

การศึกษาผลกระทบขนาดของคอลลิเมเตอร์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการวัดทางรังสีแกมมาด้วย หัววัดซินทิลเลชัน

กิตติพงษ์ เสียงเสนาะ¹, ศุภรัตน์ ทศน์เจริญ¹, ธนดล พรหมฝ้าย¹, นภัทร แก้วไทรหาญ¹, สุทัศน์ อัครีวรการ¹
ธัญลักษณ์ ศรีธน¹, ธนัฐ จอมแก้ว², สหรัฐ เพ็ชรพระประเสริฐ², สุรินทร์ ช้องกำ² และวุฒิชัย ไชยภักขา^{2*}

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²สาขาวัสดุและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*wuttichai@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของขนาดคอลลิเมเตอร์ต่อการตรวจวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดซินทิลเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ที่เจือด้วยเทลเลียม (Na(Tl)) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาได้แก่ อเมริเซียม-241 ที่พลังงาน 59.5 keV และซีเซียม-137 ที่พลังงาน 662 keV ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอลลิเมเตอร์ที่ใช้ทดลองเท่ากับ 4, 7, 9, 13 มิลลิเมตร และไม่มีคอลลิเมเตอร์ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดได้แก่ ค่าการนับวัดสเปกตรัม ค่าแยกชัดพลังงาน ผลการทดลองพบว่า สเปกตรัมของอเมริเซียม-241 ที่ 9-13 มิลลิเมตรและไม่มีคอลลิเมเตอร์แสดงค่าการนับวัดได้สูงที่สุดและพบว่าคอลลิเมเตอร์ 4 มิลลิเมตร มีค่านับวัดน้อยที่สุด ค่าการแยกชัดพลังงานพบว่าการใช้คอลลิเมเตอร์ขนาด 4 มิลลิเมตร ให้ค่าความแยกชัดพลังงาน (FWHM) ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการแยกแยะพลังงานที่คมชัดและมีประสิทธิภาพดีที่สุด ในขณะที่การวัดแบบไม่มีคอลลิเมเตอร์ให้ค่าความแยกชัดพลังงานสูงที่สุดและ ในส่วนของสเปกตรัมของ ซีเซียม-137 ที่ไม่มีคอลลิเมเตอร์แสดงค่าการนับวัดได้สูงที่สุด ในส่วนของคอลลิเมเตอร์ 4 มิลลิเมตรจะมีค่านับวัดน้อยที่สุด ค่าการแยกชัดพลังงานพบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือคอลลิเมเตอร์ขนาด 4 มิลลิเมตร ให้ค่าความแยกชัดพลังงานต่ำที่สุด โดยค่าความแยกชัดพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดช่องเปิดของคอลลิเมเตอร์กว้างขึ้น และการวัดแบบไม่มีคอลลิเมเตอร์ให้ค่าความแยกชัดพลังงานสูงที่สุดเช่นกัน

คำสำคัญ: ค่าการนับวัดสเปกตรัม ค่าแยกชัดพลังงาน อเมริเซียม-241

study of the effect of collimator size on the efficiency of gamma radiation measurements using a scintillation detector

K., Siengsanoh¹, S., Tuscharoen¹, T., Phomfai¹, N., kaewsaiarn¹, S., Oakkhiwarakon¹,
T., Sriton¹, T., Jomkaew², S., Phetphraprasert², S., Songka² and W. Chaiphaksa^{2*}

¹Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

²Medical Material and Equipment, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

*wuttichai@webmail.npru.ac.th

Abstract

This research investigates the effect of collimator size on gamma-ray measurements using a sodium iodide scintillation detector doped with thallium (NaI(Tl)). The gamma-ray sources used in this study were Americium-241 with an energy of 59.5 keV and Cesium-137 with an energy of 662 keV. The collimator sizes tested were 4, 7, 9, and 13 millimeters, including a condition without a collimator.

The measured parameters included spectral count rate and energy resolution. The results showed that, for Americium-241, the spectra obtained with 9 mm, 13 mm, and without a collimator yielded the highest count rates, while the 4 mm collimator produced the lowest count rate. In terms of energy resolution, the 4 mm collimator provided the lowest full width at half maximum (FWHM), indicating the best energy discrimination and highest performance. In contrast, measurements without a collimator resulted in the highest FWHM values. For Cesium-137, the results followed a similar trend. The highest count rate was observed without a collimator, while the 4 mm collimator yielded the lowest count rate. The energy resolution also showed consistent behavior, with the 4 mm collimator providing the lowest FWHM. Overall, the energy resolution tended to worsen (increase in FWHM) as the collimator aperture size increased, with the no-collimator condition giving the highest FWHM values.

Keywords: Spectral count rate, Energy resolution Americium-241

1. บทนำ

ในปัจจุบันการตรวจวัดรังสีแกมมาได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย การใช้หัววัดแบบซินทิลเลชันในการตรวจสอบนั้นเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความนิยม โดยหลักการพื้นฐานเพื่อให้การวัดมีความแม่นยำสูงสุด ระบบการวัดจำเป็นต้องควบคุมลำรังสีคออลิเมเตอร์ ที่ออกจากแหล่งกำเนิดรังสีให้มีความแคบและมีขนาดเล็กที่สุด โดยขนาดของลำรังสีที่ส่งผ่านไปยังหัววัดควรจะมีขนาดที่สอดคล้องกัน อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดเกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมมามีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน เช่น Am-241 มีพลังงาน 59.5 keV และ Cs-137 มีพลังงาน 662 keV ซึ่งอาจส่งผลให้ระบบการวัดและการกำหนดขนาดคออลิเมเตอร์จะต้องมีความเหมาะสมแต่ยังคงความถูกต้องและแม่นยำให้อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า แม้จะมีการนำ

เทคนิคการวัดรังสีแกมมามาใช้ในหลากหลายด้าน [1-4] เช่น Akkurt et.al. [5] ได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนมวลของวัสดุก่อสร้างและคอนกรีต โดยใช้หัววัด NaI(Tl) ร่วมกับคอลลิเมเตอร์เพื่อจำกัดทิศทางรังสี ซึ่งผลการทดลองยืนยันว่าการควบคุมขนาดลำรังสีมีผลต่อความถูกต้องของค่าที่วัดได้เมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี Cheewasukhanont et.al. [6] ได้ประยุกต์ใช้ระบบวัดรังสีแกมมาเพื่อศึกษาสมบัติวัสดุแก้วกำบังรังสีแกมมา นิวตรอน และ อนุภาคมีประจุ โดยการเพิ่มความเข้มข้นของแบเรียมออกไซด์ แต่การศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบของขนาดลำรังสีคอลลิเมเตอร์ที่แตกต่างกันยังมีไม่มาก

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาความแตกต่างของขนาดคอลลิเมเตอร์ เพื่อวิเคราะห์ว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดดังกล่าวส่งผลต่อลักษณะรูปร่างของสเปกตรัม (Spectrum) รังสีแกมมาอย่างไร เช่น ความกว้างของพีคพลังงาน (Photopeak) หรือ ค่าแยกชัดพลังงาน (energy resolution) และค่าการนับวัดสูงสุด (counts rate) โดยใช้หัววัดซินทิลเลชันชนิด NaI(Tl) และใช้แหล่งกำเนิดพลังงานรังสีแกมมา Am-241 และ Cs-137 ในการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะถูกจัดทำเป็นฐานข้อมูลเบื้องต้น เพื่อประโยชน์ในการวิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวัดรังสีทางด้านนิวเคลียร์ให้มีความเหมาะสมแม่นยำยิ่งขึ้นในอนาคต

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดของช่องคอลลิเมเตอร์ที่มีผลต่อลักษณะสเปกตรัมและประสิทธิภาพการตรวจวัดรังสีแกมมา โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



ก



ข



ค

ภาพที่ 1 (ก) แสดงหัววัดรังสีแกมมา NaI(Tl) และแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา (ข) Am- 241 และ (ค) Cs-137

หัววัดรังสีแกมมา เป็นหัววัดแบบซินทิลเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดต์ที่เจือด้วยเทลเลียม (NaI(Tl) detector) และระบบประมวลผลสัญญาณซึ่งเป็นระบบวิเคราะห์แบบหลายช่องสัญญาณ สำหรับบันทึกและแสดงผลสเปกตรัมรังสีโดยมีแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานใช้แหล่งกำเนิดรังสี เอมีเรียม-241 (Am-241) ซึ่งให้ระดับพลังงาน 59.5 keV และ ซีเซียม-137 (Cs-137) ซึ่งให้ระดับพลังงาน 662 keV



ภาพที่ 2 แสดงคอลลิเมเตอร์ที่มีขนาด 4, 7, 9 และ 13 มิลลิเมตร

คอลลิเมเตอร์ทำจากวัสดุตะกั่ว โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันจำนวน 4 ขนาด ได้แก่ 4, 7, 9 และ 13 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

2.2 การจัดวางระบบการทดลองและขั้นตอนการตรวจวัด

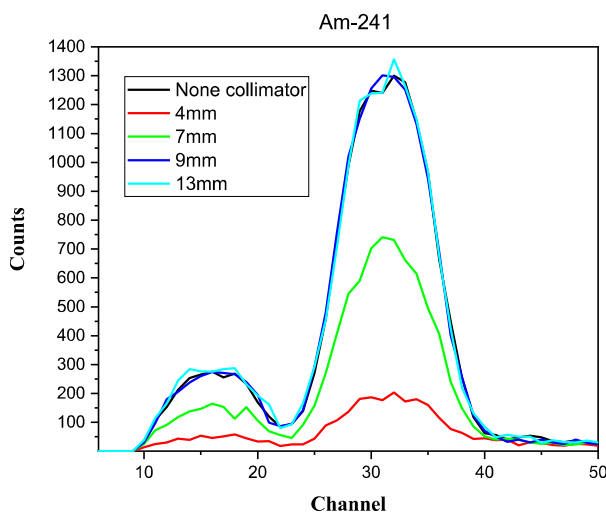
การติดตั้งหัววัด NaI(Tl) เข้ากับระบบ MCA และเปิดเครื่องทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้ระบบมีความเสถียรและทำการติดตั้งคอลลิเมเตอร์บริเวณด้านหน้าของหัววัดรังสี เพื่อทำหน้าที่จำกัดทิศทางและขนาดของลำรังสีแกมมาที่จะตกกระทบเข้าสู่หัววัด ต่อมา จัดวางแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาเริ่มจาก Cs-137ให้อยู่ในแนวแกนกึ่งกลาง ของช่องเปิดคอลลิเมเตอร์ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับหน้าหัววัดให้คงที่ที่ระยะ 37 เซนติเมตร ตลอดการทดลอง เพื่อควบคุมตัวแปรทางเรขาคณิตและจัดวางแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Am-241ให้อยู่ในแนวแกนกึ่งกลาง ของช่องเปิดคอลลิเมเตอร์ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับหน้าหัววัดให้คงที่ที่ระยะ 8 เซนติเมตร ตลอดการทดลอง

ในการทดลองจะใช้คอลลิเมเตอร์ที่มีขนาดช่องเปิดเล็กที่สุดและ บันทึกสเปกตรัมรังสีแกมมา โดยตั้งค่าระยะเวลาในการเก็บข้อมูลให้คงที่เท่ากับทุกการทดลองที่ 1000 วินาที เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบอัตราการนับวัดได้อย่างถูกต้องและยังบันทึกข้อมูลที่ได้จากสเปกตรัม ได้แก่ จำนวนการนับวัดสุทธิให้คิดโดยการเปลี่ยนขนาดช่องเปิดของคอลลิเมเตอร์ให้กว้างขึ้นตามลำดับที่เตรียมไว้ และทำซ้ำขั้นตอนจนครบทุกขนาดและจากนั้นเปลี่ยนแหล่งกำเนิดรังสีเป็น Am-241 และดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในระดับพลังงานที่แตกต่างกัน

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการดำเนินการทดลอง สามารถทำการนับวัดสเปกตรัมและคำนวณค่าการแยกชัดทางพลังงานของระบบตรวจวัดได้อย่างเป็นระบบ โดยผลการทดลองที่ได้ถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของสัญญาณและประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัด

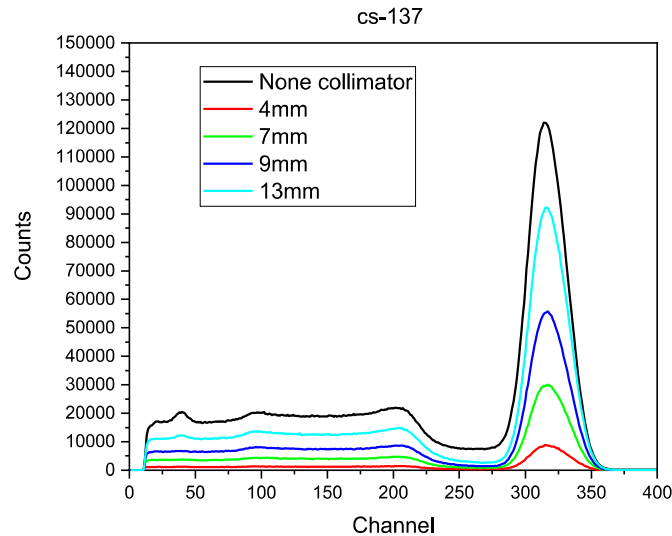
3.1 ค่าการนับวัดสเปกตรัม



ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าการนับวัดสเปกตรัมของ อเมรีเซียม-241

จากภาพที่ 3 แสดงผลการทดลองการนับวัดสเปกตรัมของ Am-241 พบว่ามีพีคหลักปรากฏที่บริเวณ Channel ที่ 37 อย่างสม่ำเสมอในทุกขนาดของคอลลิเมเตอร์ แสดงถึงความคงที่ของพลังงานรังสีที่ตรวจวัดได้ ค่าการนับวัดพบว่า ไม่มีการ

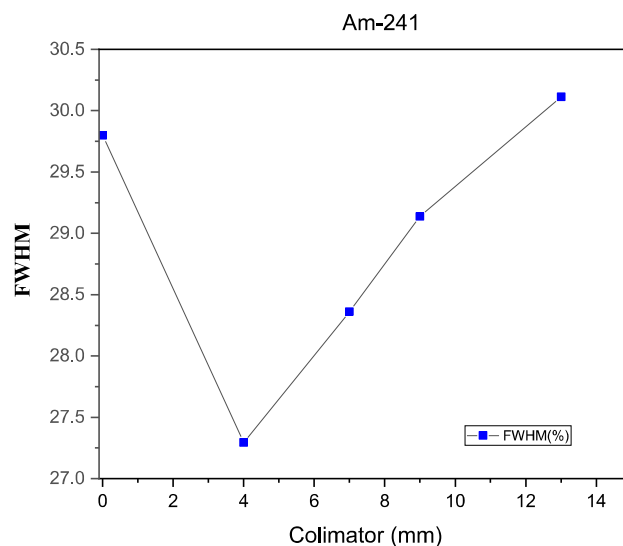
เมตร 13 และ 9 มิลลิเมตรมีค่านับวัดใกล้เคียงกันและมีค่าการนับวัดสูงสุด ทั้งนี้เมื่อลดขนาดคอลลิเมเตอร์เท่ากับ 4 มิลลิเมตรจะมีค่านับวัดที่น้อยที่สุด นอกจากนี้เมื่อลดขนาดคอลลิเมเตอร์ลงจะทำให้ความกว้างของพีคพลังงานที่ครึ่งหนึ่ง(FWHM) ลดลงตาม



ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าการนับวัดสเปกตรัมของ ซีเซียม-137

จากภาพที่ 4 แสดงผลการทดลองการนับวัดสเปกตรัมของ Cs-137 พบว่ามีพีคหลักปรากฏที่บริเวณ Channel ที่ 315 อย่างสม่ำเสมอในทุกขนาดของคอลลิเมเตอร์ แสดงถึงความคงที่ของพลังงานรังสีที่ตรวจวัดได้ ค่าการนับวัดพบว่าไม่มีคอลลิเมเตอร์ มีค่าการนับวัดสูงสุด รองลงมาคือคอลลิเมเตอร์ขนาด 13 9 และ 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อลดขนาดคอลลิเมเตอร์เท่ากับ 4 มิลลิเมตรจะมีค่านับวัดที่น้อยที่สุด นอกจากนี้เมื่อลดขนาดคอลลิเมเตอร์ลงจะทำให้ความกว้างของพีคพลังงานที่ครึ่งหนึ่ง (FWHM) หรือค่าแยกชัดพลังงาน (Energy Resolution) ลดลงตามไปด้วย บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการวัดที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

3.1 ค่าแยกชัดพลังงาน

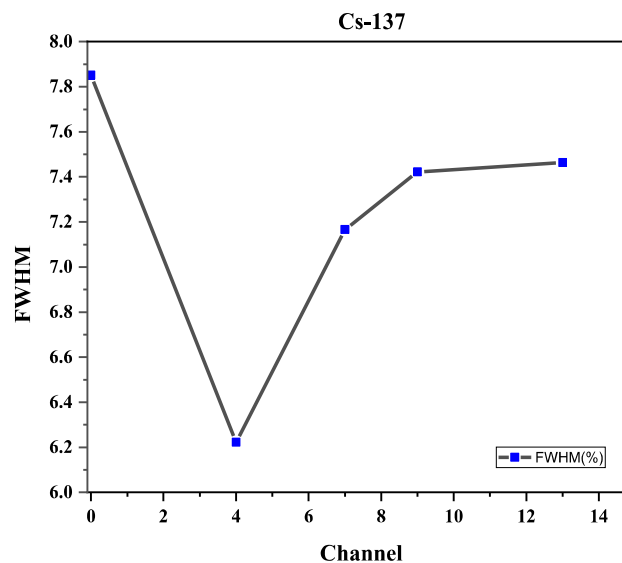


ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าแยกชัดพลังงานของ อเมริเซียม-241

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแยกชัดพลังงาน จากแหล่งกำเนิดอเมริเซียม-241 ที่พลังงาน 59.5 keV เมื่อทดสอบกับคอลลิเมเตอร์ขนาดต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่าการใช้คอลลิเมเตอร์ขนาด 4 มิลลิเมตร ให้ค่าแยกชัดพลังงาน ต่ำที่สุดเท่ากับ 27.3% ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการแยกชัดพลังงานของหัววัดรังสีที่ดีที่สุด ในขณะที่การวัดแบบไม่มีคอลลิเมเตอร์ มีค่าแยกชัดพลังงานสูงสุดเท่ากับ 30.1% ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้คอลลิเมเตอร์ที่เหมาะสม สามารถช่วยปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดแอมมาสเปกโตรสโกปีได้ ทั้งนี้ข้อมูลค่าการนับวัดและค่า FWHM ของแหล่งกำเนิดรังสี Am-241 และ Cs-137 ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการนับวัดและค่า FWHM ของแหล่งกำเนิดรังสี Am-241 และ Cs-137

ขนาดคอลลิเมเตอร์ (mm)	Am-241		Cs-137	
	ค่าการนับวัด	FWHM (%)	ค่าการนับวัด	FWHM (%)
ไม่มีคอลลิเมเตอร์	1295	29.80	120800	7.85
4	1295	27.30	920200	6.20
7	1270	28.36	55260	7.17
9	735	29.12	28947	7.41
13	200	30.10	9125	7.45



ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่าแยกชัดพลังงานของ ซีเซียม-137

จากภาพที่ 6 แสดงค่าแยกชัดพลังงาน ของแหล่งกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ที่พลังงาน 662 keV เมื่อใช้คอลลิเมเตอร์ขนาดต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่า การใช้คอลลิเมเตอร์ขนาด 4 มิลลิเมตร ให้ค่าแยกชัดพลังงาน ต่ำที่สุดเท่ากับ 6.2% ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการแยกชัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในขณะที่การวัดแบบไม่มีคอลลิเมเตอร์ มีค่าแยกชัดพลังงานสูงสุดเท่ากับ 7.85% นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อขนาดคอลลิเมเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 7, 9 และ 13 มิลลิเมตร ค่าแยกชัดพลังงานจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ อเมริเซียม-241 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเลือกคอลลิเมเตอร์ที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าแยกชัดพลังงานที่ดีจะต้องมีค่าที่น้อยส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลจะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

4. บทสรุป

การทดลองนี้ศึกษาผลของขนาดคอลลิเมเตอร์ต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดรังสีแกมมา พบว่าตำแหน่งพีคของทั้ง Am-241 และ Cs-137 มีความคงที่ไม่ขึ้นกับขนาดคอลลิเมเตอร์ แสดงถึงความถูกต้องของพลังงานที่ตรวจวัดได้ อย่างไรก็ตาม ค่าการนับวัด จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดคอลลิเมเตอร์ใหญ่ขึ้น โดยการไม่มีคอลลิเมเตอร์ให้ค่านับวัดสูงสุด และขนาด 4 มิลลิเมตร ให้ค่าต่ำสุด ในทางกลับกัน ค่าแยกชัดพลังงาน มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้คอลลิเมเตอร์ขนาดเล็ก โดยขนาด 4 มิลลิเมตร ให้ค่าแยกชัดพลังงานต่ำที่สุด แสดงถึงความสามารถในการลดการกระเจิงของลำรังสีลงจึงส่งผลทำให้ความกว้างของพีคแคบลงตาม ขณะที่การไม่มีคอลลิเมเตอร์ให้ค่าแยกชัดพลังงานสูงสุด สรุปได้ว่าการเลือกขนาดคอลลิเมเตอร์มีผลต่อความสมดุลระหว่างความแม่นยำและปริมาณสัญญาณจากรังสีแกมมา โดยคอลลิเมเตอร์ขนาดเล็กเหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดสูง ส่วนขนาดใหญ่หรือไม่มีคอลลิเมเตอร์เหมาะกับงานที่ต้องการสัญญาณมากและเวลาเก็บข้อมูลสั้นลง

5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Shuo, C., Mohamed, B. & Afsane, R. (2014). Novel light-weight materials for shielding gamma ray. Radiation Physics and Chemistry, 2014 (96), 27–37.
- [2] Al-Hadeethi Y., Tijani S.A., (2019). The use of lead-free transparent 50BaO - (50-x) borosilicate - xBi₂O₃ glass system as radiation shields in nuclear medicine. Journal of Alloys and Compounds, 803, 625-630.
- [3] Baalamurugan J., GaneshKumar V., Chandrasekaran S., Balasundar S., Venkatraman B., Padmapriya R., Bupesh Raja V.K., (2021). Recycling of steel slag aggregates for the development of high-density concrete: Alternative & environment-friendly radiation shielding composite. Composites Part B: Engineering, 216, 108885.
- [4] Rammah Y.S., Olarinoy I.O., El-Agawany F.I., El-Adawy A., El Sayed Yousef. (2020). The f-factor, neutron, gamma radiation and proton shielding competences of glasses with Pb or Pb/Bi heavy elements for nuclear protection applications. Ceramics International, 46(17), 27163-27174.
- [5] Akkurt, I., Altindag, R., Gunoglu, K., Sarkaya, H. (2012). Photon attenuation coefficients of concrete including marble aggregates, Annals of Nuclear Energy, 43, 56-60. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2011.12.031>
- [6] Cheewasukhanont, W., Kothan, S., Mutuwong, C., Chaiphaksa, W., Nualpralaksana, S., Intachai, N., Kaewkhao, J., (2024). The hazardous protective glass material for gamma, neutrons, and behaviors of charged particles: Results of adding barium oxide concentrations, Radiation Physics and Chemistry, 223, 111936. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.111936>.