

การศึกษาประสิทธิภาพของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) Satina Srisuna and Benya Nuengdee

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) Canberra 20% และ Ortec 50% โดยการทดลองเป็นการหาประสิทธิภาพของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) Canberra 20% และ Ortec 50% เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัววัด โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน (Standard sources) และ Mixed source วางห่างจากหัววัดที่ระยะ 1,2,3,4,5 และ 6 นิ้ว พบว่า ประสิทธิภาพของหัววัด Ortec 50% มีประสิทธิภาพสูงกว่าหัววัด Canberra 20% และระยะห่างจากหัววัดมีผลต่อประสิทธิภาพของหัววัด

Abstract

The paper was to study the efficiencies of the High-Purity Germanium (HPGe) Canberra 20% and the Ortec 50% . Experiments had been done to find the efficiencies of the High-Purity Germanium (HPGe) Canberra 20% and the Ortec 50% . Standard radiation sources and the mixed sources had been used by placing at the distances 1,2,3,4,5 and 6 inches from the probes. It was found that the Ortec 50% had the higher efficiency than the Canberra 20% and the distances from the probes had effects on the efficiencies of the probes.

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาของโครงการ

ปัจจุบันอัญมณีเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและตลาดการส่งออก ฉะนั้นจึงต้องมีการเพิ่มคุณค่าอัญมณีโดยการฉายอัญมณีด้วยรังสี โดยเฉพาะการฉายอัญมณีด้วยรังสีนิวตรอนจะมีรังสีตกค้างดังนั้นจึงต้องมีการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีที่ตกค้างในอัญมณีเพื่อความปลอดภัยแก่ลูกค้า การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีที่ตกค้างควรมีหัววัดที่มีประสิทธิภาพที่ดี ดังนั้นจึงทำการทดสอบประสิทธิภาพของหัววัดโดยการเปรียบเทียบหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ(HPGe)ประสิทธิภาพ 20% และ 50% ที่ระยะต่างๆกัน

วัตถุประสงค์

- 1.เพื่อหาประสิทธิภาพที่ระยะต่างๆของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) **Canberra** 20% และ **Ortec** 50%
- 2.เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ระยะต่างๆของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) **Canberra** 20% และ **Ortec** 50%

ขอบเขตของโครงการ

เปรียบเทียบหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) **Canberra** 20% และ **Ortec** 50% ที่ระยะ 1,2,3,4,5 และ 6 นิ้ว

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) **Canberra** 20% และ **Ortec** 50% ที่ระยะต่างๆกันได้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1 ชนิดของรังสี

เมื่อรังสีชนิดทำให้ประจุแตกตัว (Ionizing radiation) เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางจะทำให้อะตอมถูกประจุไฟฟ้าหรือแตกตัวเป็นไอออน ไอออนที่เกิดขึ้นสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาในสิ่งมีชีวิต Ionizing radiation มีหลายชนิดเช่น รังสีแอลฟา, เบตา, แกมมา, นิวตรอน

1.1 รังสีแอลฟา เป็นอนุภาคที่ประจุบวก ถูกหยุดยั้งได้ด้วยกระดาษหรือผิวหนังของร่างกายจะเป็นอันตรายเมื่อรังสีแอลฟาสามารถทะลุวัสดุกันรังสีเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนหรือหายใจเข้าไป

1.2 รังสีเบตา เป็นอิเล็กตรอน สามารถทะลุผ่านตัวกลางได้ดีกว่ารังสีแอลฟา รังสีเบตาถูกหยุดยั้งได้ด้วยน้ำแก้วหรือโลหะ แต่รังสีเบตายังคงมีอันตรายเมื่อเข้าสู่ร่างกาย

1.3 รังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับแสงหรือคลื่นวิทยุ แต่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า รังสีชนิดนี้มีความสามารถในการทะลุผ่านวัสดุต่างๆ จำเป็นต้องใช้วัสดุกันรังสีอย่างดีที่มีเลขอะตอมสูง เช่น ตะกั่วหรือคอนกรีต

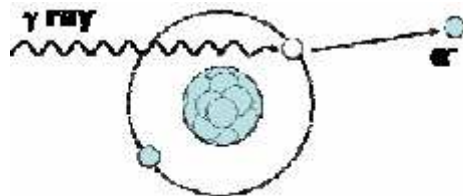
1.4 นิวตรอน เป็นอนุภาคไม่มีประจุ จึงสามารถทะลุผ่านตัวกลางไปได้ไกลกว่าอนุภาคอื่นและไม่สามารถทำให้เกิดการแตกประจุ (ionization) ได้โดยตรง แต่อันตรกิริยาจากการชนของนิวตรอนกับอะตอมในตัวกลางทำให้เกิดอนุภาคแอลฟา, เบตา, แกมมา และรังสีเอกซ์ซึ่งทำให้เกิดการแตกประจุตามมานิวตรอนสามารถกั้นได้ด้วยการหยุดยั้งพลังงานโดยใช้วัสดุที่มีเลขอะตอมต่ำ เช่น คอนกรีต, น้ำ, ใยสังเคราะห์หรือพาราฟินคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของรังสีแอลฟา, เบตา, แกมมา, เอกซเรย์ และนิวตรอน

2. ปฏิกริยาของรังสีแกมมากับหัววัดรังสี

สเปกตรัมรังสีแกมมา เป็นข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์พลังงานของรังสี และกัมมันตภาพของต้นกำเนิดรังสีจากส่วนที่เป็นโฟโตพีค (Photopeak) องค์ประกอบของสเปกตรัม เกิดจากปฏิกริยาระหว่างรังสีแกมมากับผลึกของสารกึ่งตัวนำภายในหัววัด ปฏิกริยาหลักๆ ที่เกิดขึ้น ได้แก่

2.1 ปฏิกริยาโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect)

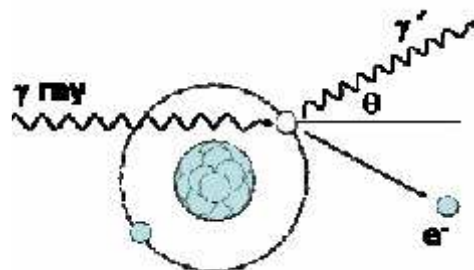
เป็นปฏิกริยาที่รังสีแกมมา ถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้แก่อะตอมของหัววัด ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระที่มีพลังงานเท่ากับผลต่างของพลังงานรังสีแกมมากับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนและทำให้เกิดโฟโตฟิคนบนสเปกตรัมรังสีแกมมา



2.2 ปฏิกริยาคอมพ์ตัน(Compton effect)

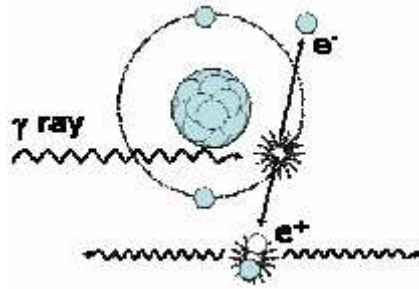
เป็นปฏิกริยาที่รังสีแกมมาถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้แก่อะตอมของหัววัด ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระที่มีพลังงานต่อเนื่องโดยมีค่าขึ้นกับมุมตกกระทบของรังสีแกมมาทำให้เกิดแถบพลังงานต่อเนื่องของคอมพ์ตัน (Compton continuum)

$$E_e = E_\gamma - E_{\gamma'} \quad \rightarrow \quad E_{\gamma'} = \frac{E_\gamma}{1 + 2E_\gamma(1 - \cos\theta)}$$



2.3 ปฏิกริยาการผลิตคู่ (Pair production)

เป็นกระบวนการที่รังสีแกมมาพลังงานสูงกว่า 1022 keV ทำปฏิกริยากับสนามของนิวเคลียสทำให้พลังงานเปลี่ยนเป็นมวลของอนุภาคและปฏิอนุภาค ได้แก่อิเล็กตรอน (e⁻) และโพสิตรอน (e⁺) ซึ่งโพสิตรอนที่หมดพลังงาน จะรวมกับอิเล็กตรอน ทำให้เกิดปฏิกริยาการทำลาย(Annihilation) กลายเป็นรังสีแกมมา 2 หน่วย มีพลังงาน 511 keV เคลื่อนที่ไปในทิศตรงข้าม

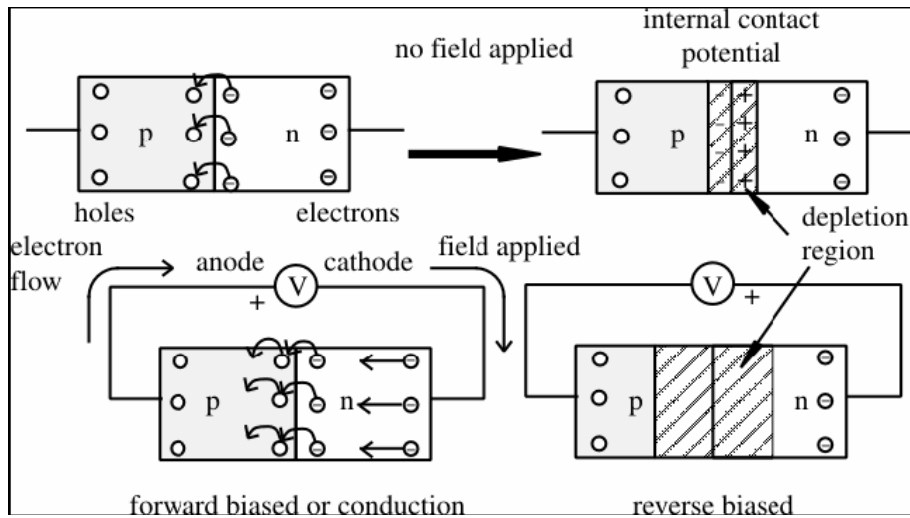


3. หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Detector)

3.1 สารกึ่งตัวนำแบบพีและแบบเอ็น (P-type and n-type semi-conductor material)

ผลึกของสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน (Si) และเจอร์มาเนียม (Ge) แต่ละอะตอมมี 4 วาเลนซ์อิเล็กตรอน โครงสร้างของผลึกเกิดจากการเกาะเกี่ยวกันของวาเลนซ์อิเล็กตรอน ด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalence bond) ถ้าผลึกเหล่านี้มีการเจือปนด้วยธาตุที่มี 5 วาเลนซ์อิเล็กตรอน เช่น ฟอสฟอรัส (P) พลวง (Sb) หรือสารหนู (As) จะมีอิเล็กตรอนเกินมาจากการเกาะเกี่ยวในพันธะโควาเลนต์อยู่ 1 อิเล็กตรอน เมื่อมีสนามไฟฟ้าผ่าน อิเล็กตรอนที่เกินมานี้ จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกของสัคย์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ ผลึกของสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor)

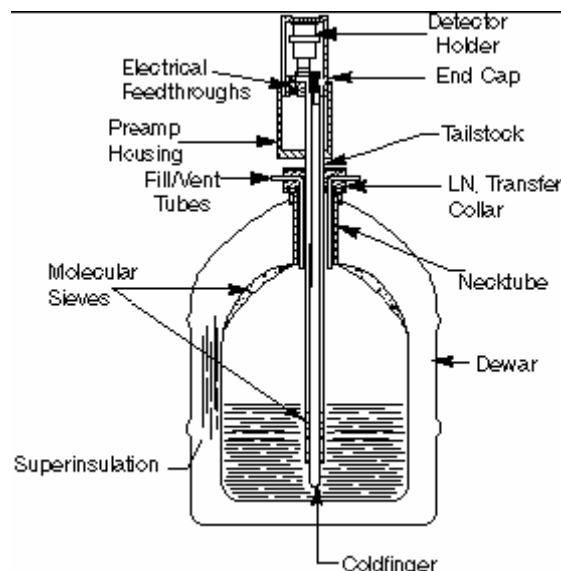
ถ้าผลึกของสารกึ่งตัวนำถูกเจือปนด้วยธาตุที่มี 3 วาเลนซ์อิเล็กตรอน เช่น โบรอน (B) แกลเลียม (Ga) หรืออินเดียม (In) อะตอมเหล่านี้เกาะเกี่ยวเป็นพันธะโควาเลนต์ กับอะตอมของซิลิกอนหรือเจอร์มาเนียม แล้วจะทำให้ขาดไป 1 อิเล็กตรอน เรียกว่าโฮล (Hole) ในโครงสร้างของผลึก เมื่อมีสนามไฟฟ้าผ่าน โฮลจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบของสัคย์ไฟฟ้า ผลึกของสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type semiconductor) ถ้านำผลึกของสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมชนิดพี กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมาต่อกัน เรียกว่า ไดโอด (Diode) อิเล็กตรอนตรงบริเวณใกล้ ๆ รอยต่อ (Junction) จากผลึกชนิดเอ็น จะเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ ไปรวม กับโฮลในผลึกชนิดพี ขณะเดียวกัน โฮลในผลึกชนิดพีจะเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปรวมตัวอิเล็กตรอนในผลึก ชนิดเอ็น ทำให้เกิดเป็นบริเวณที่เรียกว่า Depletion Region เมื่อต่อสัคย์ไฟฟ้าแบบตรง (Forward Bias) Depletion region จะหายไป และเกิดกระแสไหลผ่านรอยต่อ ถ้าให้สัคย์ไฟฟ้าแบบกลับขั้ว (Reverse Bias) อิเล็กตรอนและโฮล จะเคลื่อนที่กลับทิศ และทำให้ Depletion region กว้างขึ้น และจะมีกระแสเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2



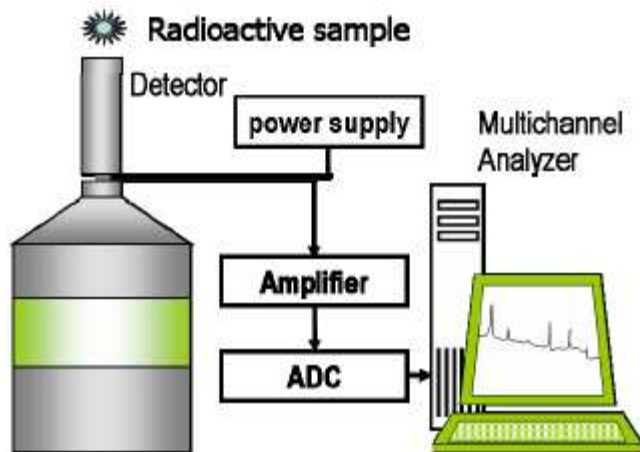
รูปที่ 2 การต่อสัคย์ไฟฟ้าแบบตรงและแบบกลับ ให้แก่ไดโอด

3.2 หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง High purity germanium detector, HPGe

หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ HPGe ทำขึ้นจากผลึกเจอร์มาเนียมรูปทรงกระบอก ที่ผิวด้านนอกแพร่ (diffusion) ด้วยลิเทียมส่วนด้านในปลูกไอออน (ion implantation) ของโบรอน เรียกว่าหัววัดรังสีชนิดพี (P-type) หรือเป็นผลึกเจอร์มาเนียมรูปทรงกระบอก ซึ่งแพร่ด้วยลิเทียมไว้ที่ผิวด้านใน ส่วนด้านนอกปลูกไอออน (ionimplantation) ของโบรอน ลักษณะของหัววัดรังสีแบบ HPGe แสดงอยู่ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาคตัดขวางของหัววัดรังสีแบบ Coaxial HPGe



รูปที่ 4 ระบบวัดรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดรังสีแกมมาชนิดสารกึ่งตัวนำ

3. ระบบวัดรังสี ระบบวัดรังสีโดยทั่วไปประกอบด้วย

3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักย์สูง (High Voltage Power Supply) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้า

กระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ และมีเสถียรภาพ ในการรักษาระดับของศักย์ไฟฟ้าทางเอาต์พุตให้คงที่ โดยไม่เปลี่ยนแปลง ตามอุณหภูมิแวดล้อม หรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าในสาย 220 โวลต์ สำหรับหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามารถปรับค่าได้จาก 0-5000 โวลต์ และให้กระแสได้จาก 0-100 แอมแปร์

3.2 ภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) แบบที่นิยมใช้กันมากเป็นแบบที่เรียกว่า Charge

Sensitive Preamplifier ซึ่งจะทำหน้าที่ รวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสี แล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) ซึ่งมีขนาดที่เป็น สัดส่วน โดยตรงกับจำนวนประจุ

3.3 ภาคขยายหลัก (Amplifier) เป็นส่วนที่รับสัญญาณพัลส์จากภาคขยายส่วนหน้า แล้ว

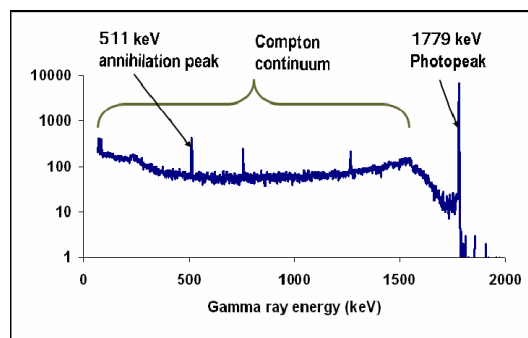
นำมาปรับแต่งรูปของสัญญาณ พร้อมกับขยายขนาดของสัญญาณ ให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์ความสูงขนาดของการขยายสัญญาณ (Voltage gain) สามารถปรับได้ในช่วงกว้างด้วยการปรับหยابๆ เป็นขั้น มีการปรับละเอียด เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลง รูปร่างและความสูงของสัญญาณ ให้เป็น Unipolar และ Bipolar รูปร่างของสัญญาณทั้งสองนี้ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยการปรับค่า Shaping time constant

3.4 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer หรือ MCA) เป็นอุปกรณ์

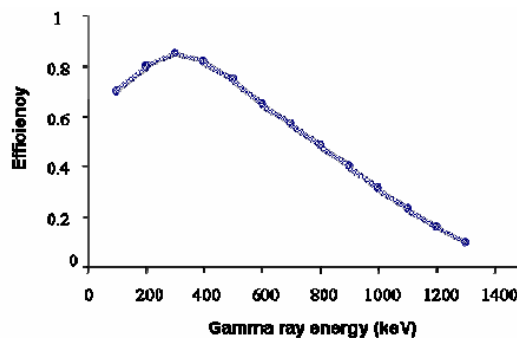
ที่สามารถเก็บข้อมูลจำนวนนับของรังสีระดับพลังงานต่างๆ ซึ่งตกกระทบหัววัดได้อย่างอัตโนมัติ เมื่อมีสัญญาณ เข้ามาที่อินพุตของ Analog to Digital Converter หรือ ADC ความสูงของสัญญาณจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะเป็นตัวระบุตำแหน่ง (address) การเก็บข้อมูลหน่วย

ความจำ สัญญาณนี้จะถูกส่งต่อไปยัง Channel address register ซึ่งจะทำหน้าที่เลือกแอดเดรส หรือ ตำแหน่งในหน่วยความจำที่ได้รับมา เพื่อให้ภาคบันทึกข้อมูล (data register) ทำการบันทึกจำนวน ครั้ง ของสัญญาณที่เกิดขึ้น ครั้งละ 1 หน่วยนับ โดยบวก (ADD) เข้ากับข้อมูลที่มีอยู่ในหน่วยความจำ และจะถูกส่งออกไปแสดงผลบนจอภาพ

4. คุณสมบัติของหัววัดรังสี การวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำมีผลการวัดเป็นแถบ ของค่านับวัดของรังสีแต่ละพลังงาน เรียกว่า สเปกตรัมของรังสีแกมมา ดังรูปที่ 5 รังสีแต่ละ พลังงานบนสเปกตรัม เรียกว่า โฟโตพีค (photopeak) ค่านับวัด (count) ของรังสีคำนวณจากพื้นที่ ของโฟโตพีค (peak area) ตามสมการที่ (1)



รูปที่ 5 สเปกตรัมรังสีแกมมาจากการวัดด้วยหัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 5

ประสิทธิภาพของหัววัดมีค่าลดลงเมื่อพลังงานรังสีแกมมาสูงขึ้น

สูตรคำนวณหาประสิทธิภาพ

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Count rate}}{\text{Emission rate}} = \frac{\text{Count rate}}{\text{Activity} \times \text{Branching ratio}}$$

บทที่ 3

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

อุปกรณ์

- 1.ชุดหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ (HPGe)
- 2.Standard sources ชนิดกลม
- 3.Mixed source

ขั้นตอนการทดลอง

ก่อนการใช้งานต้องทำการตรวจสอบระดับของไนโตรเจนเหลวในถังบรรจุหัววัดรังสี ก่อนเปิดใช้และปรับเครื่องมือวัดรังสีให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานอุปกรณ์

1. การปรับเทียบพลังงานของหัววัดรังสี (Energy calibration)

1.1 วางต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 และ Co-60 เหนือหัววัดรังสี HPGe ใช้เวลา 600 วินาที

2. การหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี HPGe

2.1 วางต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cd-109, Co-57, Ba-133, Cs-137, Mn-54, Zn-65, Co-60 และ Mixedsource ที่ระยะ 1 นิ้ว เหนือหัววัดรังสี HPGe

2.2 วัดรังสีแกมมาโดยใช้เวลาในการวัด 6000 วินาที บันทึกผลการวัด

2.3 คำนวณประสิทธิภาพของหัววัดสำหรับรังสีแกมมาแต่ละพลังงาน และเขียนกราฟระหว่างพลังงานรังสีกับประสิทธิภาพของหัววัด

2.4 ทำการทดลองในข้อ 2.1 – 2.3 โดยเปลี่ยนระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัด HPGe เป็น 2,3,4,5 และ 6 นิ้ว

บทที่ 4

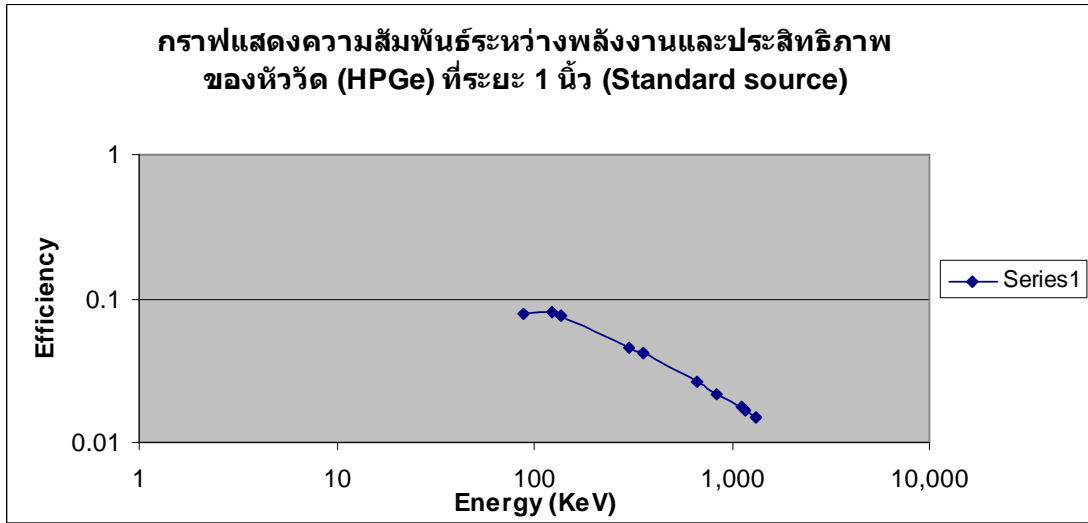
ผลการศึกษาและสรุปผลการทดลอง

ตารางประสิทธิภาพของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) Ortec50%

Efficiency at 1 inch (standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.079220932
Co-57	122.06	271.80 d	0.080739417
	136.47	271.80 d	0.07597533
Ba-133	302.85	10.52 y	0.045960813
	356.02	10.52 y	0.041314901
Cs-137	661.66	30.17 y	0.026252973
Mn-54	834.84	312.12 d	0.021831009
Zn-65	1115.55	243.90 d	0.01765362
Co-60	1173.24	5.27 y	0.016499697
	1332.50	5.27 y	0.014965766

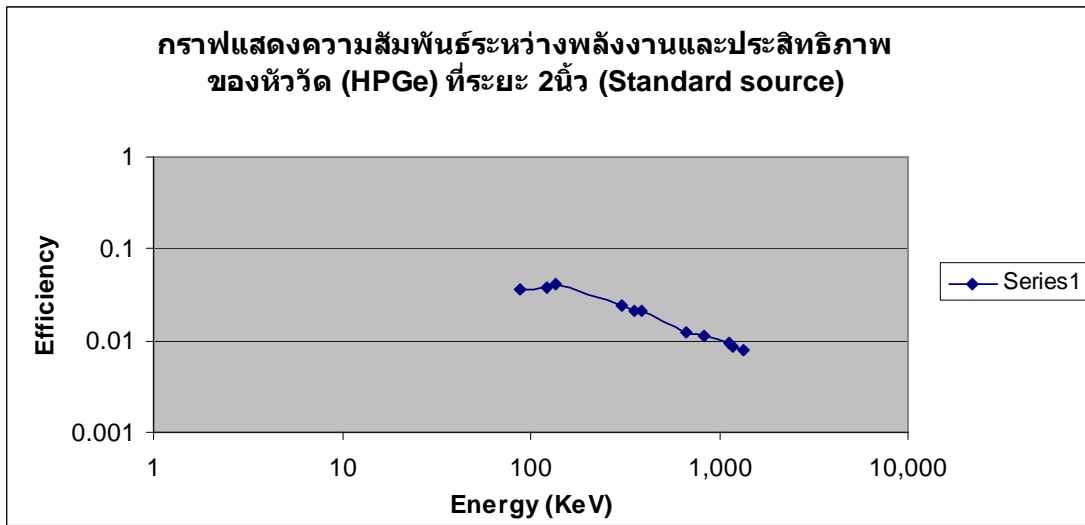
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 1 นิ้ว (Standard source)



Efficiency at 2 inch (standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.035751462
Co-57	122.06	271.80 d	0.038627634
	136.47	271.80 d	0.040495813
Ba-133	302.85	10.52 y	0.024069362
	356.02	10.52 y	0.021261036
	383.85	10.52 y	0.020719764
Cs-137	661.66	30.17 y	0.012496569
Mn-54	834.84	312.12 d	0.011403209
Zn-65	1115.55	243.90 d	0.009510399
Co-60	1173.24	5.27 y	0.008505559
	1332.50	5.27 y	0.007772341

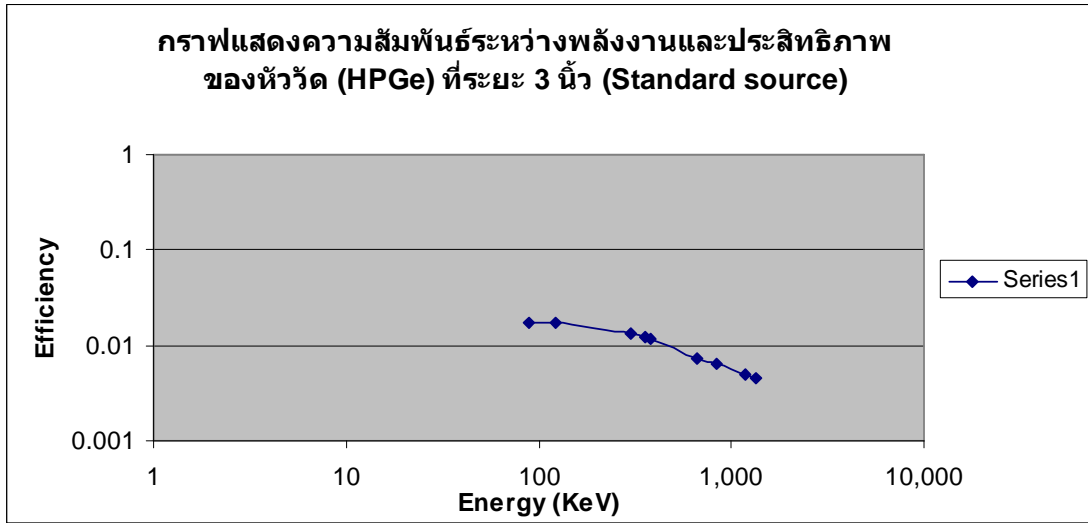
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 2 นิ้ว (Standard source)



Efficiency at 3 inch (standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.017498582
Co-57	122.06	271.80 d	0.017247985
Ba-133	302.85	10.52 y	0.01337034
	356.02	10.52 y	0.012008442
	383.85	10.52 y	0.01147428
Cs-137	661.66	30.17 y	0.007406287
Mn-54	834.84	312.12 d	0.006362508
Co-60	1173.24	5.27 y	0.00499546
	1332.50	5.27 y	0.004575328

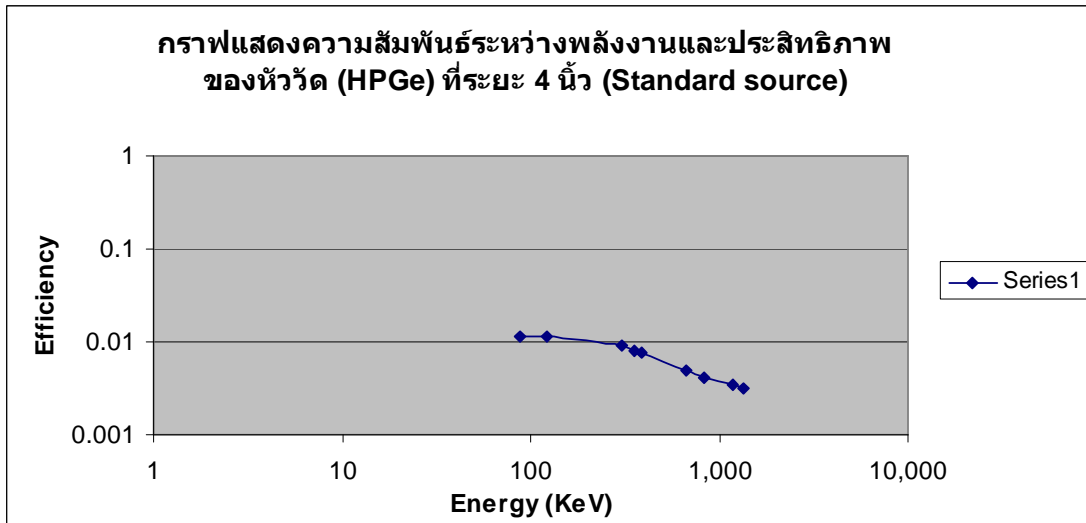
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 3 นิ้ว (Standard source)



Efficiency at 4 inch (standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.011646224
Co-57	122.06	271.80 d	0.011379879
Ba-133	302.85	10.52 y	0.00924843
	356.02	10.52 y	0.008111508
	383.85	10.52 y	0.007698741
Cs-137	661.66	30.17 y	0.0049853
Mn-54	834.84	312.12 d	0.004101199
Co-60	1173.24	5.27 y	0.003457721
	1332.50	5.27 y	0.003112536

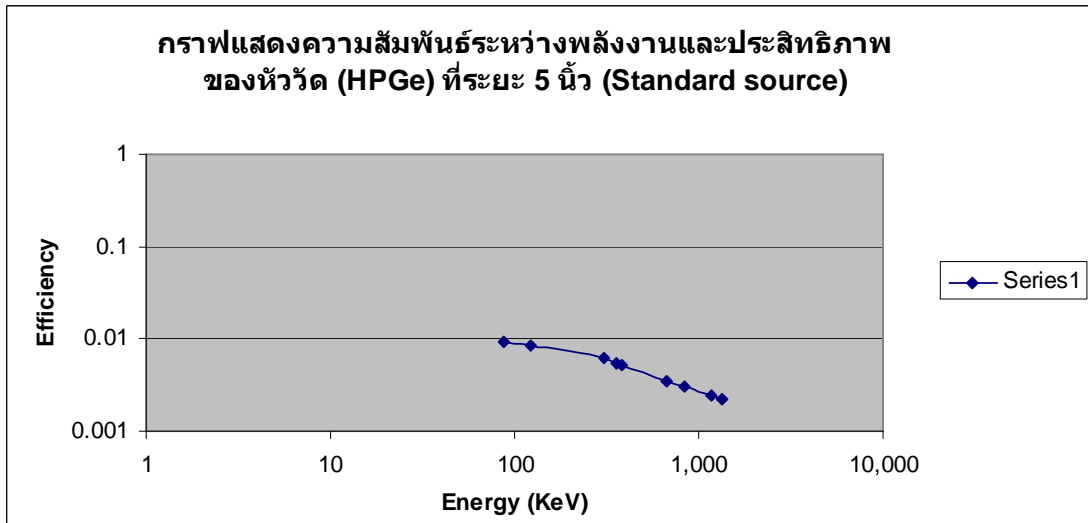
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 4 นิ้ว (Standard source)



Efficiency at 5 inch (standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.0093161
Co-57	122.06	271.80 d	0.00844187
Ba-133	302.85	10.52 y	0.00611765
	356.02	10.52 y	0.00545104
	383.85	10.52 y	0.00529006
Cs-137	661.66	30.17 y	0.00341396
Mn-54	834.84	312.12 d	0.00298392
Co-60	1173.24	5.27 y	0.00238757
	1332.50	5.27 y	0.00222428

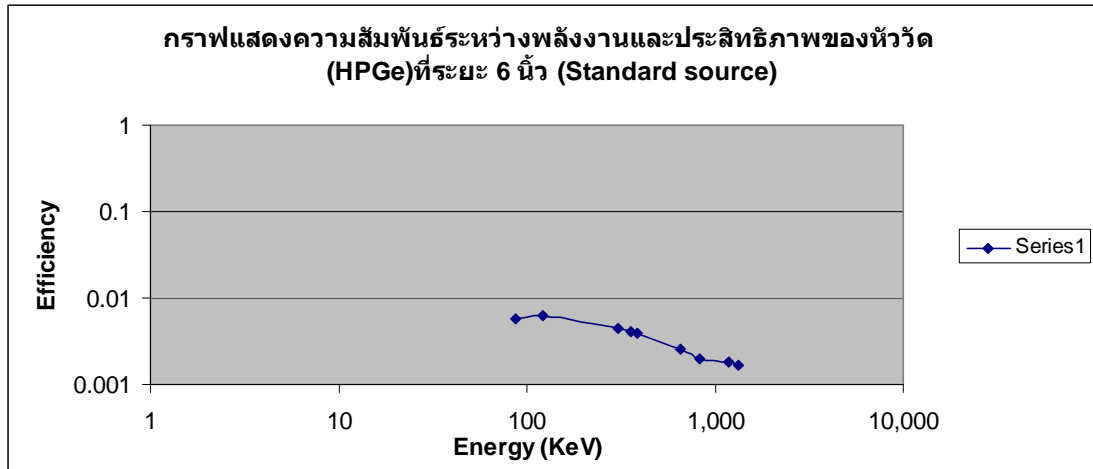
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 5 นิ้ว (Standard source)



Efficiency at 6 inch (standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.00573114
Co-57	122.06	271.80 d	0.00627556
Ba-133	302.85	10.52 y	0.00452039
	356.02	10.52 y	0.00405446
	383.85	10.52 y	0.00391884
Cs-137	661.66	30.17 y	0.00251481
Mn-54	834.84	312.12 d	0.00200849
Co-60	1173.24	5.27 y	0.00181546
	1332.50	5.27 y	0.00163296

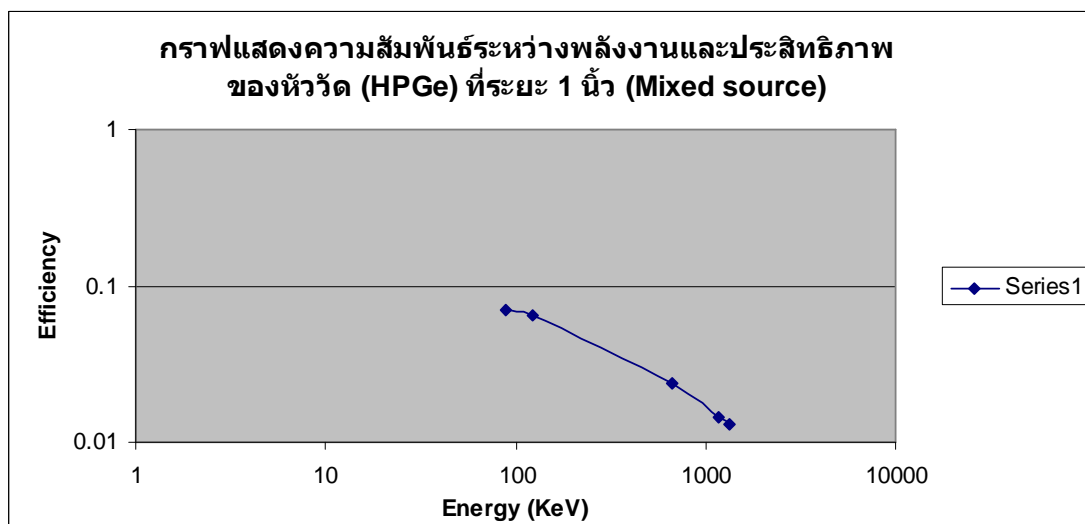
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 6 นิ้ว (Standard source)



Efficiency at 1 inch (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.070591747
Co-57	122.06	271.80 d	0.065414598
Cs-137	661.66	30.17 y	0.023812331
Co-60	1173.24	5.27 y	0.014379722
	1332.50	5.27 y	0.012883572

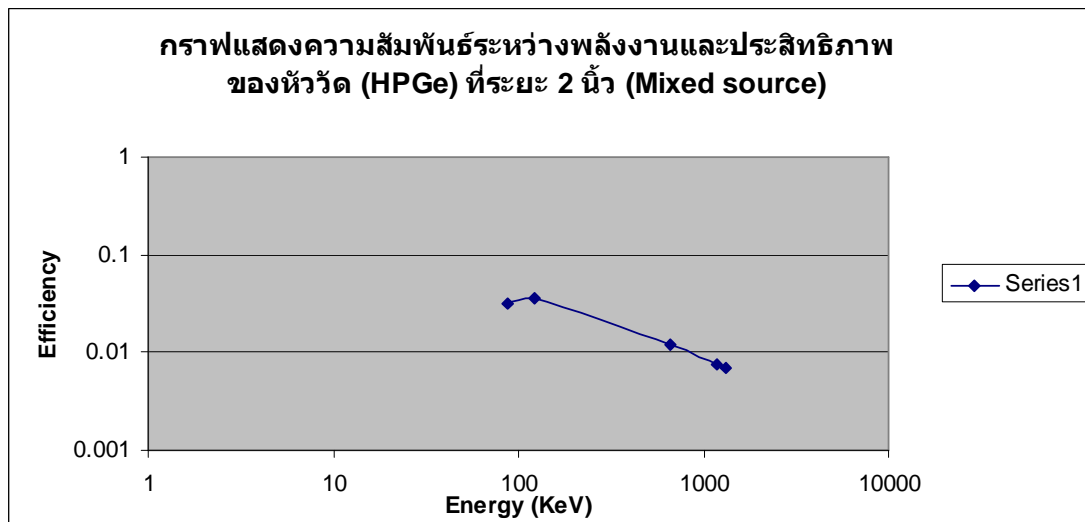
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 1 นิ้ว (Mixed source)



Efficiency at 2 inch (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.031649685
Co-57	122.06	271.80 d	0.035438282
Cs-137	661.66	30.17 y	0.011789791
Co-60	1173.24	5.27 y	0.007436385
	1332.50	5.27 y	0.006920019

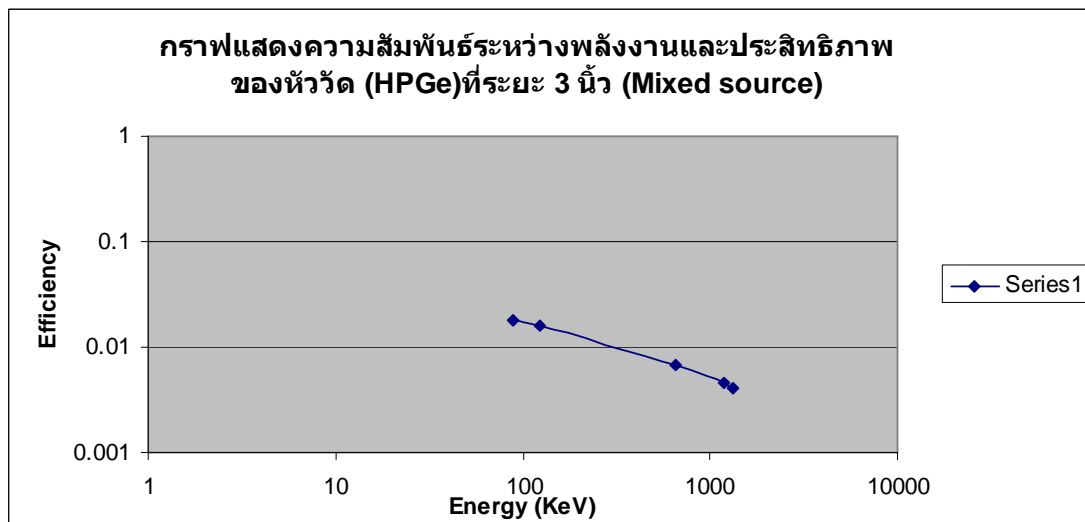
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 2 นิ้ว (Mixed source)



Efficiency at 3 inch (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.017740309
Co-57	122.06	271.80 d	0.016272269
Cs-137	661.66	30.17 y	0.00682708
Co-60	1173.24	5.27 y	0.004502543
	1332.50	5.27 y	0.004095884

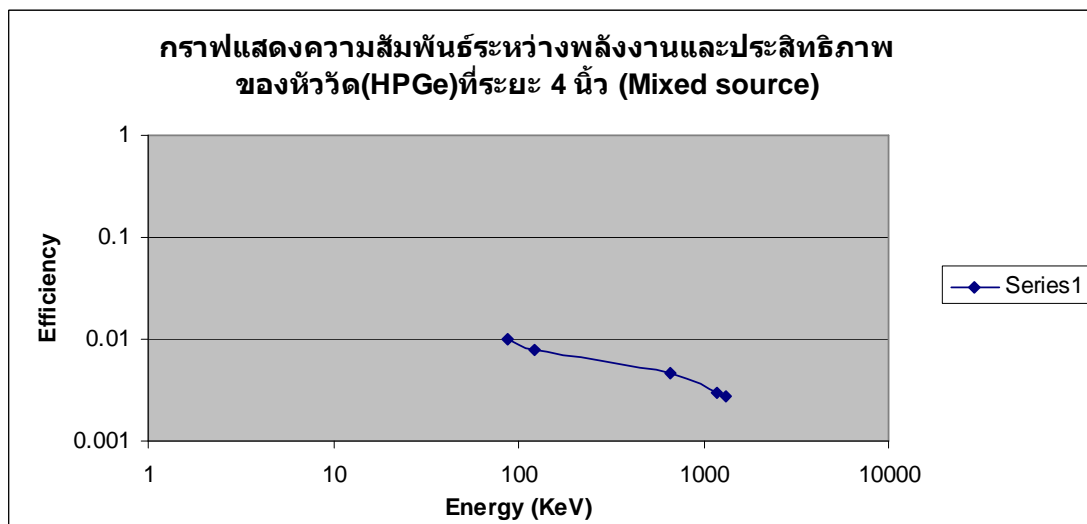
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 3 นิ้ว (Mixed source)



Efficiency at 4 inch (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.009976167
Co-57	122.06	271.80 d	0.007991235
Cs-137	661.66	30.17 y	0.004594351
Co-60	1173.24	5.27 y	0.003029284
	1332.50	5.27 y	0.002792576

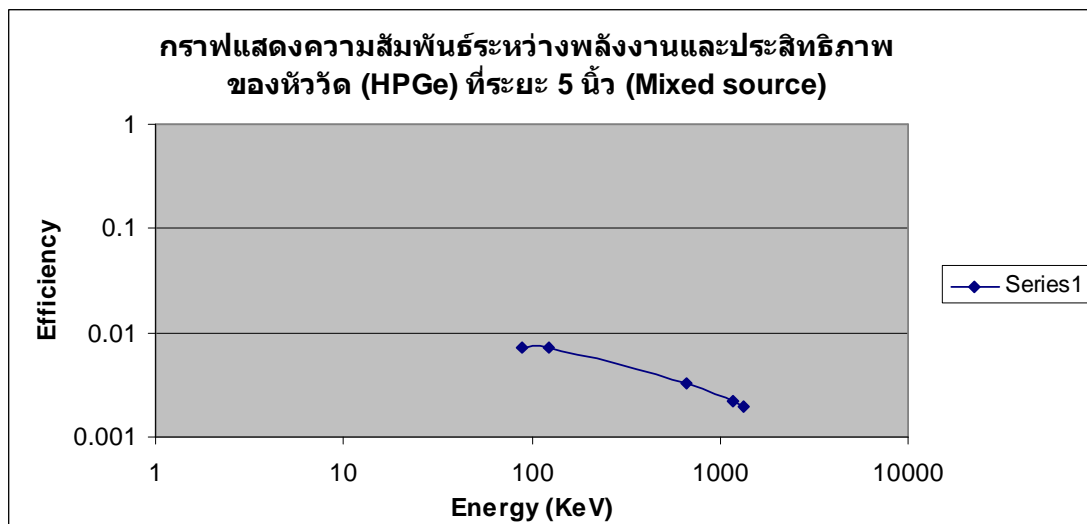
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 4 นิ้ว (Mixed source)



Efficiency at 5 inch (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.007227867
Co-57	122.06	271.80 d	0.007295347
Cs-137	661.66	30.17 y	0.003232611
Co-60	1173.24	5.27 y	0.002196855
	1332.50	5.27 y	0.001987017

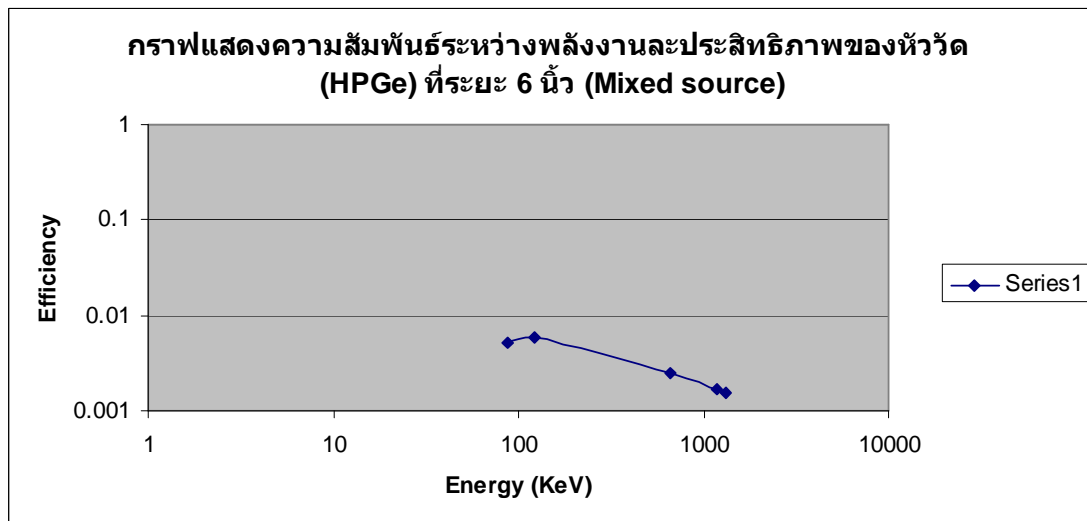
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 5 นิ้ว (Mixed source)



Efficiency at 6 inch (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.60 d	0.00505262
Co-57	122.06	271.80 d	0.005936867
Cs-137	661.66	30.17 y	0.002452296
Co-60	1173.24	5.27 y	0.001644417
	1332.50	5.27 y	0.001514454

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 6 นิ้ว (Mixed source)

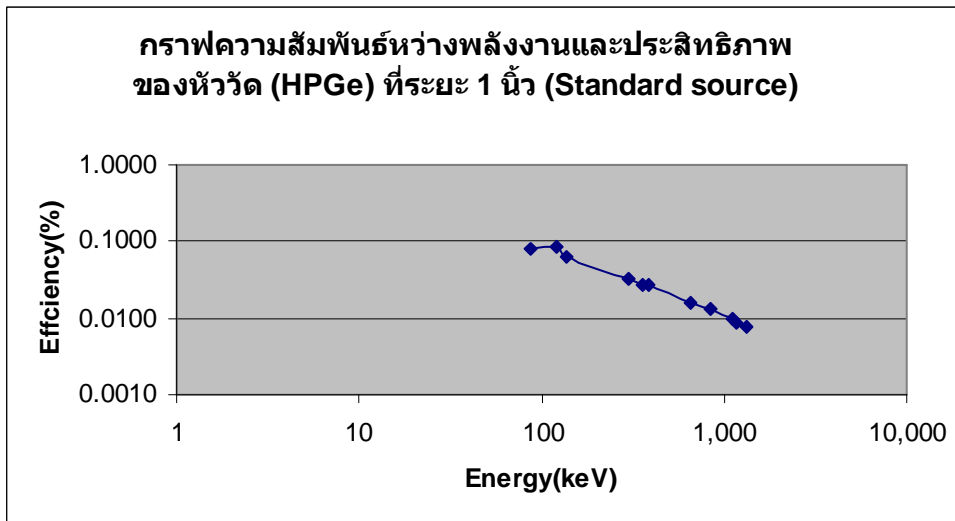


ตารางประสิทธิภาพของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) Canberra 20%

Efficiency at 1 inch (standard sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0808
Co-57	122.06	271.8	0.0842
	136.47	272.8	0.0646
Ba-133	302.85	10.52	0.0324
	356.02	10.52	0.0275
	383.85	10.52	0.0276
Cs-137	661.66	30.17	0.0155
Mn-54	834.84	312.12	0.0130
Zn-65	1115.55	243.9	0.0100
Co-60	1173.24	5.27	0.0089
	1332.50	5.27	0.0079

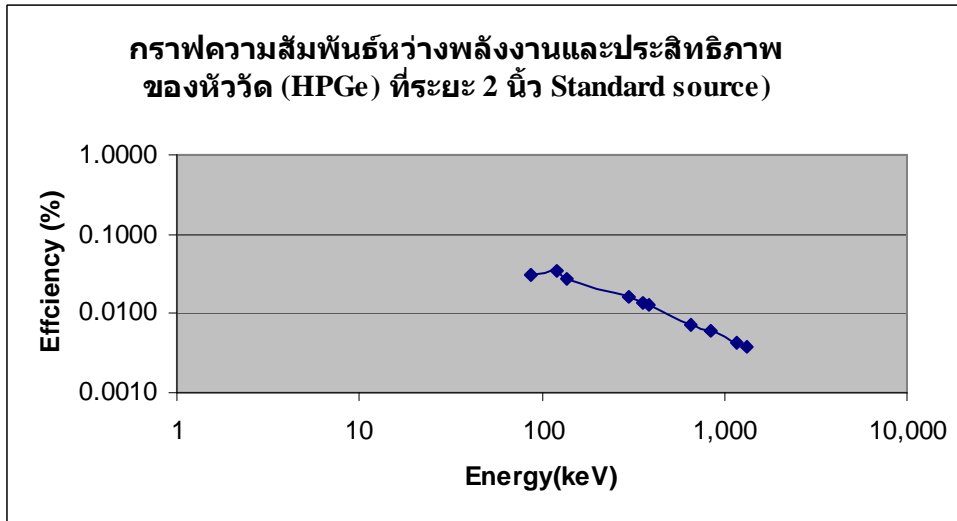
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 1 นิ้ว (Standard source) 20%



Efficiency at 2 inch (standard sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0308
Co-57	122.06	271.8	0.0337
	136.47	272.8	0.0268
Ba-133	302.85	10.52	0.0164
	356.02	10.52	0.0138
	383.85	10.52	0.0131
Cs-137	661.66	30.17	0.0072
Mn-54	834.84	312.12	0.0060
Co-60	1173.24	5.27	0.0043
	1332.50	5.27	0.0038

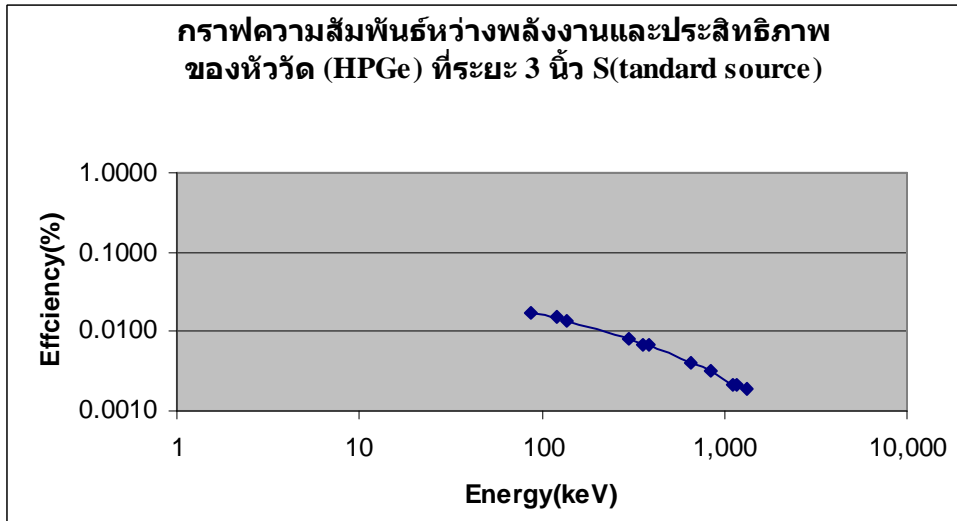
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 2 นิ้ว (Standard source) 20%



Efficiency at 3 inch (standard sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0173
Co-57	122.06	271.8	0.0150
	136.47	272.8	0.0137
Ba-133	302.85	10.52	0.0081
	356.02	10.52	0.0070
	383.85	10.52	0.0068
Cs-137	661.66	30.17	0.0040
Mn-54	834.84	312.12	0.0032
Zn-65	1115.55	243.9	0.0021
Co-60	1173.24	5.27	0.0022
	1332.50	5.27	0.0019

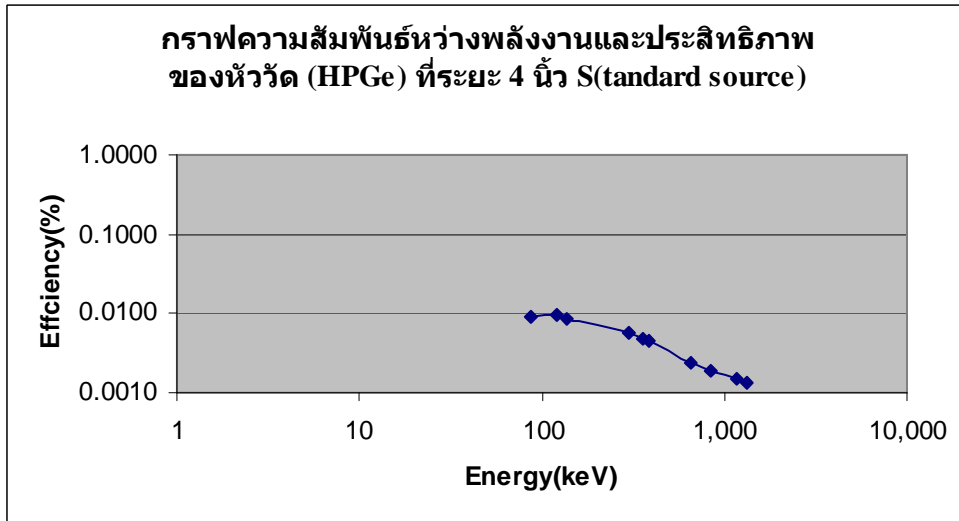
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 3 นิ้ว (Standard source) 20%



Efficiency at 4 inch (standard sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0093
Co-57	122.06	271.8	0.0096
	136.47	272.8	0.0084
Ba-133	302.85	10.52	0.0056
	356.02	10.52	0.0047
	383.85	10.52	0.0044
Cs-137	661.66	30.17	0.0024
Mn-54	834.84	312.12	0.0019
Co-60	1173.24	5.27	0.0015
	1332.50	5.27	0.0013

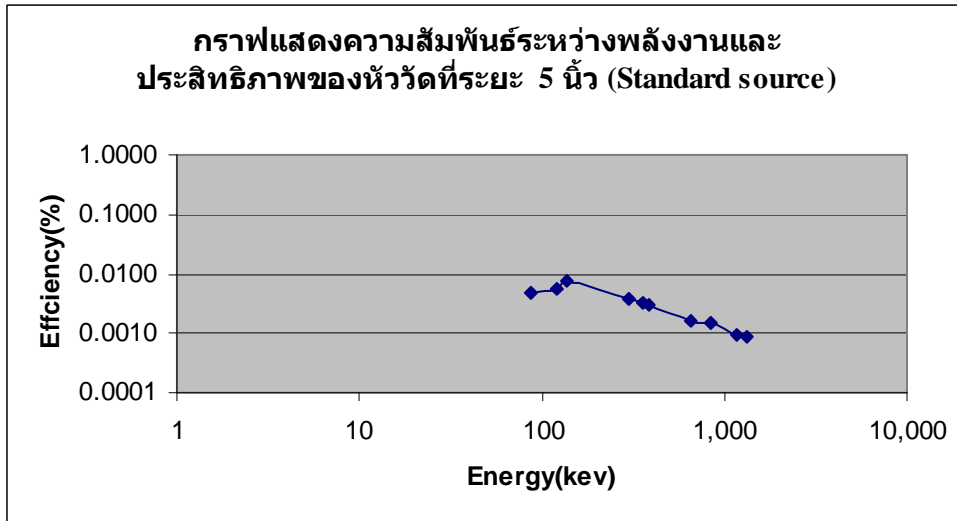
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 4 นิ้ว (Standard source) 20%



Efficiency at 5 inch (standard sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0049
Co-57	122.06	271.8	0.0057
	136.47	272.8	0.0075
Ba-133	302.85	10.52	0.0037
	356.02	10.52	0.0032
	383.85	10.52	0.0030
Cs-137	661.66	30.17	0.0017
Mn-54	834.84	312.12	0.0014
Co-60	1173.24	5.27	0.0010
	1332.50	5.27	0.0009

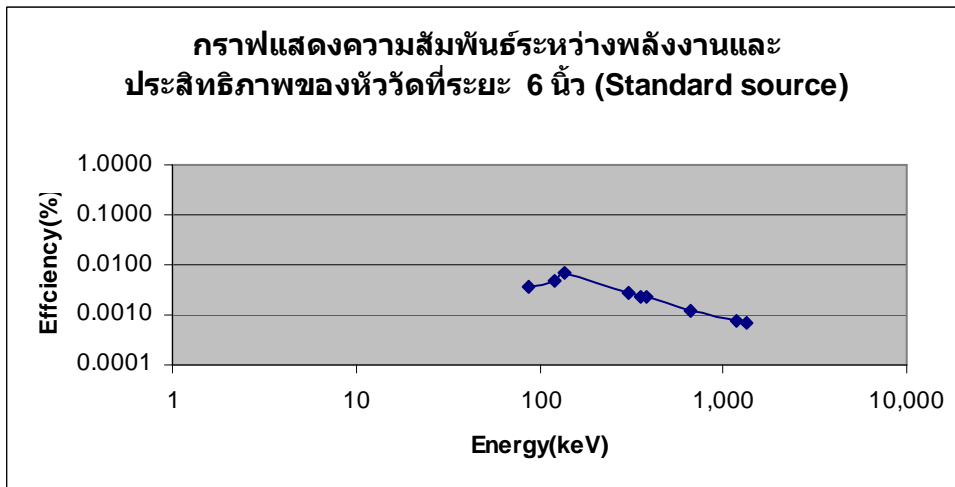
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 5 นิ้ว (Standard source) 20%



Efficiency at 6 inch (standard sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0037
Co-57	122.06	271.8	0.0048
	136.47	272.8	0.0067
Ba-133	302.85	10.52	0.0028
	356.02	10.52	0.0024
	383.85	10.52	0.0023
Cs-137	661.66	30.17	0.0012
Co-60	1173.24	5.27	0.0008
	1332.50	5.27	0.0007

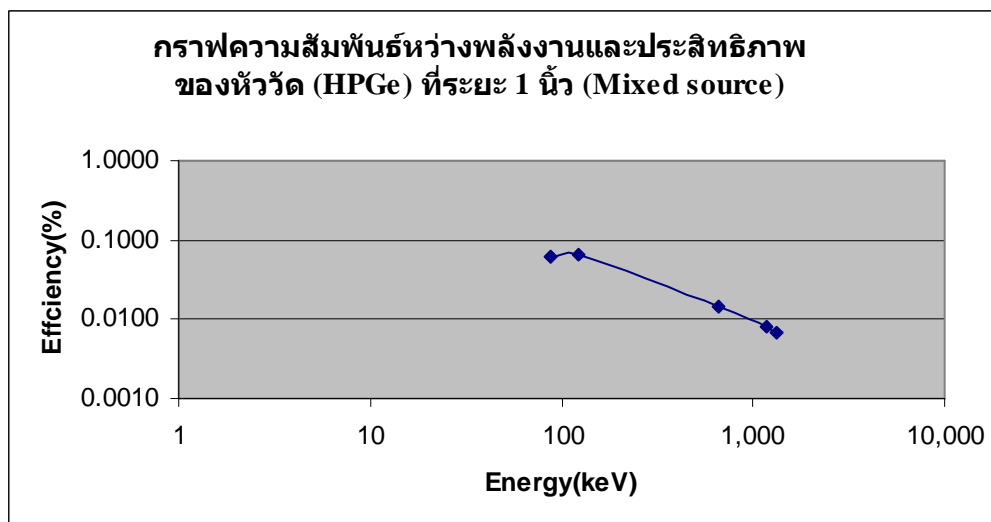
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 6 นิ้ว (Standard source) 20%



Efficiency at 1 inch (Mixed sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0631
Co-57	122.06	271.8	0.0663
Cs-137	661.66	30.17	0.0142
Co-60	1173.24	5.27	0.0079
	1332.50	5.27	0.0070

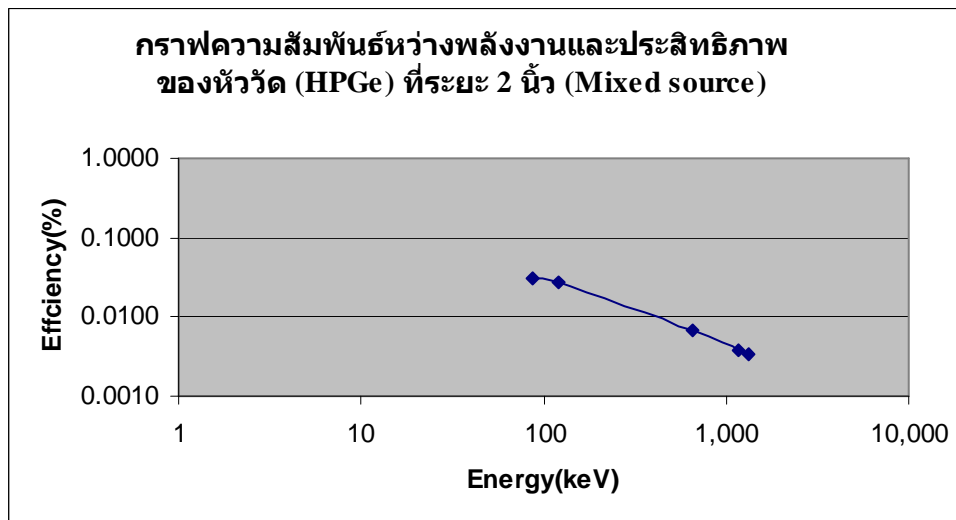
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 1 นิ้ว (Mixed source) 20%



Efficiency at 2 inch (Mixed sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0314
Co-57	122.06	271.8	0.0276
Cs-137	661.66	30.17	0.0067
Co-60	1173.24	5.27	0.0038
	1332.50	5.27	0.0034

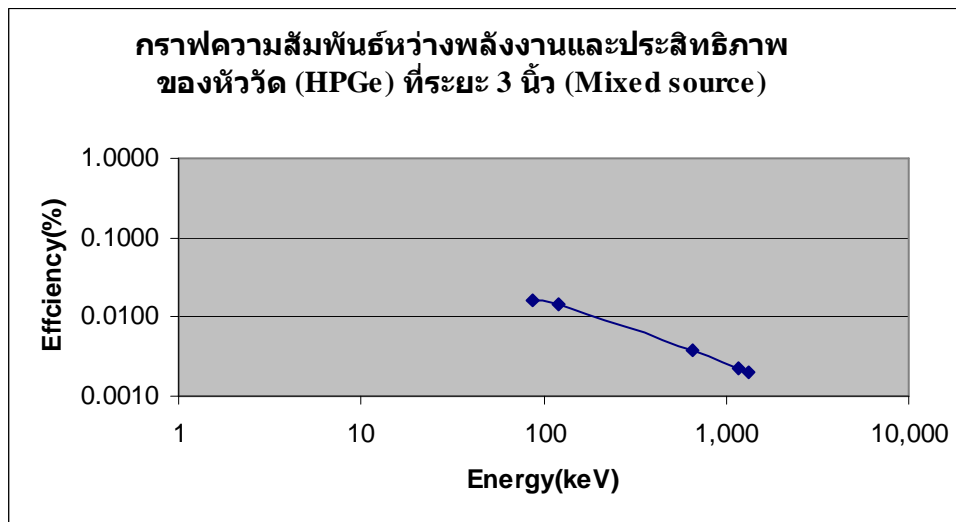
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 2 นิ้ว (Mixed source) 20%



Efficiency at 3 inch (Mixed sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0164
Co-57	122.06	271.8	0.0142
Cs-137	661.66	30.17	0.0038
Co-60	1173.24	5.27	0.0022
	1332.50	5.27	0.0020

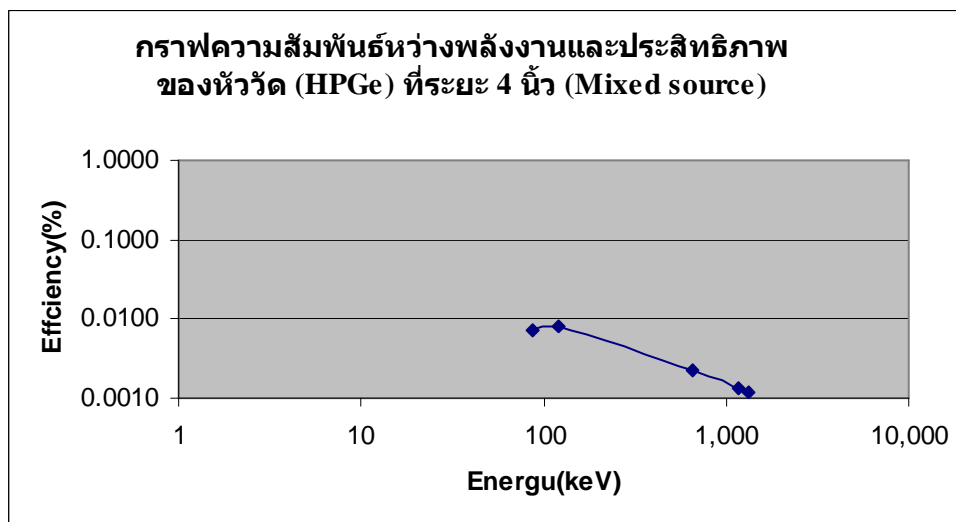
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 3 นิ้ว (Mixed source) 20%



Efficiency at 4 inch (Mixed sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0072
Co-57	122.06	271.8	0.0081
Cs-137	661.66	30.17	0.0022
Co-60	1173.24	5.27	0.0014
	1332.50	5.27	0.0012

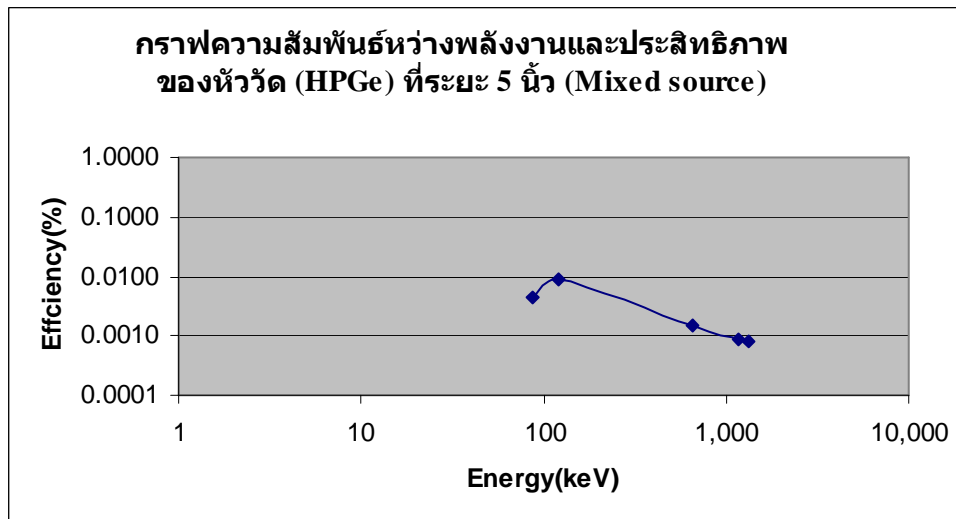
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 4 นิ้ว (Mixed source) 20%



Efficiency at 5 inch (Mixed sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0044
Co-57	122.06	271.8	0.0091
Cs-137	661.66	30.17	0.0015
Co-60	1173.24	5.27	0.0009
	1332.50	5.27	0.0008

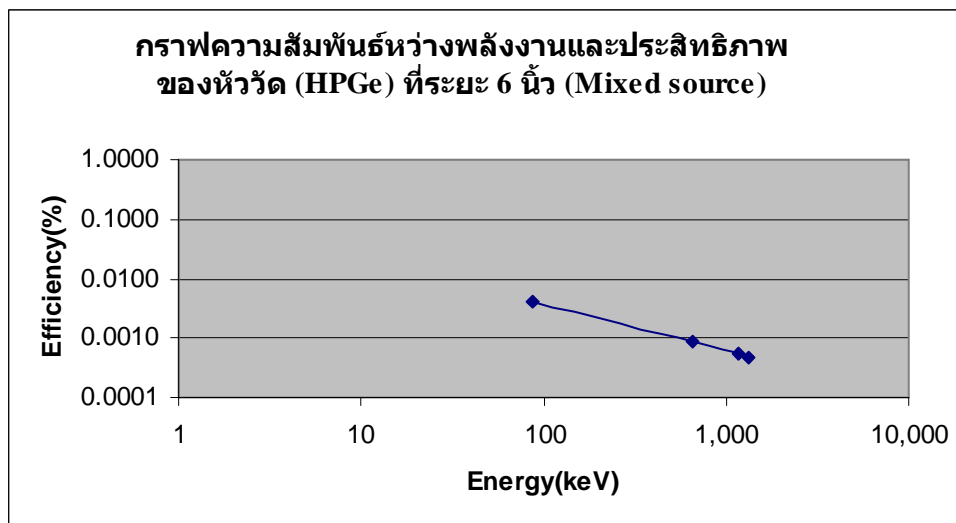
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 5 นิ้ว (Mixed source) 20%



Efficiency at 6 inch (Mixed sources) 20%

Isotope	Energy (KeV)	Half-life	Efficiency
Cd-109	88.03	462.6	0.0042
Cs-137	661.66	30.17	0.0009
Co-60	1173.24	5.27	0.0006
	1332.50	5.27	0.0005

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพที่ระยะ 6 นิ้ว (Mixed source) 20%



ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัววัด HPGe (Canberra20% และ Ortec 50%)

ระยะ 1 นิ้ว (Standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0808	0.079220932	8.08	7.9220932
Co-57	122.06	0.0842	0.080739417	8.42	8.0739417
	136.47	0.0646	0.07597533	6.46	7.597533
Ba-133	302.85	0.0324	0.045960813	3.24	4.5960813
	356.02	0.0275	0.041314901	2.75	4.1314901
Cs-137	661.66	0.0155	0.026252973	1.55	2.6252973
Mn-54	834.84	0.0130	0.021831009	1.30	2.1831009
Zn-65	1115.55	0.0100	0.01765362	1.00	1.765362
Co-60	1173.24	0.0089	0.016499697	0.89	1.6499697
	1332.50	0.0079	0.014965766	0.79	1.4965766

ระยะ 2 นิ้ว (Standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0308	0.035751462	3.08	3.5751462
Co-57	122.06	0.0337	0.038627634	3.37	3.8627634
	136.47	0.0268	0.040495813	2.68	4.0495813
Ba-133	302.85	0.0164	0.024069362	1.64	2.4069362
	356.02	0.0138	0.021261036	1.38	2.1261036
	383.85	0.0131	0.020719764	1.31	2.0719764
Cs-137	661.66	0.0072	0.012496569	0.72	1.2496569
Mn-54	834.84	0.0060	0.011403209	0.60	1.1403209
Zn-65	1115.55	–	0.009510399	–	0.9510399
Co-60	1173.24	0.0043	0.008505559	0.43	0.8505559
	1332.50	0.0038	0.007772341	0.38	0.7772341

ระยะ 3 นิ้ว (Standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0173	0.017498582	1.73	1.7498582
Co-57	122.06	0.0150	0.017247985	1.50	1.7247985
	136.47	0.0137	=	1.37	=
Ba-133	302.85	0.0081	0.01337034	0.81	1.337034
	356.02	0.0070	0.012008442	0.70	1.2008442
	383.85	0.0068	0.01147428	0.68	1.147428
Cs-137	661.66	0.0040	0.007406287	0.40	0.7406287
Mn-54	834.84	0.0032	0.006362508	0.32	0.6362508
Zn-65	1115.55	0.0021	=	0.21	=
Co-60	1173.24	0.0022	0.00499546	0.22	0.499546
	1332.50	0.0019	0.004575328	0.19	0.4575328

តម្លៃ ៤ ដំណាក់ (Standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0093	0.011646224	0.93	1.1646224
Co-57	122.06	0.0096	0.011379879	0.96	1.1379879
	136.47	0.0084	=	0.84	=
Ba-133	302.85	0.0056	0.00924843	0.56	0.924843
	356.02	0.0047	0.008111508	0.47	0.8111508
	383.85	0.0044	0.007698741	0.44	0.7698741
Cs-137	661.66	0.0024	0.0049853	0.24	0.49853
Mn-54	834.84	0.0019	0.004101199	0.19	0.4101199
Co-60	1173.24	0.0015	0.003457721	0.15	0.3457721
	1332.50	0.0013	0.003112536	0.13	0.3112536

តម្លៃ 5 ឆ្នាំ (Standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0049	0.0093161	0.49	0.93161
Co-57	122.06	0.0057	0.00844187	0.57	0.844187
	136.47	0.0075	=	0.75	=
Ba-133	302.85	0.0037	0.00611765	0.37	0.611765
	356.02	0.0032	0.00545104	0.32	0.545104
	383.85	0.0030	0.00529006	0.30	0.529006
Cs-137	661.66	0.0017	0.00341396	0.0017	0.00341396
Mn-54	834.84	0.0014	0.00298392	0.14	0.298392
Co-60	1173.24	0.0010	0.00238757	0.10	0.238757
	1332.50	0.0009	0.00222428	0.09	0.222428

តម្លៃ 6 ដំណាក់ (Standard sources)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0037	0.00573114	0.37	0.573114
Co-57	122.06	0.0048	0.00627556	0.48	0.627556
	136.47	0.0067	=	0.67	=
Ba-133	302.85	0.0028	0.00452039	0.28	0.452039
	356.02	0.0024	0.00405446	0.24	0.405446
	383.85	0.0023	0.00391884	0.23	0.391884
Cs-137	661.66	0.0012	0.00251481	0.12	0.251481
Mn-54	834.84	=	0.00200849	=	0.200849
Co-60	1173.24	0.0008	0.00181546	0.08	0.181546
	1332.50	0.0007	0.00163296	0.07	0.163296

ระยะ 1 นิ้ว (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0631	0.070591747	6.31	7.0591747
Co-57	122.06	0.0663	0.065414598	6.63	6.5414598
Cs-137	661.66	0.0142	0.023812331	1.42	2.3812331
Co-60	1173.24	0.0079	0.014379722	0.79	1.4379722
	1332.50	0.0070	0.012883572	0.70	1.2883572

តម្លៃ ២ ដំណាក់ (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0314	0.031649685	3.14	3.1649685
Co-57	122.06	0.0276	0.035438282	2.76	3.5438282
Cs-137	661.66	0.0067	0.011789791	0.67	1.1789791
Co-60	1173.24	0.0038	0.007436385	0.38	0.7436385
	1332.50	0.0034	0.006920019	0.34	0.6920019

តម្លៃ ៣ ដំណាក់ (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0164	0.017740309	1.64	1.7740309
Co-57	122.06	0.0142	0.016272269	1.42	1.6272269
Cs-137	661.66	0.0038	0.00682708	0.38	0.682708
Co-60	1173.24	0.0022	0.004502543	0.22	0.4502543
	1332.50	0.0020	0.004095884	0.20	0.4095884

តម្លៃ ៤ អ៊ីវ (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0072	0.009976167	0.72	0.9976167
Co-57	122.06	0.0081	0.007991235	0.81	0.7991235
Cs-137	661.66	0.0022	0.004594351	0.22	0.4594351
Co-60	1173.24	0.0014	0.003029284	0.14	0.3029284
	1332.50	0.0012	0.002792576	0.12	0.2792576

តម្លៃ ៥ អ៊ីវ (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0044	0.007227867	0.44	0.7227867
Co-57	122.06	0.0091	0.007295347	0.91	0.7295347
Cs-137	661.66	0.0015	0.003232611	0.15	0.3232611
Co-60	1173.24	0.0009	0.002196855	0.09	0.2196855
	1332.50	0.0008	0.001987017	0.08	0.1987017

ระยะ 6 นิ้ว (Mixed source)

Isotope	Energy (KeV)	Efficiency Canberra 20%	Efficiency Ortec50%	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%
Cd-109	88.03	0.0042	0.00505262	0.42	0.505262
Co-57	122.06	–	0.005936867	–	0.5936867
Cs-137	661.66	0.0009	0.002452296	0.09	0.2452296
Co-60	1173.24	0.0006	0.001644417	0.06	0.1644417
	1332.50	0.0005	0.001514454	0.05	0.1514454

สรุป

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) Canberra 20% และ Ortec 50% พบว่า ระยะห่างจากหัววัดมีผลต่อประสิทธิภาพของหัววัด จากกราฟจะเห็นว่าที่ระยะ 1 นิ้วประสิทธิภาพของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) มีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ระยะอื่นๆ และผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัววัด High-Purity Germanium (HPGe) Canberra 20% และ Ortec 50% พบว่า ประสิทธิภาพของหัววัด Ortec 50% มีประสิทธิภาพสูงกว่าหัววัด Canberra 20% จากกราฟจะเห็นว่า ที่พลังงานต่ำจะมีประสิทธิภาพสูงและประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้น เช่น

Isotope	Energy (KeV)	% Efficiency Canberra 20%	% Efficiency Ortec 50%	ระยะ
Cd-109	88.03	8.08	7.9220932	1 นิ้ว
Cs-137	661.66	1.55	2.6252973	1 นิ้ว
Co-60	1173.24	0.89	1.6499697	1 นิ้ว
	1332.50	0.79	1.4965766	1 นิ้ว

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากระยะเวลาในการวัดค่า Standard Source และ Mixed Source ใช้เวลาในการวัดน้อยเราจึงควรใช้เวลาในการวัดมากขึ้น เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของข้อมูลและควรทำการทดลองซ้ำกันหลายครั้ง