{อัตรานับรังสี} = \frac{1120}{5} = 224 \text{ count /sec, cps}$$

ในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้น จะพิจารณาว่า เวลาของการจำนวนนับรังสีเป็นค่าคงที่ซึ่งจากตัวอย่างนี้ คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{\sqrt{1120}}{5} = 6.7 \text{ s}^{-1}$$

ดังนั้นผลการรายงานจึงแสดงได้ดังนี้อัตรารังสี =  $224 \pm 6.7$  cps

2.6 การหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (Efficiency of Detector)[11,12,14]

แหล่งกำเนิดรังสี จะมีการปลดปล่อยอนุภาคออกมาในทุกทิศทาง ซึ่งบางอนุภาคอาจจะไม่ได้วิ่งเข้าสู่หัววัด จึงต้องทำการหาประสิทธิภาพของหัววัดเพื่อใช้ในการหาอัตราการสลายตัวที่แท้จริงของแหล่งกำเนิดรังสี ประสิทธิภาพของหัววัดหาได้จากความสัมพันธ์

$$\% \text{ Efficiency} = \frac{C}{S \times f} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

- โดยที่
- C = corrected count rate, cpm
  - S = activity of source, Bq
  - f = fraction of disintegration

2.7 การสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี[3,13]

การสลายตัวไอโซโทปสารกัมมันตรังสีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดนั้นๆ แต่ละนิวเคลียสของไอโซโทปกัมมันตรังสีมีโอกาสที่สลายตัวต่อหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากัน

อัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีต่อวินาที เรียกว่า กัมมันตภาพหรือความแรงของสารกัมมันตรังสี(Activity) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

สมการการสลายตัว

$$A_{(t)} = A_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

- เมื่อ  $A_0$  คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสีเมื่อเวลา  $t = 0$
- $A_{(t)}$  คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสีเมื่อเวลา  $t$
- $\lambda$  คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (Decay Constant) มีหน่วยเป็นส่วนกลับของเวลา ( $t^{-1}$ ) และ
- $t$  คือ เวลาใดๆ

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

$t_{1/2}$  คือ ค่าครึ่งชีวิต หรือ เวลาที่สารกัมมันตรังสีสลายตัวเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณตั้งต้น



## 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการได้รับรังสีกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี[1,3,4,14]

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการได้รับรังสีกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีสามารถคำนวณได้จากสูตรกฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) ดังนี้

$$I = \frac{k}{d^2} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

โดยที่ I คือ อัตรานับรังสี  
 d คือ ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี  
 k คือ ค่าคงที่ ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามชนิดของต้นกำเนิดรังสี

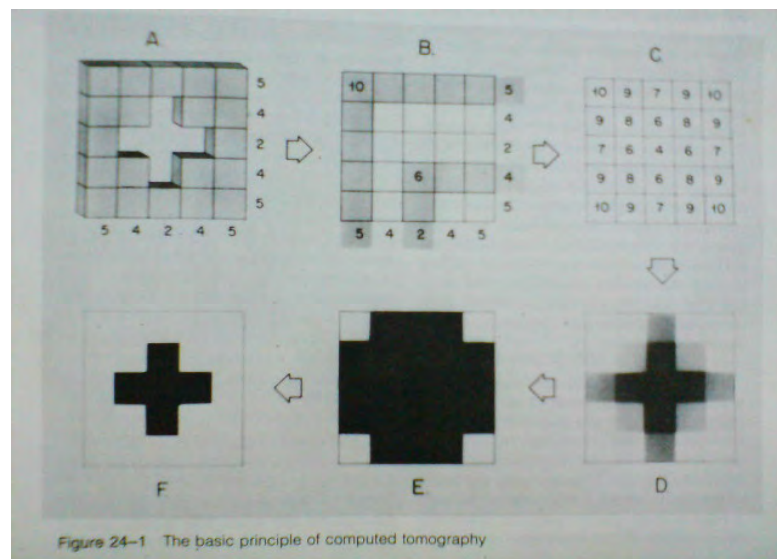
ในกรณีที่ต้นกำเนิดรังสีชนิดเดียวกัน ค่า k จะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น สมการ (2.13) สามารถนำมาเขียนได้ใหม่เป็น

$$I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2 \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

โดยที่  $I_1$  คือ อัตรานับรังสี เมื่อห่างจากต้นกำเนิดรังสีเป็นระยะทาง  $d_1$   
 $I_2$  คือ อัตรานับรังสี เมื่อห่างจากต้นกำเนิดรังสีเป็นระยะทาง  $d_2$   
 $d_1$  คือ ระยะห่างที่ 1 จากต้นกำเนิดรังสี  
 $d_2$  คือ ระยะห่างที่ 2 จากต้นกำเนิดรังสี

## 2.9 หลักการพื้นฐานของ Computed Tomography[5]

หลักการนี้เป็นการบวกกันของจำนวนนับที่ได้จากเทคนิคการส่งผ่านรังสีซึ่งจะได้ค่าในแต่ละช่องของตารางโดยค่าที่ได้จะได้รับการฉายรังสีในแนวตั้งและแนวนอน ค่าที่ได้จากแนวตั้งจะถูกแทนที่ในแต่ละช่องแนวตั้งของแต่ละแถว และค่าที่ได้จากแนวนอนจะถูกแทนที่ในแต่ละช่องแนวนอนของแต่ละแถว ในช่องแต่ละช่อง นำค่าที่ได้จากแนวตั้งบวกกับค่าที่ได้จากแนวนอน และกำหนดสีโทน gray scale แทนในค่าที่ได้จากการบวกกันในช่อง (ดังรูปที่ 2.15)



รูปที่ 2.15 แสดงหลักการพื้นฐานของ Computed Tomography

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ประกอบด้วย

3.1.1 หัววัดรังสีแกมมาแบบซินทิลเลชัน ชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว ยี่ห้อ Ludlum รุ่น 44-2

3.1.2 เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวจำนวน 12 หัววัด (Single channel analyzer) จำนวน 12 ช่อง ยี่ห้อ Ludlum รุ่น 4612 พร้อมภาคขยายสัญญาณ (amplifier) และแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (high voltage power supply) โดยมีพอร์ตอนุกรมที่เชื่อมกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการตั้งค่าต่างๆ(เช่น ระดับ LLD, ULD, Gain และค่าไฟฟ้าศักดาสูงรวมทั้งการแสดงผลบนจอไมโครคอมพิวเตอร์และการจัดเก็บแฟ้มข้อมูล

3.1.3 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer) Notebook Compaq Model 2100 หรือเครื่องที่มีสมรรถนะเทียบเคียงเดียวกัน

3.1.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) และต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสีขณะทำการวิจัย 2 mCi (74 MBq)

3.1.5 อุปกรณ์กำบังลำรังสี (Collimator) สำหรับหัววัดรังสีทำด้วยตะกั่ว

3.1.6 สาย BNC ขนาดความยาว 5 เมตร จำนวน 12 เส้น



รูปที่ 3.1 หัววัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) Ludlum Model 44-2 ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว



รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว Ludlum Model 4612 12 ช่อง (12-detector radiation single channel analyzer (SCA))



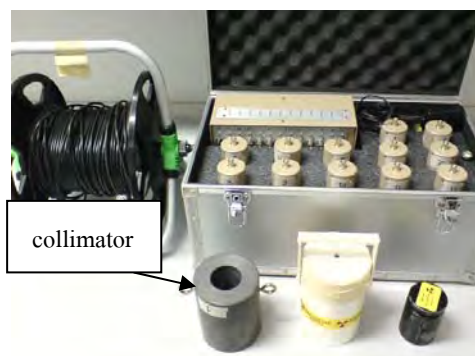
รูปที่ 3.3 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer) Notebook Compaq Model 2100



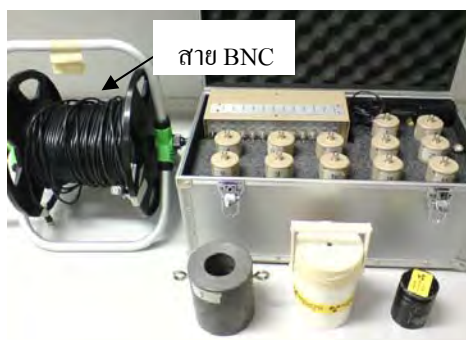
รูปที่ 3.4 ต้นกำเนิด Cs - 137



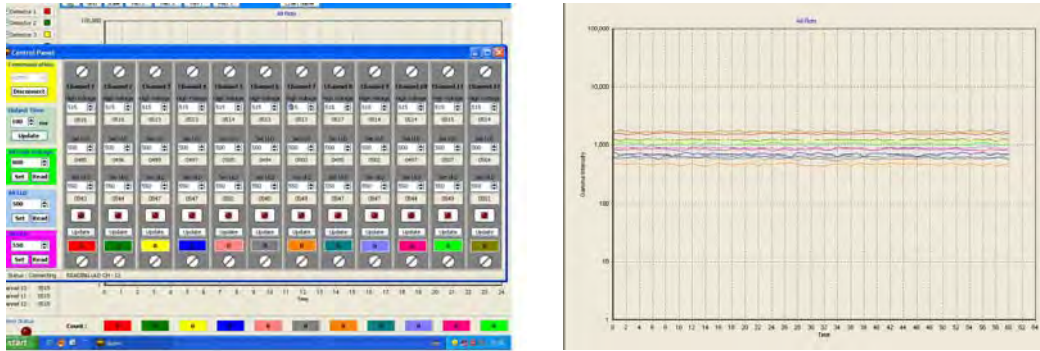
รูปที่ 3.5 ต้นกำเนิด Co - 60



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์กำบังรังสี ( Collimator ) ชนิดตะกั่ว สำหรับหัววัดรังสีทั้ง 12 หัว



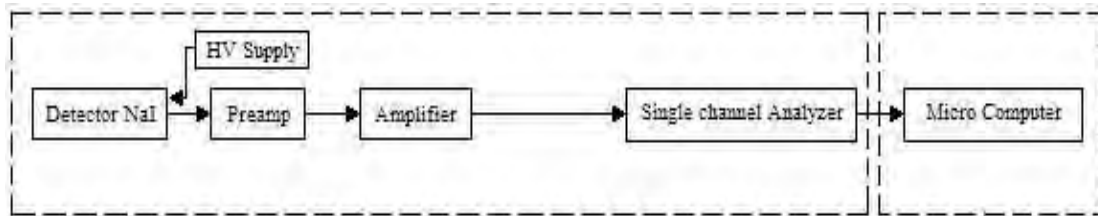
รูปที่ 3.7 สาย BNC จำนวน 12 เส้น



รูปที่ 3.8 ภาพหน้าจอของโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผลของระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้หัววัดรังสี 12 หัววัด

### 3.2 ระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัด

ระบบวัดรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดจำนวนหลายหัวในงานวิจัยนี้มีการใช้หัววัดทั้งหมด 12 หัว มีการแบ่งวางออกเป็นด้าน ด้านละ 3 หัววัด โดยที่มีการจัดวางในระยะห่างที่เท่ากันกับในด้านตรงกันข้าม ส่วนประกอบหลักในระบบวัด ได้แก่ ระบบวัดรังสีแกมมาและระบบแสดงผลข้อมูล ส่วนประกอบจะแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบวัดรังสีแกมมาจำนวน 1 หัววัด

จากแผนภาพเป็นการแสดงส่วนประกอบของระบบวัดรังสีจำนวน 1 หัววัด แต่ในงานวิจัยนี้ใช้หัววัดรังสีจำนวน 12 หัววัด ซึ่งหัววัดแต่ละหัวจะส่งค่าไปที่ SCA ซึ่งเป็นแบบชุด SCA 12 ช่องเป็นตัวรับจำนวนนับทั้ง 12 หัววัด แล้วจึงส่งจำนวนนับที่ได้ไปที่โปรแกรมที่พัฒนาเพิ่มเติมโดยสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) ในคอมพิวเตอร์ เพื่อจัดการกับจำนวนนับแล้วจึงแสดงผลบนจอภาพ

### 3.3 การหาค่าศักดาไฟฟ้า (High Voltage) ที่เหมาะสมสำหรับหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว สำหรับวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

การหาค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่เหมาะสมสำหรับหัววัดรังสีแกมมา ชนิดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว ใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน 2 ชนิดได้แก่ Cs-137 และ Co-60

#### 3.3.1 สำหรับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 ที่พลังงาน 662 keV

- วางต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 ติดหัววัดชนิดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว

- เปิดสวิตช์ High Volts และเริ่มทำการนับค่า Count โดยเพิ่มค่า High Volts ขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเริ่มเจอสัญญาณ (ค่า High Voltage ที่เริ่มเจอสัญญาณคือ Threshold Voltage ของหัววัด) แล้วจึงหยุดทำการนับค่า

- ทำการบันทึกค่าโดยเพิ่มค่า High Voltage ครั้งละ 25 โวลต์ และใช้เวลาในการวัดในแต่ละครั้งเป็น 60 วินาที ให้เพิ่มค่าไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่า Count ที่ได้จะมีค่ามากขึ้นอย่างรวดเร็ว (เกินช่วง Upper Knee Voltage) ให้หยุดทำการวัด

- นำค่าที่บันทึกได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง High Volts และ Count Rate เพื่อใช้ในการหาค่า Operating Voltage สำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl)

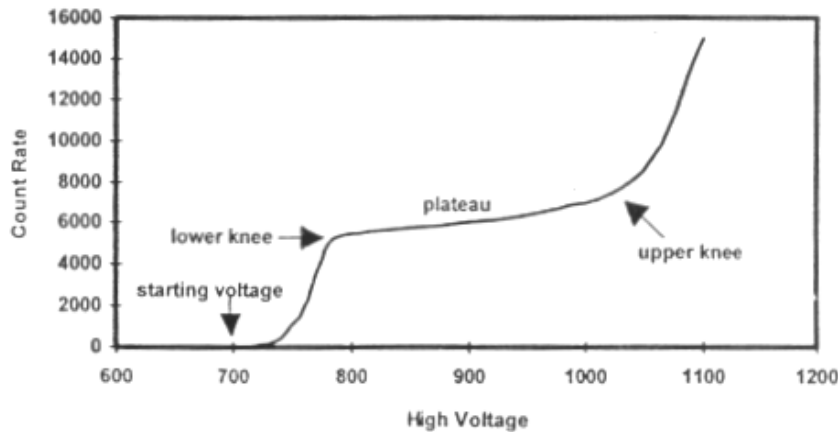
#### 3.3.2 ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 ที่พลังงาน 1172 และ 1332 keV

- วางต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 วางติดหัววัดชนิดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว

- เปิดสวิตช์ High Volts และเริ่มทำการนับค่า Count โดยเพิ่มค่า High Volts ขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเริ่มเจอสัญญาณ (ค่า High Voltage ที่เริ่มเจอสัญญาณคือ Threshold Voltage ของหัววัด) แล้วจึงหยุดทำการนับค่า

- ทำการบันทึกค่าโดยเพิ่มค่า High Voltage ครั้งละ 25 โวลต์ และใช้เวลาในการวัดในแต่ละครั้งเป็น 60 วินาที ให้เพิ่มค่าไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่า Count ที่ได้จะมีค่ามากขึ้นอย่างรวดเร็ว (เกินช่วง Upper Knee Voltage) ให้หยุดทำการวัด

- นำค่าที่บันทึกได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง High Volts และ Count Rate เพื่อใช้ในการหาค่า Operating Voltage สำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl)



รูปที่ 3.10 กราฟฟลาโตแสดงช่วงเลือกใช้ค่าศักดาไฟฟ้า (High Voltage) ที่เหมาะสม

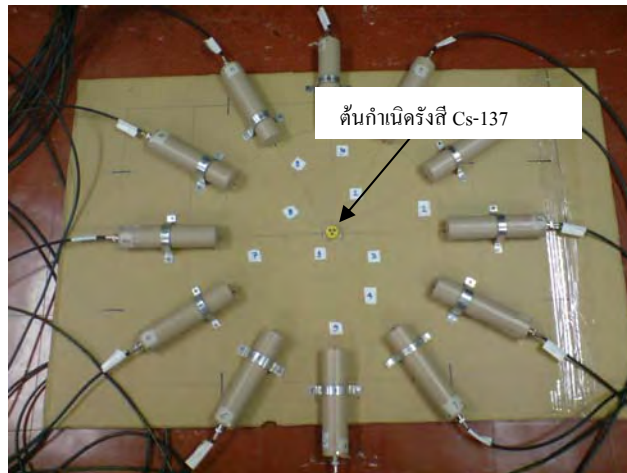
### 3.4 การเปรียบเทียบจำนวนนับของหัววัดแต่ละหัวในระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัด

ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน หัววัดแต่ละหัวได้จำนวนนับที่ไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะเป็นหัววัดรังสีรุ่นเดียวกันก็ตาม ซึ่งอาจเป็นจากหลายเหตุ ทำให้จำนวนนับที่ได้มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยเพื่อความแม่นยำในระบบการวัด จึงต้องมีการเปรียบเทียบจำนวนนับของแต่ละหัววัดให้มีค่าที่เท่ากัน โดยวิธีปรับเทียบจำนวนนับ (Normalization) ในการทดลองได้จัดวางหัววัดล้อมรอบวงกลมโดยวัดระยะจากจุดศูนย์กลางออกไปถึงหัววัดรังสีให้เท่ากัน (ดังรูปที่ 3.11) เพื่อใช้ในการปรับเทียบจำนวนนับของแต่ละหัววัด โดยมีการบันทึกจำนวนนับของแต่ละหัววัดเพื่อใช้ในการหาค่าปรับแก้ที่ใช้นำมาคูณกับจำนวนนับที่ได้ในครั้งต่อไป

วิธีการปรับเทียบจำนวนนับ (Normalization) ทำโดยใช้สารรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) วางอยู่ที่กึ่งกลางระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัด มีระยะ 24 ซม. ซึ่งมีระยะห่างเท่ากันทุกหัววัด ในงานวิจัยนี้จุดประสงค์หลักคือ ไม่ทราบชนิดของต้นกำเนิดรังสี จึงไม่สามารถกำหนดช่วงของ ULD และ LLD ได้ ในการทดลองแต่ละครั้งจึงเปิดช่วงของ ULD และ LLD ให้มีช่วงกว้างที่สุด และปรับค่าศักดาไฟฟ้าสูงให้เหมาะสมกับหัววัดขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่เหมาะสมประมาณ 515 โวลต์ จากนั้นตั้งเวลาวัดรังสี ในงานวิจัยนี้ใช้เวลา 1 นาที จะได้จำนวนนับของทั้ง 12 หัววัด ณ.เวลาเดียวกันทั้งหมด ทำการหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 12 หัววัด เมื่อได้ค่าเฉลี่ยแล้วให้นำค่าที่ได้ไปเทียบกับจำนวนนับ ในทั้ง 12 หัววัด สังเกตจำนวนนับ หัววัดไหนมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยมากที่สุดให้ตั้งค่าเป็น 1 หลังจากนั้นให้นำจำนวนนับของแต่ละหัว หารด้วยจำนวนนับของหัววัดที่ให้เป็น 1 จะได้ค่าที่เป็นทศนิยมออกมาเพื่อนำไปใช้คูณกับจำนวนนับที่ได้จากหัววัดก็จะได้เป็นจำนวนนับจริง ซึ่งค่าสัดส่วนจำนวนนับรังสีที่ได้จะนำไปใช้ในการปรับแก้อัตรานับรังสีแต่ละชุดของการวัดรังสีครั้งต่อไปในการเลื่อนตำแหน่งของสารรังสี



ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 60 ซม. x 60 ซม.(ดังรูปที่ 3.13), สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 60 ซม. x 90 ซม.(ดังรูปที่ 3.14) ตามลำดับ



รูปที่ 3.11 การจัดวางหัววัดรังสีแกมมาเป็นวงกลมเพื่อใช้ในการหาค่าปรับเทียบจำนวนนับ (Normalization)

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างแสดงค่าที่ได้จากการปรับเทียบจำนวนนับ (Normalization) ของทั้ง 12 หัววัด

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
36	35	24308	24118	27994	24459	24277	28284	24714	24735	29229	24645	24691	28078
37	36	24287	24047	28125	24268	24403	28087	24510	24575	29128	24764	24893	28235
38	37	24154	24076	28208	24409	24037	28124	24636	24444	29352	24674	24733	28060
39	38	24055	24155	28386	24550	24269	28221	24766	24460	29089	24738	24684	28347
40	39	24181	24120	28116	24552	24411	28269	24978	24362	29120	24497	24937	28018
41	40	24161	24101	28074	24339	24010	28231	24831	24528	29106	24415	24950	28218
42	41	24285	24147	28255	24243	24029	28224	24675	24473	29326	24562	24964	28249
43	42	24328	24206	28408	24354	24284	28058	24761	24655	29166	24569	24811	28084
44	43	24245	24009	28523	24350	24209	28043	24563	24591	29124	24480	24865	28251
45	44	24137	24422	28509	24545	24133	28144	24664	24526	29395	24590	24913	27994
46	45	24045	23989	28179	24439	24206	28109	24911	24747	29264	24801	24842	28357
47	46	24066	24083	28407	24149	24105	28180	24657	24486	29181	24277	24811	28106
48	47	24238	23781	28435	24524	24060	28214	24827	24552	29244	24652	24862	28294
49	48	24176	23945	28394	24389	24531	28341	24369	24639	29219	24674	24688	28161
50	49	24201	24196	28384	24355	24299	28105	24614	24466	29015	24611	24809	28475
51	50	24232	24246	28139	24275	24175	28168	24782	24787	29342	24492	24717	28228
52	51	24294	24038	28145	24370	24390	28118	24702	24520	29242	24372	24836	28160
53	52	24299	24113	28193	24192	24134	28058	24670	24641	29305	24491	24940	28056
54	53							24737	24508	29192	24697	24965	28128
55	54							24633	24619	28918	24697	24785	28318
56	55							24668	24730	29213	24659	24956	28176
57	56	24207	23867	28161	24466	24260	27982	24650	24493	29335	24592	24875	28181
58	57	24178	24080	28043	24303	24411	28075	24483	24374	29158	24523	24740	28046
59	58	24043	24188	28315	24042	24000	28052	24668	24730	29213	24659	24956	28176
60	59	23998	24257	28165	24277	24000	28052	24633	24619	28918	24697	24785	28318
61	60	24148	23825	28307	24309	24000	28052	24668	24730	29213	24659	24956	28176
62	Sum	1475045	1470303	1723118	1486559	1476234	1717918	1505785	1497320	1782476	1499753	1514785	1719663
63		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
64	Cf	0.9620555	0.9933819	0.9902116	1.0000000	0.9912773	0.9426399	0.9743872	0.9714319	1.0060629	1.0071286	0.9962208	0.9927192
65	Sum * Cf	1419075.1	1460572.3	1706251.5	1486559	1463357.3	1619378.1	1467217.7	1454544.4	1793282.9	1510444.1	1509060.3	1707142.4

### 3.5 การศึกษาผลของความแรงรังสีจากต้นกำเนิดที่มีความแรงรังสีต่างกัน

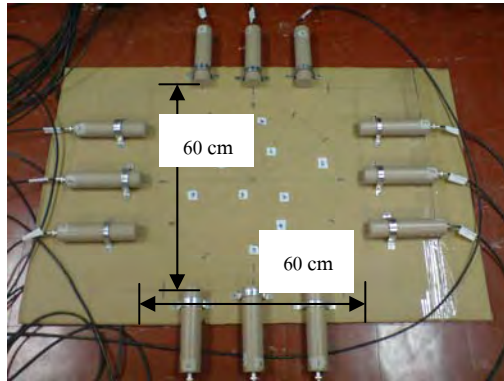
การศึกษาค่าผลของความแรงรังสีในการทดลองได้จัดวางต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสี มีระยะห่าง 24 ซม. โดยการใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่มีความแรงรังสีต่างๆ คือ 1  $\mu\text{Ci}$  (0.037 MBq), 10  $\mu\text{Ci}$  (0.37 MBq) และ 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ทำการวัดค่าโดยการวางต้นกำเนิดรังสีทีละ 1 ต้นกำเนิดรังสี ใช้เวลาในการนับ 60 วินาที จำนวนนับที่ได้จะมีค่าต่างกันขึ้นอยู่กับความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสี



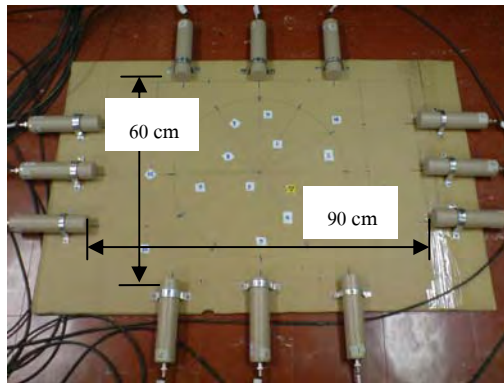
รูปที่ 3.12 การจัดวางต้นกำเนิดรังสี Cs-137 กับหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ระยะห่าง 24 ซม.

### 3.6 การออกแบบและการจัดระบบการวัดรังสีแกมมา

เนื่องจากการออกแบบและการจัดระบบในการวัดจริงนั้น ต้องใช้พื้นที่กว้างและต้องมีพื้นที่ใกล้เคียงกับห้องสี่เหลี่ยม หรือ ใช้ห้องเก็บสารรังสีจริง ในงานวิจัยนี้ จึงทำการทดลองจัดระบบในเบื้องต้นโดยการ จำลองพื้นที่เล็กๆก่อน เพื่อดูว่าการทดลองนี้ใช้ได้ผลกับพื้นที่สี่เหลี่ยม โดยผู้ทำการวิจัยได้จัดจำลองโต๊ะทำงานเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีการวางหัววัดรังสีไว้ 4 ด้าน ด้านละ 3 หัววัด มีระยะห่างระหว่างหัววัดเท่ากันในด้านตรงกันข้าม ดังแสดงรายละเอียดการจำลองไว้ ดังรูปที่ 3.13 และ รูปที่ 3.14



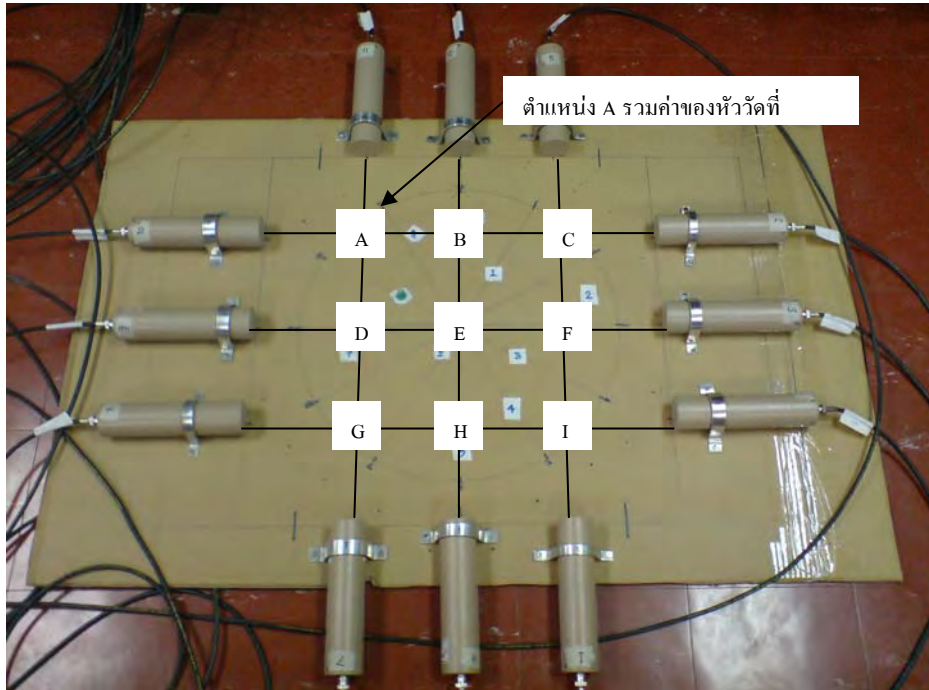
รูปที่ 3.13 การจัดวางหัววัดรังสีแกมมาเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสบนโต๊ะทำงานเพื่อจำลอง  
เปรียบเสมือนห้องเก็บสารรังสี



รูปที่ 3.14 การจัดวางหัววัดรังสีแกมมาเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนโต๊ะทำงานเพื่อจำลอง  
เปรียบเสมือนห้องเก็บสารรังสี

### 3.7 หลักการในการสร้างภาพจากจำนวนนับ

จำนวนนับที่ได้จากการวัดค่าในแต่ละหัววัดโดยการตั้ง ต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งต่างๆ นั้นสามารถนำค่าที่นับได้มาทำการสร้างภาพโดยใช้โปรแกรม Matlab ในการสร้างภาพ ค่าที่ได้จากแต่ละหัววัดมีค่าต่างกัน ในพื้นที่สี่เหลี่ยมซึ่งจำลองจากห้องไม่ว่าจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือผืนผ้าก็สามารถใช้หลักการนี้ได้เช่นกัน การสร้างภาพสามารถทำได้คือการสมมติช่องตารางขึ้นมา (ดังรูปที่ 3.15) เพื่อจะนำค่าที่ได้ของสี่หัววัดที่อยู่ในแนวเดียวกันมาบวกกันเพื่อให้ได้ค่าที่ตำแหน่งตัดกัน



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการรวมค่าของแต่ละหัววัดที่วัดได้จากจุดตัดของ 4 หัววัด

	11	12	1	
10	$n_{11} + n_2 + n_7 + n_{10} = A$	$n_{12} + n_2 + n_6 + n_{10} = B$	$n_1 + n_2 + n_5 + n_{10} = C$	2
9	$n_{11} + n_3 + n_7 + n_9 = D$	$n_{12} + n_3 + n_6 + n_9 = E$	$n_1 + n_3 + n_5 + n_9 = F$	3
8	$n_{11} + n_4 + n_7 + n_8 = G$	$n_{12} + n_4 + n_6 + n_8 = H$	$n_1 + n_4 + n_5 + n_8 = I$	4
	7	6	5	

รูปที่ 3.16 หลักการรวมค่าของแต่ละหัววัดที่วัดได้จากจุดตัดของ 4 หัววัด

### 3.8 วิธีการศึกษาการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี

ในงานวิจัยยังได้ศึกษาผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี (ดังรูปที่ 3.19, 3.20) เพื่อสังเกตความเป็นไปได้ในการที่จะใช้คอลลิเมเตอร์กับทั้ง 12 หัววัดที่วัดพร้อมกันในงานวิจัย โดยมีวิธีการคือการนำหัววัดรังสีจำนวน 1 หัววัดมายึดกับแท่นจับวางในแนวนอนต่อสาย BNC เข้ากับหัววัดและเครื่อง SCA เพื่อเตรียมการรับจำนวนนับรังสี จากนั้นตีกรอบเส้นเป็นตาราง (ดังรูปที่ 3.17) ขนาด กว้าง 5 ซม. x ยาว 5 ซม. ในแต่ละช่องๆละเท่าๆกัน จากนั้นนำต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ไปวางที่จุดตัดของเส้นที่เป็นตารางเริ่มจาก

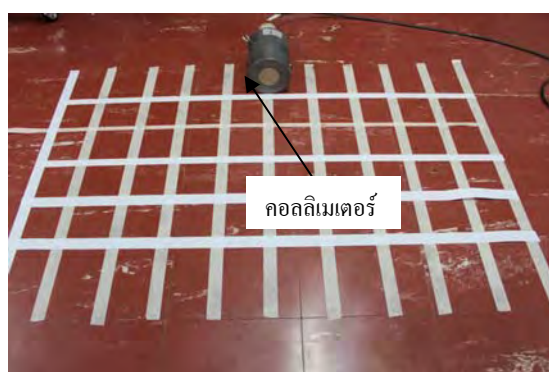


ด้านซ้าย ทำการนับจำนวนนับรังสี ทำจนครบทุกจุดตัด เมื่อได้ค่าจำนวนนับครบทุกจุด เริ่มทำเหมือนเดิมอีกครั้งโดยการใส่คอลลิเมเตอร์ที่หัววัด ทำจนครบทุกจุดตัด

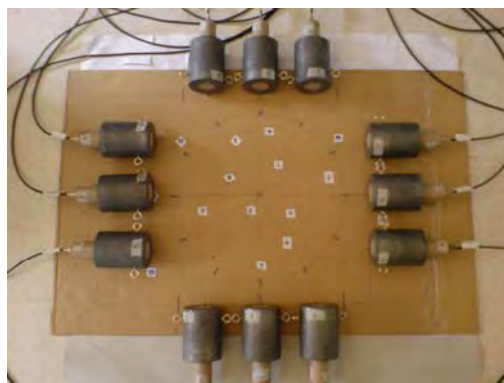
การใช้คอลลิเมเตอร์ใส่ให้กับหัววัดแต่ละหัว แล้วทำการวัดในตำแหน่งต่างๆ ก่อนที่จะนำมาใช้จริงกับหัววัดนั้น ผลที่ได้จากการศึกษาเมื่อรังสีเข้าเฉพาะด้านหน้าของหัววัดอย่างเดียวจะทำให้ได้ผลการนับรังสีที่แคบยิ่งขึ้น เมื่อได้นำมาทดลองกับระบบวัดจริงในการวัดในตำแหน่งต่างๆ ทั้ง พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส และผืนผ้า (ดังรูปที่ 3.19, 3.20) และยังสามารถนำไปทดสอบใช้กับพื้นที่ห้องจริง ซึ่งมีขนาดกว้าง 2.6 เมตรและยาว 3 เมตร โดยการวางต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งต่างๆ (ดังรูปที่ 3.21, 3.22)



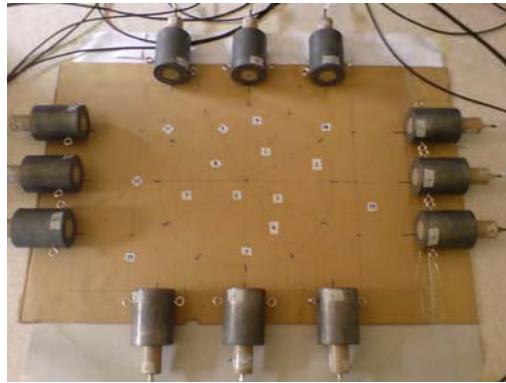
รูปที่ 3.17 การวัดรังสีโดยไม่มีคอลลิเมเตอร์



รูปที่ 3.18 การวัดรังสีโดยมีคอลลิเมเตอร์



รูปที่ 3.19 การใส่คอลลิเมเตอร์ให้กับหัววัดในพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส



รูปที่ 3.20 การใส่คอยล์เมเตอร์ให้กับหัววัดในพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า



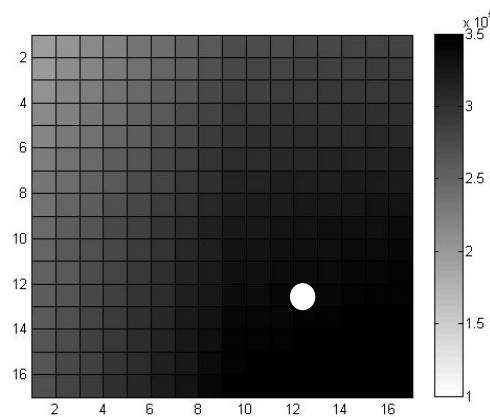
รูปที่ 3.21 การไม่ใส่คอยล์เมเตอร์ให้กับหัววัดในพื้นที่สี่เหลี่ยมห้องขนาด  
2.6 เมตร x 3 เมตร



รูปที่ 3.22 การใส่คอยล์เมเตอร์ให้กับหัววัดในพื้นที่สี่เหลี่ยมห้องขนาด  
2.6 เมตร x 3 เมตร

### 3.9 วิธีการสร้างภาพ

การสร้างภาพโดยใช้โปรแกรมช่วย คือ โปรแกรม Matlab ภาพที่ได้จะเป็นโทนสีต่างๆ ตามความแรงของต้นกำเนิดรังสีและระยะห่างระหว่างการวางตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ในการใช้โปรแกรม Matlab เพื่อช่วยในการสร้างภาพนั้น ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีน้อยเกินไปสำหรับการสร้างภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แบ่งค่าที่ได้จากตำแหน่ง A, B, C, D, E, F, G, H, I โดยวิธี interpolation ระหว่างค่า 2 ค่าในโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งจะได้ออกมาทั้งหมดในการแบ่งค่าเป็นจำนวน 289 ค่า โดยค่าที่ได้สามารถนำไปสร้างภาพในโปรแกรม Matlab ได้ (ดังรูปที่ 3.23) แสดงตารางตัวอย่างค่าที่ได้เพื่อนำไปสร้างภาพในโทนสีต่างๆ



รูปที่ 3.23 แสดงตัวอย่างค่าที่ได้เพื่อนำไปสร้างภาพในโทนสีต่างๆ

การสร้างภาพโดยใช้โทนสีในการแบ่งระดับจำนวนนับรังสีที่ระยะต่างๆ สีแดง หมายถึง จำนวนนับที่มีค่ามาก ไล่ระดับจำนวนนับต่ำลงมาเรื่อยๆจนถึงสีน้ำเงิน ซึ่งหมายถึง จำนวนนับที่มีค่าน้อย (ดังรูปที่ 3.23) โทนสีเหล่านี้จะปรากฏในแต่ละช่องแทนค่าตัวเลขที่ได้นำไปพอร์ทในโปรแกรม Matlab และนำผลไปแสดงผลในการวางต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งต่างๆ

### 3.9 วิธีการคำนวณค่าขั้นตอน interpolation ใน Microsoft Excel

$$\text{จากสมการ} \quad Y = Y_2 + \left[ \frac{(X - X_2)(Y_1 - Y_2)}{(X_1 - X_2)} \right] \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

เป็นสมการที่ใช้หาค่าระหว่างกลางของค่า 2 ค่า โดยวิธีนี้นำมาเขียนเป็นสูตรใน Microsoft Excel ซึ่งวิธีนี้ได้แสดงอยู่ใน <http://support.microsoft.com/kb/214096/th> สูตรต่อไปนี้เป็นของ Microsoft Excel interpolation โดยการคำนวณค่าของขั้นตอน interpolation

$$=(end-start)/(ROW(end)-ROW(start))$$

โดยจุดสิ้นสุดเซลล์ที่อยู่ของตัวเลขที่มีขนาดใหญ่ และเริ่มการทำงานมีที่อยู่ของเซลล์ของหมายเลขที่มีขนาดเล็ก เมื่อต้องการสร้างสูตร interpolation เส้นตัวอย่าง ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. พิมพ์ค่าต่อไปนี้ในแผ่นงาน
2. A1: 9      B1: =(A7-A1)/(ROW(A7)-ROW(A1))
3. A2: =A1+\$B\$1
4. A3:
5. A4:
6. A5:
7. A6:
8. A7: 11

เลือกเซลล์ A2:A6 ในการแก้ไขเมนู ให้ชี้ไปที่เต็มแล้ว คลิกกลง มีเติมสูตรลง และแสดงในเซลล์ A2: A6 ค่าต่อไปนี้

9. A2: 9.33333
10. A3: 9.66667
11. A4: 10.
12. A5: 10.33333
13. A6: 10.66667

**หมายเหตุ:** ต้องพิมพ์การอ้างอิงถึงขั้นตอนที่ค่าในเซลล์ B1 ได้เป็นการอ้างอิงแบบสัมบูรณ์ (ที่มีเครื่องหมายดอลลาร์)

5947294.4	5991074.7	6034855	6078635.4	6122415.7	6166196	6209976.3	6253756.6	6297537	6242025.9	6186514.9	6131003.9	6075492.9	6019981.9	5964470.9	5908959.9	5853448.9
6013359.2	6057139.5	6100919.8	6144700.1	6188480.4	6232260.7	6276041.1	6319821.4	6363601.7	6308090.7	6252579.7	6197068.7	6141557.7	6086046.6	6030535.6	5975024.6	5919513.6
6079423.9	6123204.2	6166984.5	6210764.9	6254545.2	6298325.5	6342105.8	6385886.1	6429666.4	6374155.4	6318644.4	6263133.4	6207622.4	6152111.4	6096600.4	6041089.4	5985578.4
6145488.6	6189269	6233049.3	6276829.6	6320609.9	6364390.2	6408170.5	6451950.9	6495731.2	6440220.2	6384709.2	6329198.2	6273687.1	6218176.1	6162665.1	6107154.1	6051643.1
6211553.4	6255333.7	6299114	6342894.3	6386674.7	6430455	6474235.3	6518015.6	6561795.9	6506284.9	6450773.9	6395262.9	6339751.9	6284240.9	6228729.9	6173218.9	6117707.8
6277618.1	6321398.4	6365178.8	6408959.1	6452739.4	6496519.7	6540300	6584080.3	6627860.7	6572349.7	6516838.6	6461327.6	6405816.6	6350305.6	6294794.6	6239283.6	6183772.6
6343682.9	6387463.2	6431243.5	6475023.8	6518804.1	6562584.5	6606364.8	6650145.1	6693925.4	6638414.4	6582903.4	6527392.4	6471881.4	6416370.4	6360859.4	6305348.4	6249837.3
6409747.6	6453527.9	6497308.2	6541088.6	6584868.9	6628649.2	6672429.5	6716209.8	6759990.2	6704479.1	6648968.1	6593457.1	6537946.1	6482435.1	6426924.1	6371413.1	6315902.1
6475812.4	6519592.7	6563373	6607153.3	6650933.6	6694713.9	6738494.3	6782274.6	6826054.9	6770543.9	6715032.9	6659521.9	6604010.9	6548499.8	6492988.8	6437477.8	6381966.8
6406008.5	6449788.8	6493569.1	6537349.4	6581129.7	6624910.1	6668690.4	6712470.7	6756251	6700740	6645229	6589718	6534207	6478696	6423185	6367674	6312162.9
6336204.6	6379984.9	6423765.2	6467545.6	6511325.9	6555106.2	6598886.5	6642666.8	6686447.1	6630936.1	6575425.1	6519914.1	6464403.1	6408892.1	6353381.1	6297870.1	6242359.1
6266400.7	6310181	6353961.4	6397741.7	6441522	6485302.3	6529082.6	6572863	6616643.3	6561132.3	6505621.2	6450110.2	6394599.2	6339088.2	6283577.2	6228066.2	6172555.2
6195696.9	6240377.2	6284157.5	6327937.8	6371718.1	6415498.4	6459278.8	6503059.1	6546839.4	6491328.4	6435817.4	6380306.4	6324795.4	6269284.4	6213773.4	6158262.4	6102751.3
6126793	6170573.3	6214353.6	6258133.9	6301914.2	6345694.6	6389474.9	6433255.2	6477035.5	6421524.5	6366013.5	6310502.5	6254991.5	6199480.5	6143969.5	6088458.4	6032947.4
6055989.1	6100769.4	6144549.7	6188330.1	6232110.4	6275890.7	6319671	6363451.3	6407231.6	6351720.6	6296209.6	6240698.6	6185187.6	6129676.6	6074165.6	6018654.6	5963143.6
5987185.2	6030965.5	6074745.9	6118526.2	6162306.5	6206086.8	6249867.1	6293647.4	6337427.8	6281916.8	6226405.7	6170894.7	6115383.7	6059872.7	6004361.7	5948850.7	5893339.7
5917381.3	5961161.7	6004942	6048722.3	6092502.6	6136282.9	6180063.3	6223843.6	6267623.9	6212112.9	6156601.9	6101090.9	6045579.9	5990068.8	5934557.8	5879046.8	5823535.8

รูปที่ 3.24 ตัวอย่างแสดงตารางค่าที่ได้จากการ interpolation ระหว่างค่า 2 ค่าใน

โปรแกรม Microsoft Excel



## บทที่ 4

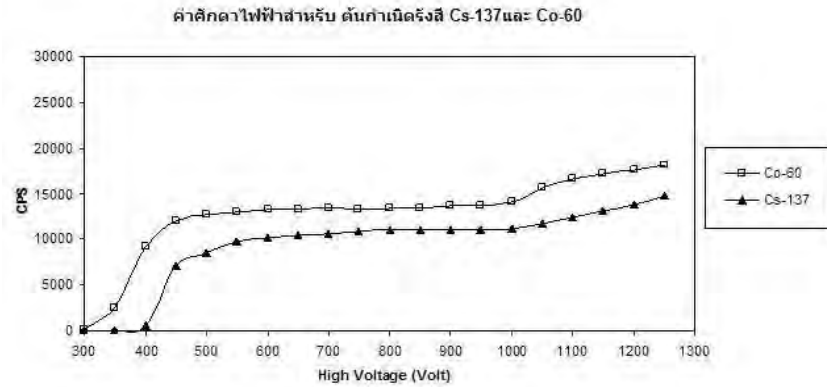
### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการหาค่าศักดาไฟฟ้าสำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว

ผลการหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว เมื่อวัดรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 ที่พลังงาน 662 keV และต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 ที่พลังงาน 1172 และ 1332 keV แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนนับรังสีแกมมาที่ค่าศักดาไฟฟ้าต่างๆ สำหรับรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60

HIGH VOLTAGE	Cs-137 (662 keV)	Co-60 (1172,1332 keV)
300	5	99
350	16	2463
400	598	9201
450	7208	11951
500	8666	12700
550	9751	13015
600	10528	13210
650	10502	13288
700	10633	13357
750	10898	13331
800	10980	13453
850	11107	13501
900	11085	13665
950	11088	13662
1000	11156	14138
1050	11700	15689
1100	12421	16551
1150	13080	17102
1200	13808	17545
1250	14754	18098



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีแกมมาที่ค่าศักดาไฟฟ้าต่างๆ สำหรับรังสีแกมมา จากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 และ Co-60

ผลจากการหาค่าพลาโตของหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว จึงเลือกใช้ค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสม ที่ค่าศักดาไฟฟ้า 515 โวลต์

#### 4.2 ผลการปรับค่าจำนวนนับของหัววัดแต่ละหัวในระบบวัดรังสีแกมมาหลายหัววัด

การปรับค่าจำนวนนับจากการวางหัววัดเป็นวงกลมมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเท่าๆกัน นั้น (ดังรูปที่ 3.11) จะได้ค่าที่ใช้สำหรับปรับค่าให้มีจำนวนนับที่ถูกต้อง (correction factor) โดยค่าที่ได้นั้นในแต่ละหัววัดจะต้องนำไปคูณกับค่าที่ได้จากจำนวนนับของหัววัดเพื่อค่าที่ถูกต้องของแต่ละหัววัดในการวัดครั้งต่อไป

ตารางที่ 4.2 ค่าสำหรับนำไปคูณเพื่อใช้ในการปรับค่าจำนวนนับของแต่ละหัววัด

หัววัดรังสีลำดับที่	ค่าสำหรับนำไปคูณเพื่อใช้ในการปรับค่าจำนวนนับรังสี
1	0.962
2	0.990
3	0.990
4	1.000
5	0.991
6	0.942
7	0.974
8	0.971
9	1.006
10	1.007
11	0.996
12	0.992

#### 4.3 ผลการศึกษาความแรงรังสีจากต้นกำเนิดที่มีความแรงรังสีต่างกัน

จากการศึกษาและทดลองวัดค่าจำนวนนับจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่มีความแรงรังสีต่างๆ ได้แก่ 1  $\mu\text{Ci}$  (0.037 MBq), 10  $\mu\text{Ci}$  (0.37 MBq) และ 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ระยะเดียวกัน คือ 24 ซม. และใช้เวลาในการวัดแต่ละครั้ง 60 วินาที ผลคือ จำนวนนับที่ได้ จะมากตามค่าความแรงรังสีเมื่อระยะไม่เปลี่ยนแปลง

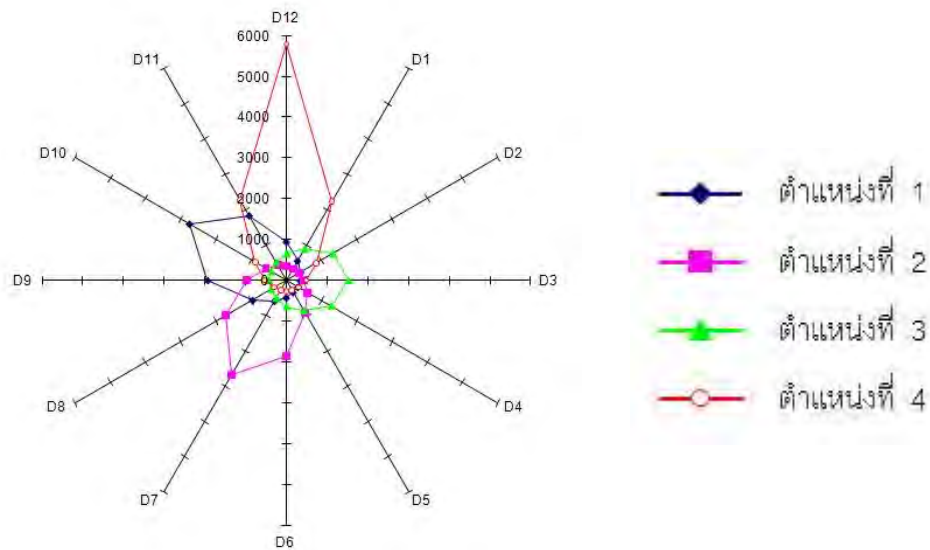
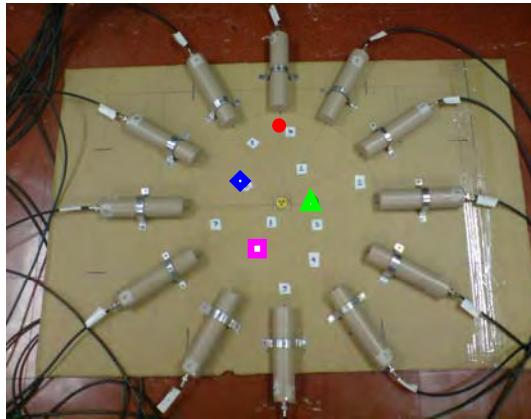
ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนนับของต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงรังสีต่างๆ

ค่าความแรงรังสี	จำนวนนับ
1 $\mu\text{Ci}$ (0.037 MBq)	5955
10 $\mu\text{Ci}$ (0.37 MBq)	15454
100 $\mu\text{Ci}$ (3.7 MBq)	220083

ความแรงรังสีจะมีผลต่อการวัดค่ารังสีที่ระยะต่างๆ เมื่อต้นกำเนิดมีความแรงรังสีต่ำ ค่าจำนวนนับที่ระยะห่างมากจะได้ค่าจำนวนนับที่น้อยทำให้ต้องใช้ เวลาวัดที่นานยิ่งขึ้น

#### 4.4 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่วงกลมในตำแหน่งต่างๆ

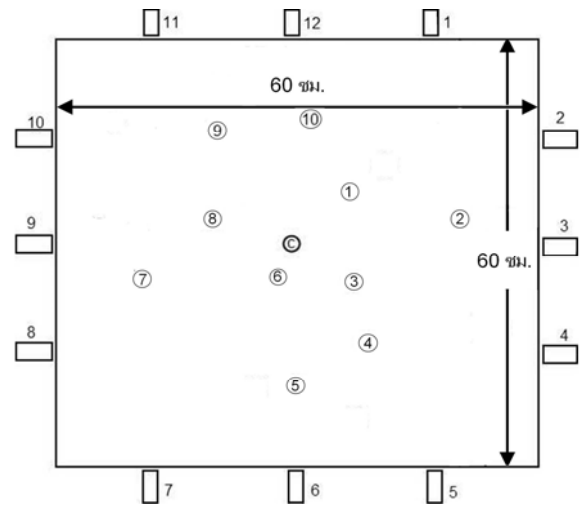
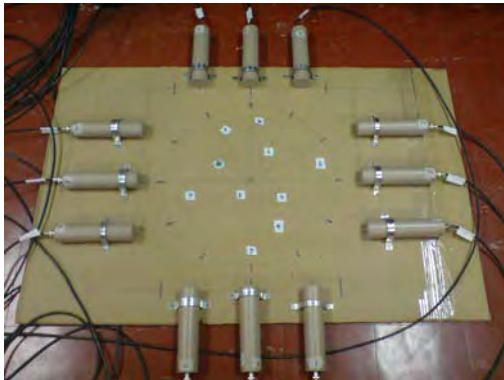
เมื่อได้ค่าเปรียบเทียบตามตารางที่ 4.2 แล้ว ค่าเปรียบเทียบที่ได้แต่ละหัววัดจะต้องนำไปคูณกับค่าที่ได้จากจำนวนนับของหัววัดเพื่อค่าที่ถูกต้องของแต่ละหัววัดในการจัดระบบวัดรังสีเป็นแบบวงกลม การทดลองนี้ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) วางในตำแหน่งต่างๆที่ละ 1 ต้นกำเนิดรังสี ซึ่งได้ผลตามภาพเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 เส้นสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรง 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในวงกลม

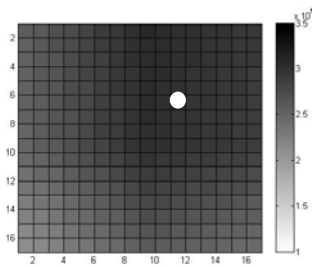
#### 4.5 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสในตำแหน่งต่างๆ

ในการจัดระบบวัดรังสีเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและทำการนับวัดโดยในการวัดแต่ละตำแหน่งได้นำค่าปรับเทียบไปคูณด้วยทุกครั้ง ผลที่ได้จะแสดงเป็นแถบสี ซึ่งในการงานวิจัยนี้ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสี 2 ชนิดคือ Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) และ Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) วางในตำแหน่งต่างๆทีละ 1 ต้นกำเนิดรังสี ซึ่งได้ผลตามภาพเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง ดังต่อไปนี้

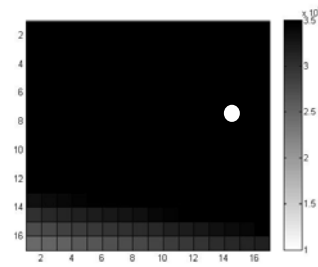


รูปที่ 4.3 การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดในตำแหน่งต่างๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัส

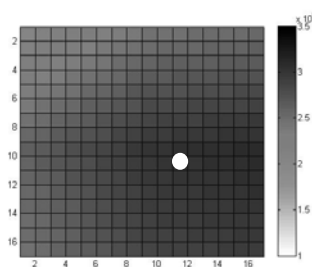
4.5.1 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq)



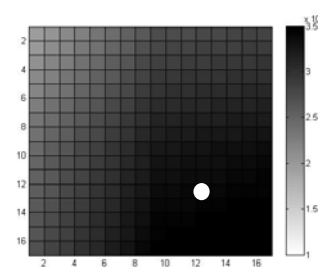
ตำแหน่งที่ 1



ตำแหน่งที่ 2

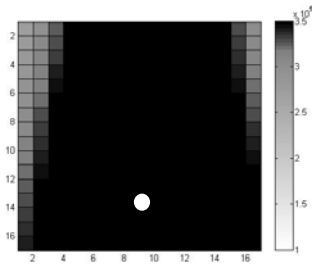


ตำแหน่งที่ 3

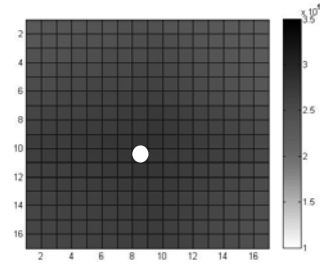


ตำแหน่งที่ 4

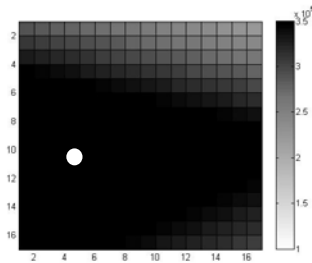
รูปที่ 4.4 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัส



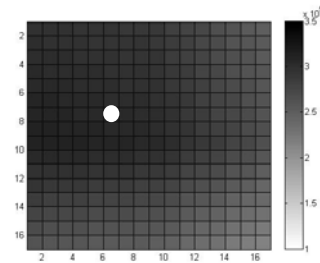
ตำแหน่งที่ 5



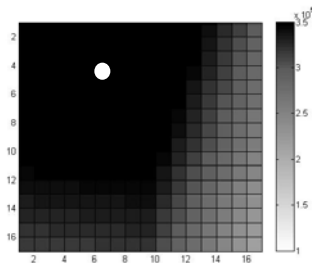
ตำแหน่งที่ 6



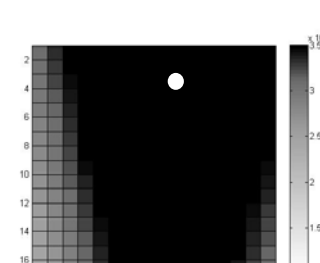
ตำแหน่งที่ 7



ตำแหน่งที่ 8



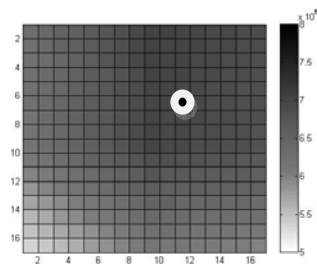
ตำแหน่งที่ 9



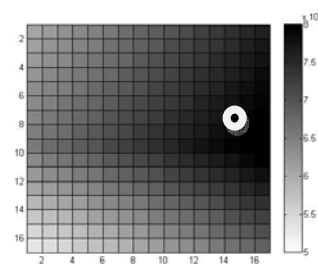
ตำแหน่งที่ 10

รูปที่ 4.4 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงแรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัส

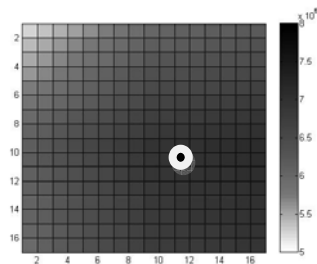
#### 4.5.2 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq)



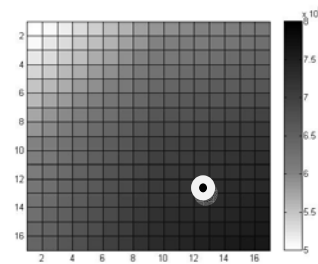
ตำแหน่งที่ 1



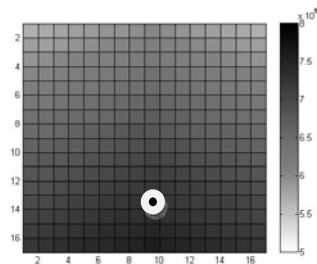
ตำแหน่งที่ 2



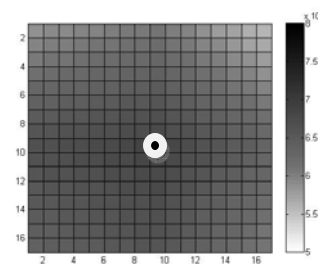
ตำแหน่งที่ 3



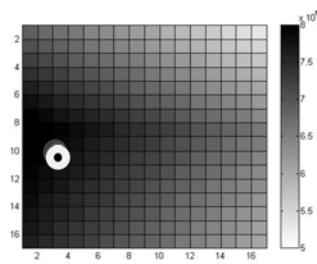
ตำแหน่งที่ 4



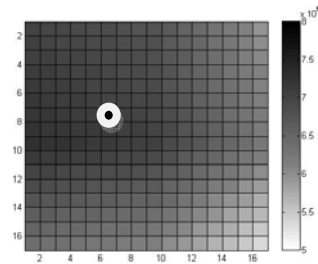
ตำแหน่งที่ 5



ตำแหน่งที่ 6

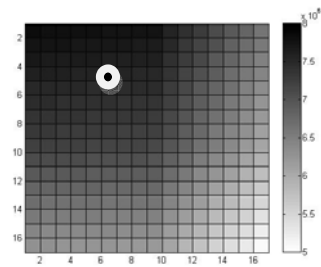


ตำแหน่งที่ 7

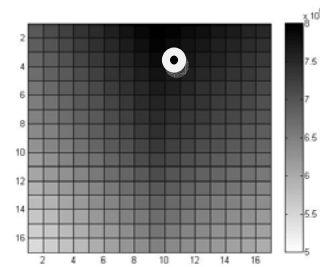


ตำแหน่งที่ 8

รูปที่ 4.5 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ในตำแหน่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัส



ตำแหน่งที่ 9

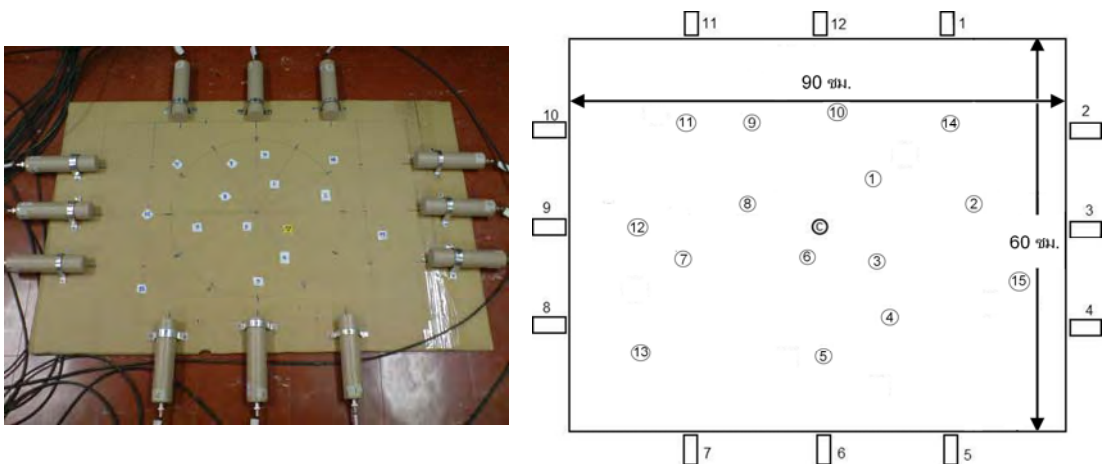


ตำแหน่งที่ 10

รูปที่ 4.5 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ในตำแหน่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัส

#### 4.6 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในตำแหน่งต่าง ๆ

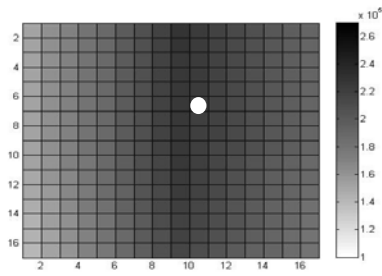
ในการจัดระบบเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและทำการนับวัดโดยในการวัดแต่ละตำแหน่งได้นำค่าเปรียบเทียบกับคูณด้วยทุกครั้ง ผลที่ได้จะแสดงเป็นแถบสี ซึ่งในการงานวิจัยนี้ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสี 2 ชนิดคือ Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu$ Ci (3.7 MBq) และ Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) วางในตำแหน่งต่างๆที่ละ 1 ต้นกำเนิดรังสี ซึ่งได้ผลตามภาพเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง ดังต่อไปนี้



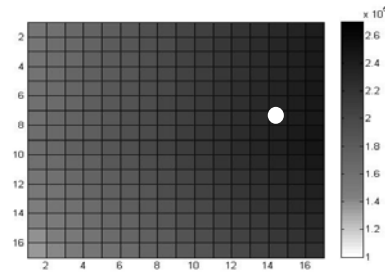
รูปที่ 4.6 การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้า



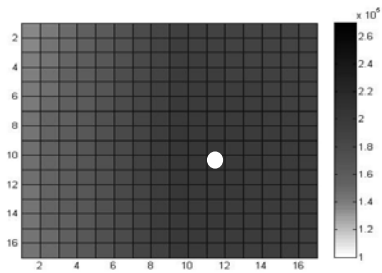
#### 4.6.1 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu\text{Ci}$ (3.7 MBq)



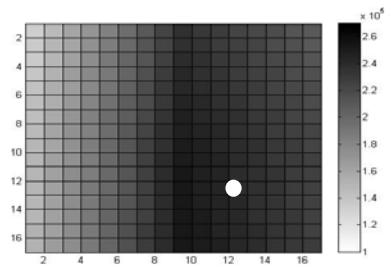
ตำแหน่งที่ 1



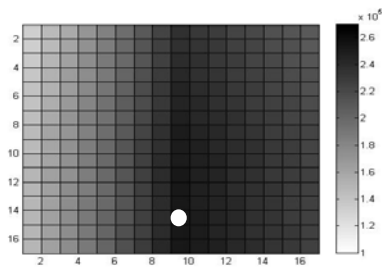
ตำแหน่งที่ 2



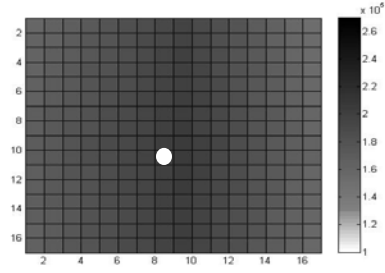
ตำแหน่งที่ 3



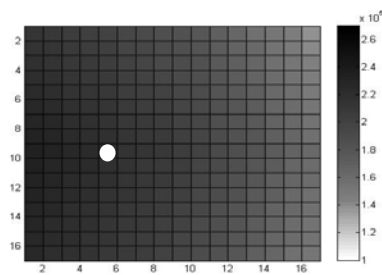
ตำแหน่งที่ 4



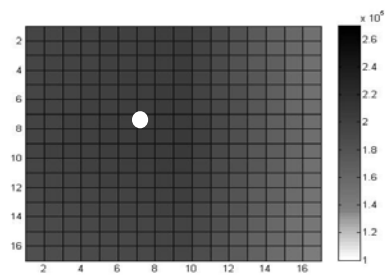
ตำแหน่งที่ 5



ตำแหน่งที่ 6

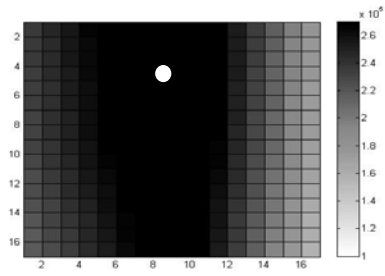


ตำแหน่งที่ 7

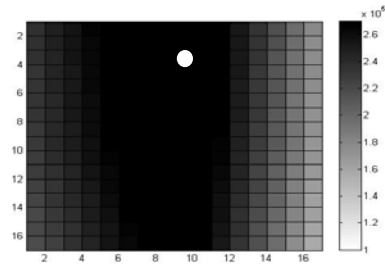


ตำแหน่งที่ 8

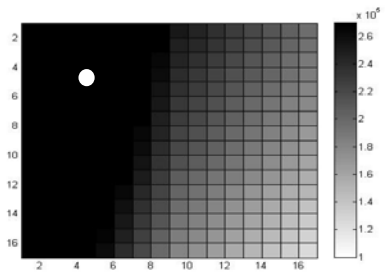
รูปที่ 4.7 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรง 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ในตำแหน่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้า



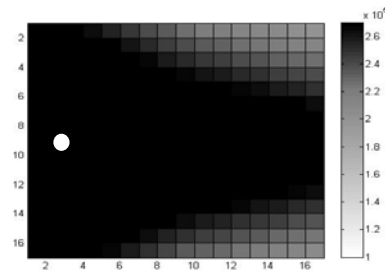
ตำแหน่งที่ 9



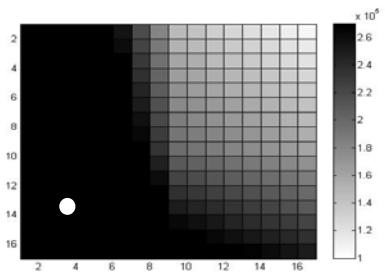
ตำแหน่งที่ 10



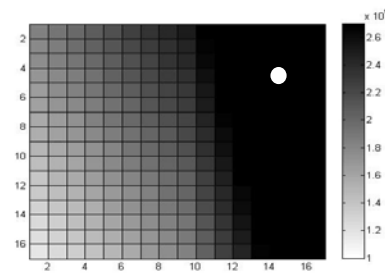
ตำแหน่งที่ 11



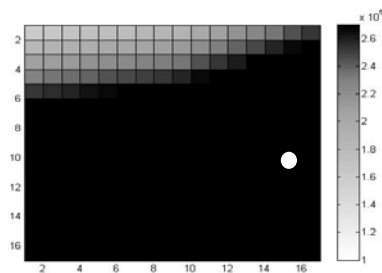
ตำแหน่งที่ 12



ตำแหน่งที่ 13



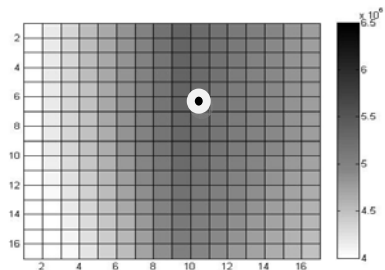
ตำแหน่งที่ 14



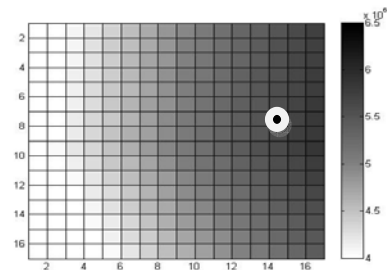
ตำแหน่งที่ 15

รูปที่ 4.7 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรง 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ในตำแหน่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้า

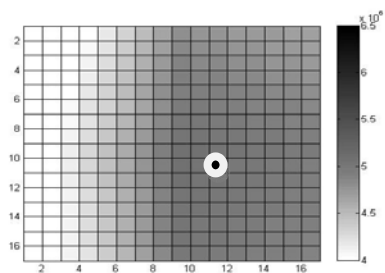
#### 4.6.2 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq)



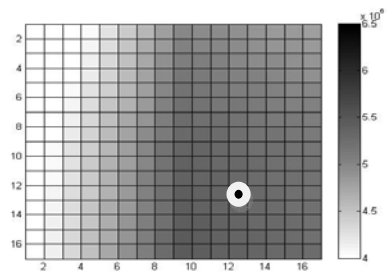
ตำแหน่งที่ 1



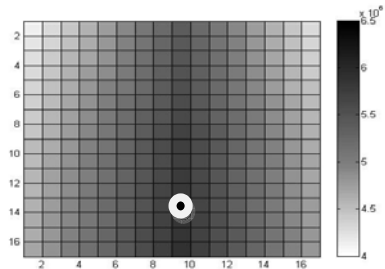
ตำแหน่งที่ 2



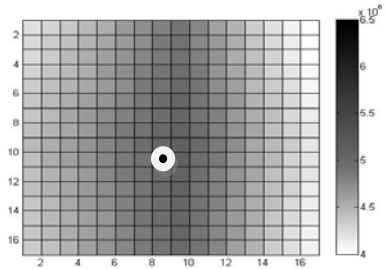
ตำแหน่งที่ 3



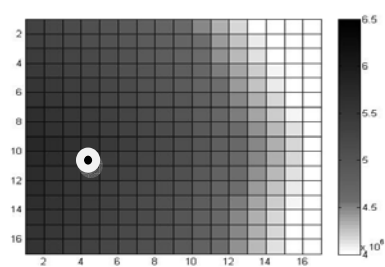
ตำแหน่งที่ 4



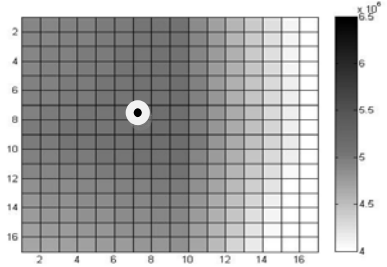
ตำแหน่งที่ 5



ตำแหน่งที่ 6

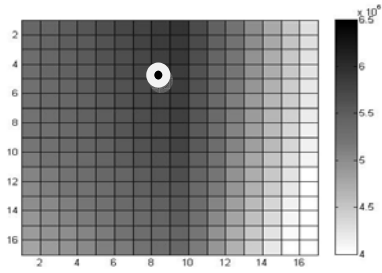


ตำแหน่งที่ 7

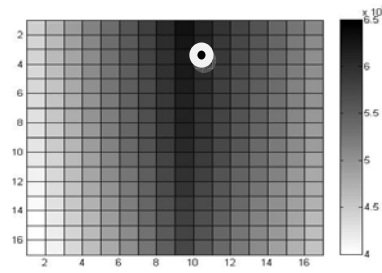


ตำแหน่งที่ 8

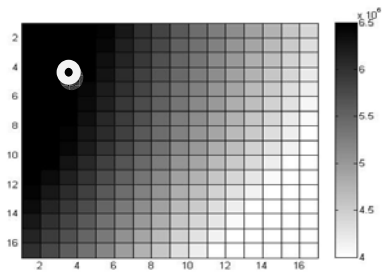
รูปที่ 4.8 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรง 2 mCi (74 MBq) ในตำแหน่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้า



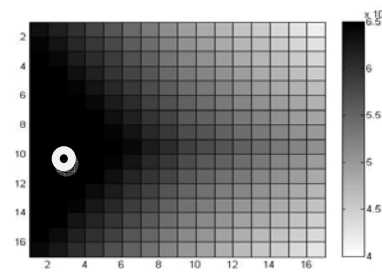
ตำแหน่งที่ 9



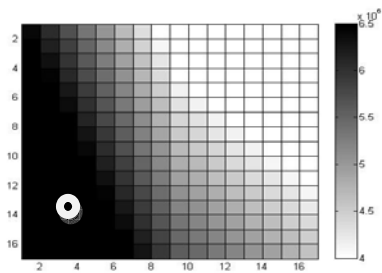
ตำแหน่งที่ 10



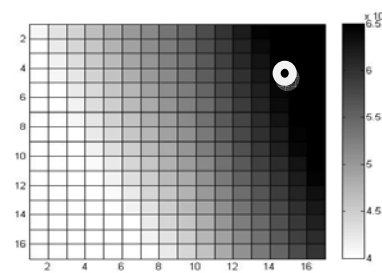
ตำแหน่งที่ 11



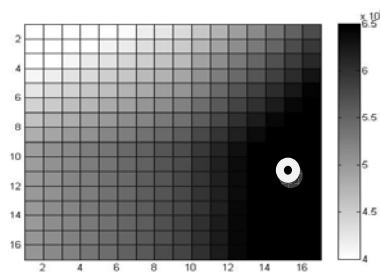
ตำแหน่งที่ 12



ตำแหน่งที่ 13



ตำแหน่งที่ 14



ตำแหน่งที่ 15

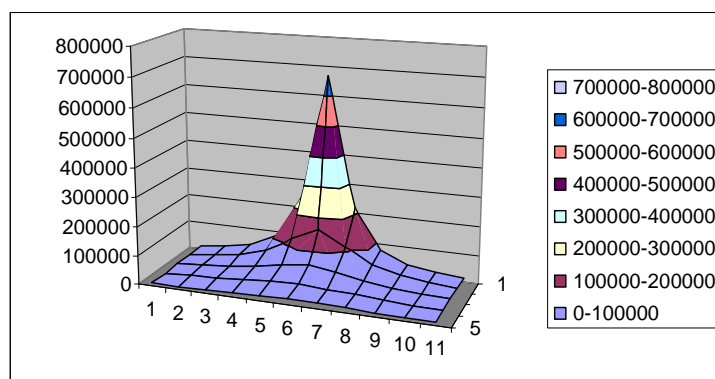
รูปที่ 4.8 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรง 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้า

#### 4.7 ผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี

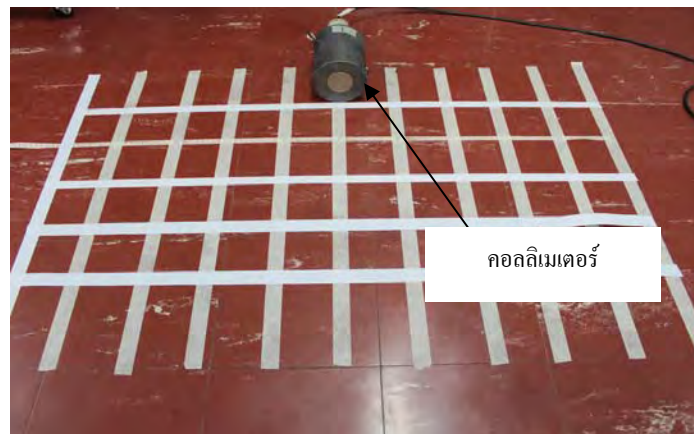
การศึกษารูปผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี เพื่อความแม่นยำในการประเมินตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสี จำนวนนับที่ได้ทั้งหมดในแต่ละจุดนำมาสร้างกราฟ โดยให้แถบสีต่างๆ แสดงถึงจำนวนนับในแต่ละจุดของการวางต้นกำเนิดรังสี ผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสีนั้น เมื่อนำจำนวนนับที่ได้มาสร้างกราฟจะเห็นว่าในกราฟ การไม่ใช้คอลลิเมเตอร์ (รูปที่ 4.10) มีฐานกว้างกว่า ส่วนการกราฟใช้คอลลิเมเตอร์ (รูปที่ 4.12) มีฐานที่แคบกว่า ทั้ง 2 รูปแสดงให้เห็นว่าการใช้คอลลิเมเตอร์นั้นสามารถบังคับรังสีให้เข้าเฉพาะส่วนด้านหน้าของหัววัดรังสีอย่างเดียวได้และสามารถนำมาใช้ในการประเมินตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีต่อไป



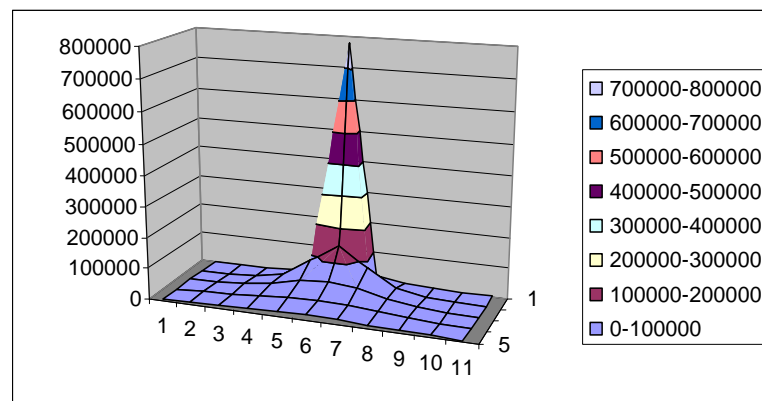
รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งของการวางต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ในการศึกษาผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี



รูปที่ 4.10 ผลกราฟการไม่ใช้คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสีของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ในการศึกษาผลการใช้ คอลลิเมเตอร์ต่ออัตรานับรังสี



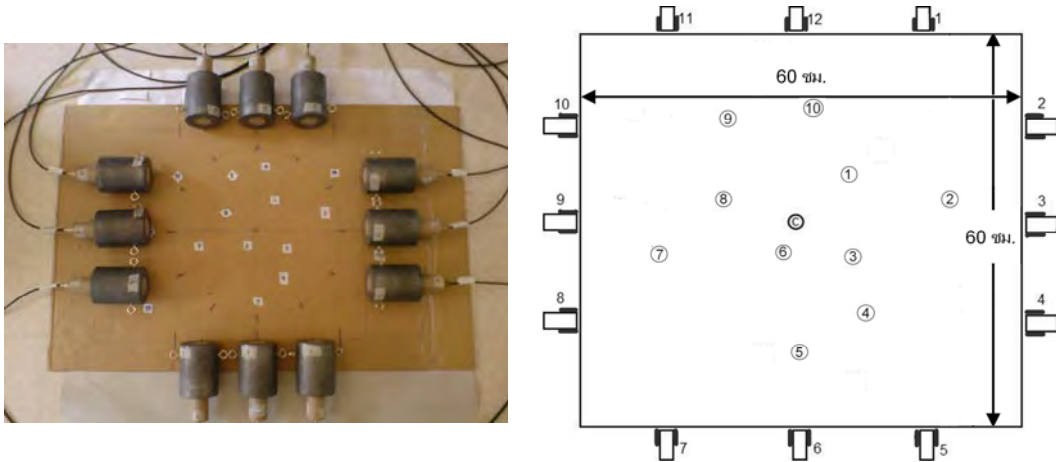
รูปที่ 4.11 แสดงการใช้คอกลลิเมตร ในการศึกษาผลของการใช้คอกลลิเมตรต่ออัตรานับรังสี



รูปที่ 4.12 ผลกราฟการใช้คอกลลิเมตรต่ออัตรานับรังสีของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงแรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ในการศึกษาผลการใช้ คอกลลิเมตรต่ออัตรานับรังสี

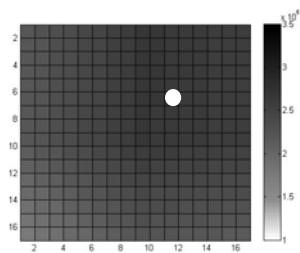
#### 4.8 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสในตำแหน่งต่างๆโดยใช้คอกลลิเมตร

ในการจัดระบบวัดรังสีเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและทำการนับวัดโดยใช้คอกลลิเมตร ใส่กับหัววัดรังสีในการวัดแต่ละตำแหน่งได้นำค่าเปรียบเทียบไปคูณด้วยทุกครั้ง ผลที่ได้จะแสดงเป็นแถบสี ซึ่งในการงานวิจัยนี้ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสี 2 ชนิดคือ Cs-137 ความแรงแรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) และ Co-60 ความแรงแรังสี 2 mCi (74 MBq) วางในตำแหน่งต่างๆที่ละ 1 ต้นกำเนิดรังสี ซึ่งได้ผลตามภาพเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง ดังต่อไปนี้

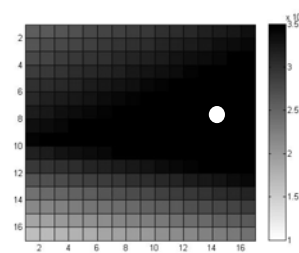


รูปที่ 4.13 การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใส่คอลลิเมเตอร์ให้กับหัววัด

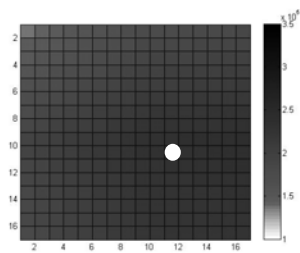
#### 4.8.1 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu\text{Ci}$ (3.7 MBq)



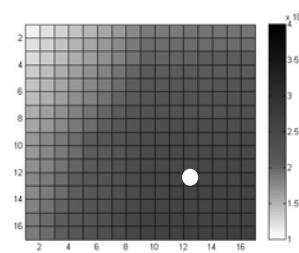
ตำแหน่งที่ 1



ตำแหน่งที่ 2

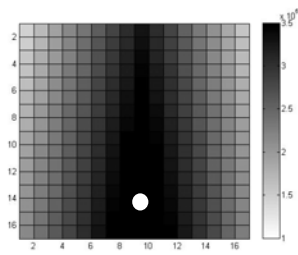


ตำแหน่งที่ 3

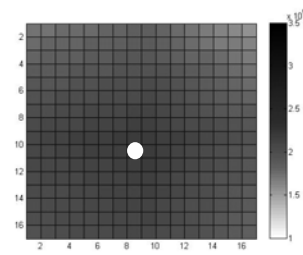


ตำแหน่งที่ 4

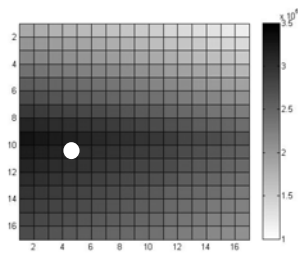
รูปที่ 4.14 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใส่คอลลิเมเตอร์



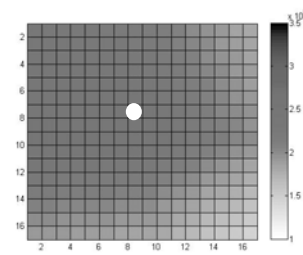
ตำแหน่งที่ 5



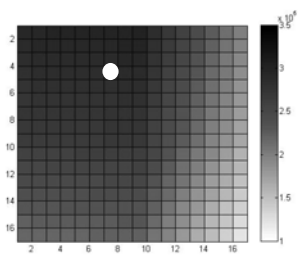
ตำแหน่งที่ 6



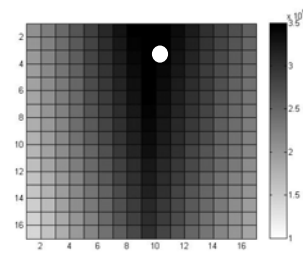
ตำแหน่งที่ 7



ตำแหน่งที่ 8



ตำแหน่งที่ 9

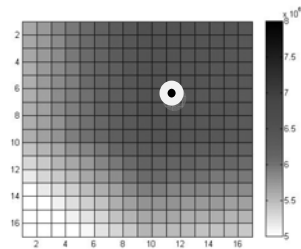


ตำแหน่งที่ 10

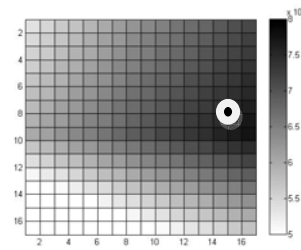
รูปที่ 4.14 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใส่คอลลิเมเตอร์



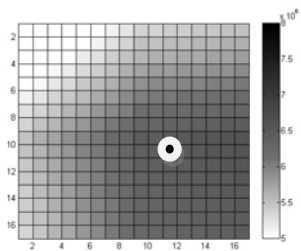
#### 4.8.2 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq)



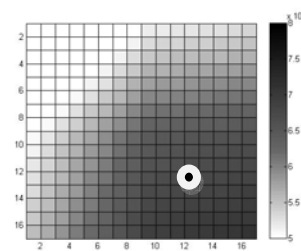
ตำแหน่งที่ 1



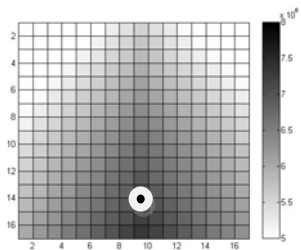
ตำแหน่งที่ 2



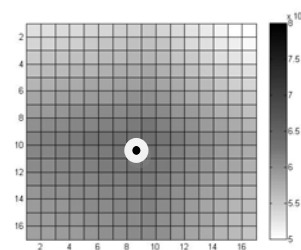
ตำแหน่งที่ 3



ตำแหน่งที่ 4

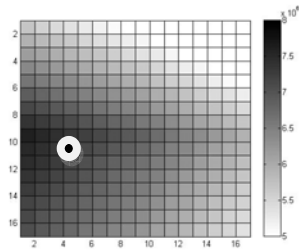


ตำแหน่งที่ 5

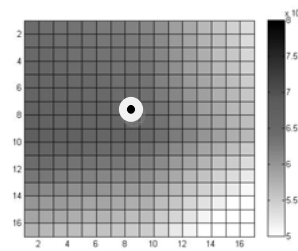


ตำแหน่งที่ 6

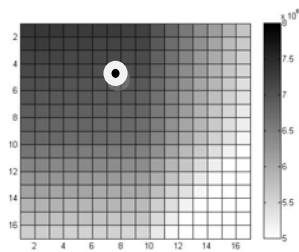
รูปที่ 4.15 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใส่คอลลิเมเตอร์



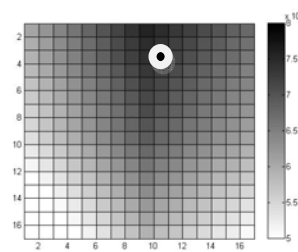
ตำแหน่งที่ 7



ตำแหน่งที่ 8



ตำแหน่งที่ 9

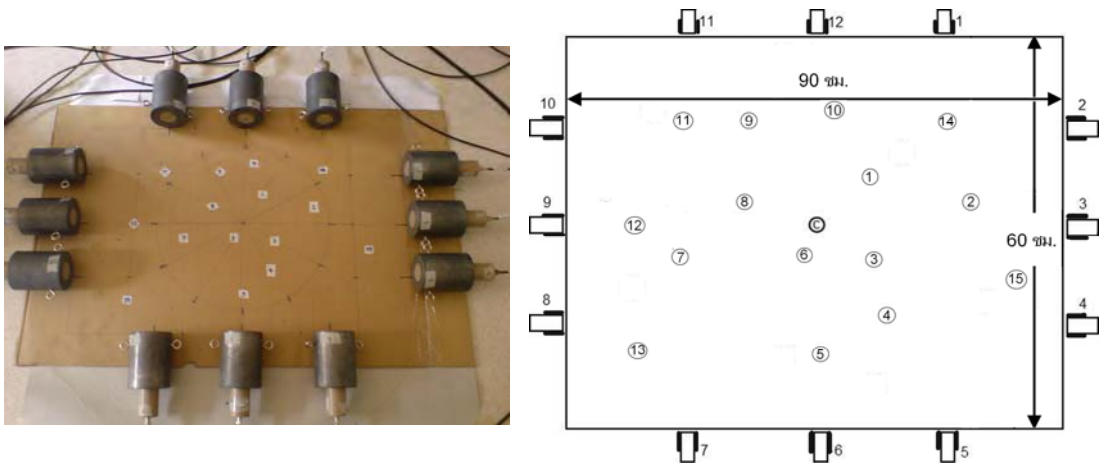


ตำแหน่งที่ 10

รูปที่ 4.15 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใส่คอลลิเมเตอร์

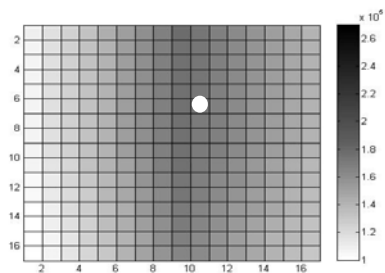
#### 4.9 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในตำแหน่งต่างๆโดยใช้คอลลิเมเตอร์

ในการจัดระบบวัดรังสีเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและทำการนับวัดโดยใช้คอลลิเมเตอร์ ใส่กับหัววัดรังสีในการวัดแต่ละตำแหน่งได้นำค่าปรับเทียบไปคูณด้วยทุกครั้ง ผลที่ได้จะแสดงเป็นแถบสี ซึ่งในการงานวิจัยนี้ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสี 2 ชนิดคือ Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu$ Ci (3.7 MBq) และ Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) วางในตำแหน่งต่างๆที่ละ 1 ต้นกำเนิดรังสี ซึ่งได้ผลตามภาพเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง ดังต่อไปนี้

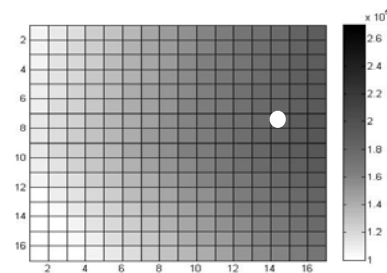


รูปที่ 4.16 การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งต่างๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใส่คอลลิเมเตอร์ให้กับหัววัด

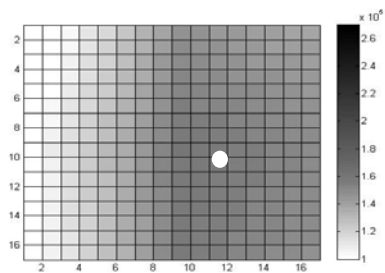
#### 4.9.1 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu\text{Ci}$ (3.7 MBq)



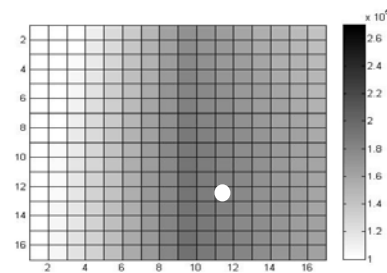
ตำแหน่งที่ 1



ตำแหน่งที่ 2

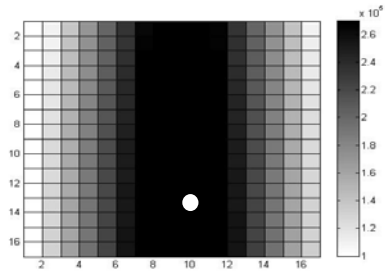


ตำแหน่งที่ 3

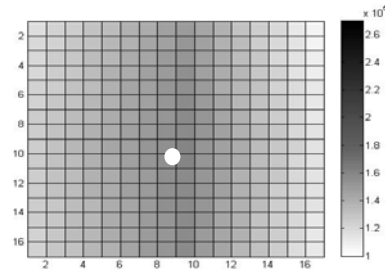


ตำแหน่งที่ 4

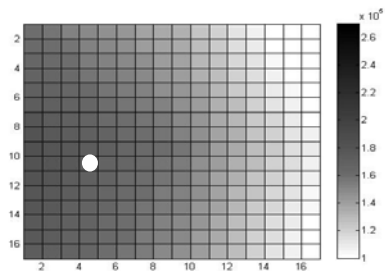
รูปที่ 4.17 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใส่คอลลิเมเตอร์



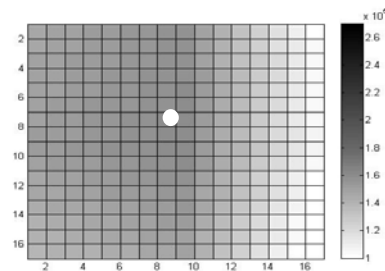
ตำแหน่งที่ 5



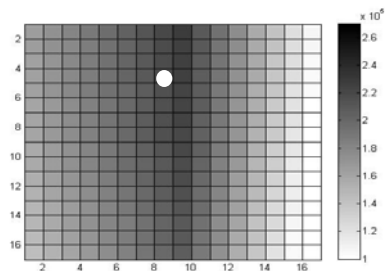
ตำแหน่งที่ 6



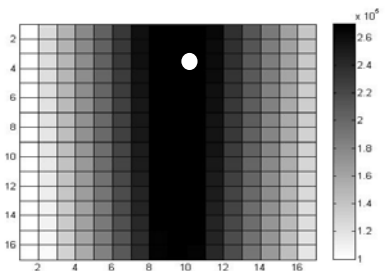
ตำแหน่งที่ 7



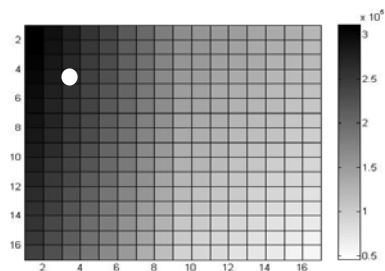
ตำแหน่งที่ 8



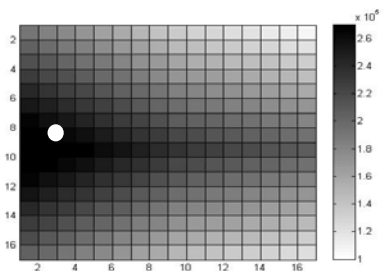
ตำแหน่งที่ 9



ตำแหน่งที่ 10

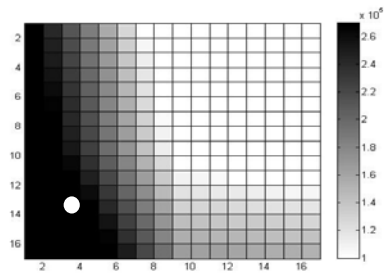


ตำแหน่งที่ 11

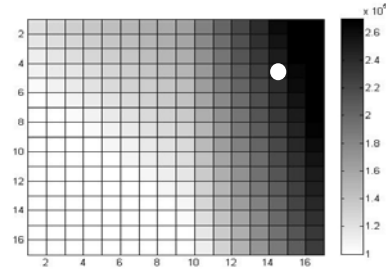


ตำแหน่งที่ 12

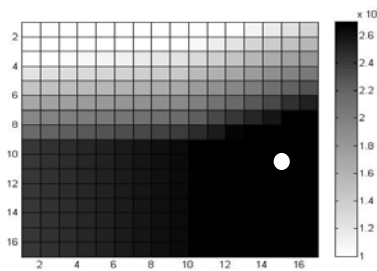
รูปที่ 4.17 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใส่คอลลิเมเตอร์



ตำแหน่งที่ 13



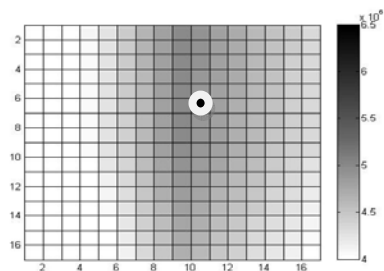
ตำแหน่งที่ 14



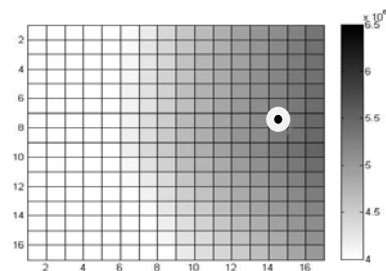
ตำแหน่งที่ 15

รูปที่ 4.17 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใส่คอลลิมิเตอร์

#### 4.9.2 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq)

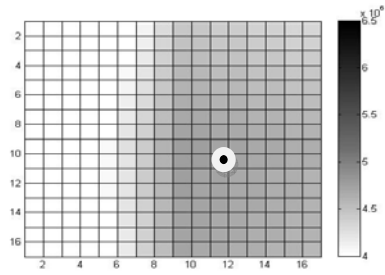


ตำแหน่งที่ 1

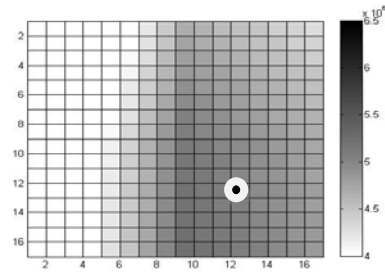


ตำแหน่งที่ 2

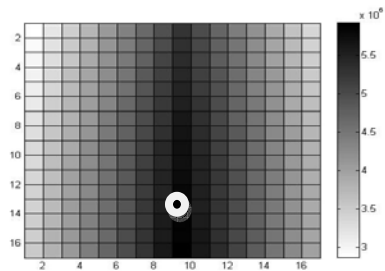
รูปที่ 4.18 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใส่คอลลิมิเตอร์



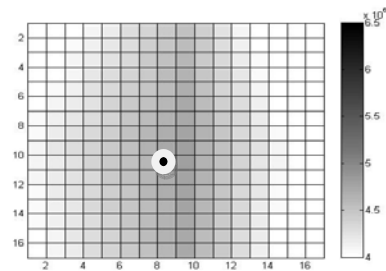
ตำแหน่งที่ 3



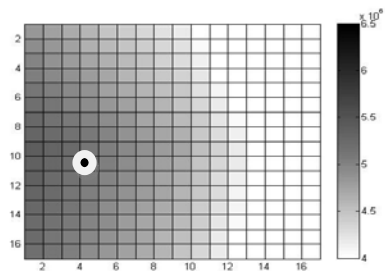
ตำแหน่งที่ 4



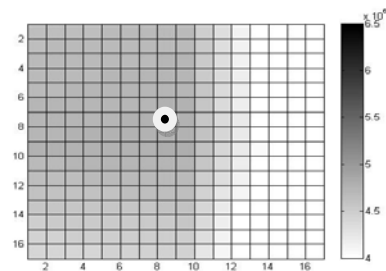
ตำแหน่งที่ 5



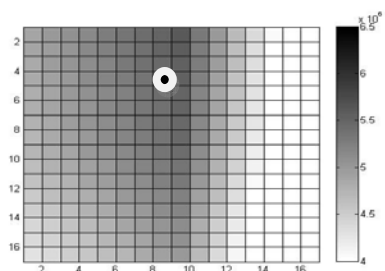
ตำแหน่งที่ 6



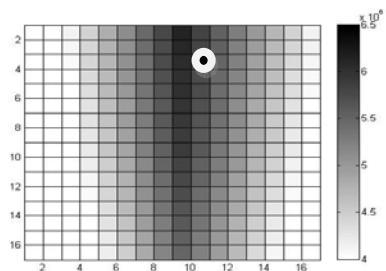
ตำแหน่งที่ 7



ตำแหน่งที่ 8

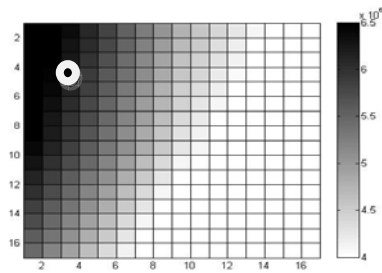


ตำแหน่งที่ 9

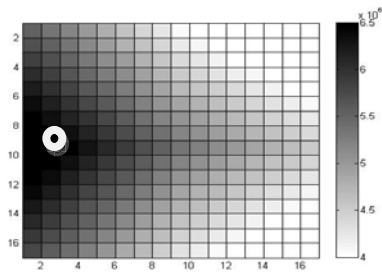


ตำแหน่งที่ 10

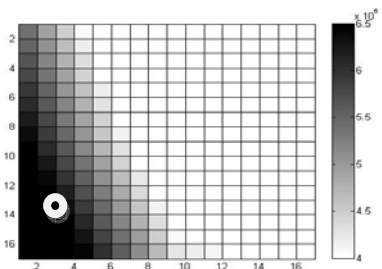
รูปที่ 4.18 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยสี่คอลลลิเมตร



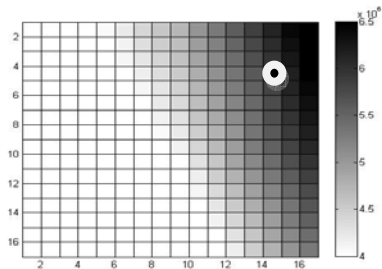
ตำแหน่งที่ 11



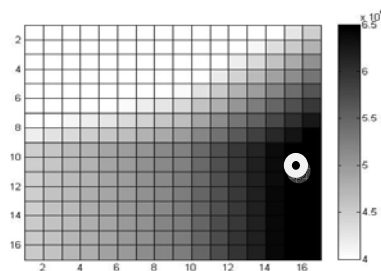
ตำแหน่งที่ 12



ตำแหน่งที่ 13



ตำแหน่งที่ 14



ตำแหน่งที่ 15

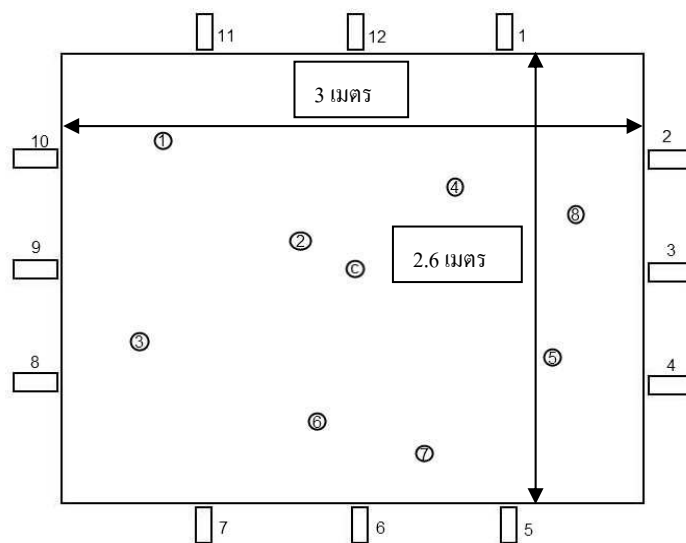
รูปที่ 4.18 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่างๆภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้คอลลิเมเตอร์

#### 4.10 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่ห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.6 เมตร x 3 เมตรในตำแหน่งต่างๆ

การจัดระบบวัดรังสีในห้องเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.6 เมตร x 3 เมตรเพื่อเปรียบเสมือนเป็นห้องเก็บต้นกำเนิดรังสีหรือนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ ทำการนับวัดชั้นแรกโดยไม่ใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี และชั้นที่ 2 ใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี ซึ่งในการวัดแต่ละตำแหน่งได้นำค่าเปรียบเทียบกับคุณด้วยทุกครั้ง ผลที่ได้จะแสดงเป็นแถบสี ซึ่งในการงานวิจัยนี้ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสี 2 ชนิดคือ Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu$ Ci (3.7 MBq) และ Co-60

ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq)วางในตำแหน่งต่างๆที่ละ 1 ต้นกำเนิดรังสี ซึ่งได้ผลตามภาพ  
เปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง ดังต่อไปนี้

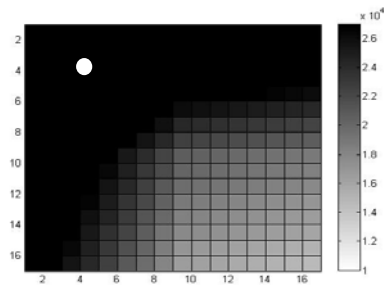
#### 4.10.1 การจัดระบบวัดรังสีในห้องพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.6 เมตร x 3 เมตร



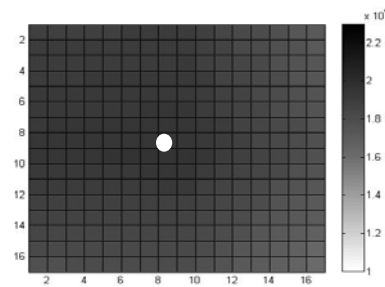
รูปที่ 4.19 การจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องพื้นที่  
สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.6 เมตร x 3 เมตร



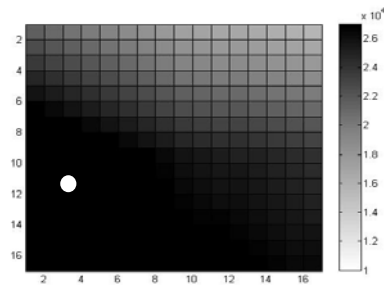
#### 4.10.1.1 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu\text{Ci}$ (3.7 MBq)



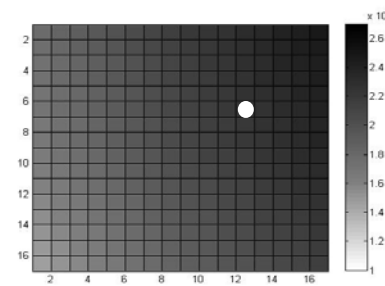
ตำแหน่งที่ 1



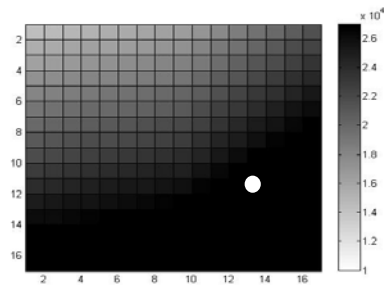
ตำแหน่งที่ 2



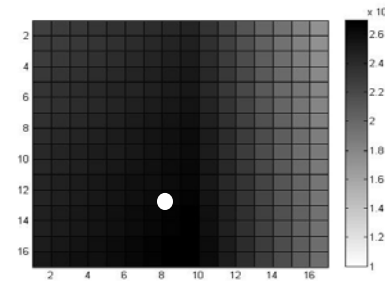
ตำแหน่งที่ 3



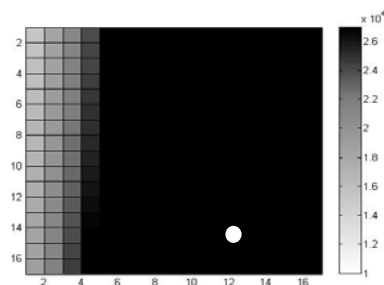
ตำแหน่งที่ 4



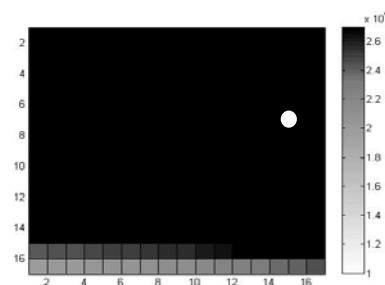
ตำแหน่งที่ 5



ตำแหน่งที่ 6



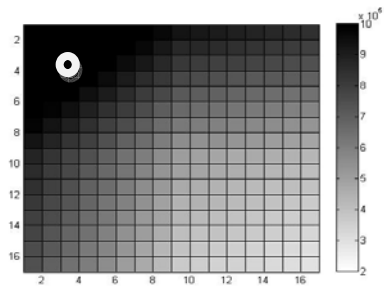
ตำแหน่งที่ 7



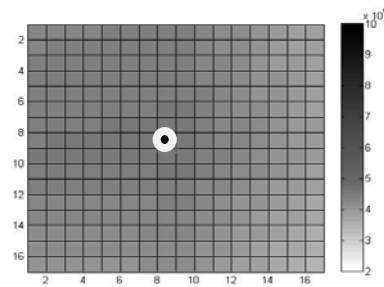
ตำแหน่งที่ 8

รูปที่ 4.20 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง

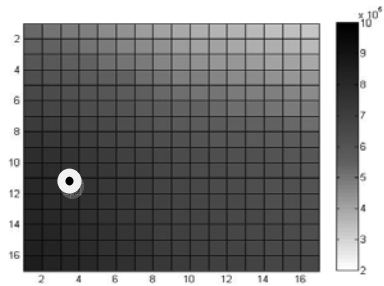
#### 4.10.1.2 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi(74 MBq)



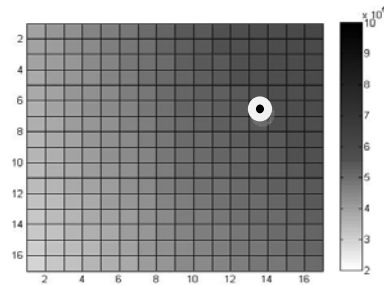
ตำแหน่งที่ 1



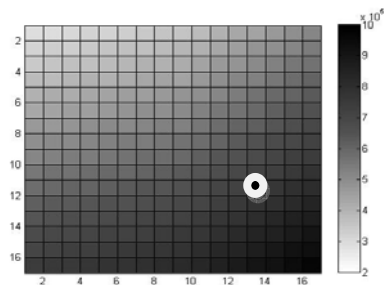
ตำแหน่งที่ 2



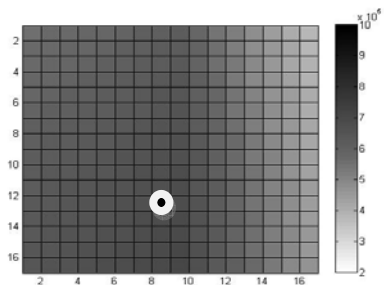
ตำแหน่งที่ 3



ตำแหน่งที่ 4

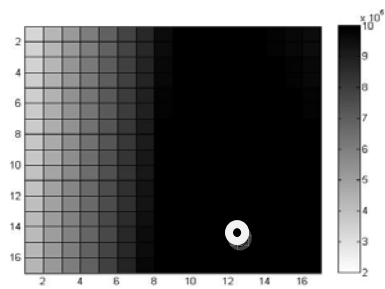


ตำแหน่งที่ 5

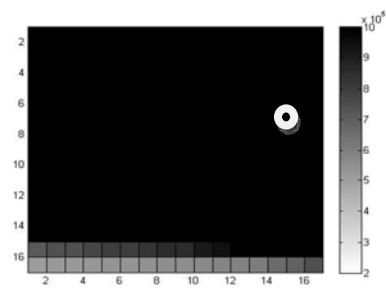


ตำแหน่งที่ 6

รูปที่ 4.21 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง



ตำแหน่งที่ 7

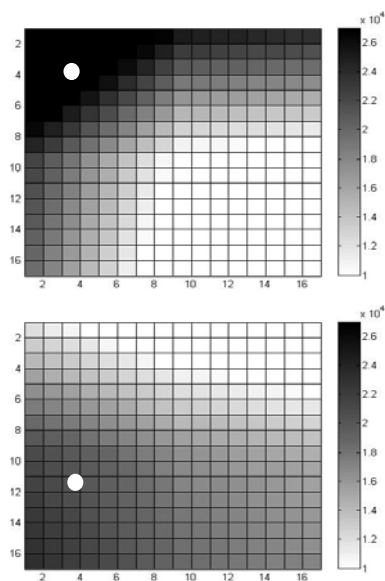


ตำแหน่งที่ 8

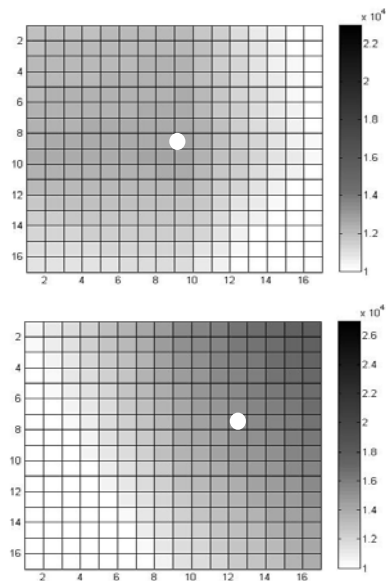
รูปที่ 4.21 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง

#### 4.10.2 การจัดระบบวัดรังสีในห้องโดยใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี

##### 4.10.2.1 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu$ Ci (3.7 MBq)

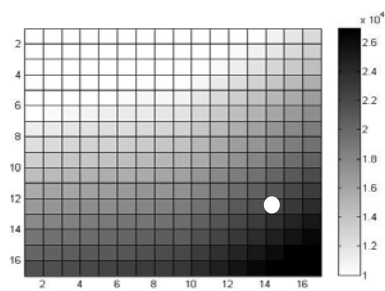


ตำแหน่งที่ 3

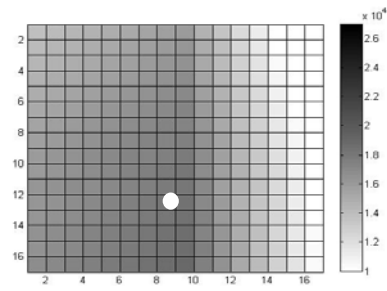


ตำแหน่งที่ 4

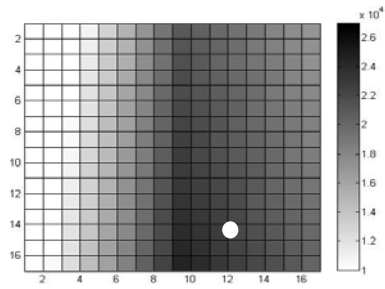
รูปที่ 4.22 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu$ Ci (3.7 MBq) โดยใช้คอลลิเมเตอร์ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง



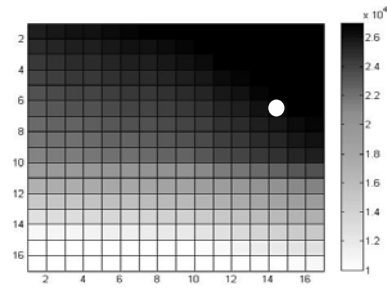
ตำแหน่งที่ 5



ตำแหน่งที่ 6



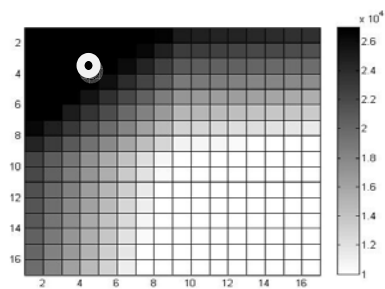
ตำแหน่งที่ 7



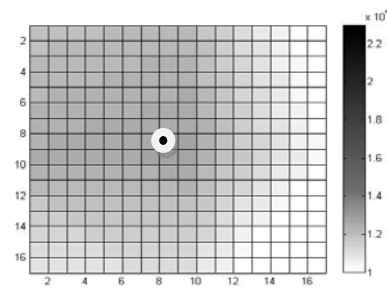
ตำแหน่งที่ 8

รูปที่ 4.22 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) โดยใช้คอลลิเมเตอร์ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง

#### 4.10.2.2 ผลการวัดโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq)

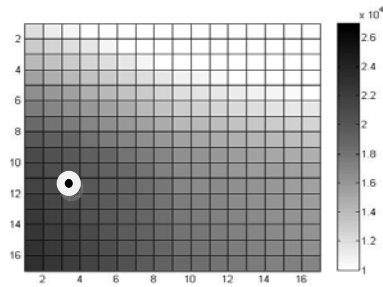


ตำแหน่งที่ 1

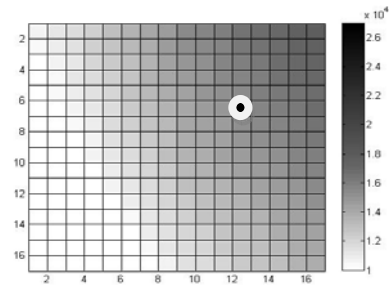


ตำแหน่งที่ 2

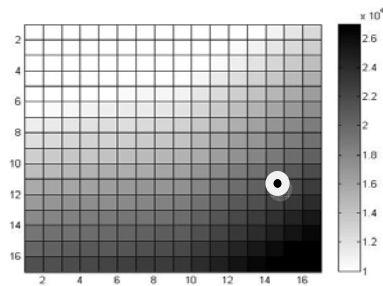
รูปที่ 4.23 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) โดยใช้คอลลิเมเตอร์ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง



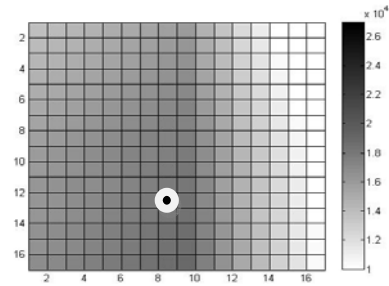
ตำแหน่งที่ 3



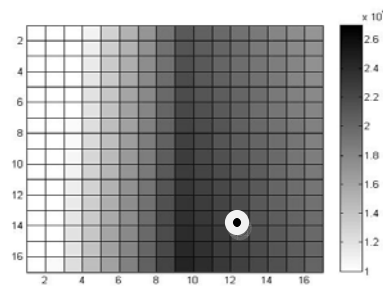
ตำแหน่งที่ 4



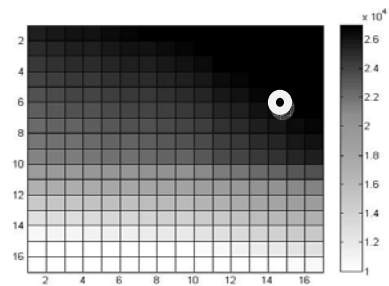
ตำแหน่งที่ 5



ตำแหน่งที่ 6



ตำแหน่งที่ 7



ตำแหน่งที่ 8

รูปที่ 4.23 (ต่อ) ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) โดยใช้คอลลิเมเตอร์ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง

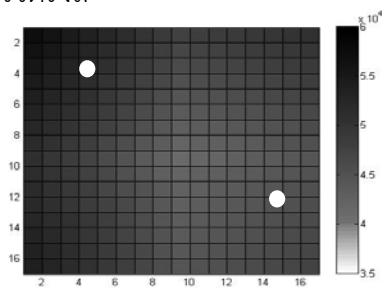
#### 4.11 ผลการวัดรังสีจากพื้นที่ห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.6 เมตร x 3 เมตรในตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ 2 ต้นกำเนิดรังสี

การจัดระบบวัดรังสีในห้องเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.6 เมตร x 3 เมตรและใช้ 2 ต้นกำเนิดรังสีในการทดลองได้แก่ Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu$ Ci (3.7 MBq) จำนวน 2 ต้นกำเนิดรังสีและ Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) จำนวน 1 ต้นกำเนิดรังสี ชั้นแรกใช้ Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu$ Ci (3.7 MBq) จำนวน 2 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกัน

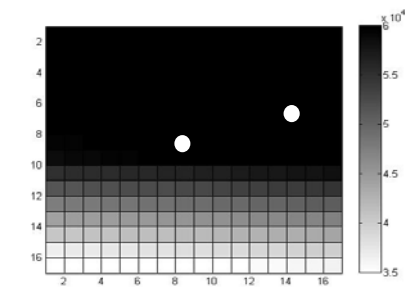
และไม่ใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี และชั้นที่ 2 ใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี ชั้นที่ 3 ใช้ Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) จำนวน 1 ต้นกำเนิดรังสีและ Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) จำนวน 1 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกันและไม่ใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี และชั้นที่ 4 ใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี ซึ่งในการวัดแต่ละตำแหน่งได้นำค่าเปรียบเทียบไปคูณด้วยทุกครั้ง ผลที่ได้จะแสดงเป็นแถบสี ซึ่งได้ผลตามภาพเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง ดังต่อไปนี้

#### 4.11.1 การจัดระบบวัดรังสีในห้องโดยใช้ Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu\text{Ci}$

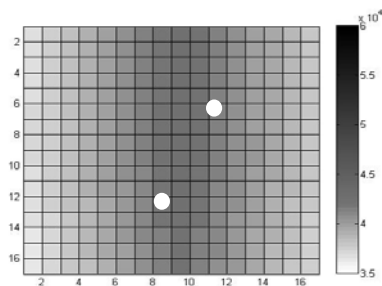
(3.7 MBq) จำนวน 2 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกันและไม่ใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี



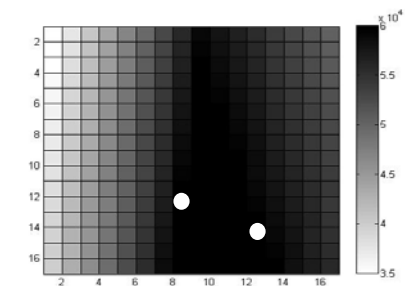
Cs-137 ตำแหน่งที่ 1 และ 5



Cs-137 ตำแหน่งที่ 2 และ 8



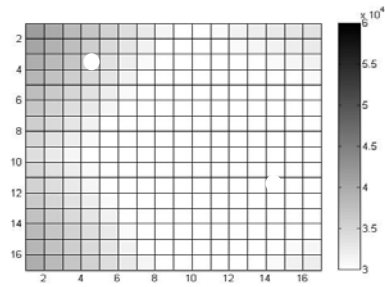
Cs-137 ตำแหน่งที่ 4 และ 6



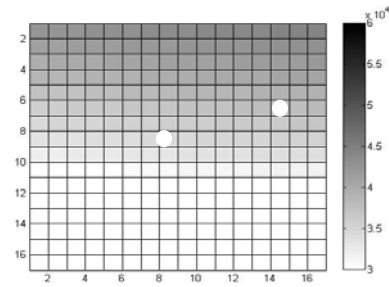
Cs-137 ตำแหน่งที่ 6 และ 7

รูปที่ 4.24 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) จำนวน 2 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกัน ภายในห้องโดยไม่ใช้คอลลิเมเตอร์

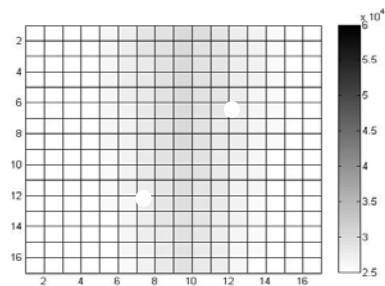
4.11.2 การจัดระบบวัดรังสีในห้องโดยใช้ Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) จำนวน 2 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกันและใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี



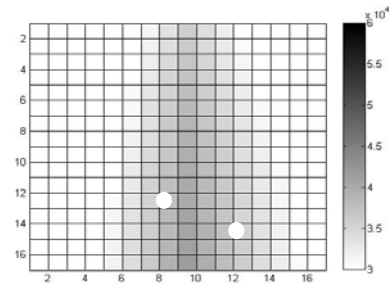
Cs-137 ตำแหน่งที่ 1 และ 5



Cs-137 ตำแหน่งที่ 2 และ 8



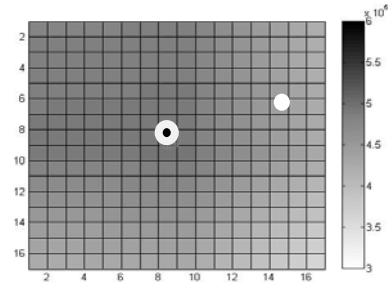
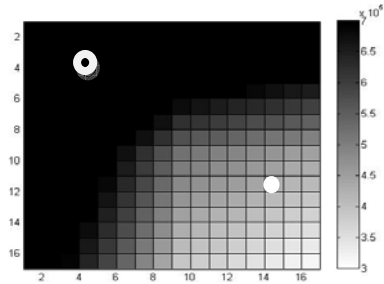
Cs-137 ตำแหน่งที่ 4 และ 6



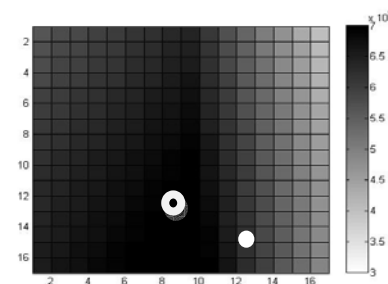
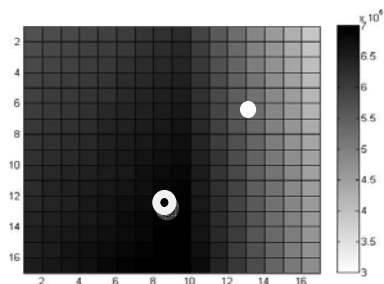
Cs-137 ตำแหน่งที่ 6 และ 7

รูปที่ 4.25 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) จำนวน 2 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกัน ภายในห้องโดยใช้คอลลิเมเตอร์

4.11.3 การจัดระบบวัดรังสีในห้องโดยใช้ Cs-137 ความแรงแรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) จำนวน 1 ต้นกำเนิดรังสีและ Co-60 ความแรงแรังสี 2 mCi (74 MBq) จำนวน 1 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกันและไม่ใช้คอลลิเมเตอร์ใส่กับหัววัดรังสี



Co-60 ตำแหน่งที่ 1 และ Cs-137 ตำแหน่งที่ 5      Co-60 ตำแหน่งที่ 2 และ Cs-137 ตำแหน่งที่ 8



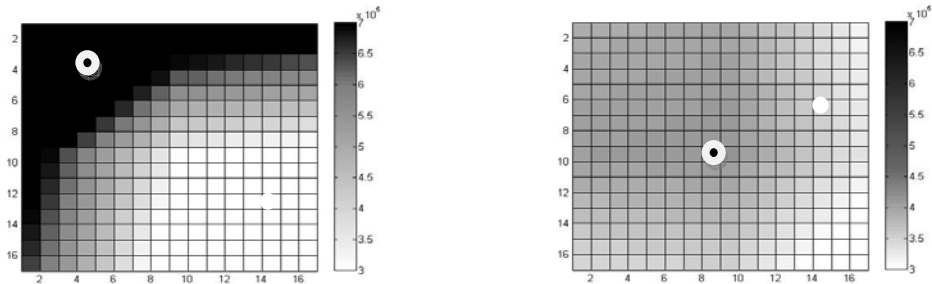
Co-60 ตำแหน่งที่ 6 และ Cs-137 ตำแหน่งที่ 4      Co-60 ตำแหน่งที่ 6 และ Cs-137 ตำแหน่งที่ 7

รูปที่ 4.26 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงแรังสี 2 mCi (74 MBq) และ Cs-137 ความแรงแรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) จำนวนอย่างละ 1 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกัน ภายในห้อง โดยไม่ใช้คอลลิเมเตอร์

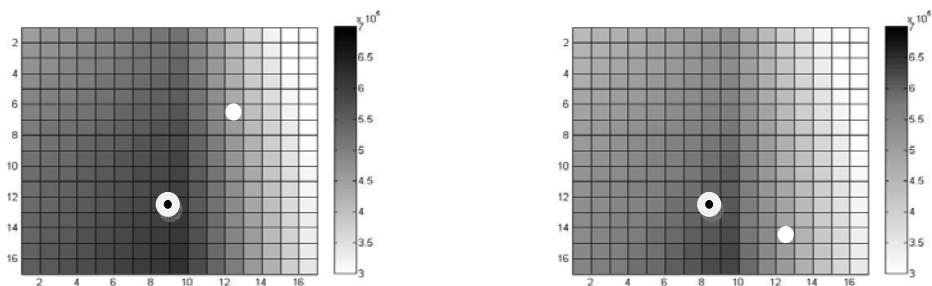


#### 4.11.4 การจัดระบบวัดรังสีในห้องโดยใช้ Cs-137 ความแรงรังสี 100 $\mu\text{Ci}$

(3.7 MBq) จำนวน 1 ต้นกำเนิดรังสีและ Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) จำนวน 1 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกันและใช้คอลลิเมเตอร์ไว้กับหัววัดรังสี



Co-60 ตำแหน่งที่ 1 และ Cs-137 ตำแหน่งที่ 5      Co-60 ตำแหน่งที่ 2 และ Cs-137 ตำแหน่งที่ 8



Co-60 ตำแหน่งที่ 6 และ Cs-137 ตำแหน่งที่ 4      Co-60 ตำแหน่งที่ 6 และ Cs-137 ตำแหน่งที่ 7

รูปที่ 4.27 ระดับสีแสดงความเข้มรังสีที่วัดได้จากต้นกำเนิด Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) และ Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) จำนวนอย่างละ 1 ต้นกำเนิดรังสีวางพร้อมกันภายในตำแหน่งที่ต่างกัน ภายในห้อง โดยใช้คอลลิเมเตอร์

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การจัดระบบวัดรังสีแกมมานี้เลือกใช้ หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชันชนิด NaI(Tl) ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว จำนวนที่ใช้มีทั้งหมด 12 หัววัด ต่อเข้ากับอุปกรณ์นับรังสี LUDLUM Model 4612 เป็น Single Channel Analyzer มี 12 เครื่องในชุดเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสูง ภาคขยายสัญญาณ เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (single channel analyzer, SCA) อุปกรณ์นับและตั้งเวลา โดยสามารถต่อหัววัดรังสีเข้ากับอุปกรณ์นับรังสี LUDLUM Model 4612 ได้โดยตรง และใช้โปรแกรมซึ่งสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน)เป็นผู้เขียนขึ้นประกอบการใช้งานคู่กับชุดหัววัด และ LUDLUM Model 4612 เครื่อง SCA ชุดนี้ต่อกับคอมพิวเตอร์โดยพอร์ตอนุกรม (Serial Port) และใช้โปรแกรมในการตั้งค่าต่างๆ เช่น ตั้งไฟฟ้าคักดาสูง, ตั้งเวลา เป็นต้น

5.1.1 ปัจจัยในการวัดรังสีแกมมาแต่ละพลังงานที่สำคัญ คือ การปรับค่าคักดาไฟฟ้าสูงที่เหมาะสมสำหรับหัววัด NaI(Tl) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวัดรังสีในแต่ละช่วงพลังงาน เนื่องจากรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่างกันให้จำนวนโฟตอนของแสงที่เกิดขึ้นในผลึก NaI(Tl) ต่างกันไปตามสัดส่วน ในงานวิจัยนี้จุดประสงค์หลัก คือ ไม่ทราบชนิดของต้นกำเนิดรังสี จึงไม่สามารถกำหนดช่วงของ ULD และ LLD ได้ ในการทดลองแต่ละครั้งจึงเปิดช่วงของ ULD และ LLD ให้มีช่วงกว้างที่สุด และปรับค่าคักดาไฟฟ้าสูงให้เหมาะสมกับหัววัดขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว การทดลองได้ใช้ Cs-137 เป็นต้นกำเนิดรังสีในการหาค่าคักดาไฟฟ้าโดยตั้งต้นกำเนิดรังสีไว้ที่จุดศูนย์กลางของวงกลม และวางหัววัดรังสีไว้โดยรอบมีระยะห่างเท่าๆกัน ซึ่งได้ค่าคักดาไฟฟ้าสูงที่เหมาะสมประมาณ 515 โวลต์

5.1.2 การเปรียบเทียบค่าของแต่ละหัววัดมีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งจะทำให้ได้จำนวนนับที่ถูกต้อง เนื่องจากการจัดระบบนี้มีการใช้หัววัดหลายหัว ซึ่งแต่ละหัววัดมีจำนวนนับสูงต่ำต่างกันไปในระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีที่เท่ากัน จึงต้องหาค่าเปรียบเทียบโดยตั้งต้นกำเนิดรังสีไว้ที่จุดศูนย์กลางของวงกลมและวางหัววัดรังสีล้อมรอบ โดยมีระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีถึงหัววัดรังสีที่เท่าๆกัน ค่าเปรียบเทียบที่ได้สามารถนำไปคูณกับค่าที่นับได้จริงในแต่ละครั้งได้ทันที

5.1.3 ในการศึกษาถึงความแรงรังสีที่ต่างกันจากระยะที่เท่ากันโดยที่ใช้ต้นกำเนิดรังสีชนิดเดียวกัน สามารถบอกได้ว่าความแรงรังสีจะมีผลต่อการวัดรังสีที่ระยะต่างๆเมื่อต้นกำเนิดรังสีมีความแรงรังสีต่ำค่าจำนวนนับที่ระยะห่างจะได้ค่าที่น้อยทำให้ต้องใช้เวลาวัดที่นานยิ่งขึ้น

5.1.4 ในการจัดระบบในงานวิจัย เลือกใช้การจัดให้มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อเปรียบเทียบให้เหมือนกับห้องปฏิบัติการจริง ซึ่งมีลักษณะสี่เหลี่ยมโดยวางหัววัดไว้ด้านละ 3 หัววัดมีทั้งหมด 4 ด้าน ระยะห่างแต่ละด้านมีระยะที่เท่าๆกัน และในการทดลองเลือกใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) และ Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) ต้นกำเนิดรังสีแต่ละตัวมีได้เป็นต้นกำเนิดรังสีแบบจุดจึงปล่อยรังสีได้รอบทิศทาง เลือกวางทีละ 1 ต้นกำเนิดรังสี ทำการวัดแต่ละครั้ง นำค่าเปรียบเทียบที่ได้ของแต่ละหัววัดคูณด้วยทุกครั้ง นำค่าที่ได้ไปสร้างภาพโดยใช้โปรแกรม Matlab ผลที่ได้จากการสร้างภาพสามารถประเมินตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีว่ามีแนวโน้มไปทางไหนของระบบวัดรังสีนี้

5.1.5 การใช้คอลลิเมเตอร์ ใส่ให้กับหัววัดรังสีในการทดลอง คุณสมบัติของคอลลิเมเตอร์ ชนิดตะกั่ว สามารถกำบังรังสีแกมมาได้ขึ้นอยู่กับความหนาของตะกั่วที่ใช้ทำคอลลิเมเตอร์ ผลของการใช้คอลลิเมเตอร์ คือ สามารถรับรังสีเข้าเฉพาะด้านหน้าของหัววัดอย่างเดียวได้ จึงทำให้การประเมินตำแหน่งของระบบวัดมีผลที่ดีขึ้น

5.1.6 การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการกับ ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) และ Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) โดยการจัดวางต้นกำเนิดรังสีทีละ 1 ต้นกำเนิดรังสีและวางหัววัดรังสีเหมือนในการทดลองแรก ผลการทดสอบระบบวัดรังสีชุดนี้แสดงว่าสามารถใช้ในการประเมินตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีได้ซึ่งพบว่าจำนวนนับรังสีจากหัววัดรังสีแต่ละชุดขึ้นอยู่กับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีในทุกกรณี

5.1.7 นอกจากการทดลองใช้ต้นกำเนิดรังสีวางทีละ 1 ต้นกำเนิดรังสีแล้ว ยังได้ทำการทดสอบโดยวางต้นกำเนิดรังสี 2 ต้นกำเนิดรังสีพร้อมกัน โดยชั้นแรกวาง Cs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) จำนวน 2 ต้นกำเนิดรังสีพร้อมกัน ชั้นต่อมาวาง Co-60 ความแรงรังสี 2 mCi (74 MBq) และCs-137 ความแรงรังสี 100  $\mu\text{Ci}$  (3.7 MBq) จำนวนชนิดละ 1 ต้นกำเนิดรังสีพร้อมกัน ผลการทดสอบ ระบบวัดชุดนี้แสดงว่าสามารถใช้ในการประเมินตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีได้ หากต้นกำเนิดรังสีมีความแรงรังสีที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในแนวเดียวกัน แต่ไม่สามารถแยกแยะถึงตำแหน่งของแต่ละต้นกำเนิดรังสีได้ เนื่องจากค่าที่นำมาสร้างกราฟนั้นได้จากการบวกกันของจำนวนนับในแต่ละหัววัด หากต้นกำเนิดรังสีมีความแรงรังสีต่างกันมาก ต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงรังสีสูงกว่าจะแสดงให้เห็นในการประเมินตำแหน่งได้มากกว่า

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การตั้งค่า ULD และ LLD ไม่ควรเปิดที่พีคของแต่ละต้นกำเนิดรังสี เพราะการเปิดเฉพาะพีคของแต่ละต้นกำเนิดรังสีนั้น จะวัดได้ไม่ครอบคลุมในกรณีไม่ทราบชนิดต้นกำเนิดรังสี

5.2.2 จำนวนนับรังสีจากหัววัดรังสีแต่ละชุด ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี ในทุกกรณี ด้านความปลอดภัย เช่น สนามบิน มีพื้นที่ที่กว้างมาก การเพิ่มระยะห่างของหัววัดรังสีทำให้ต้องเพิ่มความยาวของสายสัญญาณอาจทำให้ต้องเพิ่มค่าศักดาไฟฟ้าสูงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าในการทดลองนี้ เนื่องจากเกิดการสูญเสียสัญญาณระหว่างสาย

5.2.3 ต้นกำเนิดรังสีแบบจุด (point source) สามารถใช้ในระบบนี้ได้ เพราะสามารถแผ่รังสีออกได้ทุกทิศทาง แต่ถ้าต้นกำเนิดรังสีบรรจุในหีบห่อที่มีช่องเปิดเฉพาะไม่สามารถแผ่รังสีออกได้ทุกทิศทาง จึงไม่เหมาะที่จะวัดด้วยระบบนี้ได้

5.2.4 การติดตั้งลักษณะหัววัดรังสี หากทำในห้องปฏิบัติการ หรือ พื้นที่ที่มีบริเวณกว้าง เช่น สนามบิน สามารถติดตั้งหัววัดในแนวตั้งได้เนื่องจากหัววัดรังสีสามารถรับรังสีได้ทั้งด้านหน้าและด้านข้าง

5.2.5 ในการพัฒนาระบบนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจหาและประเมินตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสี ในด้านการรักษาความปลอดภัยทางผู้ประกอบการสามารถที่จะจัดหาและติดตั้งระบบตรวจหาและประเมินตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีเพื่อความปลอดภัยในราคาถูกลงได้

## รายการอ้างอิง

- [1] Larmarsh, John R. Introduction to nuclear engineering. 2<sup>nd</sup> ed. Massachusetts : Addison-Wesley Publish Company Reading, 1983.
- [2] Gordon, Gilmore and John, D. Hemingway. Practical gamma-ray spectrometry. England : John wiley&Sons, 1995.
- [3] Gilenn, F. K. Radiation Detection and Measurement. 3<sup>rd</sup> ed. New York:John Wiley & sons, 1999.
- [4] Turner, J.E. Atoms Radiation and Radiation Protection New York : Pergamon Press,1986.
- [5] Thomas, S. CURRY. James E. DOWDEY.Robert, C. MURRY.JR. Christensen's Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology 3<sup>rd</sup> ed. Philadelphia :Lea & Febiger , 1990.
- [6] International Atomic Energy Agency. Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources. IAEA/CODEOC/2004, IAEA, 2004.
- [7] Greta Joy Dicus. USA Perspectives - Safety & Security of Radioactive Sources. IAEA,Bulletin 41: 22, 1999.
- [8] ศิริพงษ์ ไชยมงค์. ระบบวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์- มุลเลอร์บนไมโครคอมพิวเตอร์. วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, (2543):22-28.
- [9] กิตติศักดิ์ ชัยสรรพ์. พัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [10] ธีระยุทธ เพลิดพริ้ง. การพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [11] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. Nuclear radiation detection and instrumentation, วิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [12] ธวัช ชิตตระการ. การตรวจและวัดรังสี. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [13] นवलณี รุ่งธนเกียรติ. เทคนิคการตรวจวัดรังสี. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.

- [14] ไพฑูรย์ วรรณพงษ์. การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2546.
- [15] สุวัฒน์ บุญนาค. การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2546.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หัววัดรังสีแกมมาแบบซินทิลเลชัน ชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 1 x 1 นิ้ว

LUDLUM MODEL 44-2 GAMMA SCINTILLATOR



หัววัดรังสีแกมมาแบบซินทิลเลชัน ชนิดโซเดียมไอโอดัด (ทัลเลียม) ขนาด 1 x 1 นิ้ว

LUDLUM MODEL 44-2 GAMMA SCINTILLATOR



### Specifications

**Compatible Instruments:** general-purpose survey meters, ratemeters and scalers

**Sensitivity:** typically 175 cpm per  $\mu\text{R/hr}$  (Cs-137 gamma)

**Energy Response:** energy dependent

**Background:** 1800 cpm **Operating Voltage :** 500–1200 volts

**Dynode String Resistance:** 100 megohm

**Connector:** series "C" (others available)

**Scintillator:** 2.5 x 2.5 cm (1 x 1 in.) Dia. x thickness)

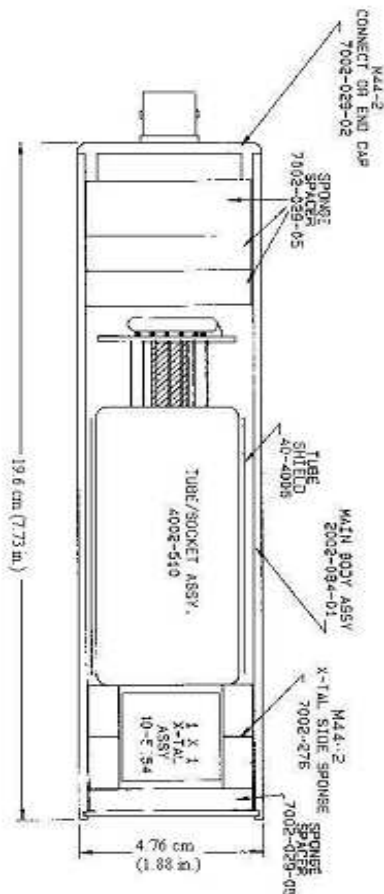
**Tube:** 2.9 cm (1.1 in.) diameter magnetically shielded photomultiplier

**Construction:** aluminum housing with beige powder-coat finish

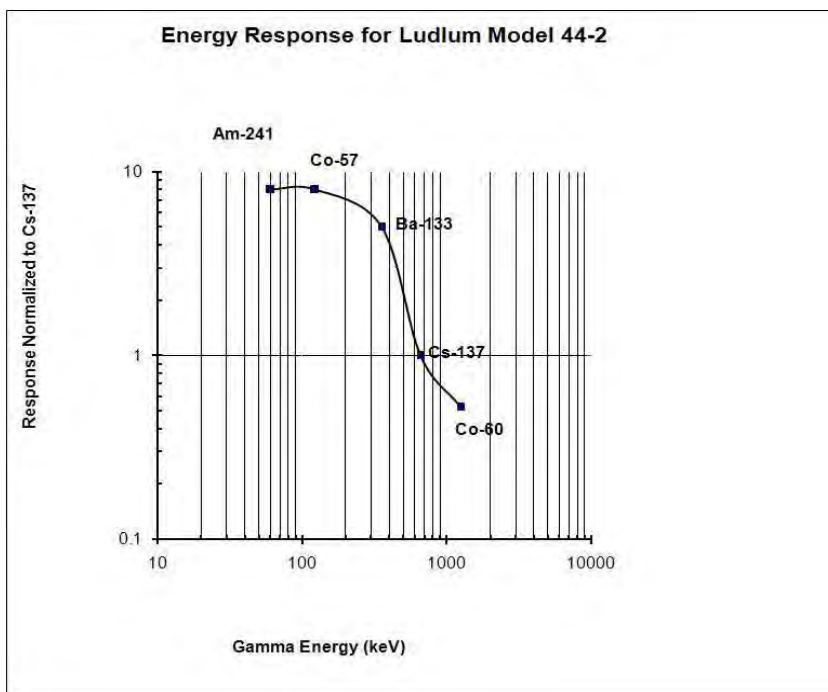
**Temperature Range:** -15 to 50 °C (5 to 122 °F); may be certified for -40 to 65 °C (-40 to 150 °F)

**Size:** 5.1 x 18.5 cm (2 x 7.3 in.) (Dia. x L)

**Weight:** 0.5 kg (1 lb)



โครงสร้างหัววัดรังสีแกมมาแบบซินทิลเลชั่น ชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 1x1 นิ้ว



การตอบสนองต่อพลังงานของหัววัดรังสีแกมมาแบบซินทิลเลชั่น ชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 1x1 นิ้ว

ภาคผนวก ข

ชุดเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียวจำนวน 12 ช่อง (Sing channel analyzer, SCA)

LUDLUM MODEL 4612 TWELVE-CHANNEL COUNTER

ชุดเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียวจำนวน 12 ช่อง (Sing channel analyzer, SCA) LUDLUM  
MODEL 4612 TWELVE-CHANNEL COUNTER



### Electronics Specifications

Power: 7.5 to 15 Vdc at 250 mA max.

Amplifier Gain: Adjustable from  $\times 5$  to  $\times 25$

Amplifier Range: 0 to approximately 3 volts

Input Sensitivity: Adjustable from 1 to 330 mV (detector signal)

High Voltage: Adjustable from 0 to 1,400 Vdc.

Window: Adjustable from 1 to 330 mV (detector signal)

Connectors: 4 BNC-type connectors (MHV also available)

Finish: Beige powder-coat finish

Size: 4.3" (10.9 cm) H  $\times$  11.5" (29.2 cm) W  $\times$  4.2" (10.7 cm) D

Weight: 2.7 lbs (1.22 kg)

### Description of Controls and Functions

Input: Voltage input; minimum 7.5 to maximum 35 VDC, center pin is positive

RS-232: used in connecting the instrument to a computer. 8-N-1 19.2k bps, no handshaking

Detectors 1-12: Up to 12 detectors may be connected

**Test Points:** Each slave board has test point for Upper Level Discriminator (ULD), Lower Level Discriminator (LLD) and HV Read- Back Voltage (HR)

**Amplifier Output:** Each slave board has an SMB type coaxial output for amplifier out. Use LMI part # 8303-632 (BNC to SMB)

**Power LED:** Red LED on front panel indicating unit power is on. Note: Port connection, DTR must be high activate this LED

**GN:** Gain adjustment for each slave board. Note: at a normal gain setting of "10", 500 mV on the LLD test point is equal to a 50 mV detector sensitivity

ภาคผนวก ค

ข้อมูลรายงานเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากวัสดุกำมันตรังสี

**Table 5. Medical, Industrial and Research Radiation Sources**

<i>Application</i>	<i>Radioisotope</i>	<i>Activity Level (Ci)</i>
Radioisotope Thermal Generators	$^{90}\text{Sr}$	30,000 -- 300,000
Radiotherapy	$^{60}\text{Co}$	1,350 -- 27,000
	$^{137}\text{Cs}$	13,500
Blood irradiation	$^{137}\text{Cs}$	50 -- 2700
Industrial irradiation	$^{192}\text{Ir}$	3 -- 250
Sterilization and Food Irradiation	$^{60}\text{Co}$	2,700 -- $11 \times 10^6$
	$^{137}\text{Cs}$	2,700 -- $11 \times 10^6$
Research Irradiators	$^{60}\text{Co}$	27 -- 27,000
	$^{137}\text{Cs}$	27 -- 27,000

Reference: [Ferguson, 2003]

**Table 6. Medical, Industrial and Research Source Characteristics**

<i>isotope</i>	<i>half-life</i>	<i>type of radiation</i>	<i>energy (keV)</i>
$^{90}\text{Sr}$	28.8 years	beta	546*
$\rightarrow ^{90}\text{Y}$	2.67 days	beta	2228*
$^{137}\text{Cs}$	30.1 years	bremss trahlung	continuous
		beta	1175*
		gamma	662
$^{192}\text{Ir}$	74 days	beta	669*
		gamma	296, 308, 316, 468
$^{60}\text{Co}$	5.3 years	beta	669*
		gamma	1173, 1332

\* endpoint energy

### ภาคผนวก ง

โปรแกรม Dozen จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน)



## โปรแกรม Dozen จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน)

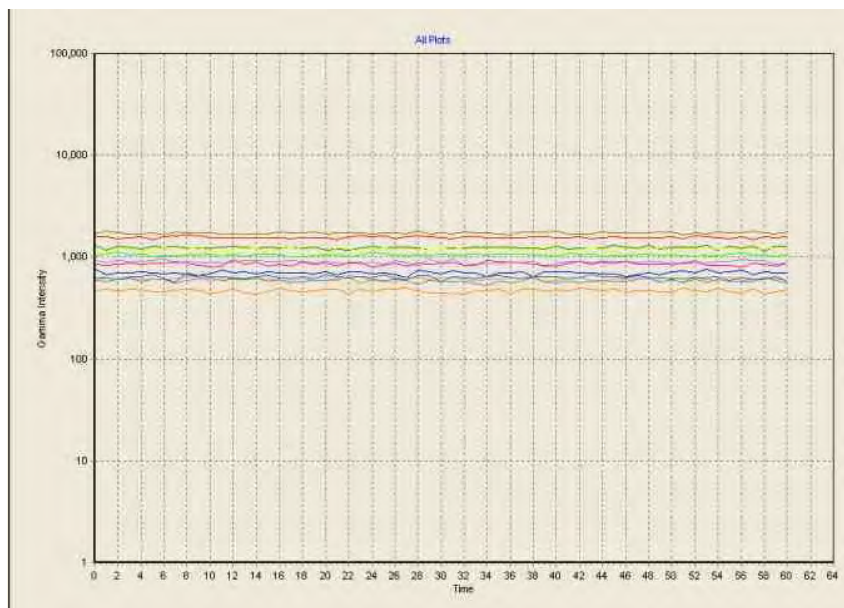
โปรแกรม Dozen เป็นโปรแกรมของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) เขียนโดย คุณธนวรรษ แสงจันทร์ เพื่อใช้งานคู่กับชุดเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียวจำนวน 12 ช่อง สามารถเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ได้โดยผ่านพอร์ตอนุกรมสามารถส่งข้อมูลจำนวนนับเพื่อนำไปสร้างกราฟโดยการจัดเก็บเป็นไฟล์นามสกุลรูปภาพได้

### ความสามารถของโปรแกรม

- ตั้งคักตาไฟฟ้าสูงได้ ตั้งแต่ 0 – 2000 โวลต์
- ตั้งเวลานับวัด ตั้งแต่ 0 – 2000 มิลลิวินาที
- ตั้ง ULD ตั้งแต่ 0 - 3000
- ตั้ง LLD ตั้งแต่ 0 - 3000
- สามารถแสดงผลเป็นกราฟเส้นสี แยกตามหัววัด



ตัวอย่างโปรแกรม Dozen สำหรับใช้งานคู่กับชุดเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียวจำนวน 12 ช่อง



ตัวอย่างการแสดงผลกราฟของโปรแกรม แกนตั้ง คือ จำนวนนับ, แกนนอน คือ เวลา

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทศพร พัสดู เกิดเมื่อวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2521 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีเครื่องกล) จากคณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปี พ.ศ. 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี) ที่ภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 ปัจจุบันทำงาน เป็นเจ้าหน้าที่สถาบันเทคโนโลยีนิเวศลิษฐ์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี