บทที่ 6

วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ การทดลองและผลการทดลอง

6.1 บทนำ

จากทฤษฎีเบื้องต้นของการควบคุมคุณภาพของเครื่องมือสร้างภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ทำให้เกิดปัญหาว่าเครื่องมือนิวเคลียร์สามารถทำงานได้ตามขอบเขตและทฤษฎีที่กำหนดไว้หรือไม่ ดังนั้นจึงมีการทดลองเพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องมือตามวิธีสำคัญต่าง ๆ คือ การศึกษาการทำงานของเครื่องมือด้วยวิธีการและอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว และการศึกษาด้วยวิลเลียมแฟนทอมที่สร้างขึ้น โดยการศึกษาการทำงานของเครื่องมือสร้างภาพทั้งระบบด้วยวิลเลียมแฟนทอมตามขบวนการเป็นเป้าหมายหลักของการวิจัย นำผลที่ได้จากการศึกษาทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบประโยชน์และข้อดีข้อเสียเพื่อนำวิลเลียมแฟนทอมมาใช้ศึกษาการควบคุมคุณภาพต่อไป

6.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัย

ก. วัสดุ และอุปกรณ์สำหรับการศึกษาวิจัย

1. ฝลัดแฟนทอม*

2. ต้นกำเนิดรังสีแบบระนาบทำด้วยแผ่นพลาสติกใสมีช่องภายในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ยาวด้านละ 10 ซม. มีความหนาของช่อง 0.5 ซม.

3. วิลเลียมแฟนทอม*

4. แฟนทอมชนิด BRH*

5. สเตพเวดจ์แฟนทอม*

6. ธัยรอยด์แฟนทอม*

---

*แฟนทอมสำหรับใช้ศึกษาวิจัยการควบคุมคุณภาพของเครื่องมือสร้างภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์มีรูปร่าง ขนาด และการใช้งานดังแสดงไว้ในหัวข้อ 4.3

7. วงแหวนตะกั่วมีความหนาของแผ่นตะกั่ว 3 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางรอบใน 37 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอก 52 ซม.

8. ท่อโพลีเอธิลีน (Polyethylene tube) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. ยาว 30 ซม. สองเส้น

9. ต้นกำเนิดรังสีแบบจุดใช้กระบอกฉีดยาขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรพร้อมเข็มฉีดยาจำนวน 10 อัน

10. ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ซีเซียม-137 ไอโอดีน-131 แบเรียม-133 และโคบอลท์-57 มีกัมมันตภาพ 0.198, 0.100, 0.253 และ 1.100 มิลลิคูรี ตามลำดับ

11. สารละลายเทคนีเชียม-99 เอ็ม กัมมันตภาพ 1 มิลลิคูรีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสารละลายกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 กัมมันตภาพ 50 ไมโครคูรี

ข. เครื่องมือสำหรับการวิจัย

1. เครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ Magnascanner 500 Picker Instruments หมายเลข 2806K T55-547

2. เครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาผลิตภัณฑ์ Philips Model Gamma Diagnost A9812 1558--01

3. เครื่องวัดความเข้มของฟิล์ม X-rite Company Model 301

4. เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสี Dose calibrator ผลิตภัณฑ์ Searle

6.3 <u>วิธีการวิจัย</u>

การวิจัยคุณภาพของเครื่องมือสร้างภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ก. การควบคุมคุณภาพของเครื่องมือถ่ายภาพรังสีแกมมา

ข. การควบคุมคุณภาพของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์

6.4 <u>การศึกษาวิจัยการควบคุมคุณภาพของเครื่องมือถ่ายภาพรังสีแกมมา</u>

การศึกษาวิจัยคุณสมบัติประจำเครื่องมือถ่ายภาพแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือการศึกษาทั้งระบบ (Extrinsic Study) และการศึกษาวิจัยเมื่อไม่มีคอลลิเมเตอร์ (Intrinsic Study) การวิจัยนี้จะศึกษาการควบคุมคุณภาพทั้งระบบด้วยแฟนทอมและต้นกำเนิดรังสีชนิดต่าง ๆ

คุณสมบัติที่สำคัญของเครื่องมือถ่ายภาพประกอบด้วย ความสม่ำเสมอ (Uniformity) กำลังแยก (Resolution) ความไว (Sensitivity) และอัตรานับวัด (Count-rate Performance) แบ่งการวิจัยออกเป็น

ก. การศึกษาความสม่ำเสมอของภาพถ่ายจากผลัดแฟนทอม เมื่อใช้ความกว้างของหน้าต่างขนาดต่าง ๆ คือ 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 40% ของโฟโตพีค และความสม่ำเสมอเมื่อกึ่งกลางของหน้าต่าง (center line) เลื่อนออกจากโฟโตพีค ±10, ±15, ±20 และ ±30% ของโฟโตพีค มีวิธีทดลองคือ

1. หงายหัวนับวัดขึ้นในแนวระดับ วางผลัดแฟนทอมซึ่งมีสารละลายเทคนีเชียม-99เอ็ม กัมมันตภาพ 5 มิลลิคูรี บรรจุอยู่เต็มและไม่มีฟองอากาศอยู่ภายในบนหัวนับวัด จัดกึ่งกลางแฟนทอมให้ตรงกับกึ่งกลางของหัวนับวัด

2. ปรับความกว้างของหน้าต่าง (window width) 20% ของโฟโตพีค

3. ปรับกึ่งกลางของหน้าต่าง (center line) ของเครื่องวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณให้ตรงกับโฟโตพีคของสเปคตรัมเทคนีเชียม-99เอ็ม ที่ปรากฏบนจอภาพ

4. เลือกความเข้มของเครื่องบันทึกภาพบนฟิล์มให้เหมาะสมกับค่านับวัด 2×10^{6} ครั้ง และบันทึกภาพไว้

5. บันทึกภาพของผลัดแฟนทอมเช่นเดียวกับข้อ 4 แต่เปลี่ยนความกว้างของหน้าต่างเป็น 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 40% ของโฟโตพีค ตามลำดับ จะได้ภาพทั้งหมด 7 ภาพ สำหรับใช้วิจัยความสม่ำเสมอของระบบ

6. ทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่ปรับกึ่งกลางของหน้าต่างออกไปจากโฟโตพีค ±10, ±15, ±20 และ ±30% ของโฟโตพีค ใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีค บันทึกภาพทั้งแปดเพื่อศึกษาความสม่ำเสมอของภาพ

7. นำแผ่นฟิล์มบันทึกภาพที่ได้จากข้อ 5 และ 6 วัดความเข้มมากสุดและความเข้มน้อยสุดด้วยเครื่องวัดความเข้มสำหรับใช้คำนวณหาความสม่ำเสมอ

ข. การศึกษากำลังแยกและความไวของระบบเครื่องมือถ่ายภาพรังสีแกมมาโดยการแบ่งการศึกษากำลังแยกของระบบออกเป็น 2 ชนิด คือ การศึกษากำลังแยกของพลังงาน (Energy Resolution) และกำลังแยกของการขจัด (Spatial Resolution) มีวิธีทดลองคือ

1. ปรับเครื่องมือถ่ายภาพเช่นเดียวกับข้อ 1-3 ในข้อ 6.4 ก. ใช้หน้าต่างกว้าง 5%

2. ปรับกึ่งกลางของหน้าต่างจาก 120 keV เพิ่มขึ้นทีละ 5 keV จนถึง 160 keV หาอัตรานับวัดแต่ละครั้งที่เปลี่ยนกึ่งกลางหน้าต่าง

3. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับวัดและกึ่งกลางของหน้าต่างหาความกว้างที่ครึ่งความสูงของโฟโตพีค (FWHM) จากกราฟ คำนวณกำลังแยกของพลังงานจาก FWHM และโฟโตพีคที่วัดได้

4. ใช้หน้าต่างกว้าง 20% ของโฟโตพีค และปรับกึ่งกลางของหน้าต่างให้ตรงกับโฟโตพีค นำแฟนทอมชนิด BRH วางแทนผลัดแฟนทอมและนำผลัดแฟนทอมซ้อนบน BRH แฟนทอมให้จุดศูนย์กลางของแฟนทอมทั้งสองอยู่ที่จุดศูนย์กลางของหัวนับวัด

5. ปรับความเข้มการบันทึกภาพให้เหมาะสมกับค่านับวัด 2 × 10^6 ครั้ง บันทึกภาพของ BRH แฟนทอมสำหรับหากำลังแยกการขจัดของเครื่องมือถ่ายภาพ

6. นำ BRH แฟนทอมและผลัดแฟนทอมออกจากหัวนับวัด นำต้นกำเนิดรังสีแบบเส้นภายในบรรจุสารละลายเทคนีเชียม-99เอ็มกัมมันตภาพ 1 มิลลิคูรีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สองเส้นวางขนานกันบนหัวนับวัด

7. ปรับระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีทั้งสองห่างกัน 3,4,5,.....12 มม. ตามลำดับและบันทึกภาพแต่ละขั้นตอนด้วยค่านับวัด 1 × 10^5 ครั้ง จะได้ภาพทั้งสิ้น 10 ภาพ

8. นำต้นกำเนิดรังสีทั้งหมดออกจากหัวนับวัด วางต้นกำเนิดรังสีแบบระนาบซึ่งมีสารละลายเทคนีเชียม-99เอ็มกัมมันตภาพ 0.2 มิลลิคูรีแทนให้จุดกึ่งกลางต้นกำเนิดรังสีอยู่ที่จุดกึ่งกลางของหัวนับวัด โดยบันทึกกัมมันตภาพที่แน่นอนและเวลาของวันที่ใส่สารละลายลงในต้นกำเนิดรังสี

9. ตั้งเวลาในการนับวัด 100 วินาที จดเวลาของวันที่นับวัด หาอัตรานับวัดจากค่านับวัดและเวลาที่ตั้งไว้ หาอัตรานับวัดที่แท้จริงจากครึ่งชีวิตและเวลาที่สารละลายเทคนีเชียม-99 เอ็ม สลายตัว

10. หาความไวได้จากอัตรานับวัดที่แท้จริงจากข้อ 9 หารด้วยกัมมันตภาพของสารละลายในต้นกำเนิดรังสีจากข้อ 8

11. นำธัยรอยด์แฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม กัมมันตภาพ 1 มิลลิคูรี วางแทนต้นกำเนิดรังสีแบบระนาบ เลือกความเข้มที่เหมาะสมถ่ายภาพธัยรอยด์แฟนทอมด้วยค่านับวัด 1×10^5 ครั้ง เพื่อศึกษากำลังแยกการขจัดสำหรับเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ

12. นำแฟนทอมออกจากหัวนับวัดและหันหัวนับวัดลง

ค. การหาอัตรานับวัดของเครื่องถ่ายภาพ ได้แก่ การหาอัตรานับวัดสูงสุด การหาอัตรานับวัดเมื่อคิดค่านับวัดหายไป 20% (20% Count rate loss) เพื่อหาขอบเขตในการหาค่านับวัดและอัตรานับวัดด้วยเครื่องถ่ายภาพมีวิธีการคือ

1. หาโฟโตพีครังสีแกมมาของเทคนีเชียม-99เอ็มจากฟลัดแฟนทอมดังข้อ 1-3 ในข้อ 6.4 ก. ปรับกึ่งกลางหน้าต่างให้ตรงโฟโตพีค ถอดคอลลิเมเตอร์ออกจากหัวนับวัดและใส่วงแหวนตะกั่วกับหัวนับวัด

2. นำกระบอกฉีดยาขนาดเล็กภายในบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม กัมมันตภาพ 0.1 มิลลิคูรี วางในแนวกึ่งกลางหัวนับวัด เลื่อนเข้าหาหัวนับวัดจนกระทั่งได้อัตรานับวัดสูงสุดโดยอ่านจากเรตมิเตอร์ ณ จุดนี้หาค่านับวัดเมื่อตั้งเวลานับวัด 100 วินาที คำนวณอัตรานับวัดสูงสุดจากค่านับวัดที่ได้และเวลาที่ตั้งไว้

3. นำกระบอกฉีดยาในข้อ 2 ออก ใช้กระบอกฉีดยาขนาดเล็กบรรจุเทคนีเชียมกัมมันตภาพประมาณ 0.1 มิลลิคูรี วางกระบอกฉีดยาแรกในแนวกึ่งกลางหัวนับวัดห่างผลึกนับวัด 185 ซม. และหาอัตรานับวัด (R_1) วางกระบอกฉีดยาที่สองใกล้อันแรกและหาอัตรานับวัดจากกระบอกฉีดยาทั้งสอง (R_{12}) พร้อมกัน นำกระบอกฉีดยาแรกออกและหาอัตรานับวัดจากกระบอกยาที่สองอันเดียว (R_2)

4. หาอัตรานับวัดเช่นเดียวกับข้อ 3 แต่หาอัตรานับวัดจากกระบอกฉีดยาที่สองก่อน (R_2) และหาอัตรานับวัด R_{21}, R_1 ตามลำดับ นำกระบอกฉีดยาทั้งหมดออกจากหัวนับวัดหาอัตรานับวัดของแบคกราวด์

ผลจากข้อ 3 และ 4 หาอัตรานับวัดสุทธิทุกจำนวน นำอัตรานับวัดสุทธิคำนวณหารีโซลวิงไทม์และอัตรานับวัดเมื่อมีค่านับวัดสูญหายไป 20%

5. จากข้อ 1 นำกระบอกฉีดยาที่เตรียมไว้ 10 อัน มีสารละลายกัมมันตรังสีอันละ 0.1 มิลลิคูรี และจดเวลาของวันที่เตรียมกระบอกฉีดยานี้ไว้ นำกระบอกฉีดยาวางหน้าหัวนับวัดที่ระยะ 185 ซม. ทีละอัน หาอัตรานับวัดและเวลาของวันที่วัดของแต่ละอันแยกกันจนครบทุกอัน

6. หาอัตรานับวัดจากกระบอกฉีดยาที่ 1 และ 2 พร้อมกัน และจดเวลาของวันที่ทดลองไว้

7. หาอัตรานับวัดเมื่อใช้กระบอกฉีดยา 1 + 2 + 3 พร้อมกันห่างจากหัวนับวัด 185 ซม. เท่าเดิม และจดเวลาของวันที่ทดลองไว้

8. ทำเช่นเดียวกับข้อ 7 โดยเพิ่มกระบอกฉีดยาทีละอัน หาอัตรานับวัดและเวลาของวันที่ทดลองแต่ละครั้งแยกกันจนครบทุกระบอกฉีดยา จะได้อัตรานับวัดอีก 7 ค่า คือ 1+2+3+4, 1+2+3..+5, 1+2+3....+6, 1+2+3...+7, 1+2+3...+8, 1+2+3...+9 และ 1+2+3..+10 โดยเรียงกระบอกฉีดยาตามลำดับในแนวตั้งฉากกับแกนหัวนับวัด

9. นำกระบอกฉีดยาทั้งหมดออกจากหัวนับวัด หาอัตรานับวัดของแบคกราวด์จากเครื่องมือถ่ายภาพ

10. ถอดวงแหวนและใส่คอลลิเมเตอร์กับหัวนับวัด

11. นำอัตรานับวัดจากข้อ 5-8 ลบแบคกราวด์ออก คำนวณอัตรานับวัดที่ถูกต้องโดยแก้ไขการสลายตัวจากครึ่งชีวิตของเทคนีเชียม-99เอ็ม

อัตรานับวัดทั้งหมด 20 ค่า นำไปคำนวณหารีโซลวิงไทม์และเขียนกราฟความสัมพันธ์ของอัตรานับวัดกับอัตรานับวัดที่เข้าหัวนับวัด และหาอัตรานับวัดเมื่อคิดค่านับวัดหายไป 20% โดยให้แกนตั้งเป็นอัตรานับวัดที่วัดได้จากข้อ6-8 เมื่อหักแบคกราวด์และแก้ไขการสลายตัวแล้ว แกนนอนเป็นอัตรานับวัดที่แท้จริงคำนวณได้จากข้อ 5 และ ข้อ 11 คืออัตรานับวัดจากผลรวมของกระบอกฉีดยา 1, 1+2, 1+2+3, 1+2+3+.,..+4, 1+2+3.....+5,......และ 1+2+3..+10 ตามลำดับ

6.5 <u>การศึกษาวิจัยการควบคุมคุณภาพของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์</u>

การศึกษาวิจัยคุณภาพของเครื่องมือสร้างภาพด้วยวิธีต่าง ๆ สำหรับเปรียบเทียบกับการทดลองนี้กับการทดลองด้วยวิลเลียมแฟนทอม ประกอบด้วยการหากำลังแยก ความถูกต้องของระบบ (linearity) แบ่งการวิจัยออกเป็น 3 กลุ่มคือ

ก. การศึกษากำลังแยกของพลังงานด้วยต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 และการหากำลังแยกของการขจัดด้วยต้นกำเนิดรังสีแบบเส้น ภายในมีเทคนีเชียม-99เอ็ม กัมมันตภาพ 1 มิลลิคูรีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีวิธีการวิจัยคือ

1. ถอดคอลลิเมเตอร์ออกจากหัวนับวัด ปรับเวลาคงตัว 1 วินาที และตั้งอัตรานับวัดของเครื่องมือ 1×10^5 ครั้งต่อ นาที

2. ปรับกำลังขยายของเครื่องขยายสัญญาณ = 1 ปรับเครื่องวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณให้วัดพลังงานระหว่าง 657 ถึง 667 keV

3. วางต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ชนิดจุดบนเตียงผู้ป่วยให้อยู่ในแนวแกนของผลึกนับวัดและห่างผิวผลึกนับวัด 20 ซม.

4. ปรับศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนแก่หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์จากค่าต่ำ ๆ และเพิ่มขึ้นตามลำดับครั้งละ 10 โวลท์ จนกระทั่งอัตรานับวัดปรากฏ อัตรานับวัดจะเพิ่มขึ้นตามลำดับจนมีค่าสูงสุดและลดลง ปรับศักย์ไฟฟ้าไว้ที่ตำแหน่งที่ให้อัตรานับวัดสูงสุด

5. เปลี่ยนกำลังขยายของเครื่องขยายสัญญาณจาก 1 ไปเป็น 0,1,2,3,4,5 ซึ่งจะมีกำลังขยายค่าหนึ่งที่ให้อัตรานับวัดสูงสุดและปรับกำลังขยายไว้ที่ตำแหน่งให้อัตรานับวัดสูงสุด

6. ใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20 keV ปรับกึ่งกลางของหน้าต่างให้ตรงกับ 500 keV และหาอัตรานับวัด

7. จากข้อ 6 เพิ่มกึ่งกลางของหน้าต่างครั้งละ 10 keV และหาอัตรานับวัดแต่ละครั้ง จนกระทั่งกึ่งกลางหน้าต่างอยู่ที่ 800 keV อัตรานับวัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดและลดลงตามลำดับ บันทึกกึ่งกลางหน้าต่างและอัตรานับวัดแต่ละครั้งที่เพิ่มกึ่งกลางของหน้าต่าง ปรับกึ่งกลางของหน้าต่างไว้ที่โฟโตพีค

8. เขียนกราฟระหว่างอัตรานับวัดและกึ่งกลางของความกว้างของหน้าต่าง หาความกว้างที่ครึ่งความสูง (FWHM) จากกราฟ และคำนวณกำลังแยกของพลังงานจาก FWHM และโฟโตพีค

9. เพื่อหากำลังแยกของการขจัด นำต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ออก ใช้คอลลิเมเตอร์ชนิด 163 ช่อง ระยะโฟกัส 7.62 ซม. ใส่หัวนับวัด

10. วางกระดาษกราฟบนเตียงผู้ป่วย จัดให้ระนาบของกระดาษกราฟอยู่ในระนาบเดียวกับระนาบโฟกัสของคอลลิเมเตอร์

11. ขึงต้นกำเนิดรังสีแบบเส้นภายในบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม กัมมันตภาพ 1 มิลลิคูรีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร 1 เส้น ในแนวเส้นของกระดาษกราฟ ให้แนวของต้นกำเนิดรังสีตั้งฉาก

กับแนวการเคลื่อนที่ของหัวนับวัดและจุดกึ่งกลางของต้นกำเนิดรังสีอยู่ที่จุดโฟกัสและหาโฟโตพีคจากเทคนีเชียม-99 เอ็ม ดังขั้นตอนที่ 6-7

12. เลื่อนหัวนับวัดไปในแนวราบและตั้งฉากกับแนวของต้นกำเนิดรังสีให้จุดโฟกัสและกึ่งกลางของต้นกำเนิดรังสีห่างกัน 4 ซม. คือจุด ก. ในรูปที่ 6.1 (ก) และบันทึกอัตรานับวัดไว้

13. เลื่อนหัวนับวัดไปในแนวราบและตั้งฉากกับแนวต้นกำเนิดรังสีให้จุดโฟกัสอยู่ห่างกึ่งกลางต้นกำเนิดรังสี 3 ซม. ในแนว ก. ข. ดังรูปที่ 6.1 (ก) และบันทึกอัตรานับวัดไว้

14. ทำเช่นเดียวกับข้อ 12, 13 บันทึกอัตรานับวัดแต่ละครั้งที่เลื่อนระยะระหว่างจุดโฟกัสและกึ่งกลางของต้นกำเนิดรังสีจาก (ก) ไป (ข) 2,1,0, -1, -2, -3, -4 ซม. และบันทึกอัตรานับวัดแต่ละครั้งไว้

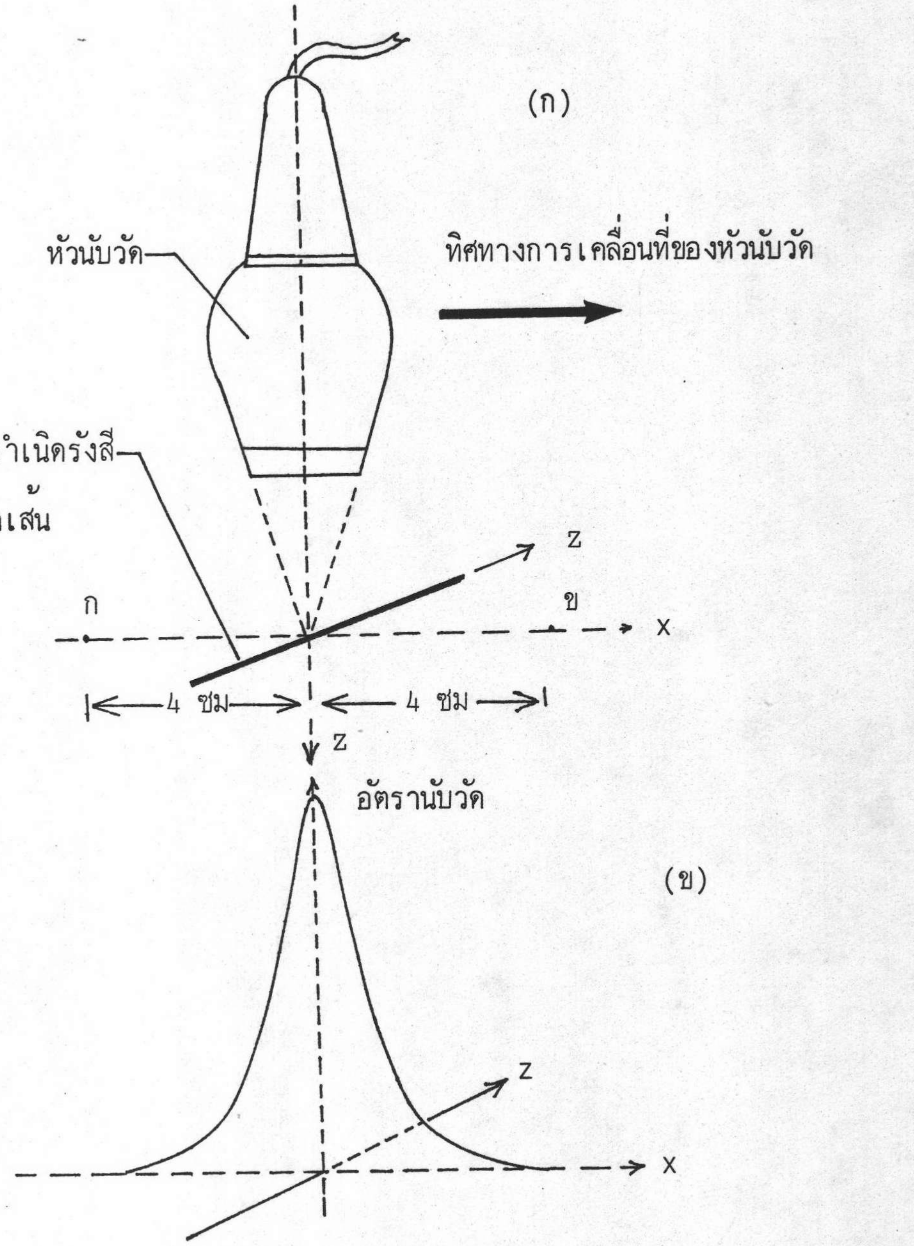
15. หาอัตรานับวัดและการขจัดเช่นเดียวกับข้อ 12 ถึง 14 แต่ปรับระยะระหว่างระนาบของต้นกำเนิดรังสีและผิวหน้าของคอลลิเมเตอร์ (z) ห่างกัน 2.54, 5.08, 7.62, 10.16, 15.24, 17.78, 20.32, 22.86 และ 25.40 ซม. ตามลำดับ

16. นำต้นกำเนิดรังสีออกจากหัวนับวัด คำนวณอัตรานับวัดเป็นเปอร์เซนต์ โดยให้อัตรานับวัดที่ระนาบโฟกัสเป็น 100%

17. นำอัตรานับวัดที่เป็นเปอร์เซนต์ การขจัดระหว่างผิวหน้าของคอลลิเมเตอร์กับระนาบของต้นกำเนิดรังสี (z) และการขจัดระหว่างแนวแกนของหัวนับวัดกับกึ่งกลางของต้นกำเนิดรังสี (x) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 6.1 (ข)

18. ที่ระนาบโฟกัสหาความกว้างที่ครึ่งความสูง (FWHM) ของกราฟความสัมพันธ์ ซึ่งจะได้ค่าเป็นกำลังแยกของการขจัด (ซม.)

19. ทำเช่นเดียวกับข้อ 9-18 แต่เปลี่ยนคอลลิเมเตอร์เป็นชนิด 31, 85 และ 265 ช่อง และนำต้นกำเนิดรังสีออกจากเครื่องมือนิวเคลียร์



รูปที่ 6.1 (ก) แสดงการวัดอัตรานับวัดจากต้นกำเนิดรังสีแบบเส้นวางในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของหัววัด (ข) แสดงการกระจายของอัตรานับวัดเมื่อหัวนับวัดเคลื่อนที่ผ่านต้นกำเนิดรังสีเดียวกัน

X = ระยะระหว่าง แกนผลึกนับวัดและจุดกึ่งกลางของต้นกำเนิดรังสีที่วางอยู่ในระนาบตั้งฉากกับแกนหัวนับวัด

Z = ระยะระหว่างผิวคอลลิเมเตอร์ของหัวนับวัดกับระนาบที่วางต้นกำเนิดรังสี

ข. การศึกษาความถูกต้องทุกส่วนของระบบ คือความถูกต้องในการแสดงอัตรานับวัดและการแสดงภาพของเครื่องสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยสเตพเวคจ์แฟนทอม มีวิธีวิจัยคือ

1. ปรับศักย์ไฟฟ้า กำลังขยายและโฟโตพีคของเทคนีเชียม-99เอ็ม ดังขั้นตอน 1-7 ในข้อ 6.5 ก. และปรับกึ่งกลางหน้าต่างที่โฟโตพีคของเทคนีเชียม-99 เอ็ม

2. ใช้คอลลิเมเตอร์ชนิด 163 ช่อง ระยะโฟกัส 7.62 ซม.

3. ใช้สเตพเวคจ์แฟนทอมภายในบรรจุสารละลายเทคนีเชียม-99เอ็ม กัมมันตภาพ 2 มิลลิคูรี วางแฟนทอมบนเตียงผู้ป่วยในระนาบโฟกัสของหัววัดให้ความยาวของแฟนทอมขนานกับทิศการเคลื่อนที่ของหัววัด ให้ผิวราบของแฟนทอมหงายขึ้นและจุดโฟกัสอยู่ต่ำจากผิวบนของแฟนทอม 1 ซม. ดังรูปที่ 6.2

4. ปรับหัวนับวัดให้จุดโฟกัสอยู่ที่กึ่งกลางของบริเวณความหนา 2,4,6,8 และ 10 มม. หาอัตรานับวัดจากแต่ละบริเวณแยกกันและคำนวณเปอร์เซนต์อัตรานับวัดที่ความหนาต่าง ๆ ให้อัตรานับวัดจากความหนา 10 มม. เป็น 100% และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์อัตรานับวัดและความหนาของแฟนทอม

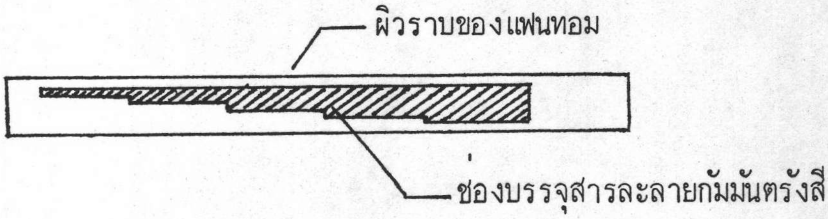
5. ใช้ความหนาแน่นจุด (dot factor) = 64 อัตราเร็วของการสแกน 90 ซม. ต่อนาที ระยะระหว่างแถว 0.2 ซม. บันทึกภาพของสเตพเวคจ์แฟนทอม โดยให้แนวการสแกนของหัววัดขนานกับความยาวของแฟนทอม

6. จากภาพของการสแกนแต่ละบริเวณความหนาของแฟนทอม หาความหนาแน่นจุดและคำนวณ ความหนาแน่นของจุดเป็นเปอร์เซนต์โดยให้ความหนาแน่นของจุดที่ความหนา 10 มม.เป็น 100%

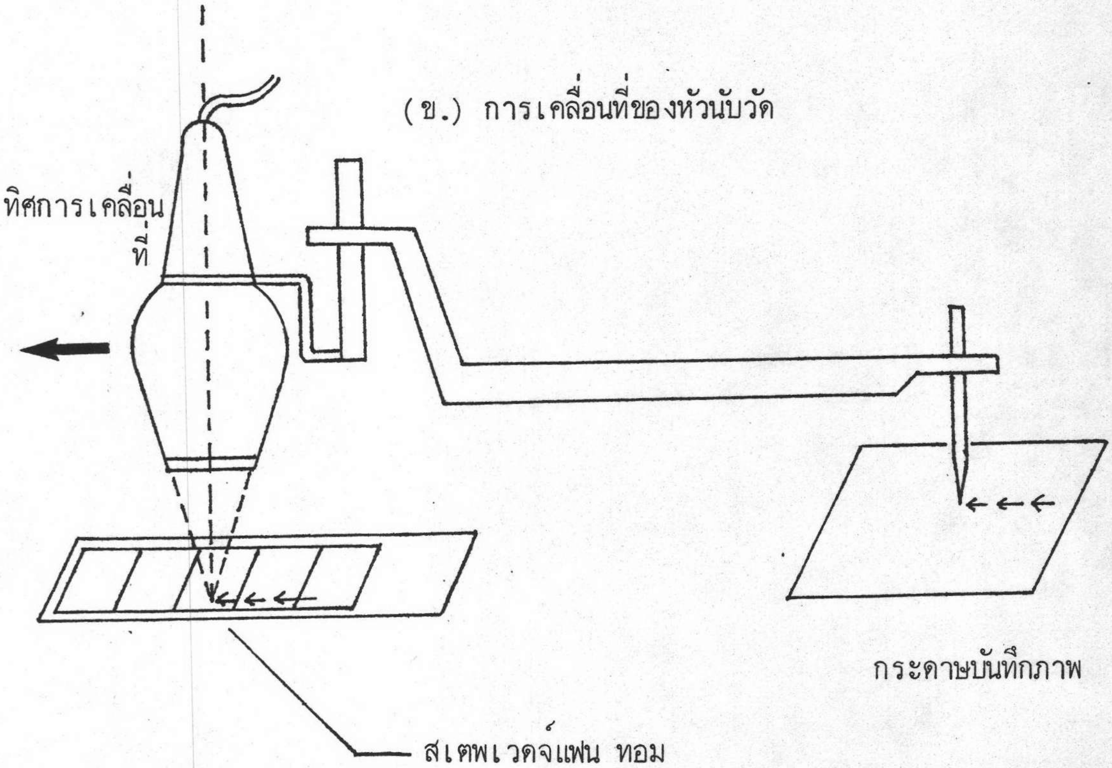
7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความหนาแน่นจุดและความหนาแน่นของแฟนทอมจากแต่ละบริเวณ

กราฟจากข้อ 4 และ 7 ใช้หาความถูกต้องทุกส่วนของระบบนับวัด

(ก) ภาพด้านข้างของสเตพเวดจ์แฟนทอม



(ข.) การเคลื่อนที่ของหัวนับวัด



รูปที่ 6.2 (ก) แสดงภาพของสเตพเวดจ์แฟนทอมด้านข้าง

(ข) แสดงภาพการบันทึกภาพของสเตพเวดจ์แฟนทอมด้วยเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ ความยาวของสเตพเวดจ์แฟนทอมจะอยู่ในแนวการเคลื่อนที่ของหัวนับวัด

ค. การศึกษาวิจัยความถูกต้องในการตอบสนองต่อพลังงาน เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีที่ให้รังสีแกมมาพลังงานต่าง ๆ กัน

1. ถอดคอลลิเมเตอร์ออกจากหัวนับวัด

2. ปรับศักย์ไฟฟ้าและกำลังขยายของเครื่องมือให้สามารถหาอัตรานับวัดสูงสุดและหาโฟโตพีคของซีเซียม-137 ดังขั้นตอนที่ 1-7 ในข้อ 6.5 ก. และบันทึกโฟโตพีคของซีเซียม-137 ไว้

3. นำซีเซียม-137 ออกจากหัวนับวัด วางต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131 แทนหาโฟโตพีคของไอโอดีน-131 ดังข้อ 2

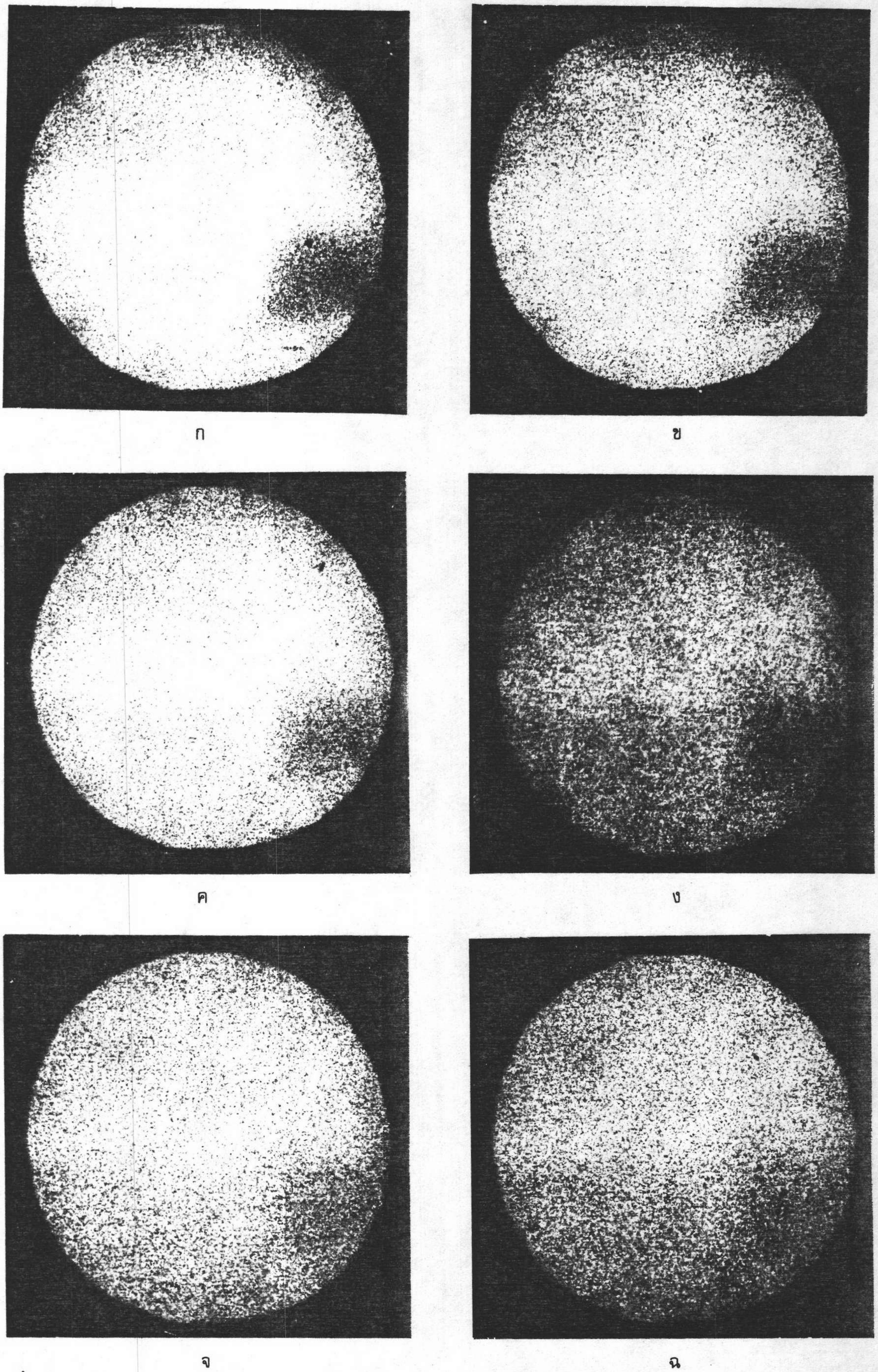
4. หาโฟโตพีคของแบเรียม-133 โคบอลท์-57 และเทคนีเซียม-99เอ็ม ตามลำดับดังเช่นข้อ 3 บันทึกโฟโตพีคของแต่ละนิวไคลด์ไว้

5. นำนิวไคลด์รังสีออกจากหัวนับวัดและใส่คอลลิเมเตอร์กลับคืนแก่หัวนับวัด

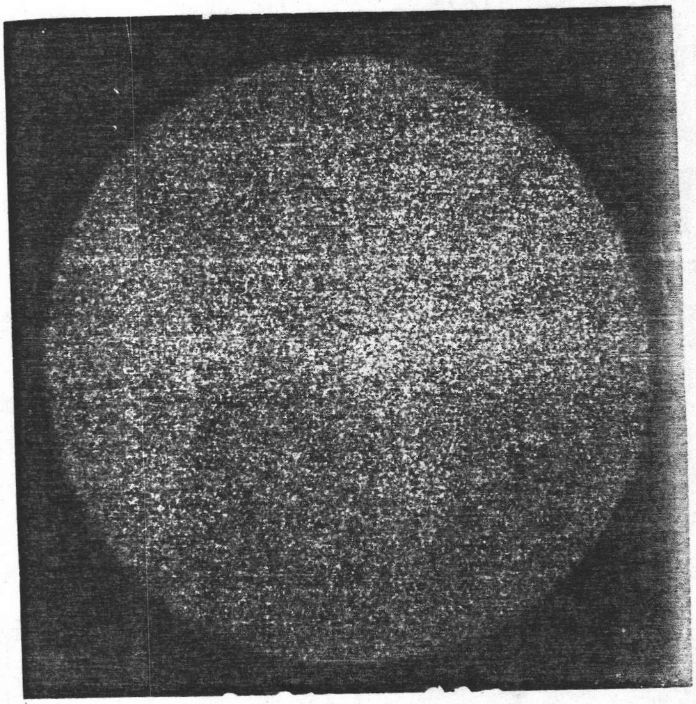
เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตพีคที่วัดได้กับพลังงานของรังสีแกมมาที่ออกมาจากนิวไคลด์แต่ละชนิดเพื่อศึกษาความถูกต้องในการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องมือสร้างภาพต่อไป

6.6 <u>ผลการทดลอง</u>

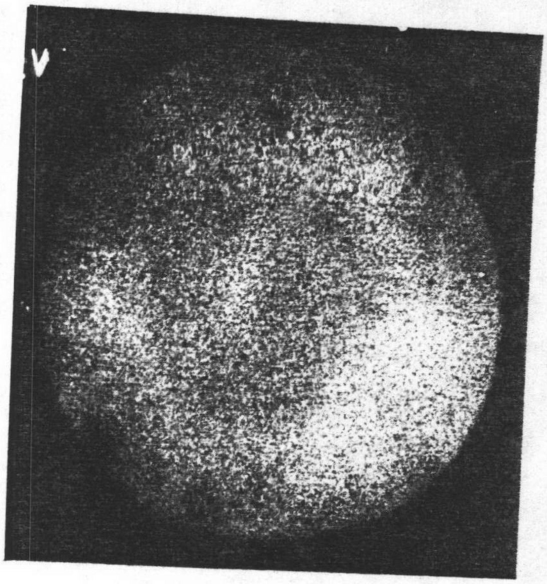
การศึกษาการทำงานของเครื่องมือถ่ายภาพ และเครื่องมือสร้างภาพดังกล่าวไว้ในบทที่ 6 มีผลการวิจัยดังแสดงมาเป็นรูป ตารางและการคำนวณแตกต่างกันคือ



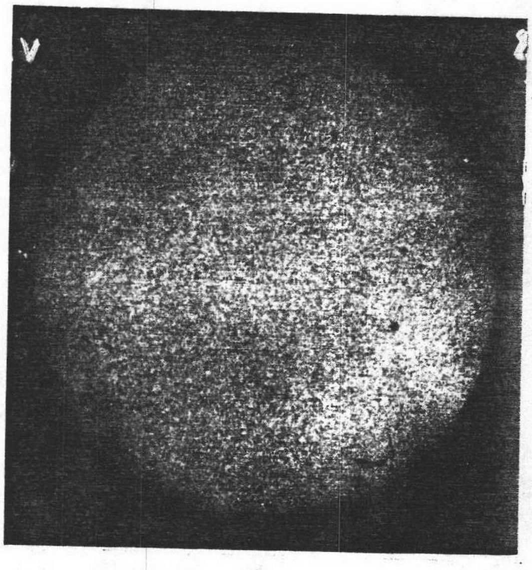
รูปที่ 6.3 (ก) แสดงความสม่ำเสมอของภาพถ่ายของผลัดแฟนทอมบรรจุเทคนีเซียม-99เอ็มจากเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา เมื่อใช้ความกว้างของหน้าต่าง 5,10,15,20, 25 และ 30% ของโฟโตพีคดังรูป ก–ฉ (จากข้อ 6.4 ก) ใช้โฟโตพีค 140 keV คงที่



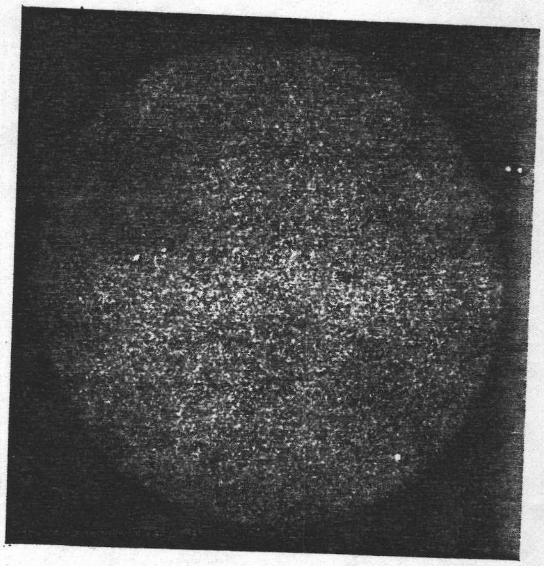
รูปที่ 6.3 (ข) การทดสอบความสม่ำเสมอของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาที่มีคอลลิเมเตอร์ติดอยู่ที่หัวนับวัด ด้วยผลัดแฟนทอมภายในบรรจุสารละลายเทคนีเชียม-99เอ็ม ความกว้างของระดับพลังงาน 20% ของโฟโตพีค ใช้ค่านับวัด 2×10^6 ครั้ง ภาพถ่ายภายหลังจากผู้แทนจากโรงงานผู้ผลิตปรับแก้หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ใหม่



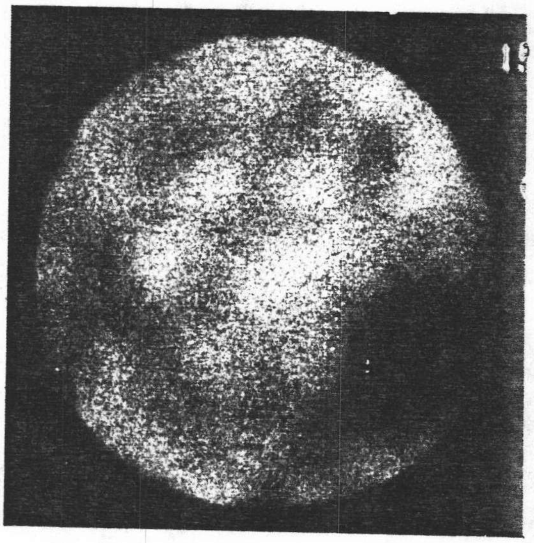
ก



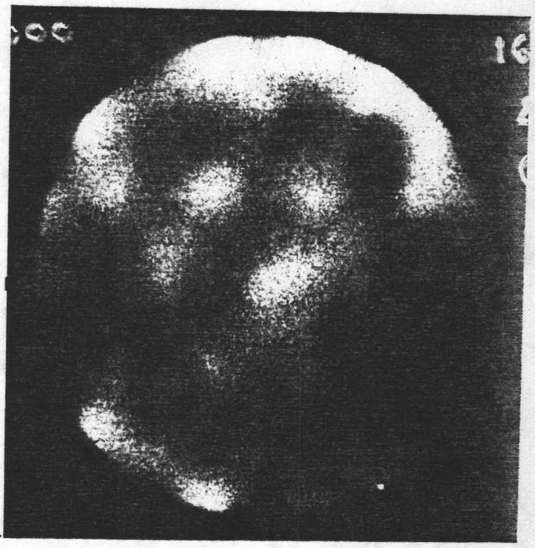
ข



ค

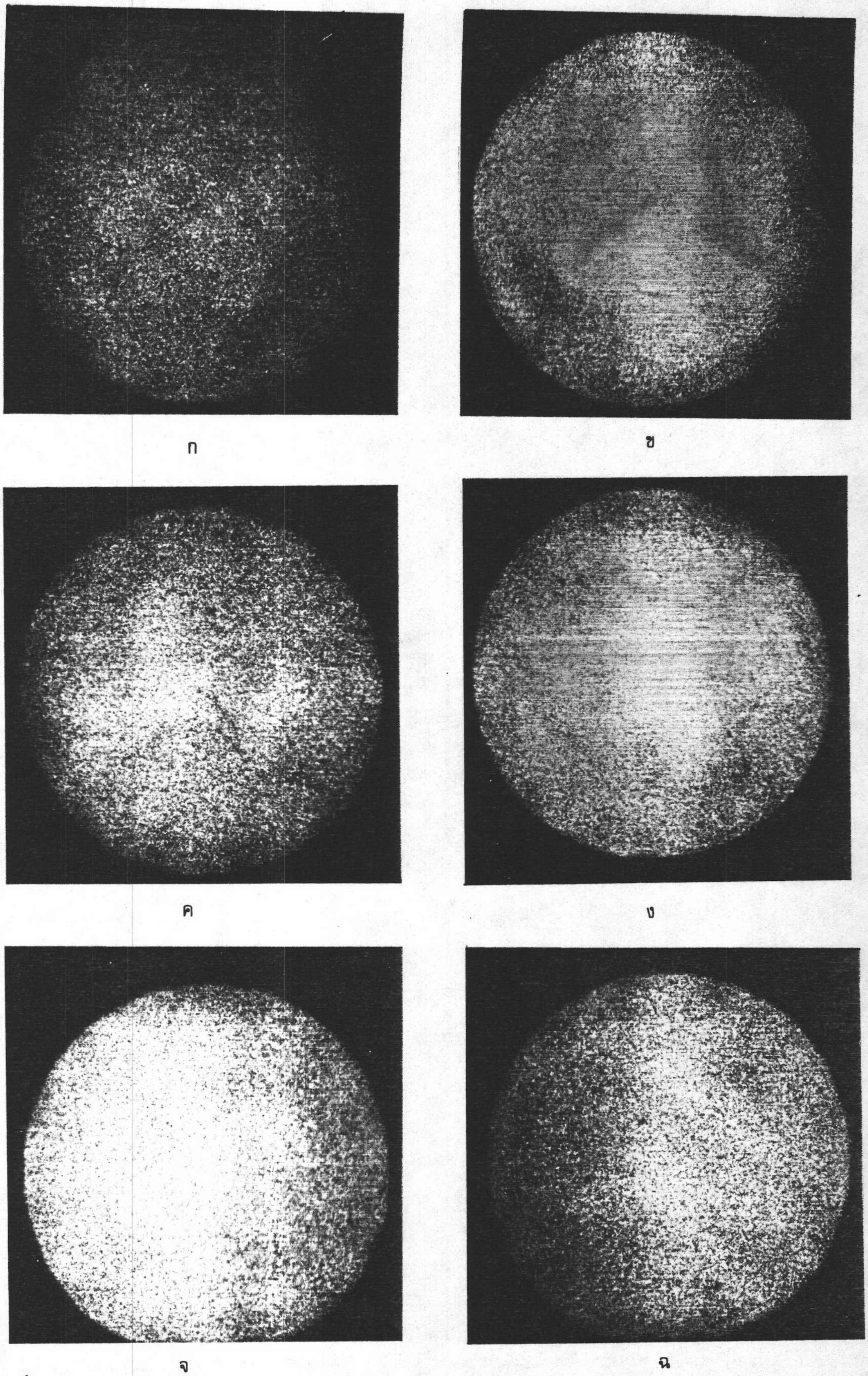


ง



จ

รูปที่ 6.3 (ค) แสดงความสม่ำเสมอของภาพจากฝ ลัดแฟนทอมของเครื่องถ่ายภาพมีคอลลิเมเตอร์ ชนิดช่องขนาน ใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีค มีกึ่งกลางของหน้าต่างอยู่ที่ 109,122,136,150, 163 keVในรูป ก. ข. ค. ง. จ. ตามลำดับ มีโฟโตพีคคือ 136 keV



รูปที่ 6.3 (ง) แสดงความสม่ำเสมอของภาพถ่ายของฝลัดแฟนทอมบรรจุเทคนีเซียม-99เอ็ม กัมมันตภาพ 5 มิลลิคูรี ที่โฟโตพีค 140 keV ใช้ความกว้างของหน้าต่างของเครื่องถ่ายภาพเป็น 5,10,15,20,25,30% ของโฟโตพีคในรูป ก, ข, ค, ง, จ, ฉ. ตามลำดับ

ตารางที่ 6.1 (ก) ผลการทดลองหาความสม่ำเสมอของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา เมื่อมีคอลลิเมเตอร์ติดอยู่ ด้วยผลัดแฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม ค่านับวัด 2×10^6 ครั้ง (ข้อ 6.5 ก) จากรูปที่ 6.3 ก, 6.3 ข, และ 6.3 ค.

ความกว้างของหน้าต่าง (% ของโฟโตพีค)	ความเข้มมากสุด	ความเข้มน้อยสุด	เปอร์เซนต์ความสม่ำเสมอ (%)
5 (ก)	135	58	39.9
10 (ก)	126	57	37.71
15 (ก)	131	68	31.16
20 (ก)	118	63	30.61
25 (ก)	116	62	30.34
30 (ก)	105	58	28.83
20 (ข)	36	18	12.5

ตารางที่ 6.1 (ข) ผลการทดลองหาความสม่ำเสมอของภาพถ่ายของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา ซึ่งมีคอลลิเมเตอร์ติดอยู่ด้วย ผลัดแฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม อยู่ภายในความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีคเปลี่ยนกึ่งกลางหน้าต่าง 20% ถึง -20% ของโฟโตพีค โฟโตพีค 140 keV

การเลื่อนหน้าต่างจากโฟโตพีค (%)	กึ่งกลางหน้าต่าง (keV)	ความเข้มมากสุด	ความเข้มน้อยสุด	ความสม่ำเสมอ (%)
- 20	109	93	53	27.40
- 10	122	98	55	28.11
0	136	63	40	22.33
10	150	98	26	58.07
20	163	93	21	63.16

ตารางที่ 6.1 (ค) ผลการทดลองหาความสม่ำเสมอของภาพถ่ายจากฝลัดแฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม -99เอ็ม กัมมันตภาพ 5 มิลลิคูรี ที่โฟโตพีค 140 keV เมื่อใช้ความกว้างหน้าต่างของเครื่องถ่ายภาพเป็น 5,10,15,20,25,30% ของโฟโตพีค

ความกว้างของหน้าต่าง (%)	ความเข้มมากสุดของภาพ	ความเข้มน้อยสุดของภาพ	ความสม่ำเสมอ (%)
5	105	68	21.39
10	90	60	20.00
15	110	69	22.91
20	100	75	14.29
25	91	71	12.35
30	92	71	12.88

ผลการทดลองพบว่ารูปที่ 6.3 (ก) มีความสม่ำเสมอมากกว่า $\pm$15% จากภาพพบว่ากำลังแยกของภาพดีขึ้น เมื่อหน้าต่างแคบ ๆ และลดลงเมื่อหน้าต่างกว้างขึ้น ความสม่ำเสมอของภาพจะดีขึ้นเมื่อความกว้างของหน้าต่างเพิ่มขึ้นดังปรากฏในรูปที่ 6.3 (ก) และตารางที่ 6.1 (ก)

จากผลการทดลองดังรูป 6.3(ข) มีความสม่ำเสมอ 12.5% อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ ซึ่งถ่ายภาพภายหลังจากปรับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์เรียบร้อยแล้ว

จากตารางที่ 6.1 (ค) และรูปที่ 6.3 (ง) เป็นการทดลองหาความสม่ำเสมอภายหลังการปรับแก้เครื่องมือถ่ายภาพแล้ว ความสม่ำเสมอมีค่าดีขึ้น (มีเปอร์เซนต์ลดลง) เมื่อความกว้างของหน้าต่างเพิ่มขึ้น และความสม่ำเสมออยู่ในขอบเขต $\pm$15% เมื่อหน้าต่างมีความกว้างสูงกว่า 20% ของโฟโตพีค

จากรูปที่ 6.3 (ค) และตารางที่ 6.1(ข) เมื่อใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20% ภาพที่มีกึ่งกลางหน้าต่างต่ำกว่าโฟโตพีคจะมีความสม่ำเสมอของภาพดี ความสม่ำเสมอของภาพดีที่สุดเมื่อกึ่งกลางหน้าต่างตรงกับโฟโตพีคและความสม่ำเสมอของภาพลดลงเมื่อกึ่งกลางหน้าต่างสูงกว่าโฟโตพีค เพราะมีความแปรปรวนของอัตรานับวัดที่ระดับพลังงานนี้

ตารางที่ 6.2 (ก) ผลการทดลองหากำลังแยกของพลังงาน แสดงอัตรานับวัดของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาจากเทคนีเชียม-99เอ็ม ที่ระดับพลังงานต่าง ๆ และต้นกำเนิดรังสีวางอยู่ในอากาศ ความกว้างของหน้าต่าง 5% ของโฟโตพีคเมื่อตั้งค่านับวัด 10^5 ครั้ง และมีคอลลิเมเตอร์ติดอยู่ที่หัวนับวัด

พลังงาน (kev)	เวลา(วินาที)	อัตรานับวัด (cps)	พลังงาน (keV)	เวลา(วินาที)	อัตรานับวัด (cps)
110	99	1010	138	11	9090
115	96	1041	140	10	10000
118	86	1162	142	10	10000
120	75	1333	144	11	9090
122	61	1639	146	13	7692
124	47	2127	148	15	6666
126	35	2857	150	19	5263
128	29	3448	152	25	4000
130	21	4761	154	34	2941
132	17	5882	156	49	2041
134	13	7692	158	72	1388
136	12	8333	160	109	917

ตารางที่ 6.2 (ข) การทดสอบกำลังแยกของพลังงาน แสดงอัตรานับวัดของเครื่องมือถ่ายภาพรังสีแกมมาจากเทคนีเชียม-99เอ็ม ที่ระดับพลังงานต่าง ๆ เมื่อต้นกำเนิดรังสีอยู่ในอากาศ ความกว้างของหน้าต่าง 5% และตั้งค่านับวัด 10^5 ครั้ง

พลังงาน keV	เวลา sec	อัตรานับวัด (cps)	พลังงาน keV	เวลา sec	อัตรานับวัด (cps)	พลังงาน keV	เวลา sec	อัตรานับวัด cps
120	86	1163	136	12	8333	148	16	6250
125	50	2000	138	11	9091	150	20	5000
128	36	2778	140	10	10000	152	28	3571
130	26	3846	142	10	10000	154	41	2439
132	19	5263	144	11	9091	156	62	1613
134	15	6667	146	12	8333	158	95	1053

จากรูปที่ 6.4 (ก) และ 6.4 (ข) สามารถคำนวณกำลังแยกของพลังงานได้จากสูตร

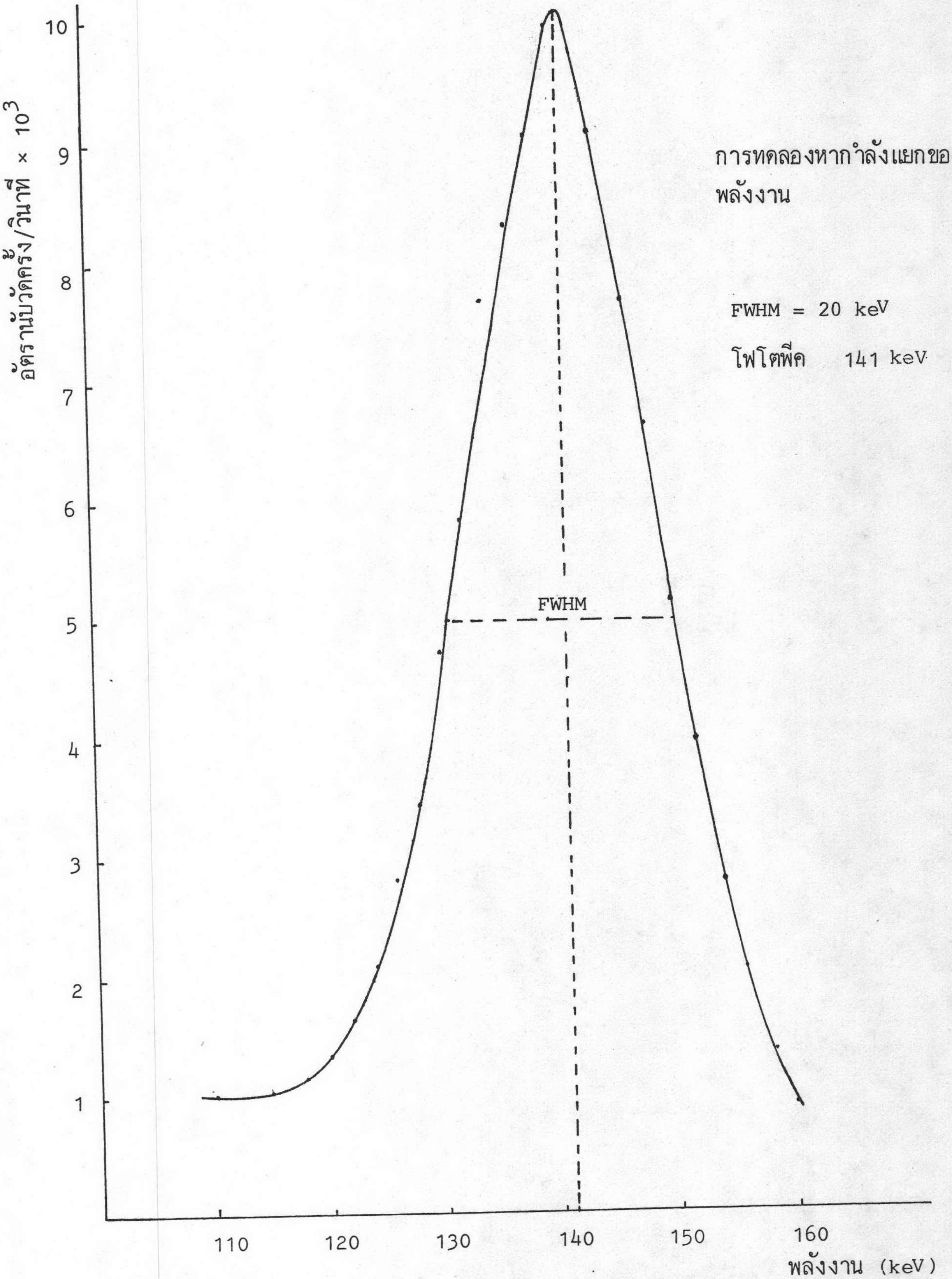
$$\text{กำลังแยกของพลังงาน} = \frac{100 \times \text{ความกว้างที่ครึ่งความสูงของกราฟ}}{\text{โฟโตพีค}}$$

จะได้กำลังแยกของพลังงานเป็นเปอร์เซนต์คือ

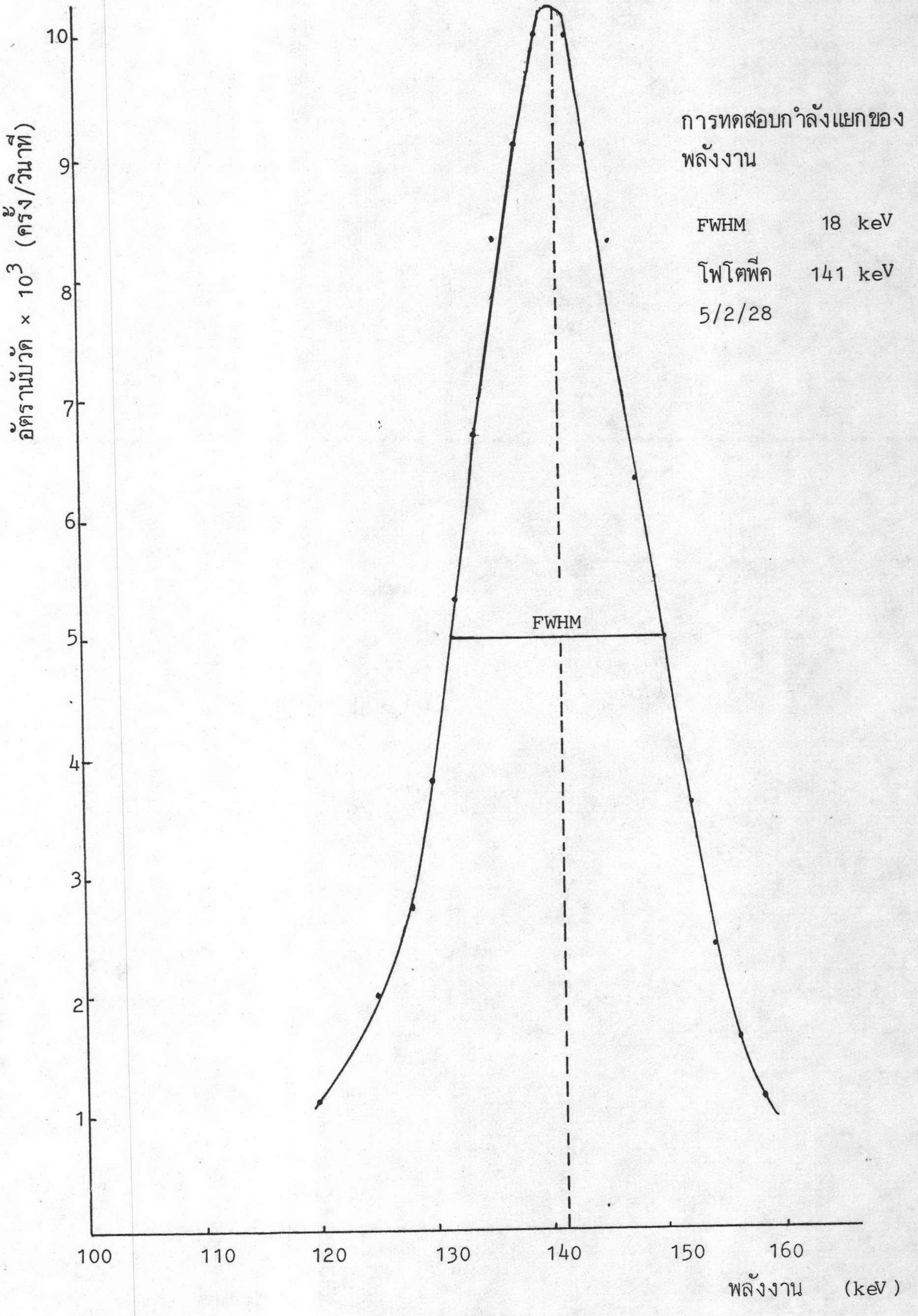
รูปที่	FWHM (keV)	โฟโตพีค (keV)	กำลังแยกของพลังงาน (%)
6.4 (ก)	20	141	14.2
6.4 (ข)	18	141	12.8

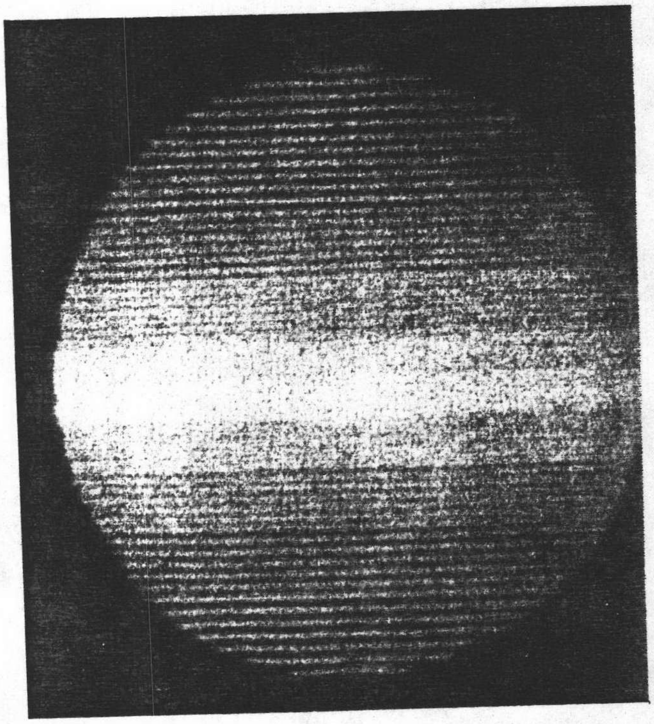
จากผลการหากำลังแยกของพลังงานสองครั้งได้ 14.2 และ 12.8% พบว่ากำลังแยกของพลังงานดีกว่ามีค่า 12.8% การทดลองหากำลังแยกของพลังงานสองครั้งห่างกันประมาณ 2 สัปดาห์ แสดงว่ากำลังแยกของพลังงานในเครื่องถ่ายภาพอาจเปลี่ยนแปลงได้เสมอ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่จำเป็นจะต้องมีการควบคุมคุณภาพของเครื่องมือถ่ายภาพรังสีแกมมา

รูปที่ 6.4 ก. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับวัดจากนิวไคลด์รังสีเทคนีเชียม-99เอ็ม ที่พลังงานระดับต่าง ๆ ของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา เมื่อความกว้างของหน้าต่าง 5% ของโฟโตพีคและตั้งค่านับวัด 10^5 ครั้ง (จากข้อ 6.4 ข)



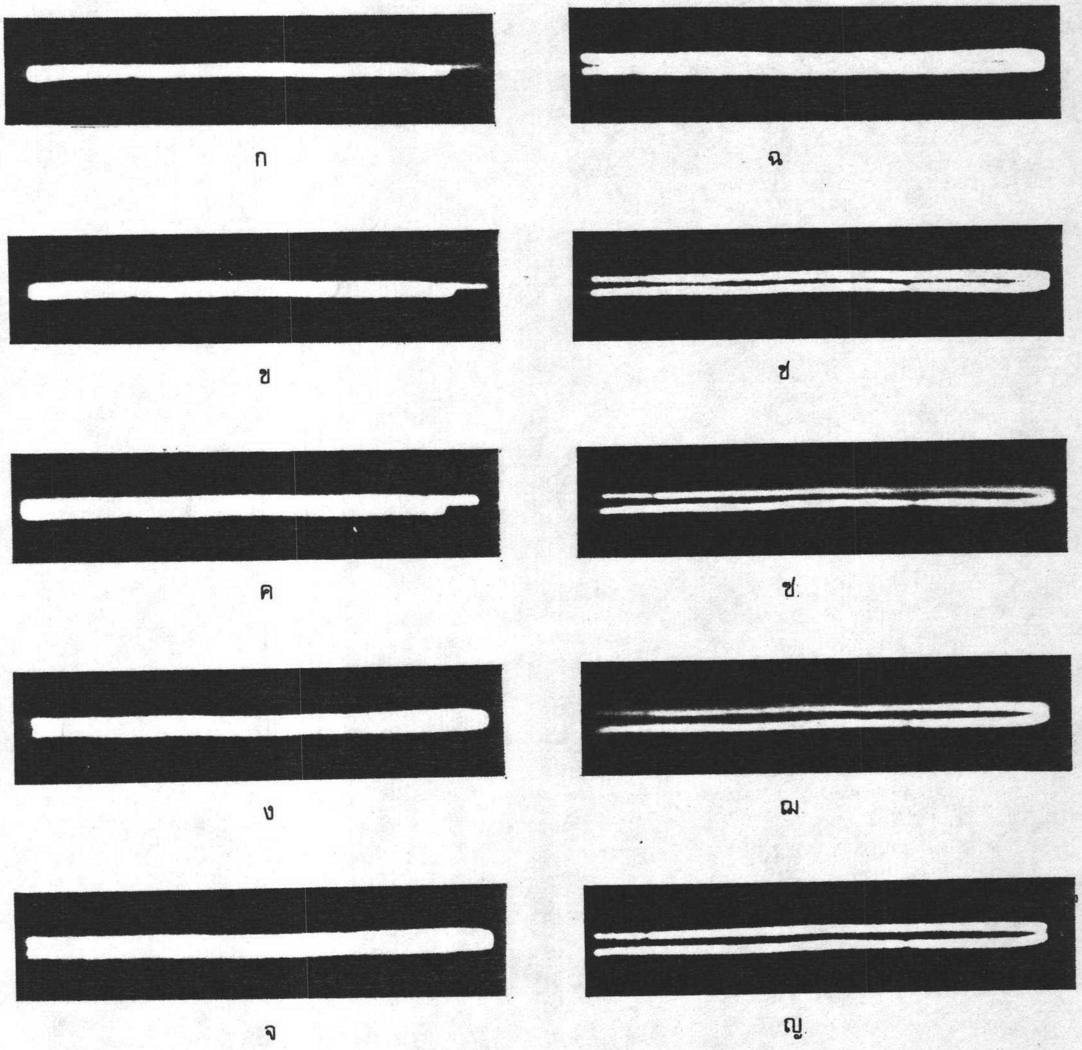
รูปที่ 6.4 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของอัตรานับวัดและพลังงานที่ระดับต่าง ๆ เพื่อหากำลังแยกของพลังงานของเครื่องถ่ายภาพ เมื่อความกว้างของหน้าต่าง 5% ของโฟโตพีค และตั้งค่านับวัด 10^5 ครั้ง



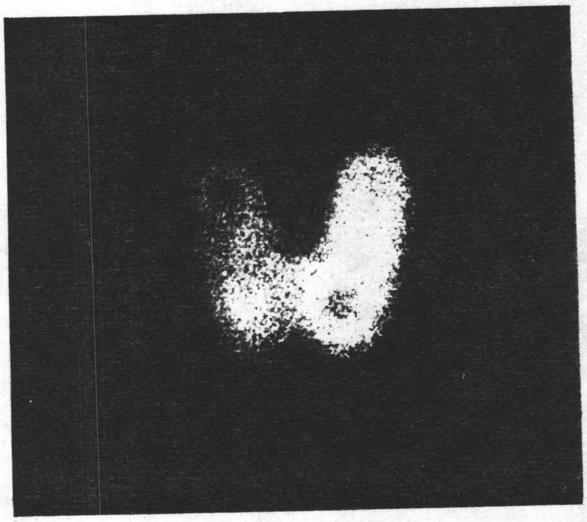


รูปที่ 6.5 (ก) การทดสอบกำลังแยกของการขจัดจากเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาด้วย BRH แฟนทอมเมื่อมีคอลลิเมเตอร์ ใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีค ตั้งค่านับวัด 2×10^6 ครั้ง จากภาพเริ่มเห็นเส้นตะกั่วแยกจากกันเมื่อมีระยะระหว่างเส้นตะกั่ว 4 มม. ดังนั้นกำลังแยกของการขจัด = 1.75 × 4

= 7.00 มม.



รูปที่ 6.5 (ข) แสดงผลการทดสอบกำลังแยกการขจัดของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาเมื่อมีคอลลิ-เมเตอร์ที่หัวนับวัดด้วยต้นกำเนิดรังสีแบบเส้น มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. ยาวเส้นละ 30 ซม. สองเส้นมีเทคนีเชียม-99เอ็ม บรรจุอยู่ ความกว้างหน้าต่าง 20% ตั้งค่านับวัด 2×10^{6} ครั้ง ปรับระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสี 3,4,5....12 มม. ดังรูป ก, ข, ค, ง, จ, ฉ, ช, ซ, ฌ, ญ ตามลำดับ จากภาพจะเห็นแยกจากกันได้ชัดเจนเมื่ออยู่ห่างกัน 8 มม. ดังนั้นกำลังแยกของการขจัดคือ 8 มม.



รูปที่ 6.6 แสดงภาพถ่ายของธัยรอยด์แฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม ด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา เพื่อศึกษากำลังแยกและความคมชัด ปรากฏเนื้องอกชนิดไม่จับรังสีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 ซม. ที่มุมบนซ้าย และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 ซม. ที่มุมล่างขวา เนื้องอกชนิดจับรังสีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 ซม.ที่มุมล่างซ้ายของภาพ ส่วนที่มุมบนขวามีจุดแทนเนื้องอกชนิดไม่จับรังสีของแฟนทอม ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางจุด 0.5 ซม. ซึ่งปรากฏจุดไม่ชัดเจน

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองหาความไวและกำลังแยกของการขจัดด้วยต้นกำเนิดรังสีแบบระนาบ แบบเส้น ฝลัดแฟนทอมและแฟนทอมชนิด BRH ใช้ความกว้างของหน้าต่าง = 20% ของโฟโตพีค เครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมามีคอลลิเมเตอร์ช่องขนานติดอยู่

การทดลอง	ต้นกำเนิดรังสีและแฟนทอม	ผลการทดลอง
ความไว	ต้นกำเนิดรังสีแบบระนาบพื้นที่ 10 × 10 ซม.^{2}	ความไว = 420 cpm/uCi
กำลังแยก	ต้นกำเนิดรังสีแบบเส้น	กำลังแยก = 8 มม.
	BRH และฟลัดแฟนทอม	กำลังแยก = 7 มม.
	ธัยรอยด์แฟนทอม	กำลังแยก = 9 มม.

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองหาอัตรานับวัด (R) เป็นครั้งต่อวินาทีจากต้นกำเนิดรังสีสองอัน จากเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาที่ไม่มีคอลลิเมเตอร์ติดอยู่ เป็นอัตรานับวัดที่หักอัตรานับวัดของแบคกราวด์เรียบร้อยแล้ว และค่ารีโซลวิงไทม์ (T)

หา T_1			หา T_2		
R_1 (cps)	R_{12} (cps)	R_2 (cps)	R_2 (cps)	R_{21} (cps)	R_1 (cps)
135121±368	146221±382	135021±367	134921±367	146821±383	134621±367
134921±367	146921±383	134821±367	134921±367	147221±384	134421±367
134821±367	146821±383	134221±366	134521±366	147221±366	134821±367
T_1 (u sec)	T_2 (u sec)	$\bar{T}$ (u sec)	$R_{-20\%}$ (cps)	$C_{-20\%}$ (cps)	อัตรานับวัดสูงสุด
2.46±0.03	2.46±0.03	1.46±0.06	90780±301	72624±269	250±.5K (cps) ที่ระยะ 185 ซม.
2.45±0.03	2.45±0.03	2.45±0.06	90965±302	72771±270	
2.46±0.03	2.45±0.03	2.45±0.06	90901±302	72721±270	

ผลการทดลองได้อัตรานับวัดมากสุด = 250,000 ครั้งต่อวินาที

ค่ารีโซลวิ่งไทม์(เฉลี่ย) $= \frac{(2.46 + 2.45 + 2.45)}{3} \times 10^{-6}$

$= 2.45 \times 10^{-6}$ วินาที $= (2.45 \pm 0.18) \times 10^{-6}$ ครั้ง/วินาที

อัตรานับวัดเมื่อมีค่านับวัดหายไป 20% คือ

$= \frac{72624 + 72771 + 72721}{3} = 72705$ ครั้งต่อวินาที

$= 72705 \pm 809$ ครั้ง/วินาที

อัตรานับวัดที่แท้จริงเมื่อคิดค่านับวัดหายไป 20% $= \frac{90780 + 90965 + 90901}{3}$

$= 90912$ ครั้งต่อวินาที $= 90912 \pm 905$ ครั้ง/วินาที

หมายเหตุ ก. $N_{-20\%}$ คืออัตรานับวัดที่แท้จริงจากต้นกำเนิดรังสีที่เข้าสู่หัวนับวัดเมื่อมีค่านับวัดหายไป 20%

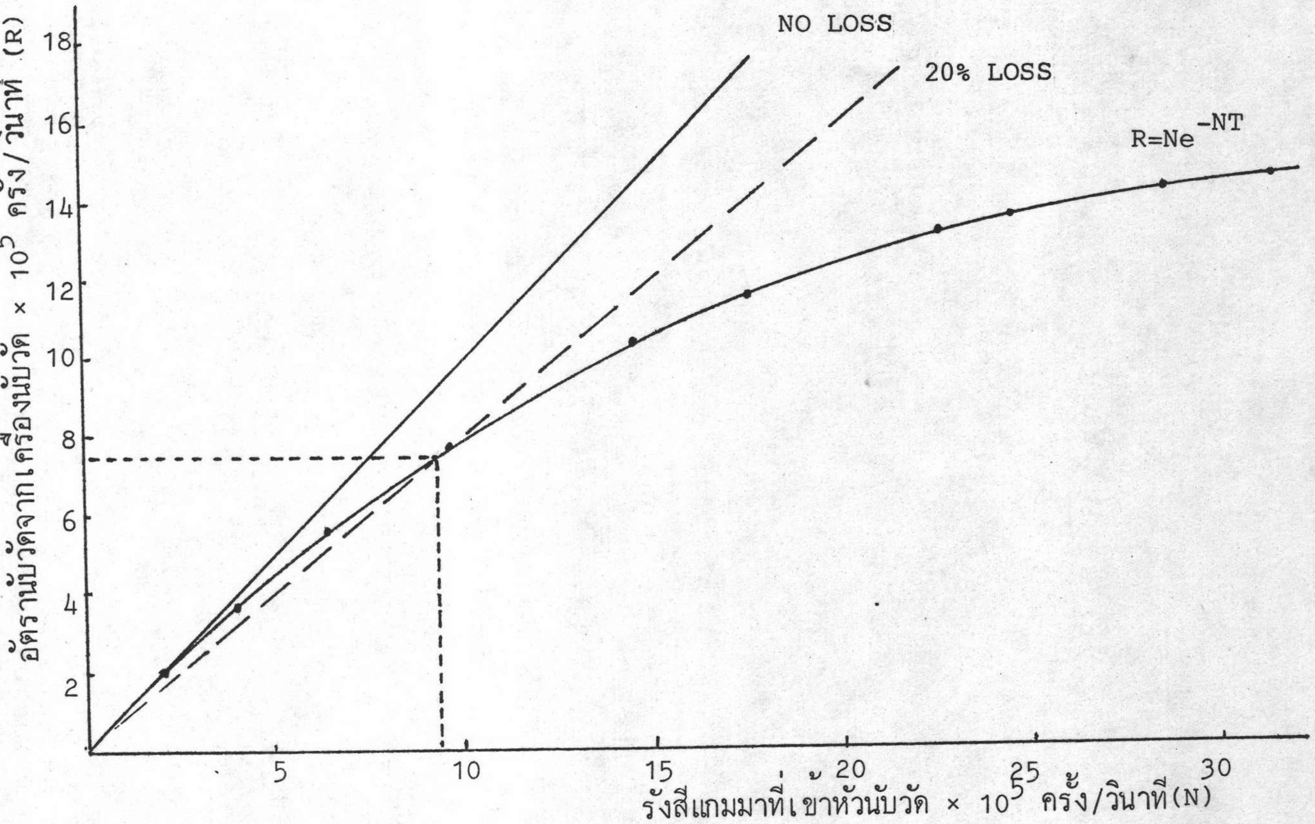
ข. $R_{-20\%}$ คืออัตรานับวัดที่เครื่องมือถ่ายภาพแสดงออกมาเมื่อมีค่านับวัดขาดหายไป-20%

ค. รีโซลวิ่งไทม์หาได้จากสมการ $T = \frac{2R_{12}}{(R_1+R_2)^2} \ln \left(\frac{R_1+R_2}{R_{12}}\right)$

ตารางที่ 6.5 (ก) การทดลองหาอัตรานับวัดด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา เมื่อไม่มีคอลลิเมเตอร์ ด้วยต้นกำเนิดรังสี 10 อัน จากเทคนีเชียม-99เอ็ม ความกว้างของระดับพลังงาน 20% ของโฟโตพีคตั้งเวลานับวัด 1 นาที

ต้นกำเนิดรังสี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กัมมันตภาพ (μCi)	123.5	157	173	247	390	321	396	142	223	202
เวลา (นาฬิกา)	12.20	12.22	12.25	12.26	12.27	12.28	12.29	12.30	12.31	12.32
อัตรานับวัด (kc/min.)	1074	1330	1443	1938	2259	1772	2952	1158	2420	1653
เวลา (นาฬิกา)	12.41	12.43	12.45	12.46	12.48	12.49	12.50	12.52	12.54	12.55
อัตรานับวัดที่ถูกต้อง (kc/min.)	1074	1335	1454	1957	2898	1800	3004	1183	2481	1698
ต้นกำเนิดรังสี	1+2	1+2+3	1+2..+4	1+2..+5	1+2..+6	1+2..+7	1+2..+8	1+2..+9	1+2..+10	-
อัตรานับวัด (kc/min.)	2150	3215	4479	6015	6681	7613	7824	8232	8413	-
เวลา (นาฬิกา)	12.57	12.58	12.59	13.00	13.02	13.03	13.05	13.06	13.07	-
อัตรานับวัดที่ถูกต้อง (kc/min.)	2217	3322	4637	6239	6957	7942	8194	8638	8845	-
อัตรารังสีแกมมาเข้าหัวนับวัด (kc/sec)	40.15	64.38	97	145.3	175.3	225.37	245.08	286.43	314.73	-
สัญญาณที่วัดได้ (kc/sec)	36.95	55.37	77.28	103.98	115.95	132.37	136.57	143.97	147.42	-

รูปที่ 6.7 (ก) ผลการทดลองหาอัตรานับวัดด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาเมื่อไม่มีคอลลิเมเตอร์ ด้วยต้นกำเนิดรังสีเทคนีเชียม-99เอ็ม จำนวน 10 อัน ความกว้างของระดับพลังงาน 20% ของโฟโตพีคตั้งเวลานับวัด 1 นาที แสดงความสัมพันธ์ของอัตรานับวัดเข้าหัวนับวัด และอัตรานับวัดที่เครื่องถ่ายภาพวัดได้เมื่อคิดอัตรานับวัดขาดหายไป 20% คือ 74000 ครั้งต่อวินาที



จากผลการทดลองได้อัตรานับวัดเมื่อคิดค่านับวัดหายไป 20% คือ 74,000$\pm$1000 ครั้ง/วินาที

จากความสัมพันธ์ $R=Ne^{-NT}$ จะได้รีโซลวิงไทม์เฉลี่ย (T) $=(2.45\pm0.13)\times10^{-6}$ วินาที

$$N_{-20\%} = \frac{0.2231}{T}$$

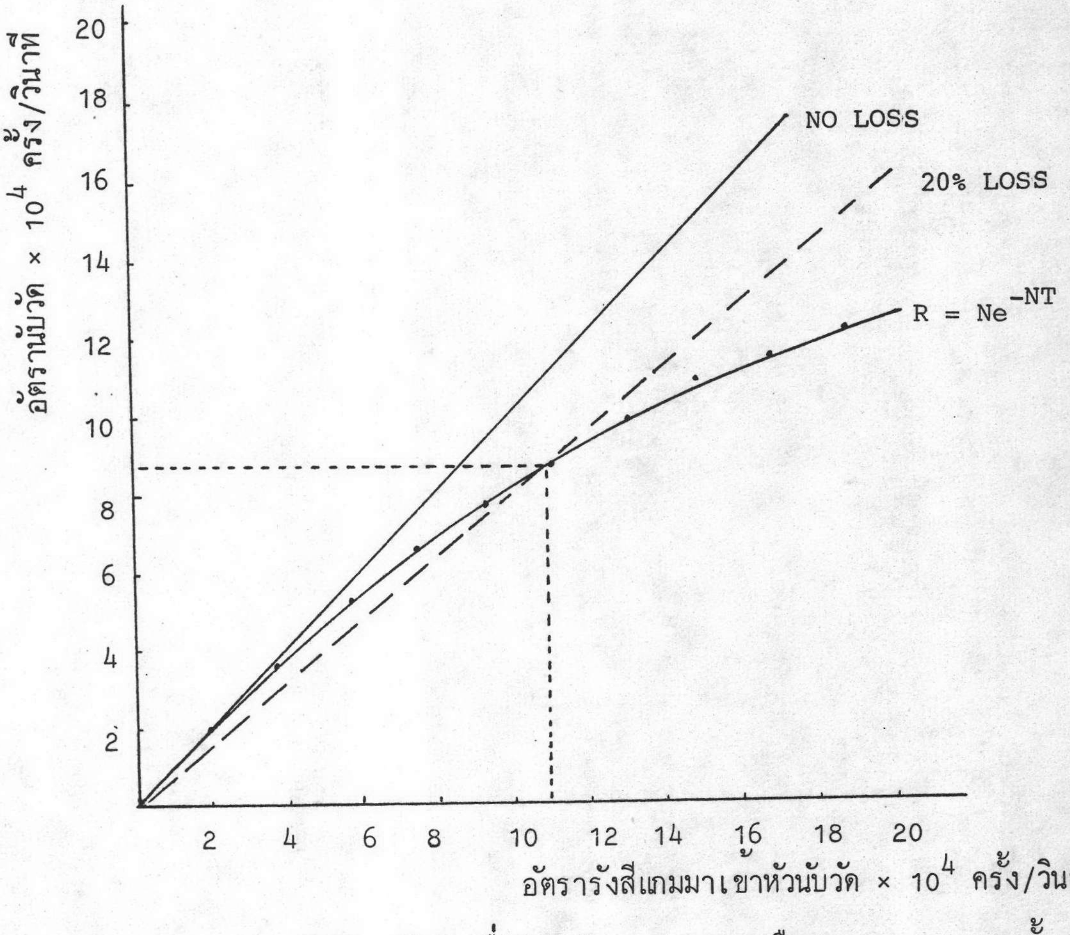
$$= \frac{0.2231}{2.45\times10^{-6}}$$

$= 91061 \pm 4831$ ครั้ง/วินาที

ตารางที่ 6.5 (ข) การทดลองหาอัตรานับวัดด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาเมื่อไม่มีคอลลิเมเตอร์ ด้วยต้นกำเนิดรังสี 10 อัน จากเทคนีเชียม -99เอ็ม ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีคตั้งเวลานับวัด 1 นาที

ต้นกำเนิดรังสี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กัมมันตภาพ (uCi)	122	113.6	111	107	108	109.5	113	108	121	114
เวลา (นาฬิกา)	12.17	12.15	12.13	12.17	12.14	12.11	12.17	12.13	12.13	12.02
อัตรานับวัด (kc/min)	1245	1139	1160	1118	1130	1149	1185	1114	1269	1152
เวลา (นาฬิกา)	12.29	12.37	12.23	12.31	12.22	12.21	12.35	12.33	12.25	12.30
อัตรานับวัดที่ถูกต้อง kc/min(-Bg)	1208	1102	1123	1081	1093	1112	1148	1077	1232	1115
อัตรานับวัดที่ถูกต้องจากการสลายตัว (kc/min)	1227	1137	1127	1102	1095	1112	1179	1102	1242	1135
ต้นกำเนิดรังสี	1	1+2	1+...3	1+...4	1+...5	1+...6	1+...7	1+...8	1+...9	1+...10
อัตรานับวัด (kc/min)	1245	2178	3048	3795	4457	5052	5628	6100	6565	6919
เวลา (นาฬิกา)	12.29	12.38	12.40	12.41	12.42	12.43	12.45	12.46	12.48	12.49
อัตรานับวัดที่ถูกต้อง kc/min(-Bg)	1208	2141	3011	3758	4420	5015	5591	6063	6528	6882
อัตรานับวัดที่ถูกต้องจากการสลายตัว (kc/min)	1227	2212	3123	3906	4602	5232	5855	6362	6876	7263
อัตรารังสีแกมมาที่เข้าหัวนับวัด (cps)	20450	36866	52050	651000	76700	87200	97583	106033	114600	121050
อัตรานับวัดที่วัดได้ (cps)	20450	39400	58183	75867	94117	112650	132300	150667	171367	190283

รูปที่ 6.7 (ข) ผลการทดลองเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาเมื่อไม่มีคอลลิเมเตอร์ ด้วยต้นกำเนิดรังสีเทคนีเชียม-99เอ็ม จำนวน 10 อัน ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีค ตั้งเวลานับวัด 1 นาที แสดงความสัมพันธ์ของอัตรานับวัดเข้าหัวนับวัดและอัตรานับวัดที่เครื่องมือแสดงออกมา อัตรานับวัดเมื่อมีอัตรานับวัดหายไป 20% คือ 86,000 ครั้งต่อวินาที



ผลการทดลอง ได้อัตรานับวัดเมื่อค่านับวัดหายไป 20% คือ 86,000$\pm$1000 ครั้ง/วินาที

จากความสัมพันธ์ $R=Ne^{-NT}$ จะได้ T เฉลี่ย $=(2.1\pm0.16) \times 10^{-6}$ วินาที

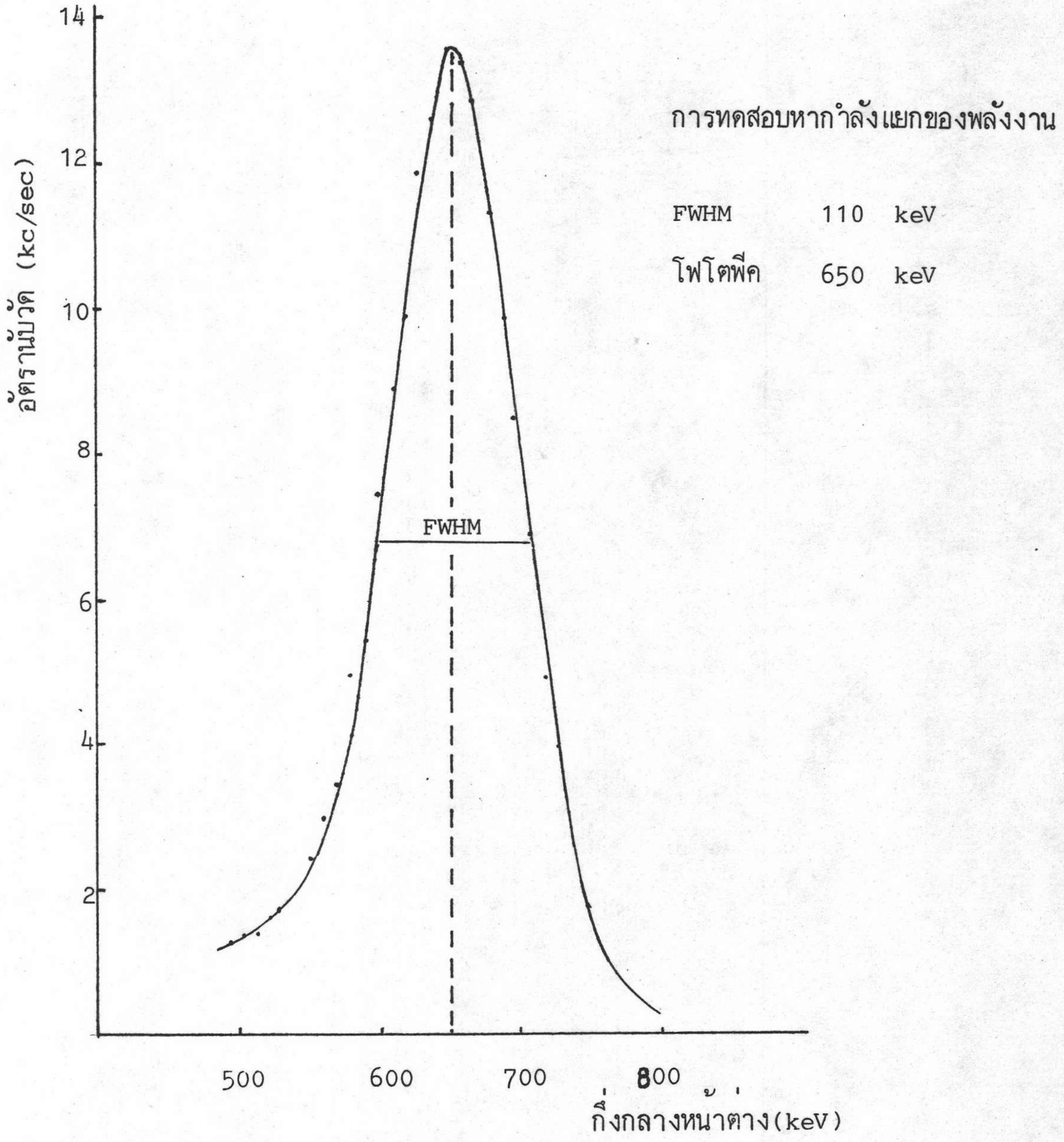
และ $N_{-20\%} = \dfrac{0.2231}{2.16\times10^{-6}}$ $= 103,287 \pm 7850$ ครั้ง/วินาที

จากตารางที่ 6.5 (ก) และ 6.5 (ข) เพื่อเปรียบเทียบการหารีโซลวิงไทม์เมื่อใช้กัมมันตภาพของกระบอกฉีดยาแต่ละอันใกล้เคียงกันและต่างกัน ซึ่งให้ค่ารีโซลวิงไทม์แตกต่างกัน

ตารางที่ 6.6 แสดงข้อมูลการทดลองสำหรับหากำลังแยกของพลังงานของเครื่องมือสร้างภาพเรติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 ใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20 kev เมื่อไม่มีคอลลิเมเตอร์ที่หัวนับวัด ต้นกำเนิดรังสีห่างผลึกนับวัด 20 ซม.

กึ่งกลางของระดับพลังงาน (keV)	อัตรานับวัด (kc/sec)	กึ่งกลางของระดับพลังงาน (keV)	อัตรานับวัด (kc/sec)	กึ่งกลางของระดับพลังงาน (keV)	อัตรานับวัด (kc/sec)
800	0.3	670	13.0	580	4.5
790	0.4	660	13.5	570	3.5
780	0.6	658	13.5	560	3.0
770	0.9	656	13.5	550	2.5
760	1.1	654	13.6	540	2.0
750	1.8	652	13.6	530	1.8
740	2.4	650	13.7	520	1.4
730	4.0	640	12.7	510	1.4
720	5.0	630	12	500	1.3
710	7.0	620	10	-	-
700	8.6	610	9	-	-
690	10.0	600	7.5	-	-
680	11.5	590	5.5	-	-

รูปที่ 6.8 แสดงการหากำลังแยกของพลังงานของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ความกว้างของหน้าต่าง 20 keV และหากำลังแยกของพลังงานบริเวณโฟโตพีคจากพลังงาน 500 keV ถึง 800 keV เมื่อไม่มีคอลลิเมเตอร์ที่หัวนับวัด



ผลการทดลองได้ โฟโตพีค = 650 keV

FWHM = 110 keV

กำลังแยกของพลังงาน $= \frac{100 \times 110}{650}$

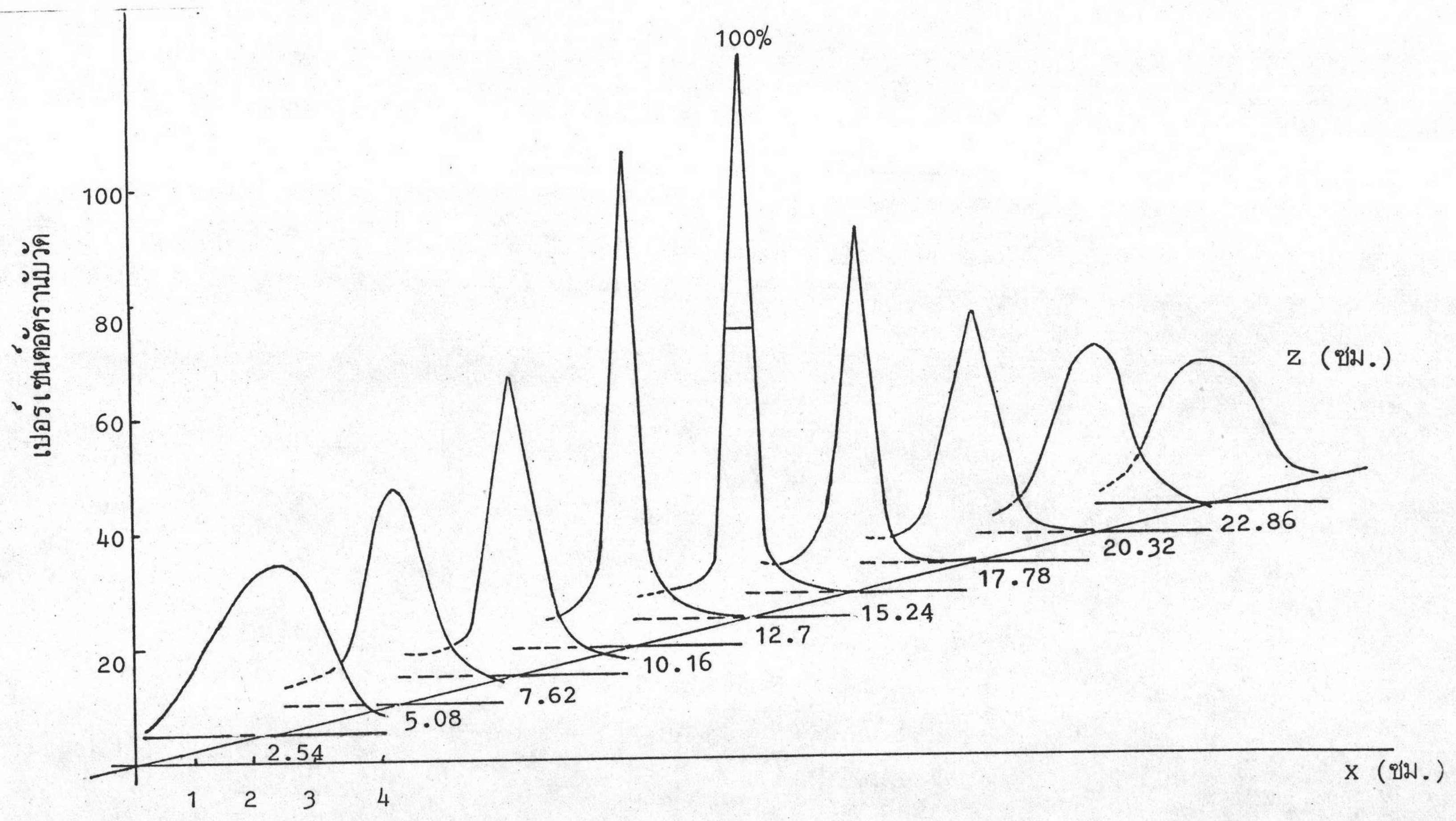
$= 16.92\%$

ตารางที่ 6.7 (ก) การศึกษากำลังแยกของการขจัดเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ ด้วยต้นกำเนิดรังสีแบบเส้น (line Source) ภายในบรรจุเทคนีเชียม-99 เอ็ม ที่ระยะต่าง ๆ จากแนวแกนของผลึกนับวัด(X) และที่ระนาบต่าง ๆ จากผิวหน้าคอลลิเมเตอร์ เมื่อใช้คอลลิเมเตอร์หมายเลข 2111A มี 265 ช่อง ได้อัตรานับวัดสูงสุด 4,000 ครั้งต่อนาที ที่ระยะ 12.7 ซม. จากผิวคอลลิเมเตอร์

X	Z=2.54 ซม.		Z=5.08 ซม.		Z=7.62 ซม.		Z=10.16ซม.		Z=12.7 ซม.	
ซม.	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%
+4	150	4	200	5	150	4	200	5	150	4
+ 3	400	10	300	8	200	5	250	6	225	6
+ 2	600	15	400	10	400	10	300	8	250	6
+ 1	1100	28	1200	30	1500	38	500	13	500	13
0	1200	30	1500	38	2100	53	3500	88	4000	100
− 1	1100	28	1100	28	900	23	600	15	400	10
−2	800	20	300	8	275	7	300	8	250	6
−3	400	10	200	5	200	5	200	5	200	5
−4	300	8	150	4	150	4	150	4	150	4

X	Z=15.24 ซม.		Z=17.78 ซม		Z=20.32 ซม.		Z=22.86 ซม.		Z= 25.4 ซม.	
ซม.	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%
+ 4	200	5	200	5	200	5	200	5	−	−
+ 3	200	5	250	6	350	9	250	6	−	−
+ 2	250	6	300	8	500	13	700	18	−	−
+ 1	900	23	1200	30	1200	30	900	23	−	−
0	2600	65	1700	43	1300	33	1000	25	−	−
− 1	600	15	1200	30	1100	28	1000	25	−	−
− 2	400	10	350	9	600	15	750	19	−	−
− 3	200	5	200	5	250	6	350	9	−	−
− 4	200	5	200	5	150	4	200	5	−	−
− 5	-	-	-	-	-	-	-	-	−	−

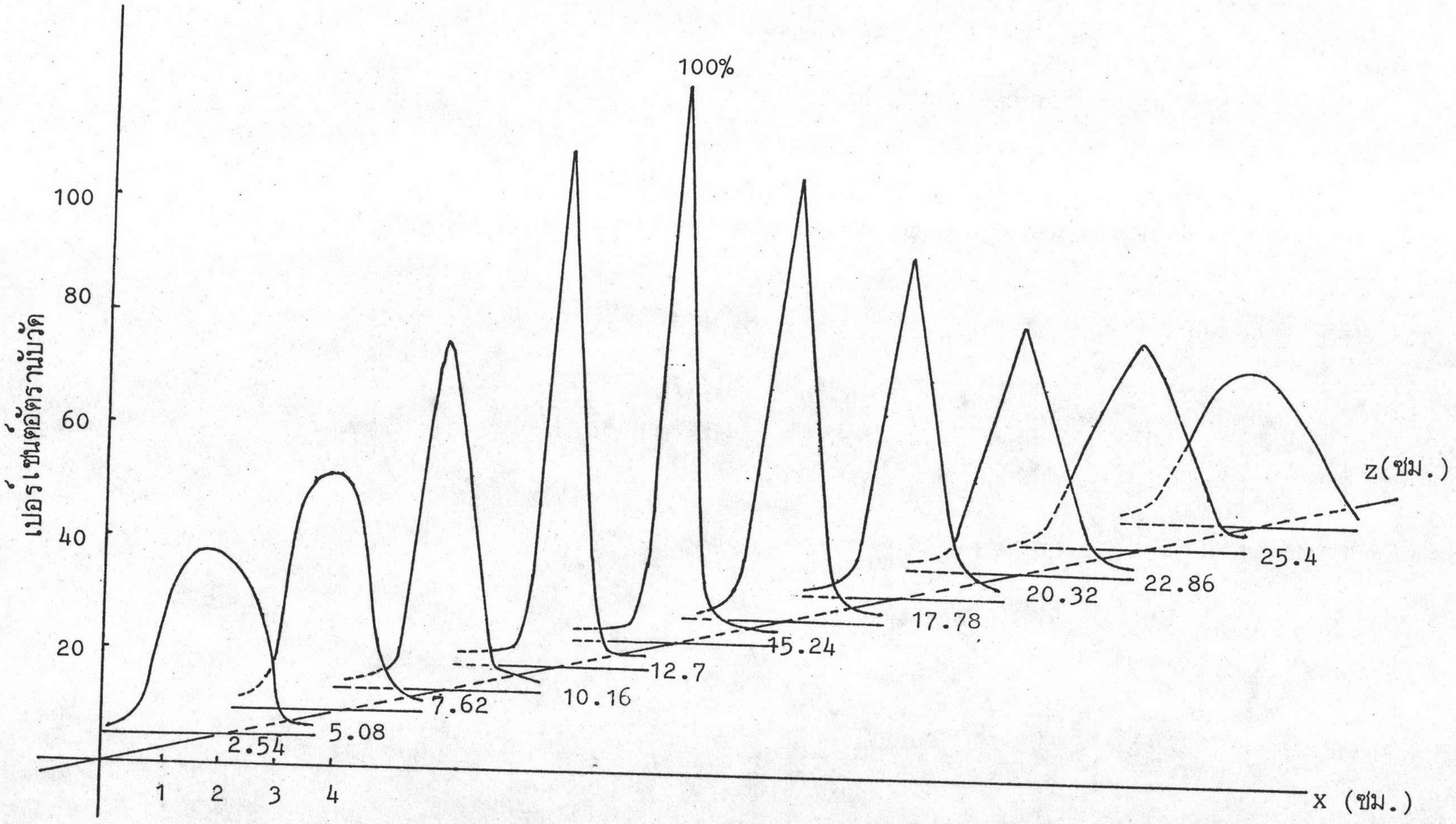
รูปที่ 6.9 (ก) การศึกษาหากำลังแยกของการขจัดของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกน-เนอร์ด้วยต้นกำเนิดรังสีแบบเส้นเทคนีเชียม-99เอ็ม ด้วยคอลลิเมเตอร์หมายเลข 2111A มี 265 ช่อง ได้อัตรานับวัดสูงสุดที่ระยะ 12.7 ซม. และมีกำลังแยกการขจัดดีสุดที่ระยะนี้ = 1 ซม.



ตารางที่ 6.7 (ข) การศึกษากำลังแยกการขจัดของเครื่องมือสร้างภาพสแกนเนอร์ด้วยต้นกำเนิดรังสีแบบเส้น (line Source) ภายในบรรจุต้นกำเนิดรังสีเทคนีเชียม-99 เอ็ม ใช้คอลลิเมเตอร์หมายเลข 2111 มี 85 ช่อง แสดงอัตรานับวัดเมื่อเลื่อนต้นกำเนิดรังสีไปที่ระยะต่าง ๆ จากแกนผลึก (X) และที่ระนาบต่าง ๆ จากผิวหน้าของคอลลิเมเตอร์(Z) ได้อัตรานับวัดสูงสุด 9000 ครั้งต่อนาที ที่ระยะ 12.70 ซม. จากผิวหน้าของคอลลิเมเตอร์

X ซม.	Z=2.54 ซม.		Z=5.08 ซม.		Z=7.62 ซม.		Z=10.16 ซม.		Z=12.7 ซม.	
	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%
+4	225	3	250	3	200	2	150	2	200	2
+3	250	3	300	3	250	3	250	3	250	3
+2	2000	22	1200	13	400	4	275	3	250	3
+1	2800	31	3500	39	3500	39	2200	24	1800	20
0	3000	33	4000	44	5500	61	8200	93	9000	100
-1	3000	33	3800	42	4000	44	2600	29	2200	24
-2	2200	24	1500	17	500	6	300	3	300	3
-3	600	7	300	3	300	3	250	3	250	3
-4	200	2	250	3	200	2	200	2	200	2
X ซม.	Z=15.24 ซม		Z=17.78 ซม		Z=20.32 ซม		Z=22.86ซม.		Z=25.4 ซม.	
	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%
+4	150	2	200	2	200	2	250	3	400	4
+3	250	3	250	3	450	5	800	9	1100	12
+2	300	3	800	9	1600	18	1900	21	1700	19
+1	3200	36	3500	39	3000	33	2800	31	2200	24
0	7200	80	5500	61	4000	44	3200	36	2400	27
-1	3800	42	3000	33	2800	31	2700	30	2200	24
-2	2500	28	600	7	1400	16	2000	22	2000	22
-3	250	3	250	3	400	4	800	9	1200	13
-4	170	2	200	2	250	3	250	3	600	7

รูปที่ 6.9 (ข) การศึกษากำลังแยกของการขจัดของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ ด้วยต้นกำเนิดรังสีเทคนีเชียม-99เอ็ม ชนิดเส้น ใช้คอลลิเมเตอร์หมายเลข 2111 ชนิด 85 ช่อง ได้อัตรานับวัดสูงสุดที่ระยะ 12.70 ซม. และมีกำลังแยกของการขจัดดีที่สุดที่ระยะนี้คือ 1.5 ซม.

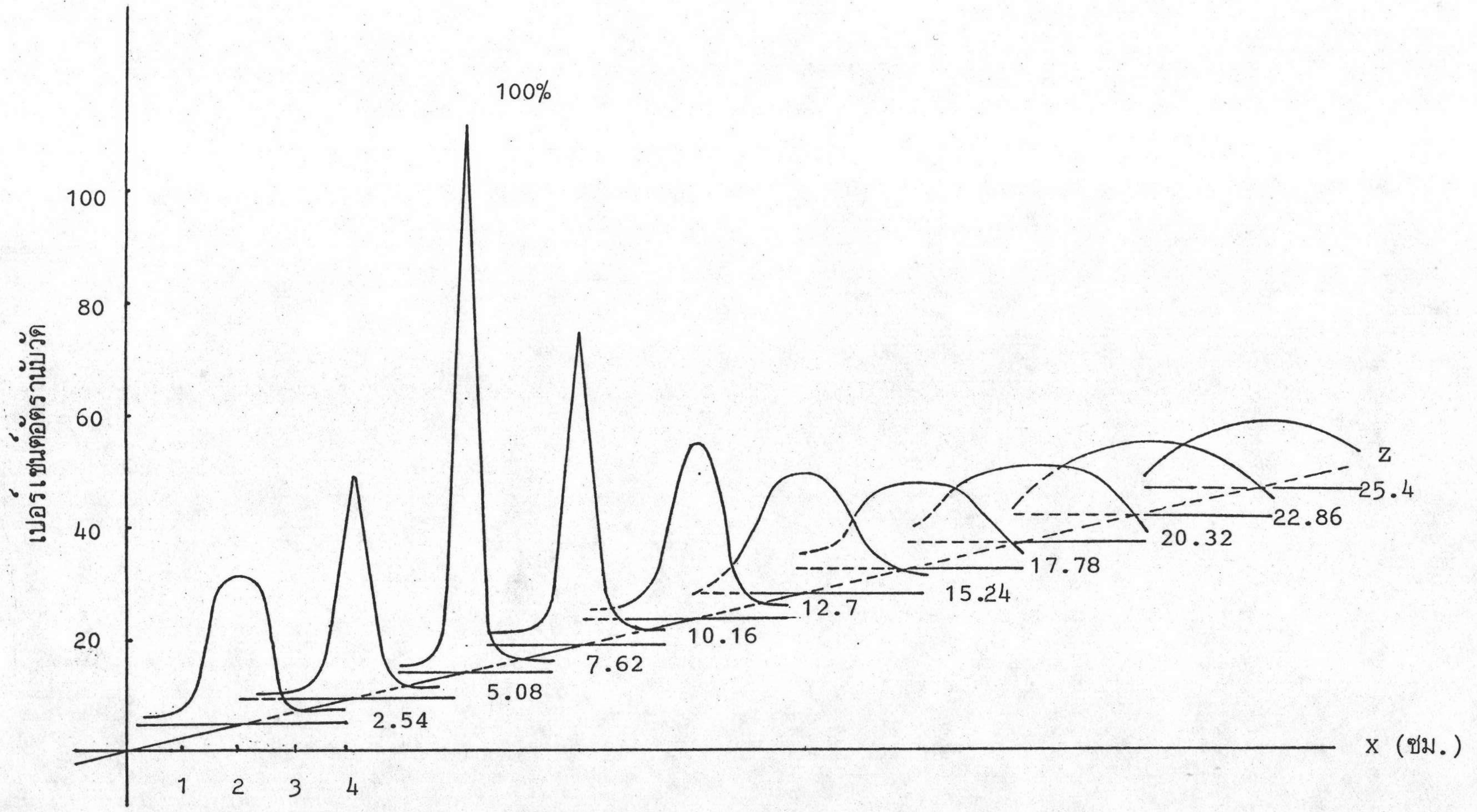


ตารางที่ 6.7 (ค) การศึกษากำลังแยกของการขจัดของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยต้นกำเนิดรังสีเทคนีเชียม-99เอ็ม ชนิดเส้น ใช้คอลลิเมเตอร์หมายเลข 2112 A , ชนิด 163 ช่อง ได้อัตรานับวัดสูงสุด 7500 cpm ที่ระยะ 7.62 ซม

X	Z=2.54 ซม.		Z=5.08 ซม.		Z=7.62 ซม.		Z=10.16 ซม.		Z=12.7 ซม.	
ซม.	cmp	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%
+4	150	2	150	2	150	2	200	3	150	2
+3	200	3	180	2	150	2	250	3	200	3
+2	250	3	200	3	200	3	300	4	300	4
+1	1800	24	1200	16	300	4	1000	13	1700	23
0	2000	27	3100	41	7500	100	4300	57	2400	32
-1	1850	25	1000	13	300	4	800	11	1700	23
-2	250	3	200	3	150	2	250	3	350	5
-3	200	3	180	2	150	2	250	3	200	3
-4	150	2	150	2	-	-	-	-	150	2

X	Z=15.24 ซม.		Z=17.78 ซม.		Z=20.32 ซม.		Z=22.86ซม.		Z=25.48 ซม.	
ซม.	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%	cpm	%
+4	300	4	400	5	600	8	700	9	700	9
+3	550	7	700	9	900	12	800	11	700	9
+2	1050	14	1050	14	1000	13	900	12	300	11
+1	1500	20	1150	15	1000	13	1000	13	800	11
0	1600	21	1200	16	1100	15	1000	13	900	12
-1	1500	20	1100	15	1000	13	900	12	700	9
-2	800	11	1100	13	900	12	800	11	700	9
-3	400	5	450	6	800	11	700	9	700	9
-4	150	2	300	4	450	6	500	7	600	8

รูปที่ 6.9 (ค) การศึกษากำลังแยกการขจัดของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียรสแกนเนอร์ ด้วยต้นกำเนิดรังสีเทคนีเชียม-99เอ็ม ชนิดเส้น ด้วยคอลลิเมเตอร์หมายเลข 2111A ชนิด 163 ช่อง ได้อัตรานับวัดสูงสุดที่ระยะ 7.62 ซม. มีกำลังแยกการขจัดดีที่สุดที่ระยะนี้คือ 1 ซม.



จากตารางที่ 6.7 ก–ค และรูปที่ **6.9** ก–ค พบว่าได้ผลการทดลองหากำลังแยกของการขจัดเมื่อใช้คอลลิเมเตอร์ชนิดต่าง ๆ กับเครื่องเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์คือ

คอลลิเมเตอร์ชนิด (จำนวนช่อง)	ความยาวโฟกัส (ซม.)	กำลังแยกของการขจัด (ซม.)
265	15.24	1
85	12.70	1.5
163	7.62	1

ตารางที่ 6.8 (ก,ข) การศึกษาความถูกต้องทุกส่วนของระบบเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยสเตพเวดจ์แฟนทอม

(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของสารกัมมันตรังสีในแฟนทอมกับเปอร์เซนต์อัตรานับวัดจากแต่ละบริเวณเมื่ออัตรานับวัดจากสารกัมมันตรังสีที่ความหนา 1 ซม. ในแฟนทอมเป็น 100%

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของสารกัมมันตรังสีในแฟนทอมกับเปอร์เซนต์ความหนาแน่นของจุดในภาพถ่าย ให้ความหนาแน่นจุดที่ความหนา 1 ซม. เป็น 100%

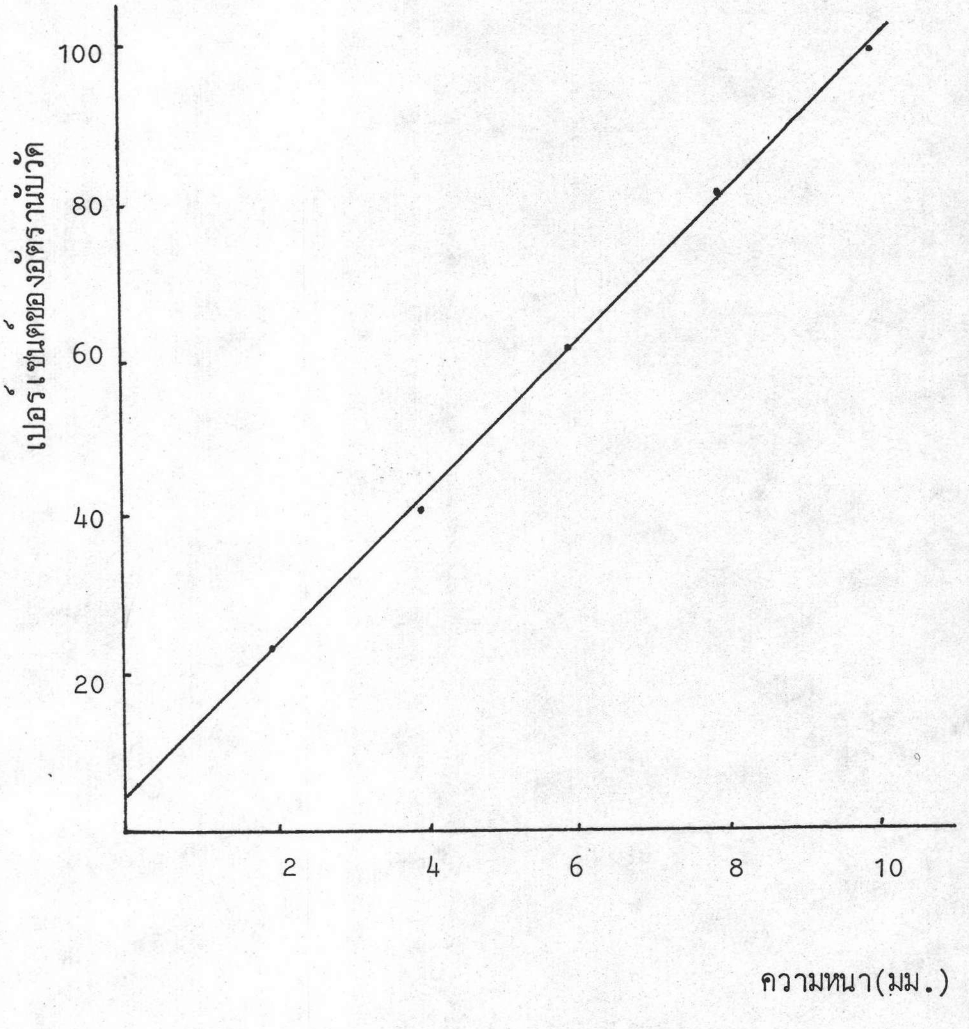
(ก)

ความหนา (ซม.)	อัตรานับวัด(1) (ครั้งต่อวินาที)	อัตรานับวัด(2) (ครั้งต่อวินาที)	อัตรานับวัดเฉลี่ย (ครั้งต่อวินาที)	เปอร์เซนต์อัตรานับวัด
0.2	13000	12000	12500	23
0.4	23000	22000	22500	41
0.6	35000	34000	34500	62
0.8	46000	45000	45500	82
1.0	56000	55000	55500	100

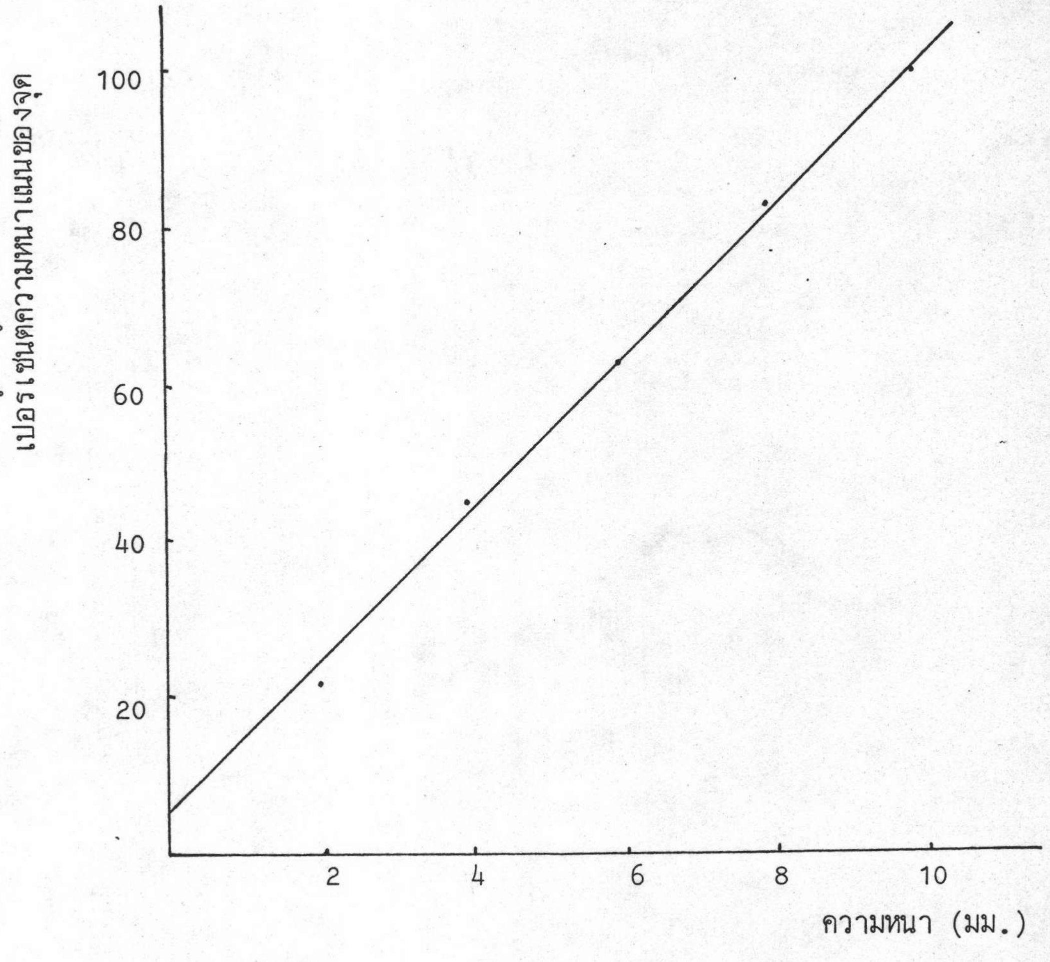
(ข)

ความหนา (ซม.)	พื้นที่ (ซม.)^2	จำนวนจุด (1)	จำนวนจุด (2)	เฉลี่ย (1,2)	เปอร์เซนต์
0.2	4×7	207	197	202	22
0.4	4×7	450	389	419	45
0.6	4×7	585	582	583	63
0.8	4×7	780	761	770	83
1.0	4×7	961	899	930	100

รูปที่ 6.10 (ก) การศึกษาความถูกต้องทุกส่วนของระบบเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ ด้วยสเตพเวดจ์แฟนทอม เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของอัตรานับวัดและความหนาของสารกัมมันตรังสีในแต่ละบริเวณของแฟนทอม



รูปที่ 6.10 (ข) การศึกษาความถูกต้องทุกส่วนของระบบเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยสเตพเวดจ์แฟนทอม เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของความหนาแน่นจุดและความหนาของสารกัมมันตรังสีในแต่ละบริเวณของแฟนทอม



จากรูปที่ 6.10 (ก) ความคลาดเคลื่อนของจุดจากแนวเส้นตรง = $\frac{0 + 1 + + 1 + 0}{5}$

= 0.4 %

จากรูปที่ 6.10 (ข) ความคลาดเคลื่อนของจุดจากแนวเส้นตรง = $\frac{3+1+0+1.5+0.5}{5}$

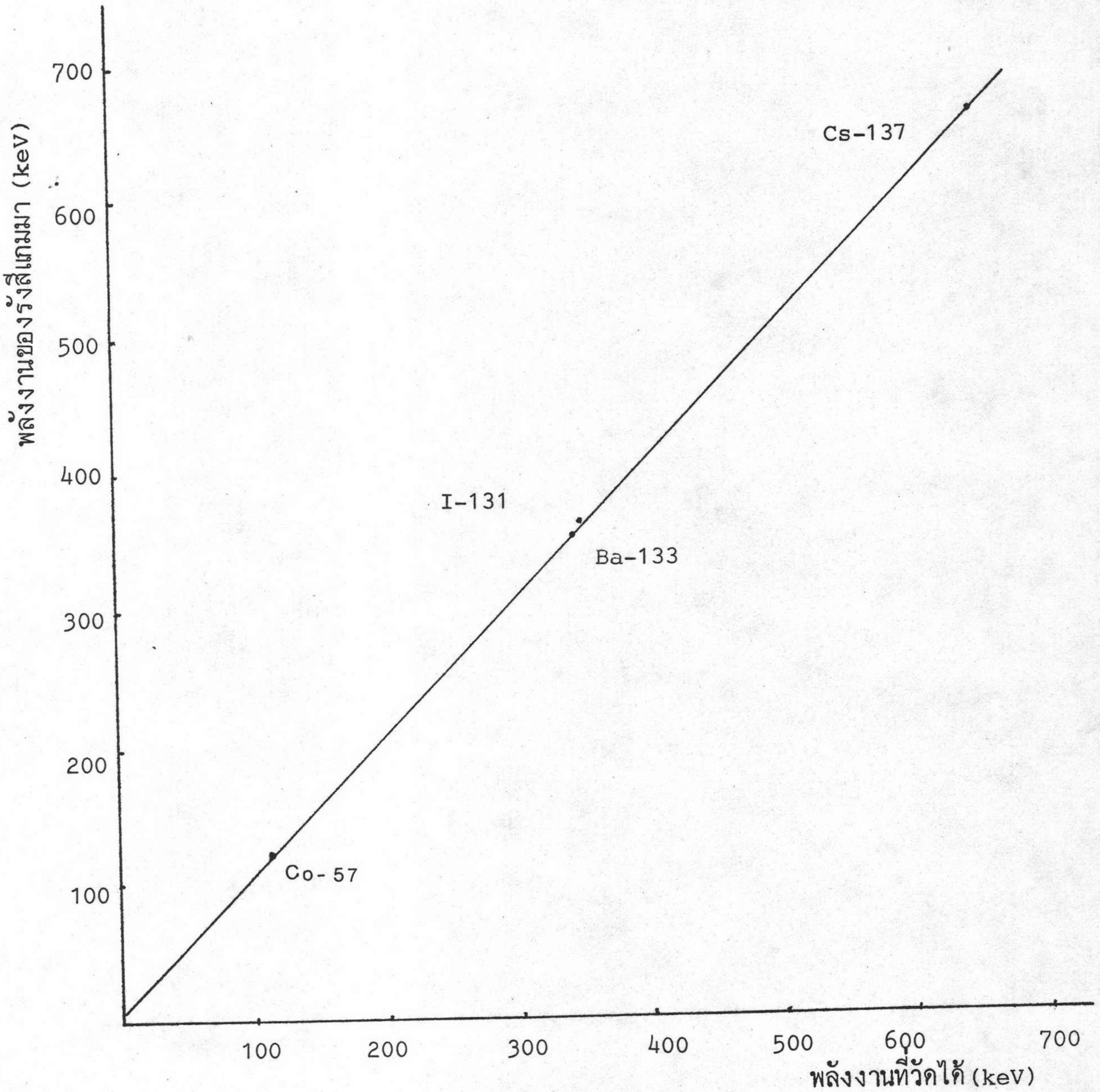
= 1.2 %

ความคลาดเคลื่อนในการแสดงผลของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์มีค่า 0.4% และ 1.2% ซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับขอบเขตการยอมรับ $\pm$10% โดยสำนักงานมาตรฐาน IAEA [14]

ตารางที่ 6.9 แสดงข้อมูลการทดลองหาความถูกต้องในการตอบสนองต่อพลังงานระดับต่าง ๆ ของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ไอโอดีน-131 โคบอลท์-57 และแบเรียม-133 ด้วยความกว้างของหน้าต่าง 10 keV เมื่อไม่มีคอลลิเมเตอร์ที่หัววัด

นิวไคลด์รังสี	ซีเซียม-137	ไอโอดีน-131	โคบอลท์-57	แบเรียม-133
พลังงานระดับต่ำกว่า (keV.)	650	350	110	344
โฟโตพีคที่วัดได้ (keV)	655	355	115	349
โฟโตพีคที่แท้จริง (keV)	662	364	122	355

รูปที่ 6.11 ผลการทดสอบความถูกต้องในการตอบสนองต่อพลังงานรังสีแกมมาที่ระดับพลังงานต่าง ๆ ของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ ด้วยต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ไอโอดีน-131 โคบอลท์-57 และแบเรียม-133 ด้วยความกว้างของหน้าต่าง 10 kev เมื่อไม่มีคอลลิเมเตอร์ที่หัวนับวัด



จากผลการทดลองหาความถูกต้องของระบบและความถูกต้องในการตอบสนองต่อพลังงานรังสีแกมมาของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์พบว่า ผลการทดลองทุก ๆ จำนวนถูกต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน (0%) คือมีความถูกต้องในการตอบสนองต่อพลังงานต่อทุก ๆ ระดับพลังงาน

6.7 วิธีศึกษาการทำงานของเครื่องมือถ่ายภาพด้วยวิลเลียมแฟนทอมที่สร้างขึ้นได้แก่ การหากำลังแยกของการขจัดคือ

1. เติมสารละลายเทคนีเชียม-99เอ็ม กัมมันตภาพ2 มิลลิคูรีในวิลเลียมแฟนทอมจนเต็มไม่มีฟองอากาศอยู่ภายใน

2. หงายหัวนับวัดที่มีคอลลิเมเตอร์ติดอยู่ขึ้นในแนวระดับ

3. วางวิลเลียมแฟนทอมบนหัวนับวัดให้กึ่งกลางแฟนทอมอยู่ที่จุดกึ่งกลางของหัวนับวัด

4. ปรับกึ่งกลางของหน้าต่างให้ตรงกับโฟโตพีคของสเปคตรัมของเทคนีเชียม-99เอ็มที่ปรากฏในจอภาพ

5. ปรับความเข้มของเครื่องบันทึกภาพบนฟิล์มให้เหมาะสมกับค่านับวัด 1×10^5 ครั้ง บันทึกภาพของวิลเลียมแฟนทอมเมื่อใช้โฟโตพีคคงที่และใช้ความกว้างของหน้าต่าง 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 40% ของโฟโตพีคทีละภาพ รวม 7 ภาพ

6. ทำเช่นเดียวกับข้อ 5 แต่ใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีคคงที่ ปรังกึ่งกลางของหน้าต่างออกไปจากโฟโตพีคคือ 98, 105, 112, 119, 126, 154, 161 และ 168 kev บันทึกภาพของวิลเลียมแฟนทอมทีละภาพ

7. นำภาพถ่ายจากข้อ 5 และ 6 มาหากำลังแยกของการขจัด จากรายละเอียดที่ปรากฏในภาพ

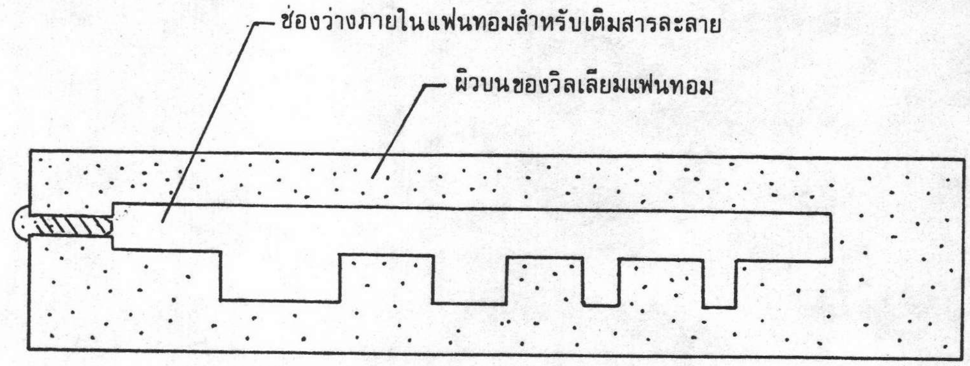
6.8 วิธีศึกษาการทำงานของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยวิลเลียมแฟนทอมที่สร้างขึ้น ได้แก่การหากำลังแยกการขจัด มีวิธีวิจัยคือ

1. ถอดคอลลิเมเตอร์ออกจากหัวนับวัด คว่ำหัวนับวัดลงในแนวดิ่ง ปรับค่าเวลาคงตัว 1 วินาที และตั้งอัตรานับวัด 1×10^5 ครั้ง/วินาที

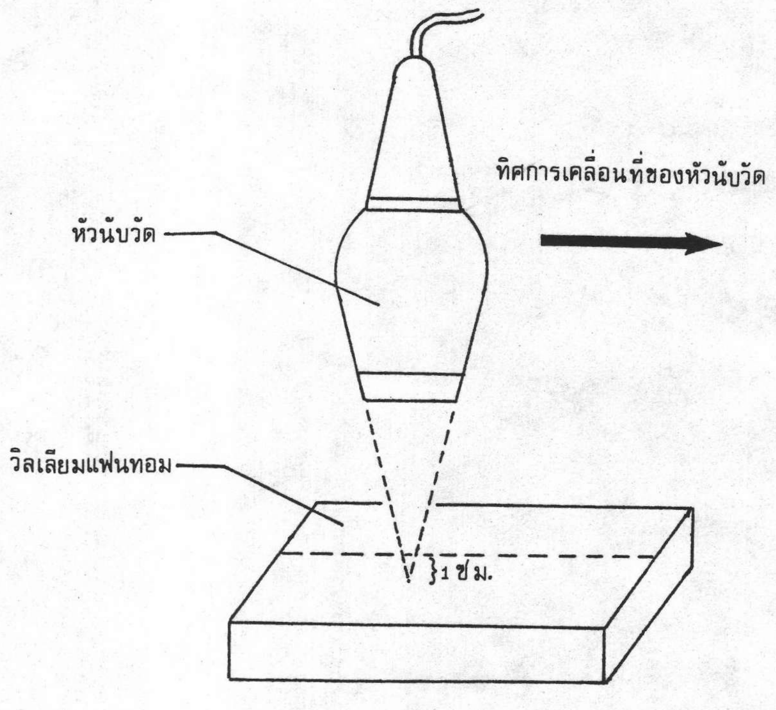
2. วางวิลเลียมแฟนทอมซึ่งมีสารละลายเทคนีเชียม-99เอ็ม บรรจุอยู่กัมมันตภาพรังสี 2 มิลลิคูรี บนเตียงผู้ป่วยให้ห่างจากผิวผลึก 20 ซม. ให้ผิวที่ด้านบางหงายขึ้นดังรูป 6.12

3. ปรับกำลังขยายของเครื่องขยายสัญญาณ ศักย์ไฟฟ้าของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ และโฟโตพีคดังข้อ 2-7 ในข้อ 6.5 ก.

4. ใส่คอลลิเมเตอร์ชนิด 163 ช่อง ความยาวโฟกัส 7.2 ซม. เข้ากับหัวนับวัด



รูปที่ 6.12 แสดงรูปด้านข้างของวิลเลียมแฟนทอมซึ่งมีความหนาของแฟนทอมทั้งสิ้น 4 ซม. ผิวด้านบนของแฟนทอมหนา 1 ซม.



รูปที่ 6.13 แสดงทิศการสแกนของหัวนับวัดตามความยาวของวิลเลียมแฟนทอม จุดโฟกัสของคอลลิเมเตอร์อยู่ต่ำกว่าผิวบนของแฟนทอม 1 ซม.

5. ปรับวิลเลียมแฟนทอมให้ความยาวของแฟนทอมขนานกับทิศการสแกนของหัวนับวัด และให้ระนาบโฟกัสอยู่ต่ำจากผิวบนของแฟนทอม 1 ซม. ดังรูปที่ 6.13

6. ปรับความกว้างของหน้าต่าง 60 keV และปรับกึ่งกลางของหน้าต่างให้ตรงกับโฟโตพีค ใช้ dot factor สำหรับบันทึกภาพ = 64 อัตราเร็วการสแกน 50 ซม.ต่อนาที ระยะระหว่างแถว 0.2 ซม. และตัดแบคกราวด์ 20% ของค่านับวัด

7. บันทึกภาพของวิลเลียมแฟนทอม

8. ทำเช่นเดียวกับข้อ 7 แต่กลับแฟนทอมอีกด้านหนึ่งขึ้นแทน

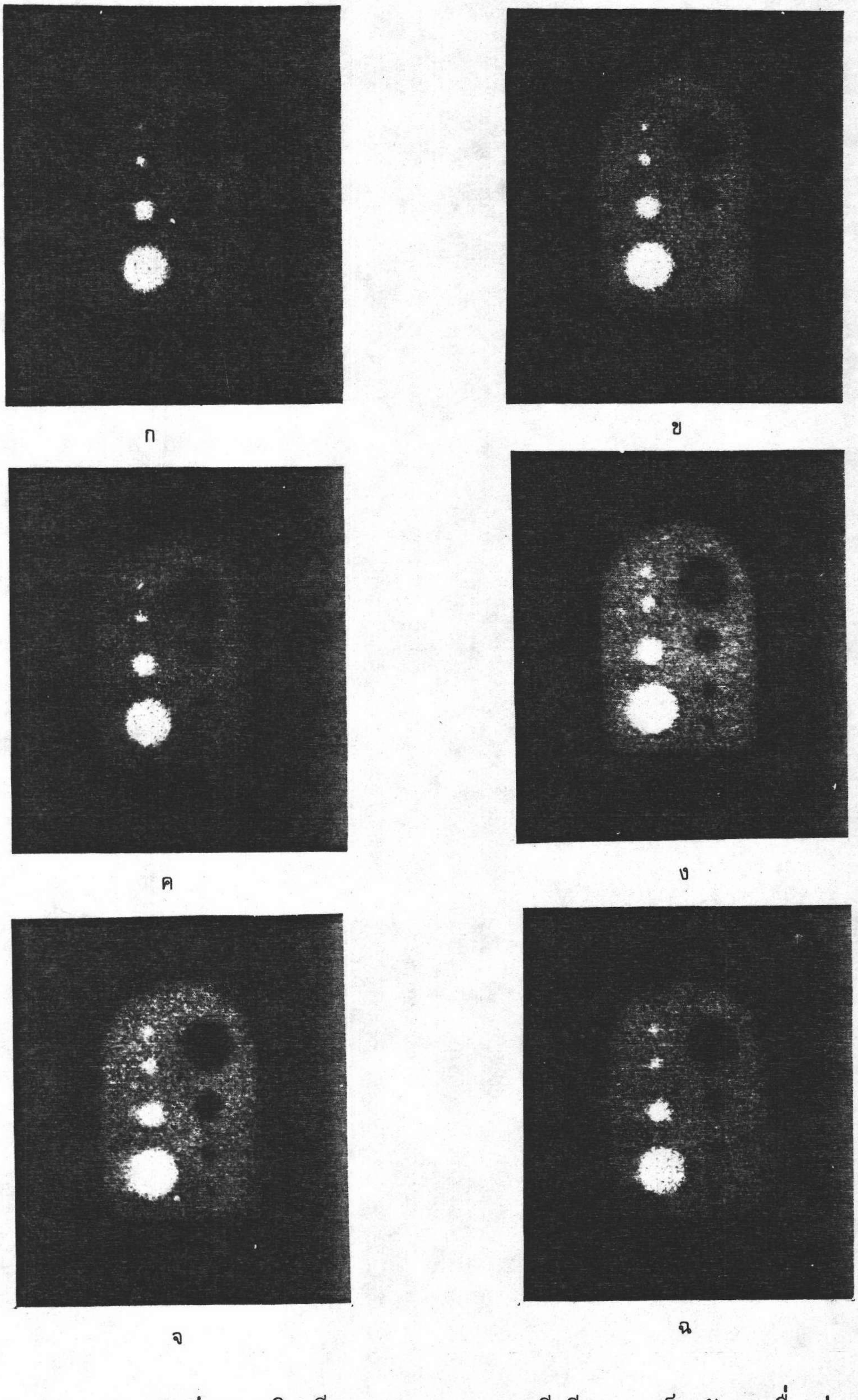
9. ทำเช่นเดียวกับข้อ 8 แต่ใช้คอลลิเมเตอร์ชนิดอื่นแทนคือ ชนิด 31 ช่อง ความยาวโฟกัส 7.62 ซม. 85 ช่อง ความยาวโฟกัส 12.7 ซม. และ 265 ช่อง ความยาวโฟกัส 12.7 ซม.

6.9 ผลการศึกษากำลังแยกของการขจัดและความคมชัดของเครื่องถ่ายภาพด้วยวิลเลียมแฟนทอม

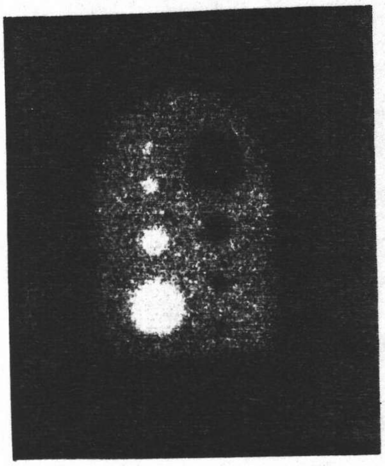
จากรูปที่ 6.14(ก) และ 6.14 (ข) เป็นรูปถ่ายของวิลเลียมแฟนทอม มีเทคนีเชียม-99เอ็ม บรรจุอยู่เต็มจากเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา ซึ่งมีโฟโตพีค 140 keV และความกว้างของหน้าต่างเป็น 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 40% ของโฟโตพีค

ทุกภาพสามารถมองเห็นจุดแทนเนื้องอกทั้งชนิดจับรังสีและไม่จับรังสีได้ครบ จุดเล็กสุดที่มองเห็นได้คือจุดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7 ซม. ดังนั้นหากำลังแยกของการขจัดได้จากจุดเล็กสุดที่เครื่องมือถ่ายภาพแสดงออกมาคือ 0.7 ซม. (สำหรับจุดที่เล็กกว่านี้พบว่าเครื่องมือถ่ายภาพไม่สามารถแสดงออกมาได้เช่นจุดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม. ในธัยรอยด์แฟนทอมจากผลการทดลองในหัวข้อ 6.6)

เมื่อใช้ความกว้างหน้าต่าง 5-40% ของโฟโตพีค ลักษณะและความคมชัดของจุดใกล้เคียงกันดังรูป 6.14 ก, ข และตาราง 6.11 (ก) โดยเฉพาะภาพถ่ายที่ใช้ความกว้างหน้าต่างต่ำกว่า 30% หรือหน้าต่างระหว่าง 120 keV และ 160 keV จะมีภาพคมชัดและตำแหน่งจุดถูกต้องกว่าเพราะความกว้างของหน้าต่างระดับนี้สามารถรับสัญญาณทั้งหมดจากโฟโตพีคได้ดังแสดงในตารางที่ 6.11(ก) และรูปที่ 6.15 ซึ่งเป็นสัญญาณที่เกิดจากโฟโตอิเลคตริกเท่านั้น สำหรับภาพถ่ายที่มีหน้าต่างเกินกว่า 29% เกิดจากสัญญาณจากโฟโตอิเลคตริกและการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน โดยเฉพาะสัญญาณจากการกระเจิงแบบคอมพ์ตันจะทำให้ภาพถ่ายแสดงตำแหน่งและรายละเอียดในภาพผิดไป



รูปที่ 6.14 (ก) แสดงภาพถ่ายของวิลเลียมแฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม ด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาโฟโตพีค 140 keV ความกว้างของหน้าต่าง 5,10,15,20,25 และ 30% ของโฟโตพีคในรูป ก, ข, ค, ง, จ และ ฉ ตามลำดับ เพื่อศึกษากำลังแยกการขจัดและความคมชัดของภาพจากเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา



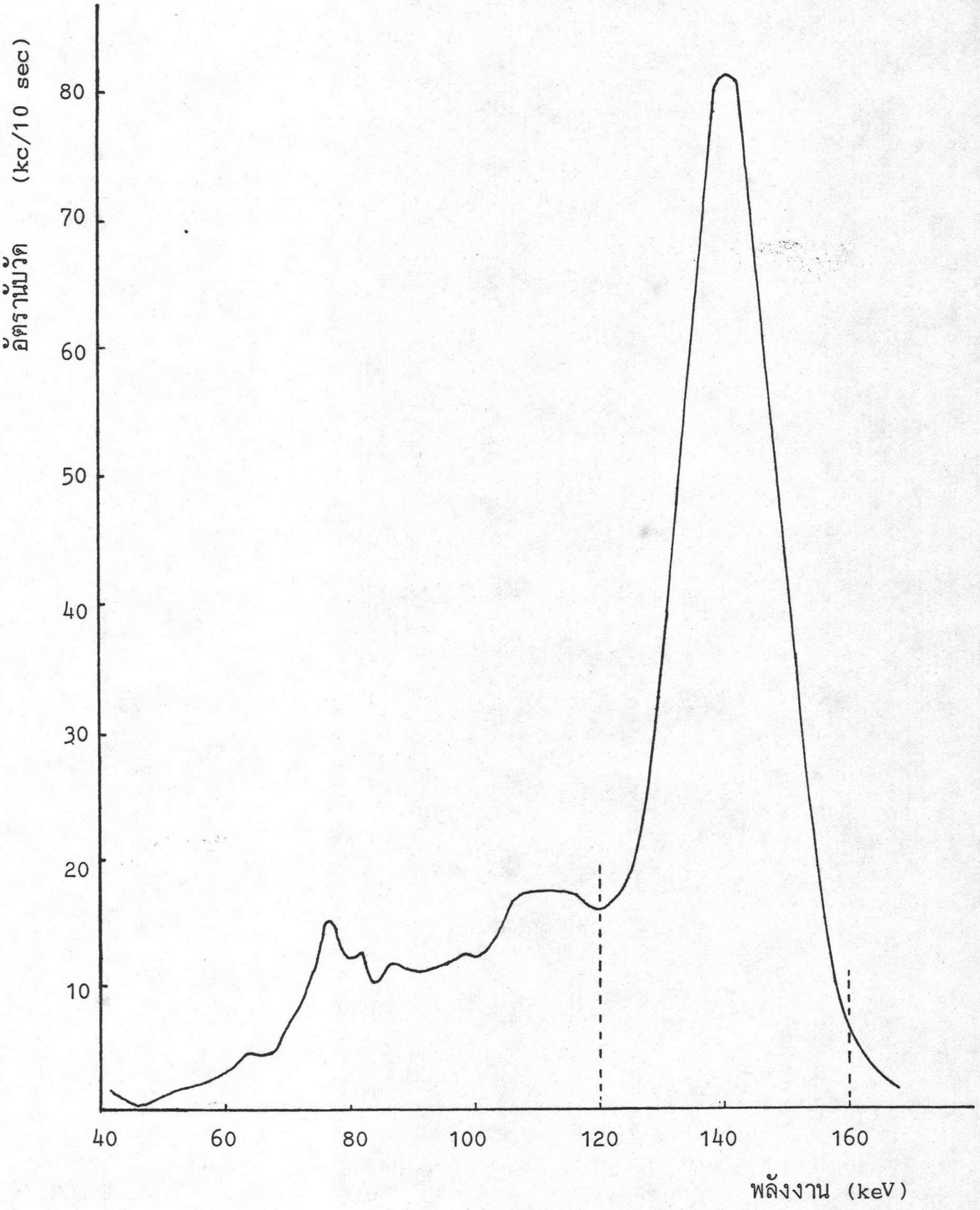
รูปที่ 6.14 (ข) แสดงภาพถ่ายของวิลเลียมแฟนทอมบรรจุ
เทคนีเชียม-99เอ็ม ด้วยเครื่องถ่ายภาพ
รังสีแกมมา โฟโตพีค 140 keV ความ
กว้างของหน้าต่าง 40% ของโฟโตพีค

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน (keV) และอัตรานับวัดจากเทคนีเชียม-99 เอ็ม จากเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา ความกว้างหน้าต่าง 20%

พลังงาน keV	อัตรานับวัด kc/10sec	พลังงาน keV	อัตรานับวัด kc/10 sec	พลังงาน keV	อัตรานับวัด kc/10 sec
40	1	102	14	145	67
45	0	105	16	147	55
50	1	107	17	150	38
55	2	110	17	152	27
60	3	112	17	155	15
62	4	115	17	157	10
65	4	117	16	160	5
67	5	120	16	162	3
70	8	122	17	165	1
72	10	125	21	167	1
75	15	127	26	170	0
77	12	130	36	175	0
80	12	132	47	180	0
82	10	135	65	185	0
85	11	137	75	190	0
90	11	138	78	200	0
92	11	139	81	-	-
95	11	140	81	-	-
97	12	141	81	-	-
100	12	142	79	-	-

รูปที่ 6.15 แสดงสเปคตรัมของเทคนีเชียม-99เอ็ม วัดด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา มี โฟโตพีค 140 keV ความกว้างทั้งหมดของโฟโตพีค 40 keV หรือ 29% ของโฟโตพีค



ตารางที่ 6.11 (ก) ผลการทดลองหาความคมชัดของฟิล์มถ่ายภาพจากวิลเลียมแฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็มโฟโตพีค 140 keV เมื่อใช้ความกว้างของหน้าต่างแตกต่างกันจากโฟโตพีค 5% ถึง 40% ของโฟโตพีค

ความกว้างของหน้าต่าง (% ของโฟโตพีค)	ความเข้มของ Well	ความเข้มรอบ Well	ความคมชัด (%)	ความเข้มของ Rod	ความเข้มรอบ Rod	ความคมชัด (%)
5	100	48	35.14	21	43	34.38
10	102	48	36.00	21	43	34.38
15	116	57	34.10	21	57	46.15
20	108	53	34.16	21	49	40.00
25	104	41	43.45	22	55	42.86
30	101	54	30.32	22	51	39.73
40	101	58	27.04	22	46	35.29

หมายเหตุ ก. ความเข้มเป็นตัวเลขแสดงความเข้มที่วัดได้โดยเครื่องวัดความเข้ม

ข. Well คือจุดแทนเนื้องอกชนิดจับรังสีในวิลเลียมแฟนทอม โดยวัดความเข้มที่จุดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ซม.

ค. Rod คือ จุดแทนเนื้องอกชนิดไม่จับรังสีในวิลเลียมแฟนทอม โดยวัดความเข้มที่จุดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ซม.

ง. ความคมชัดของภาพถ่ายคำนวณได้จากเปอร์เซนต์ความ สม่ำเสมอของ Well และ Rod จากแบคกราวด์ในแฟนทอม ถ้าได้เปอร์เซนต์ต่ำแสดงว่าความคมชัดต่ำ และความคมชัดสูงเมื่อเปอร์เซนต์สูง

จ. ความเข้มไม่ได้วัดจากจุดแทนเนื้องอกอื่น ๆ เพราะจุดเหล่านั้นมีขนาดเล็กทำให้ความเข้มของภาพที่ปรากฏออกมามีสัญญาณจากบริเวณรอบ ๆ ปนเข้ามา

รูปที่ 6.16(ก) และ 6.16 (ข) เป็นภาพของวิลเลียมแฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีค เมื่อเปลี่ยนกึ่งกลางของหน้าต่างเป็น 98, 105, 112, 119, 126, 154, 161 และ 168 keV หรือกึ่งกลางหน้าต่างแตกต่างจากโฟโตพีค -30, -25, -20, -15, -10, +10, +15 และ +20% ของโฟโตพีคตามลำดับ และถ่ายภาพที่โฟโตพีคดังแสดงในรูป ง. จากรูปที่ 6.14(ก)แต่ละภาพจะแสดงจุดแทนเนื้องอกมีเส้นผ่าศูนย์-กลาง 2,2,1,1,1, 0.7,0.7,0.7 และ 0.7 ซม. ตามลำดับ จากภาพถ่ายเหล่านี้แสดงว่ากำลังแยกของเครื่องถ่ายภาพ จะดีขึ้นเมื่อกึ่งกลางของหน้าต่างมีค่าสูงขึ้นหรือวัดพลังงานสูงขึ้น เพราะการเพิ่มกึ่งกลางของหน้าต่างสูงขึ้นทำให้ตัดสัญญาณที่เกิดจากการกระเจิงแบบคอมพ์ตันมากขึ้น โดยเฉพาะกึ่งกลางหน้าต่างอย่างน้อยเท่ากับโฟโตพีคคือ 140, 154, 161 และ 168 keV จะมีกำลังแยกการขจัดดีขึ้น คือมีกำลังแยก 0.7 ซม. แต่ภาพที่ได้จะมีความผิดปกติมากขึ้นเนื่องจากโอกาสของรังสีแกมมาเข้าหัวนับวัดมีความแปรปรวนเมื่อวัดพลังงานสูงกว่าโฟโตพีคมาก ๆ

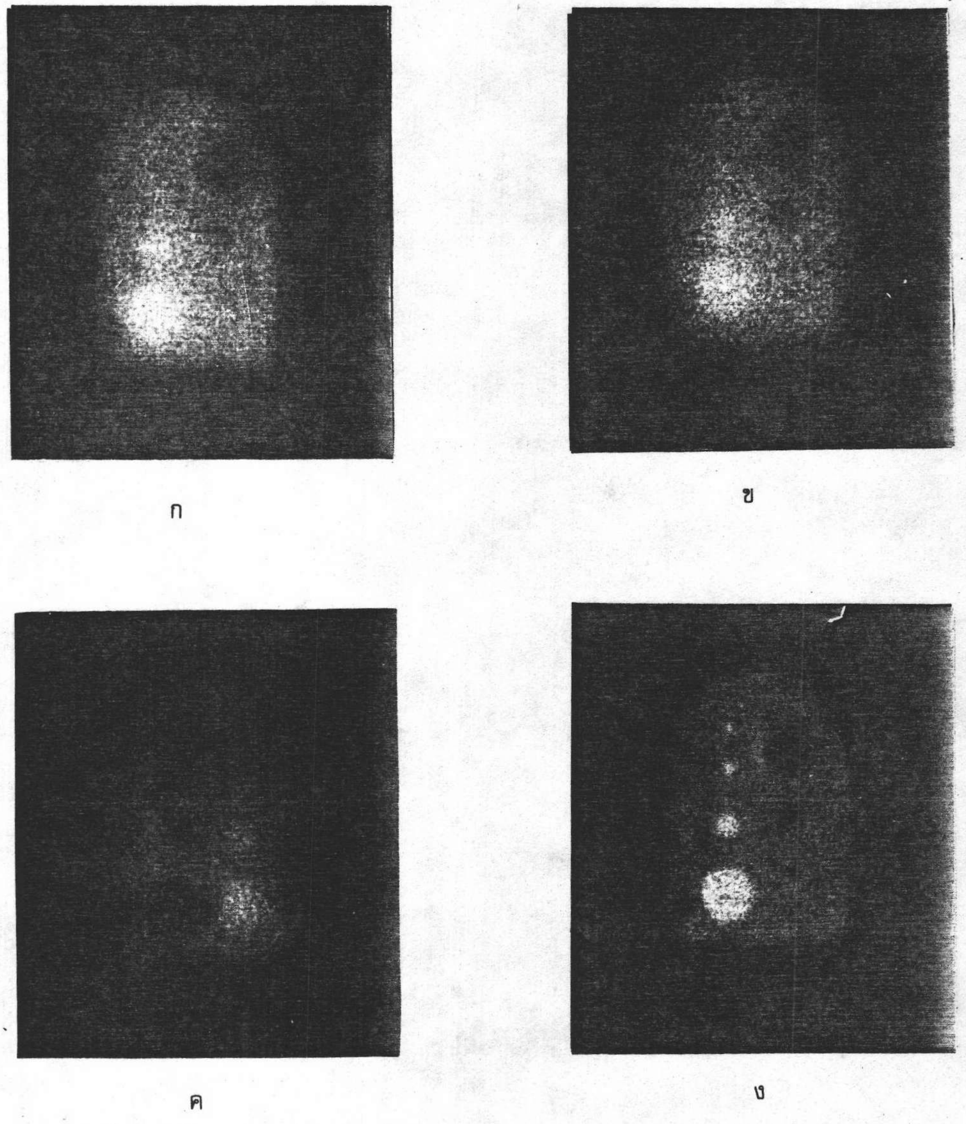
จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นพบว่าเมื่อวัดพลังงานต่ำกว่าโฟโตพีคใช้ความกว้างหน้าต่าง 20% และวัดพลังงานเท่ากับโฟโตพีคมีความกว้างหน้าต่างเกินกว่า 29% จะแสดงภาพถ่ายที่ขาดรายละเอียดและความคมชัดของภาพลดลงดังรูป 6.14 (ข) และ 6.16 (ก) สำหรับภาพถ่ายที่มีพลังงานอย่างน้อยเท่ากับโฟโตพีคความกว้างหน้าต่าง 20% และวัดพลังงานที่โฟโตพีค ความกว้างของหน้าต่างไม่เกิน 29% จะให้ภาพที่มีความคมชัดมากขึ้น ดังรูป 6.14 (ก) และ 6.16 (ข)

จากผลการทดลองอาจสรุปได้ว่าภาพที่ดีได้จะมีความคมชัดและแสดงเนื้องอกชนิดจับรังสีและไม่จับรังสีขนาดเล็กที่สุดเมื่อ

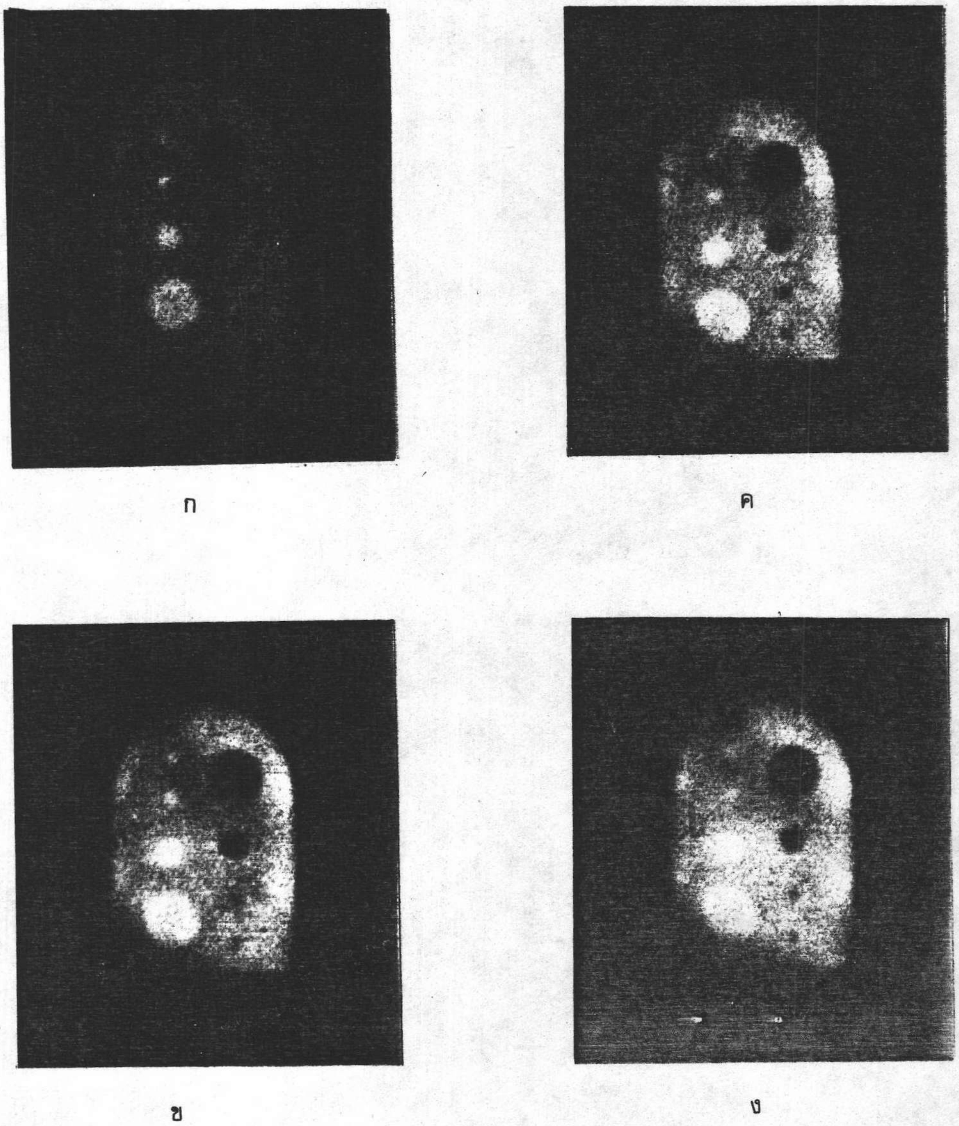
ก. กึ่งกลางหน้าต่างหรือพลังงานที่วัดซึ่งให้ภาพดีที่สุดอยู่ที่โฟโตพีคและความกว้างของหน้าต่างต้องไม่เกินความกว้างของโฟโตพีค จากสเปคตรัมของเทคนีเชียม-99เอ็ม หรือนิวไคลด์รังสีที่ใช้

ข. ความเข้มของฟิล์มที่บันทึกภาพของแฟนทอม

ค. อัตรานับวัดหรือกัมมันตภาพของนิวไคลด์รังสีที่บรรจุในแฟนทอม[39] สารละลายที่ใช้ควรมีกัมมันตภาพต่ำ ๆ เพราะการถ่ายภาพวิลเลียมแฟนทอมต้องวางแฟนทอมชิดหัวนับวัด ถ้ากัมมันตภาพสูงอาจทำให้โฟโตพีคเลื่อนไปจากเดิม[39] และอัตรานับวัดลดลงเนื่องจากรีโซล-วิงไทม์



รูปที่ 6.16 (ก) แสดงภาพถ่ายของวิลเลียมแฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม ด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา ใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีค โดยเปลี่ยนกึ่งกลางของหน้าต่างเป็น 98, 105, 112 และ 119 keV ดังรูป ก,ข,ค, และ ง ตามลำดับ เพื่อศึกษากำลังแยกและความคมชัดของภาพ



รูปที่ 6.16 (ข) แสดงภาพถ่ายของวิลเลียมแฟนทอมบรรจุเทคนีเชียม-99เอ็ม ด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา ใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีค โดยเปลี่ยนกึ่งกลางของหน้าต่างเป็น 126, 154, 161 และ 168 keV ดังรูป ก,ข,ค และ ง ตามลำดับ เพื่อศึกษากำลังแยกและความคมชัดของภาพ

ตารางที่ 6.11 (ข) ผลการทดลองหาความคมชัดของฟิล์มภาพถ่ายจากวิลเลียมแฟนทอมบรรจุเทคนีเซียม-99เอ็ม ใช้ความกว้างของหน้าต่าง 20% ของโฟโตพีค เมื่อเปลี่ยนกึ่งกลางของหน้าต่างไปจากโฟโตพีคจาก -30% ถึง +20% ของโฟโตพีค 140 keV

กึ่งกลางหน้าต่าง (keV)	ความเข้ม ของ Well	ความเข้ม รอบ Well	ความคมชัด (%)	ความเข้ม ของ Rod	ความเข้ม รอบ Rod	ความคมชัด (%)
168	81	34	40.87	21	64	50.59
161	103	52	32.90	22	62	47.62
154	93	48	31.92	22	55	42.86
126	75	48	21.95	28	42	20.00
119	75	47	22.95	25	39	21.88
112	58	42	16.00	29	39	14.71
105	60	52	7.14	30	43	17.81
98	66	47	16.81	33	47	17.50

หมายเหตุ เหมือนในตาราง 6.11 (ก)

นอกจากนี้ ความคมชัดอาจจะแปรไปตามสภาพการทดลองได้ดังนี้คือ

ก. การขจัดระหว่างหัวนับวัดและแฟนทอม ภาพมีความคมชัดและให้รายละเอียดดีขึ้นเมื่อแฟนทอมวางชิดหัวนับวัด ความคมชัดและรายละเอียดลดลงเมื่อแฟนทอมวางห่างหัวนับวัดมากขึ้น

ข. ตัวกลางระหว่างหัวนับวัดและแฟนทอมหรือตัวกลางที่วางอยู่ด้านหลังของแฟนทอม ภาพที่ให้รายละเอียดและมีความคมชัดดีต้องมีตัวกลางระหว่างแฟนทอมและหัวนับวัดเป็นอากาศ และต้องไม่มีตัวกลางอื่นอยู่ด้านหลังของแฟนทอม ซึ่งช่วยลดการกระเจิงของรังสีในตัวกลางระหว่างแฟนทอมและหัวนับวัดและลดการกระเจิงกลับของรังสีในตัวกลางด้านหลังของแฟนทอมนี้[14] เนื่องจากตัวกลางที่มีอยู่รอบ ๆ แฟนทอมที่ทำให้เกิดการกระเจิงของรังสีแกมมาจะทำให้รีโซลวิง-ไทม์ของเครื่องนับวัดเพิ่มขึ้น[39]

6.10 ผลการศึกษาการทำงานของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยวิลเลียมแฟนทอม

ตารางที่ 6.12 การศึกษาการทำงานของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์ด้วยวิลเลียมแฟนทอมที่เครื่องมือสร้างภาพสามารถมองเห็นเมื่อใช้คอลลิเมเตอร์ชนิดต่าง ๆ

ภาพที่	จำนวนช่องในคอลลิเมเตอร์	ความยาวโฟกัส (ซม.)	ขนาดของจุดเล็กสุดที่สามารถมองเห็น ชนิดจับรังสี* (ซม.)	ขนาดของจุดเล็กสุดที่สามารถมองเห็น ชนิดไม่จับรังสี* (ซม.)
A 41182A	31	7.62	2	2
B 41182 P	163	7.62	2	2
D 41182 P	163	7.62	1	1
B 51182 A	163	7.62	1	1
B 51182 P	163	7.62	1	1
C51182P(1)	85	12.7	2	2
C51182P(2)	85	12.7	2	2
D 51182A	85	12.7	2	2
D 51182P	85	12.7	2	2
A81182A(1)	265	12.7	2	2
A81182A(2)	265	12.7	1	1
B81182A(1)	31	7.62	2	2
B81182A(2)	31	7.62	2	2
A11182A(1)	163	7.62	4	2
A11182A(2)	163	7.62	2	2
B111182P	163	7.62	2	1
B111182P	163	7.62	4	2
A06385A	265	12.7	1	1
B06385P	265	12.7	1	1
C06385A	31	7.62	2	2
C06395A	31	7.62	2	2

*ขนาดของจุดเป็นตัวเลขแสดงความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลาง

จากตาราง 6.12 การหากำลังแยกของการขจัดของเครื่องมือสร้างภาพเรคติลิเนียร์สแกนเนอร์เมื่อใช้คอลลิเมเตอร์ชนิด 31, 85, 163 และ 265 ช่อง สามารถแสดงภาพได้ชัดเจนเมื่อจุดแทนเนื้องอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กสุด 2, 2, 1 และ 1 ซม. ตามลำดับ ซึ่งแสดงกำลังแยกการขจัดของเครื่องมือด้วย