

การหาค่าเวลานับวัดที่เหมาะสมสำหรับการวัดซีเซียม-137 ปริมาณน้อย

ในตัวอย่างนมผงและข้าวหนึ่งด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรสโกปี

สุชิน อุดมสมพร* และ วุฒิเดช ธรฤทธิ์

สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

โทรศัพท์ 0 2579 5230 โทรสาร 0 2561 3013 E-Mail: suchin@oae.go.th

บทคัดย่อ

ได้ทำการทดลองวัดปริมาณ ซีเซียม-137 ในตัวอย่างนมผงจำนวน 6 ตัวอย่างและข้าวหนึ่งจำนวน 1 ตัวอย่าง บรรจุใน Marinelli Beaker ขนาด 1 ลิตร ด้วยหัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง 2 ชุด โดยเพิ่มเวลานับวัดแต่ละตัวอย่าง ครั้งละ 1000 วินาที ตั้งแต่ 1000 วินาที ถึง 50000 วินาที สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับวัด กับค่าปริมาณต่ำสุดที่นับวัดได้ จากกราฟสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้คำนวณค่าเวลานับวัดที่เหมาะสมกับค่าปริมาณต่ำสุดที่ต้องการตรวจวัดได้ และพบว่าค่าปริมาณต่ำสุดที่นับวัดได้จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเวลาวัดมีค่ามากกว่า 15,000 วินาที

คำสำคัญ: ปริมาณต่ำสุดที่นับวัดได้ เวลานับวัด นมผง ข้าวหนึ่ง ซีเซียม-137

Determination of Counting Time for the Small Amount of Caesium-137 in Milk

Powder and Parboiled Rice Samples by Using Gamma-Ray Spectroscopy

Suchin Udomsomporn* and Wutthidej Thorarith

Bureau of Technical Support for Safety Regulation, Office of Atoms for Peace

Phone: 66 2579 5230, Fax: 66 2561 3013, E-Mail: suchin@oae.go.th

Abstract

Caesium-137 concentrations in milk powder (n=6) and parboiled rice (n=1) contained in Marinelli beaker (1 liter) were determined using two sets of High Purity Germanium gamma spectrometry systems. Correlation graphs between counting time and Minimum Detectable Concentration (MDC) were obtained by varying and increasing counting time (1000 seconds) when identical samples were repeatedly measured. The counting time ranged from 1000 to 50000 seconds. From the correlation graphs, mathematic equations were generated and used to estimate both appropriate sample counting time and MDC. The result showed that MDCs were not significantly different when the samples were measured at 15000 seconds or even longer.

Keywords: Minimum Detectable Concentration (MDC), Counting time, milk powder, parboiled rice, Cs-137

บทนำ

ขีดจำกัดในการตรวจวัด (Detection Limit) และค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) ของวิธีการตรวจวิเคราะห์เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการที่จะหาวิธีการที่เหมาะสม สำหรับการตรวจวัดรังสีในตัวอย่างที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (The Minimum Detectable Concentration, MDC) ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของกระบวนการตรวจวัดโดยเริ่มตั้งแต่การเก็บตัวอย่าง จนกระทั่งถึงการรายงานผล ปัจจัยที่มีอิทธิพลกับค่า MDC ได้แก่ ค่าเบคกราวด์ ขนาดของตัวอย่าง ปริมาณความเข้มข้นของการปนเปื้อน ประสิทธิภาพและการตอบสนองของหัววัดรังสี ประสิทธิภาพของขั้นตอนการแยกตัวอย่างและทำให้บริสุทธิ์ โดยเฉพาะการรบกวนของสารปนเปื้อนและเวลานับวัด จะทำให้ค่า MDC ของแต่ละห้องปฏิบัติการมีค่าต่างกัน แม้จะใช้วิธีการวัดเหมือนกัน ค่าความถูกต้องของผลการวัดปริมาณของไอโซโทปรังสีขึ้นอยู่กับเทคนิคการปรับเทียบ สิ่งที่เป็นสำหรับระบบการตรวจวัดรังสีในระดับต่ำ (low-level counting systems) จะประกอบไปด้วย (1) หัววัดรังสีที่มีประสิทธิภาพสูง (2) คำนับวัดแบบกราวด์ต่ำ (3) ความคงที่ของระบบในการใช้เวลานับวัดที่ยาวนาน

เนื่องจากการตรวจวัดกัมมันตรังสีในตัวอย่างอาหารและสิ่งแวดล้อม จะต้องดำเนินการทั้งในภาวะปกติและภาวะฉุกเฉินทางรังสีรวมถึงการตรวจวัดรังสีในอาหารนำเข้า ส่งออก เพื่อการประกันคุณภาพทางรังสี การตรวจวัดรังสีในสถานะฉุกเฉินใช้เวลานับวัดสั้น เนื่องจากมีระดับของการปนเปื้อนสูง แต่สำหรับการตรวจวัดปริมาณซีเซียม-137 ในตัวอย่างอาหารและสิ่งแวดล้อม เพื่อการเฝ้าระวังทางรังสี และในทางการค้า นั้นจะต้องใช้เวลานับวัดที่นาน การกำหนดเวลานับวัดที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์และชนิดของตัวอย่างจะช่วยให้ผลตรวจวัดมีความถูกต้องแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถกำหนดแผนการปฏิบัติงานรวมทั้งการตรวจวัดรังสี เพื่อให้การให้บริการทางการค้าที่มีประสิทธิภาพ และรวดเร็วยิ่งขึ้น

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์

- ระบบวัดแกมมาสเปกโตรสโกปี โดยใช้หัววัดรังสี HPGe 2 ชุด
- เครื่องชั่ง 1 ชุด
- Marinelli Beaker ขนาด 1 ลิตร
- ถุงพลาสติกใสขนาดบรรจุ 5 กิโลกรัม

ตัวอย่าง

- ตัวอย่างนมผงนำเข้าและส่งออก จำนวน 6 ตัวอย่าง
- ตัวอย่างข้าวสารเจ้าส่งออก จำนวน 1 ตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่าง

คัดเลือกตัวอย่างนมผงนำเข้าที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา สุ่มตัวอย่างและส่งให้สำนักงานมาตรฐานตรวจวัดหาปริมาณการปนเปื้อนของ ซีเซียม -137 และตัวอย่างข้าวสารเจ้าส่งออกที่ส่งสำนักงานมาตรฐานเพื่อสันติเพื่อตรวจวัดและรับรองปริมาณกัมมันตภาพรังสี

การเตรียมตัวอย่างและการนับวัด

ชั่ง Marinelli Beaker ขนาด 1 ลิตร บรรจุตัวอย่างนมผงและข้าวสารเจ้าลงใน Marinelli Beaker ให้เต็ม และนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักสุทธิของตัวอย่าง Marinelli Beaker ที่มีตัวอย่างบรรจุลงในถุงพลาสติกใสเพื่อป้องกันการเปราะเปื้อนที่หัววัดรังสี ทำการวัดรังสีในตัวอย่างที่เวลาต่างกันโดยเริ่มตั้งแต่ 1000 วินาทีและเพิ่มขึ้นครั้งละ 1000 วินาทีจนถึง 20000 วินาทีจากนั้นเพิ่มเป็น 30000 วินาที และ 50000 วินาทีตามลำดับ

การปรับเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด

ใช้สารรังสีมาตรฐานรวมที่บรรจุใน Marinelli Beaker ขนาด 1 ลิตร รหัส MP545 ของบริษัท Isotrex สอบเทียบมาตรฐานจาก Deutscher Kalibrierdienst, DKD ,PTB (รหัส DKD-K-06501) เพื่อหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีในการวัดปริมาณ ซีเซียม -137

Counting Geometry

ใช้ Marinelli Beaker ขนาด 1 ลิตร สำหรับบรรจุตัวอย่างและใช้สารรังสีมาตรฐานที่บรรจุใน Marinelli Beaker ขนาด 1 ลิตร เช่นเดียวกัน

ค่าเบคกราวด์

ใช้ค่านับวัดตัวอย่างน้ำกลั่นบรรจุใน Marinelli Beaker ขนาด 1 ลิตร และค่านับวัดของหัววัดรังสีเปล่า

การคำนวณค่า Lower Limit of Detection (LLD) และค่า Minimum Detectable Concentration (MDC)

ใช้สมการการคำนวณจาก IAEA Technical Report Series No.295 ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- Lower Limit of Detection (LLD)

$$LLD = \frac{4.66 S_b}{\epsilon P \gamma}$$

เมื่อ

S_b คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรานับวัดสุทธิ

ϵ คือค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานต่างๆ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

$P \gamma$ คือค่าโอกาสของการสลายตัว (absolute transition probability) ของการสลายตัวของธาตุ
กัมมันตรังสีซึ่งมีการแผ่รังสีแกมมาซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

- Minimum Detectable Concentration (MDC)

$$MDC = \frac{4.66 S_b}{\epsilon P \gamma W}$$

เมื่อ

W คือค่าน้ำหนักของตัวอย่างมีหน่วยเป็น กิโลกรัม

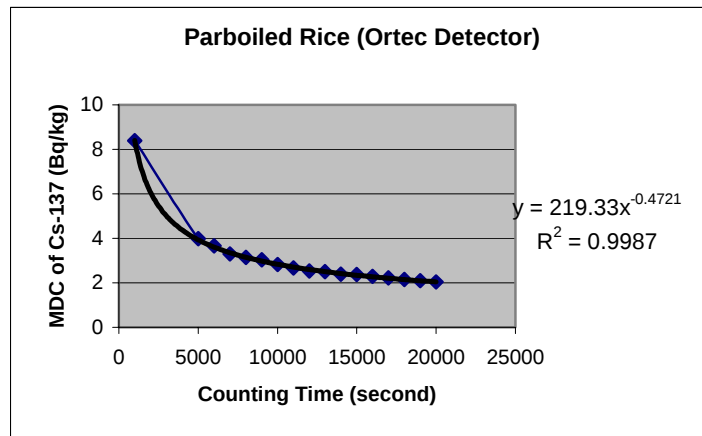
ผลการทดลอง

1. ผลการตรวจวัดปริมาณซีเซียม-137 ในตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 1.1

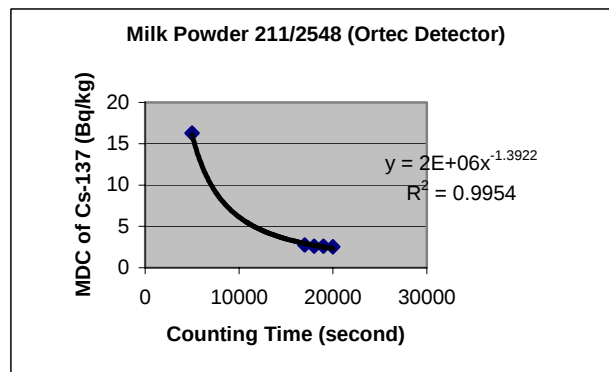
ตารางที่ 1.1 ปริมาณ ซีเซียม-137 ในตัวอย่างที่นำมาตรวจวัดโดยใช้ระบบวัดซีท้อ Ortec

ชื่อตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	ปริมาณซีเซียม-137 (Bq/kg)	หมายเหตุ
แบคกราวด์หัววัดเปล่า	-	-	เวลานับวัด 50,000 วินาที ไม่พบฟิสิก ซีเซียม-137
แบคกราวด์น้ำกลั่น	-	-	เวลานับวัด 50,000 วินาที ไม่พบฟิสิก ซีเซียม-137
ข้าวเหนียว	136/2548	0.78 ± 0.44	เวลานับวัด 20,000 วินาที
นมผง	211/2548	1.39 ± 0.54	เวลานับวัด 20,000 วินาที
นมผง	0111/2547	3.27 ± 0.60	เวลานับวัด 20,000 วินาที
นมผง	0020/2547	17.44 ± 0.72	เวลานับวัด 50,000 วินาที
นมผง	210/2548	0.66 ± 0.51	เวลานับวัด 50,000 วินาที
นมผง	2029/2549	0.52 ± 0.17	เวลานับวัด 45,000 วินาที
นมผง	212/2548	-	เวลานับวัด 50,000 วินาที ไม่พบฟิสิก ซีเซียม-137

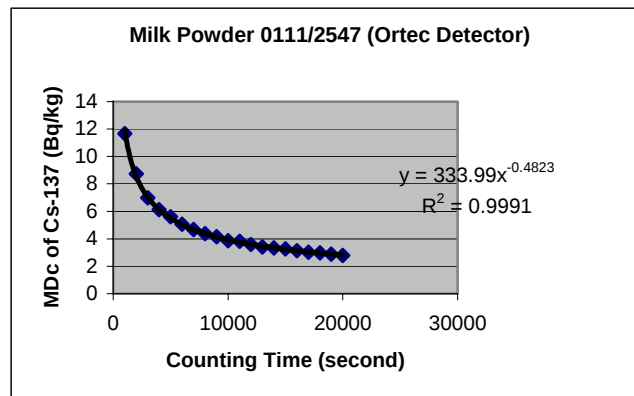
2. กราฟ และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลานับวัดและค่า Minimum Detectable Concentration (MDC) วัดโดยหัววัดรังสียี่ห้อ Ortec ดังแสดงในรูปที่ 2.1-2.5 วัดโดยหัววัดรังสียี่ห้อ Canberra ดังแสดงในรูปที่ 2.6-2.7



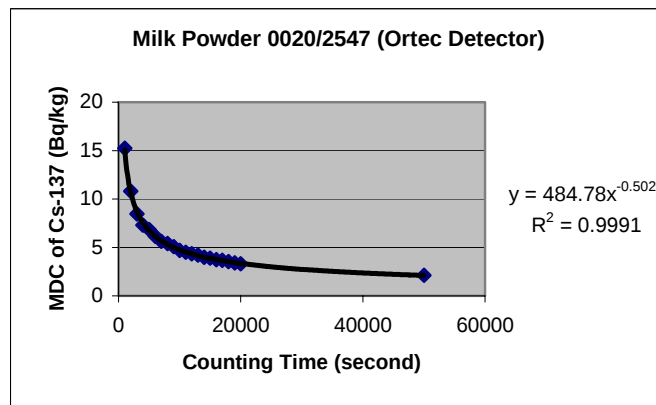
รูปที่ 2.1 กราฟ และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลานับวัดและค่า Minimum Detectable Concentration (MDC) ของตัวอย่างข้าวเหนียววัดด้วยหัววัดยี่ห้อ Ortec



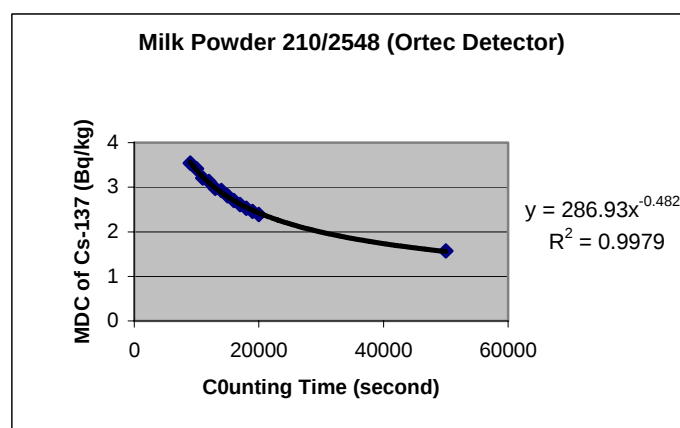
รูปที่ 2.2 กราฟ และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลานับวัดและค่า Minimum Detectable Concentration (MDC) ของตัวอย่างนมผงรหัส 211/2548 วัดด้วยหัววัดยี่ห้อ Ortec



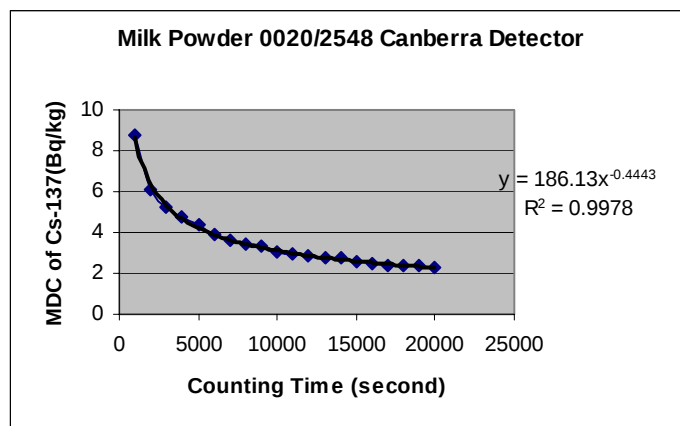
รูปที่ 2.3 กราฟ และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลานับวัดและค่า Minimum Detectable Concentration (MDC)ของตัวอย่างนมผงรหัส 0111/2547วัดด้วยหัววัดยี่ห้อ Ortec



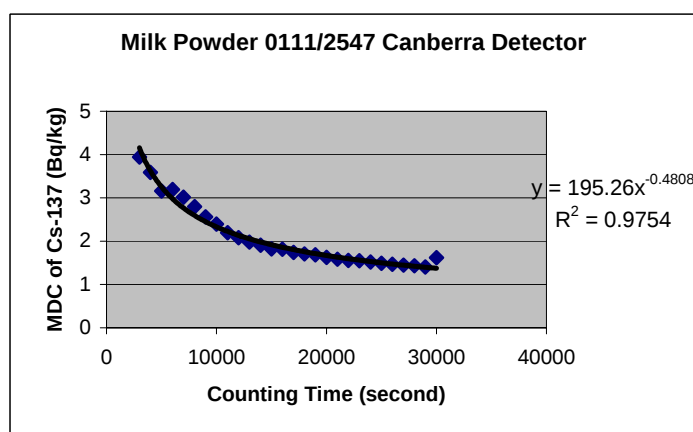
รูปที่ 2.4 กราฟ และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลานับวัดและค่า Minimum Detectable Concentration (MDC)ของตัวอย่างนมผงรหัส 0020/2547วัดด้วยหัววัดยี่ห้อ Ortec



รูปที่ 2.5 กราฟ และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลานับวัดและค่า Minimum Detectable Concentration (MDC)ของตัวอย่างนมผงรหัส 210/2548วัดด้วยหัววัดยี่ห้อ Ortec



รูปที่ 2.6 กราฟ และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลานับวัดและค่า Minimum Detectable Concentration (MDC) ของตัวอย่างนมผงรหัส 0020/2548 วัดด้วยหัววัดยี่ห้อ Canberra



รูปที่ 2.7 กราฟ และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลานับวัดและค่า Minimum Detectable Concentration (MDC) ของตัวอย่างนมผงรหัส 0111/2547 วัดด้วยหัววัดยี่ห้อ Canberra

3. ตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองเพื่อทำการตรวจวัดหาปริมาณการปนเปื้อน Cs-137 มีปริมาณการปนเปื้อนที่แตกต่างกัน ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของการปนเปื้อนต่ำ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าสูง แม้ว่าจะเพิ่มเวลานับวัดให้ยาวนานมากขึ้นก็ตาม และในตัวอย่างรหัส 212/2548 ไม่ปรากฏพีคของ Cs-137 เมื่อเพิ่มเวลานับวัดไปจนถึง 50000 วินาที ในกรณีนี้ ถึงแม้จะเพิ่มเวลานับวัดต่อไปอาจจะไม่พบการปนเปื้อนเนื่องจากปริมาณการปนเปื้อนมีระดับต่ำกว่าขีดจำกัดของหัววัดรังสีหรืออาจจะไม่มีการปนเปื้อนก็ได้ ค่าที่แสดงในตาราง 1.1 ได้จากผลการวัดรังสีโดยใช้เวลานับวัดสูงสุดของแต่ละตัวอย่าง

4. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการนับวัดและค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถนับวัดได้ สามารถแสดงได้ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ที่แน่นอนในแต่ละตัวอย่าง และมีค่าคงที่ซึ่งแตกต่างกันไป

5. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการนับวัดและค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถนับวัดได้ ของทุกตัวอย่างและทั้งสองระบบวัด พบว่าเมื่อเวลานับวัดมากกว่า 15,000 วินาที ค่า MDC มีค่าลดลงเล็กน้อย และที่เวลานับวัด 50,000 วินาที ค่า MDC มีค่าลดลงน้อยมาก ซึ่งแสดงว่าแม้ว่าจะเพิ่มเวลานับวัดต่อไปอีก ก็ไม่สามารถทำให้ค่า MDC ลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

6. ตัวอย่างนมผงรหัส 0111/2547 และ 0020/2548 ได้ทำการวัดรังสีโดยใช้ระบบแกมมาสเปกโตรสโคปีทั้งสองชุดซึ่งต่างห้อยกันและค่าความถี่ในการเพิ่มเวลานับวัดตัวอย่างรหัส 0111/2547 มีความแตกต่างกัน สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากกราฟมีค่าคงที่ที่แตกต่างกัน และเมื่อแทนค่า x ซึ่งเป็นค่าเวลาที่ใช้ในการนับวัดที่เป็นค่าเดียวกันทั้งสองสมการ ค่า y ที่ได้ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถนับวัดได้จึงมีความแตกต่างกัน ตัวอย่างรหัส 0020/2548 ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่มีความแตกต่างกันถึงแม้จะเป็นตัวอย่างตัวเดียวกันวิธีการตรวจวัดเหมือนกันก็ตาม

บทวิจารณ์สรุปผล

จากผลการทดลองตรวจวัดหาธาตุกัมมันตรังสี ซีเซียม-137 ซึ่งมีปริมาณน้อยในตัวอย่างข้าวและนมผงนั้น สามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดเวลานับวัดที่เหมาะสมสำหรับตรวจวัดรังสีในตัวอย่างอาหารหรือสิ่งแวดล้อมอื่นๆซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการตรวจวัดแตกต่างกันไป ทั้งนี้จะต้องกำหนดปริมาณต่ำสุดที่ยอมรับได้ และจากผลการทดลองสมการทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการนับวัดและค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่นับวัดได้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการนับวัดของหัววัดรังสีแต่ละตัวไม่ได้ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการนับวัด การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการนับวัดสามารถลดค่าขีดจำกัดในการนับวัดไปได้ที่ระดับหนึ่งเท่านั้น โดยที่ปัจจัยที่จะมีผลต่อค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่นับวัดได้จะประกอบไปด้วย ตัวอย่างมีปริมาณน้อยเกินไป ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีมีค่าต่ำ เวลานับวัดมีจำกัด ค่าแบคกราวด์สูง สิ่งรบกวนอื่นๆในการวัดรังสี ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าการดำเนินการเกี่ยวกับการกำหนดขีดจำกัดในการวัดปริมาณรังสีควรจะต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ขีดจำกัดในการนับวัดจะต้องกำหนดไว้ในวิธีการตรวจวัดหรือข้อกำหนดถ้าหากไม่ได้กำหนด

ไว้ ห้องปฏิบัติการจะต้องเลือกค่าขีดจำกัดในการนับวัดที่เหมาะสมกับเครื่องมือและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการตรวจวัด

2. ขีดจำกัดในการนับวัดควรจะต้องเริ่มจากการกำหนดไอโซโทปรังสีที่จะทำการตรวจวัดในตัวอย่างแต่ละชนิดและแต่ละวิธีการ โดยที่ไอโซโทปรังสีตัวอื่น ๆ รวมทั้งค่ารบกวนต่างๆจะต้องไม่มีผลต่อการนับวัด
3. จะต้องหาค่าขีดจำกัดในการนับวัดทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนวิธีการนับวัดที่อาจจะมีผลกระทบต่อความไวของการตรวจวิเคราะห์
4. ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างควรที่จะรวมอยู่ในการหาค่าขีดจำกัดในการนับวัด
5. ข้อมูลสนับสนุนจะต้องเก็บไว้สำหรับกรณีมีการนำมาใช้ใหม่ในการหาขีดจำกัดในการนับวัด
6. ในกรณีห้องปฏิบัติการตรวจวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมจะต้องระบุวิธีการที่เกี่ยวข้องกับขีดจำกัดในการนับวัด
7. ปริมาณต่ำสุดที่นับวัดได้จะต้องกำหนดไว้ให้ชัดเจนและจะต้องสูงกว่าค่าขีดจำกัดในการนับวัดได้ของเครื่องมือแต่ละตัว

เอกสารอ้างอิง

1. International Atomic Energy Agency, 1989. Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. Technical Report Series No. 295, Vienna, 47-67.
2. Gordon Gilmore, John D. Hemingway, 2004. Practical Gamma-Ray Spectrometry. 1995 John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, p. 104-127, 237-271.
3. D.A. Gedcke, How Counting Statistics Controls Detection Limits and Peak Precision. Ortec AN59 Application Note, www.ortec-online.com, Oak Ridge, TN37831-0895 U.S.A.