

การวัดคุณภาพและปริมาณรังสีแกมมาในดิน โดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียม

ความบริสุทธิ์สูง (HPGe)

ดวงชีวัน จันเครื่อง^a ธารทิพย์ ก้อนแก้วมูล^a นเรศร์ จันทน์ขาว^b ธวัชชัย อธิพิณธนกร^c
และ พรรรัตน์ ศรีสวัสดิ์^{a,*}

Quantitative and Qualitative Analysis of Gamma-Rays in Soil Using a High-Purity Germanium Detector

Duangcheewan Chankrueng^a, Tharnthip Konkaewmool^a, Nares Chankow^b,
Thawatthai Ittipoolthanakorn^c and Pornrad Srisawad^{a,*}

^aภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

^bภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

^cสำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพฯ 10900

^aDepartment of Physics, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand.

^bDepartment of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

^cBureau of Technical Support for Safety Regulation Office of Atoms for Peace, Bangkok 10900, Thailand.

Received 21 March 2008; accepted

บทคัดย่อ

การวัดรังสีแกมมาในพื้นที่จริงโดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อหาปริมาณ โพแทสเซียม-40, ยูเรเนียม-238 และทอเรียม-232 ในดิน การวิจัยนี้ได้ทำการวัดรังสีแกมมาจากพื้นดินในพื้นที่จริงสี่บริเวณ ได้แก่ บริเวณทุ่งนาคลองหนองเหล็ก, สนามหญ้าหน้าหอพักหญิง 3-4 ของมหาวิทยาลัยนเรศวร, บ้านวังมะปราง อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์ และเหมืองแร่สุริยะ จ.เพชรบูรณ์ ได้ความเข้มข้นจำเพาะของโพแทสเซียม-40, ยูเรเนียม-238 และทอเรียม-232 เท่ากับ 296.00-629.00, 209.79-296.00 และ 29.60-74.00 Bq/kg ตามลำดับ จากการเก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการโดยการนำไปอบให้แห้ง บดให้ละเอียด และบรรจุลงในกล่องพลาสติก หาค่าความเข้มข้นจำเพาะของโพแทสเซียม-40, ยูเรเนียม-238 และทอเรียม-232 ได้เท่ากับ 121.50-636.20, 116.56-246.36 และ 15.40-67.74 Bq/kg ตามลำดับ

คำสำคัญ: หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์; รังสีแกมมา; โพแทสเซียม-40; ยูเรเนียม-238; ทอเรียม-232

Abstract

In situ gamma-ray measurement using HPGe detector have been widely used for determination of K-40, U-238, and Th-232 in soil. Measurement of gamma-rays in soil from four selected areas were carried out i.e. the Klongnonglake's field, the garden around the 3rd and 4th woman dormitory of Naresuan University, Ban Wangmaprang Wangpong District of Phechaboon province and Suriya Mine of Phechaboon province. The specific activities of K-40, U-238 and Th-232 were found to be in the ranges of 296.00-629.00, 209.79-296.00 and 29.60-74.00 Bq/kg respectively. The soil samples were also taken for laboratory analysis. The samples were air-dried, finely ground then sealed in plastic containers. The specific activity of K-40, U-238 and Th-232 were found to be in the ranges of 121.50-636.20, 116.56-246.36 and 15.40-67.74 Bq/kg respectively.

Keywords: HPGe Detector; Gamma-ray; K-40; U-238; Th-232

บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม วิศวกรรม การทหาร และการผลิตกระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ซึ่งถ้ามีการรั่วไหลของกัมมันตภาพรังสีก็จะทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้น โดยหลักสากลแล้ว ประเทศที่มีการใช้พลังงานนิวเคลียร์จะมีการตรวจวัด

รังสีอย่างต่อเนื่อง แต่ประเทศที่ไม่มีการใช้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก็จำเป็นต้องจะมีการตรวจวัดเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากอุบัติเหตุทางรังสีสามารถที่จะฟุ้งกระจายตามกระแสลมที่พัดออกสู่บริเวณใกล้เคียงตามสภาวะอากาศได้ ผลภาวะทางรังสีเราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่จะเกิดการสะสมในร่างกายของมนุษย์ กัมมันตภาพรังสีมีแหล่งกำเนิดใหญ่ๆ 2 แหล่ง คือ กัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ จะเห็นได้ว่า กัมมันตภาพรังสีอยู่รอบๆ ตัวเราตลอดเวลา

ดังนั้น การตรวจวัดรังสีจึงจำเป็นและเป็นประโยชน์อย่างมากในแง่ของการวัดการหาปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อม เช่น ในดิน ในน้ำ ในอากาศ และในพืช จึงเป็นมาตรการหนึ่งในการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดจากการใช้พลังงานนิวเคลียร์และรังสีจากกิจกรรมต่างๆ ได้ นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติทั่วไปในสิ่งแวดล้อมจะมีปริมาณต่ำและที่แปรเปลี่ยนจากการใช้พลังงานนิวเคลียร์และรังสีสามารถตรวจวัดด้วยเครื่องวัดรังสีที่มีประสิทธิภาพสูง

โดยทั่วไปการหาปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อมทำได้โดยเก็บตัวอย่างไปวัดรังสีในห้องปฏิบัติการแล้วนำไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ซึ่งต้องมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และวัดรังสีอย่างน้อย 1-2 ชั่วโมง การวัดรังสีแกมมาเป็นวิธีที่สะดวก เนื่องจากรังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงสูง จึงมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยากมากนัก นอกจากนี้ การวัดรังสีแกมมายังสามารถตรวจวัดได้ในภาคสนามซึ่งใช้หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (HPGe) แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีแต่ละชนิด จากความเข้มข้นของรังสีแต่ละพลังงานซึ่งวิธีนี้มีความไวสูง แต่เราจำเป็นต้องมีการปรับเทียบหัววัดให้เหมาะสม (นภลัย และคณะ, 2541; ภารดี, 2539; อภิญา, 2543; Miller & Shell, 1993; Turner, 1999)

ได้มีการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนและการแจกแจงของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติในหลายจังหวัดสงขลา โดยประสงค์ และคณะ (2550) โดยได้ทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะ และการแจกแจงของนิวไคลด์รังสีเริ่มต้น K-40, Ra-226 และ Th-232 ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 80 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดหลักและชายหาดสมิหลา ในจังหวัดสงขลา โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรสโกปี (Gamma Spectroscopy) และใช้จุดกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน Eu-152 ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติในการเปรียบเทียบเพื่อการคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ต้องการ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่คำนวณได้นี้มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 89-963 Bq/kg สำหรับ K-40, 0 - 120 Bq/kg สำหรับ Ra-226 และ 0-319 Bq/kg สำหรับ Th-232 และมีค่าเฉลี่ยเป็น 248 ± 44 Bq/kg, 41 ± 5 Bq/kg และ 64 ± 7 Bq/kg ตามลำดับ ได้นำผลการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการรายงานผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในหลายชายหาดหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ ยังได้นำผลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้นี้ไปคำนวณหาอัตราการปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน และพร้อมกันนี้ได้คำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม เพื่อประเมินค่าการเพิ่มขึ้นของความเป็นอันตรายจากรังสีในธรรมชาติอีกด้วย พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียมที่วัดได้ในตัวอย่างทรายทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดโดยองค์การความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (ประสงค์ และคณะ, 2550; Turner, 1995)

การศึกษานานวิสัยนี้เพื่อวัดปริมาณกัมมันตรังสีของโพแทสเซียมยูเรเนียม และทอเรียม ในดิน โดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเคลื่อนย้ายได้ การวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ในพื้นที่จริง

ทั้งสี่บริเวณ ได้แก่ บริเวณทุ่งนาคลองหนองเหล็ก, สนามหญ้าหน้าหอพักหญิง 3-4 ของมหาวิทยาลัยนครสวรรค์, บ้านวังมะปราง อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์ และเหมืองแร่สุริยะ จ.เพชรบูรณ์ โดยออกภาคสนามซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกเนื่องจากรังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงสูง และขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยากมากนัก นอกจากนี้ การใช้หัววัดเจอร์มาเนียม ความบริสุทธิ์สูงตรวจวัดรังสีแกมมาแล้ว นำไปคำนวณหาความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีแต่ละชนิด จากความเข้มข้นของรังสีแต่ละพลังงานซึ่งวิธีนี้มีความไวสูง แต่จำเป็นต้องมีการปรับเทียบหัววัดให้เหมาะสม

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. ระบบวัดรังสี

1.1 หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (HPGe) มีหน้าที่นับวัดรังสีแกมมา

1.2 Preamplifier มีหน้าที่แปลงสัญญาณที่เกิดจาก หัววัดรังสีแกมมา

1.3 Fast spectroscopy amplifier มีหน้าที่ขยายสัญญาณจาก Preamplifier

1.4 High voltage power supply มีหน้าที่เพิ่มความต่างศักย์ให้กับหัววัด

1.5 Inspector 2000 มีหน้าที่วิเคราะห์สัญญาณ เพื่อแสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมา

1.6 ไมโครคอมพิวเตอร์

2. ขาตั้งเหล็กชนิดสามขา สำหรับตั้งหัววัดรังสี

3. ชุดจุดกำเนิดของรังสีมาตรฐานสำหรับปรับเทียบพลังงานและประสิทธิภาพของหัววัด (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na , ^{133}Ba)

4. โปรแกรมปฏิบัติการ (Microsoft Excel)

การวัดรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียมในดินโดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (HPGe) มี 2 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1. การวัดรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียมในพื้นที่จริงมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดรังสี

1.1 ปรับเทียบหัววัดรังสีกับพลังงาน ($\frac{N}{\Phi}$)

การประเมินค่าการตอบสนองของหัววัดต่อหน่วยของฟลักซ์ของรังสีแกมมาที่ตกกระทบในแนวแกนของหัววัดนั้นสามารถทำได้จากการวัดฟลักซ์ของรังสีแกมมาจากจุดกำเนิดรังสีมาตรฐานแบบจุด (standard point source) หลาย ๆ ชนิดโดยให้พลังงานครอบคลุมจาก 200 keV - 3 MeV และนำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟ ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ใช้รังสีมาตรฐานจำนวน 4 ชนิด คือ ^{137}Cs (662keV), ^{60}Co (1173 keV, 1332 keV), ^{22}Na (511keV, 1275 keV), ^{133}Ba (276.3 keV, 302.7 keV, 355.9 keV, 383.7 keV) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ คือ ทำการติดตั้งหัววัดรังสีติดตั้งเครื่องมือให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน ดังรูปที่ 1 จากนั้นวางต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบบจุด ^{137}Cs ที่ตำแหน่งแนวแกน

ของหัววัดรังสีโดยให้ระยะห่างระหว่างหัววัดกับจุดกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานเท่ากับ 1 เมตร วัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 4,000 วินาที และทำการทดลองซ้ำอีกแต่เปลี่ยนจุดกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานเป็น ^{60}Co , ^{22}Na และ ^{133}Ba ตามลำดับ จากนั้น นับวัดแบบคร่าวๆ 4,000 วินาที นำข้อมูลที่ได้จากการนับวัดรังสีของจุดกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานทั้ง 4 ตัว ลบออกด้วยแบบคร่าวๆ แล้วคำนวณค่าอัตราการดูดกลืนในพีคของพลังงานต่างๆ ในสเปกตรัมพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{N_f}{\Phi}$ กับพลังงาน ให้เป็นเส้นโค้งแนวโน้มหาสมการกำลังสอง เมื่อ $\frac{N_f}{\Phi}$ คือ อัตรานับรังสีสุทธิที่พลังงานนั้นๆ ต่อฟลักซ์ของโฟตอน ณ ตำแหน่งที่หัววัดรังสีอยู่ในแนวเดียวกันกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน (point source) ระยะห่าง 1 เมตร

1.2 เปรียบเทียบหัววัดรังสีกับมุม ($\frac{N_f}{N_o}$)
วัดรังสีแกมมาของจุดกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na และ ^{133}Ba เป็นเวลา 4,000 วินาทีในแนวตั้ง ระยะจากหัววัด 1 เมตร แล้วลบออกด้วยแบบคร่าวๆ ทำการคำนวณหาอัตราการดูดกลืนในพีคของพลังงานต่างๆ ในสเปกตรัมของ แต่ละจุดกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน จากนั้น เปลี่ยนมุมของจุดกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานโดยเพิ่มทีละ 10 องศา ตั้งแต่ 0-90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2 วาดเส้นข้อมูลแนวโน้มที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{N_f}{N_o}$ กับมุมและหาสมการเส้นแนวโน้ม

$$R(\theta) = C_3\theta^3 + C_2\theta^2 + C_1\theta + C_0 \quad (1)$$

เมื่อ $\frac{N_f}{N_o}$ คือ อัตรานับรังสีแกมมาสุทธิที่มุมใด ๆ ต่ออัตรานับรังสีแกมมาสุทธิที่มุม 0 องศา คำนวณค่า

$$\frac{N_f}{N_o} \text{ จากสมการ} \quad \frac{N_f}{N_o} = \frac{1}{\Phi} \int_0^{\pi/2} \frac{d\Phi}{d\theta} R(\theta) d\theta \quad (2)$$

โดยใช้โปรแกรม Excel คำนวณ นำค่า $\frac{N_f}{N_o}$ มาพล็อตกราฟกับค่าพลังงาน และฟิตข้อมูลให้เป็นเส้นแนวโน้ม

1.3 หาค่า $\frac{\Phi}{S}$ ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มของโฟตอนที่พลังงานหนึ่งๆ ต่อความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในดินตามธรรมชาติ (โพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม) จากตารางที่ 1

- เลือกสถานที่ที่เหมาะสมกับการวัดรังสี ดังรูปที่ 3
- เตรียมวัสดุ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
- จัดอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 1 โดยให้มีระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีกับผิวดินเท่ากับ 1 เมตร
- ทำการวัดรังสีแกมมาในสถานที่นั้นๆ จำนวน 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะใช้เวลา 4000 วินาที
- วิเคราะห์หาปริมาณรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม

จากสมการ

$$A = \frac{N}{N_f / S} \quad (3)$$

โดยที่

$$\frac{N_f}{S} = \frac{N_o}{\Phi} \cdot \frac{N_f}{N_o} \cdot \frac{\Phi}{S}$$

ซึ่ง A คือ ความแรงรังสี (pCi/g หรือ Bq/kg)

N คือ อัตรานับรังสีสุทธิ (s^{-1})

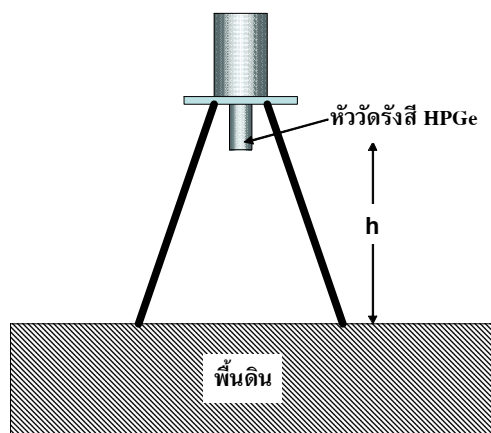
$\frac{N_f}{S}$ คือ อัตรานับรังสีแกมมาสุทธิต่อความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีนั้นๆ ในดิน

$\frac{N_o}{\Phi}$ คือ อัตรานับรังสีสุทธิที่พลังงานนั้นๆ ต่อฟลักซ์ของโฟตอน ณ ตำแหน่งที่หัววัดรังสีอยู่ในแนวเดียวกันกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน (point source) ระยะห่าง 1 เมตร

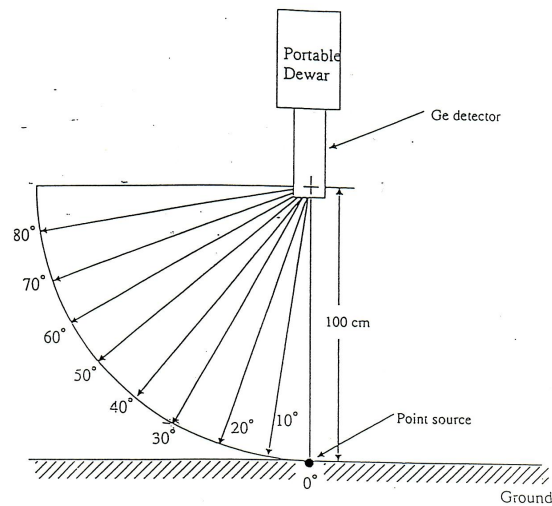
$\frac{N_f}{N_o}$ คือ ค่าปรับแก้ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่มุมต่างๆ ของรังสีแกมมาที่สลายตัวจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่อยู่ในดิน เนื่องจากรังสีแกมมาจากดินมาจากทิศทางต่างๆ กัน คือ จากตำแหน่งที่ความลึกและมุมต่างๆ กัน

$\frac{\Phi}{S}$ คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มของโฟตอนที่พลังงานหนึ่งๆ ต่อความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในดิน

- เปรียบเทียบผลที่ได้กับห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งของหัววัดรังสี



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการวางต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพหัววัดที่มุมต่างๆ

ตารางที่ 1 แสดงค่า $\frac{\Phi}{S}$ และ $\frac{\Phi}{I}$ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามธรรมชาติบางชนิดกรณีการวัดการกระจายของธาตุกัมมันตรังสีในดินตามธรรมชาติ

Nuclide	γ energy (keV)	$\frac{\Phi}{S} (x10^{-2})$ $\gamma cm^{-2}s^{-1}$ per pCi/g	$\frac{\Phi}{I} (x10^{-2})$ $\gamma cm^{-2}s^{-1}$ per $\mu R/h$	Nuclide	γ energy (keV)	$\frac{\Phi}{S} (x10^{-2})$ $\gamma cm^{-2}s^{-1}$ per pCi/g	$\frac{\Phi}{I} (x10^{-2})$ $\gamma cm^{-2}s^{-1}$ per $\mu R/h$
K-40	1461	3.63	20.3	Pb-212	239	7.25	2.57
U-238	Series			Ra-224	241		2.57
Ra-226	186	0.458	0.252	Ac-228	270		3.62
Pb-214	242	1.04	0.571	Tl-208	277	1.02	3.62
	295	2.91	1.6	Ac-228	282		3.62
	352	6.01	3.3	Pb-212	301	0.553	0.196
Bi-214	609	9.42	5.18	Ac-228	338	2.18	0.773
	666	0.339	0.186	Mixed	328-340	2.9	1.03
	768	1.17	0.643	Ac-228	463	0.92	0.326
	934	0.81	0.445	Tl-208	510	1.93	0.684
	1120	4.21	2.31	Tl-208	585	6.39	2.27
	1238	1.72	0.945	Bi-212	727	1.86	0.56
	1378	1.49	0.819	Ac-228			
	1401-08	1.25	0.687	Ac-228	755	0.27	
	1510	0.712	0.391		772	0.41	0.145
	1730	1.02	0.56		795	1.2	0.425
	1765	5.39	2.96		830+835+840	0.94	0.333
	1845	0.791	0.435	Tl-208	860	1.18	0.418
	2205	1.95	1.07	Ac-228	911	7.55	2.68
	2448	0.666	0.366		965+969	6.13	2.17
Th-232	Series				1588	1.23	4.36
Ac-228	129	0.29	0.103	Tl-208	2615	16.7	5.92
	210	0.58	0.206				

ที่มา.

Beck et al. (1972)



รูปที่ 3 ภาพการวัดรังสีพื้นที่จริง

วิธีที่ 2 การวิเคราะห์ปริมาณรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมในห้องปฏิบัติการ

ในการวิเคราะห์ปริมาณรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมในห้องปฏิบัติการนั้น ทำโดยเก็บตัวอย่างในสถานที่นั้น ๆ แห่งละ 3 จุด เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล (นำตัวอย่างดินไปอบไล่ความชื้น และนำตัวอย่างไปบดให้ละเอียด จากนั้น นำตัวอย่างที่ได้บรรจุลงในกล่องตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างดินไว้เป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้การสลายตัวของสารอยู่ในสภาวะที่สมดุล แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ผล) แล้วนำไปวัดสเปกตรัมโดยใช้หัววัด หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (HPGe) โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรสโกปี (Gamma Spectroscopy) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล

ผลการศึกษา

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของรังสีแกมมาจากการวัดในพื้นที่จริงสี่บริเวณ ได้แก่ บริเวณทุ่งนาคลองหนองเหล็ก, สนามหญ้าหน้าหอพักหญิง 3-4 ของมหาวิทยาลัยนเรศวร, บ้านวังมะปราง อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์ และเหมืองแร่สุริยะ จ.เพชรบูรณ์ ได้ความเข้มข้นเฉพาะของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม เท่ากับ 296.00 ± 12.17 Bq/kg ถึง 629.00 ± 17.73 Bq/kg , 209.79 ± 10.24 Bq/kg ถึง 296.00 ± 12.17 Bq/kg และ 29.60 ± 3.85 Bq/kg ถึง 74.00 ± 6.08 Bq/kg ตามลำดับและผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการโดยกลุ่มฝ้าตรวจกัมมันตภาพรังสีสำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ หาค่าความเข้มข้นเฉพาะของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ได้เท่ากับ 121.50 ± 5.46 ถึง 636.20 ± 12.32 , 116.56 ถึง 246.36 ± 54.88 และ 15.4 ± 1.30 ถึง 67.64 ± 2.74 Bq/kg ตามลำดับ

จากตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมในดินบริเวณที่ทำการศึกษ (ทุ่งนาคลองหนองเหล็ก จังหวัดพิษณุโลก, สนามหญ้า หน้าหอพักหญิง 3-4 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก, บ้านวังมะปราง

จังหวัดเพชรบูรณ์, เหมืองแร่สุริยะ จังหวัดเพชรบูรณ์) เทียบกับความเข้มข้นรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมในดินของประเทศไทย ของโลก และประเทศจีน โดยบริเวณที่ศึกษาได้ค่าความเข้มข้นรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ดังนี้ $296 - 629$ Bq/kg, $209 - 296$ Bq/kg , $29 - 74$ Bq/kg ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นรังสีแกมมาของโพแทสเซียม และทอเรียมในดินของประเทศไทย มีค่าดังนี้ $7 - 720$ Bq/kg, $11 - 123$ Bq/kg ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมในดินของประเทศจีน มีค่าดังนี้ $12 - 2185$ Bq/kg, $2 - 520$ Bq/kg, $1 - 457$ Bq/kg ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมในดินของโลก มีค่าดังนี้ $140 - 850$ Bq/kg, $16 - 110$ Bq/kg และ $11 - 64$ Bq/kg ตามลำดับ

อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการวัดปริมาณความเข้มข้นรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม โดยวัดในภาคสนาม (In-Situ) และวัดในห้องปฏิบัติการโดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรสโกปีทั้ง 4 บริเวณ ได้แก่ บริเวณทุ่งนาคลองหนองเหล็ก, หอพักหญิง 3-4 มหาวิทยาลัยนเรศวร, บ้านวังมะปราง อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์ และเหมืองแร่เหล็กสุริยะ จ.เพชรบูรณ์ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นรังสีแกมมาจากการวัดในภาคสนาม และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการโดยกลุ่มฝ้าตรวจกัมมันตภาพรังสี สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ พบว่า ได้ค่าต่างกันแต่ละบริเวณดังนี้ บริเวณทุ่งนาคลองหนองเหล็กมีปริมาณรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมของทั้งสองวิธีต่างกัน 1.13%, 25.0% และ 9.40% ตามลำดับ บริเวณหอพักหญิง 3-4 มหาวิทยาลัยนเรศวรมีปริมาณรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ของทั้งสองวิธีต่างกัน 46.0%, 15.0% และ 29.0% ตามลำดับ ดินบริเวณบ้านวังมะปราง อ.วังโป่ง จ. เพชรบูรณ์ มีปริมาณรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม

ของทั้งสองวิธีต่างกัน 42.0%, 5.70% และ 72.0% ตามลำดับ ดินบริเวณเหมืองแร่สุริยะ จ. เพชรบูรณ์ มีปริมาณรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ของทั้งสองวิธี 49.0%, 58% และ 91% ตามลำดับ ปริมาณรังสีแกมมาของโพแทสเซียมมีปริมาณมากที่สุด 296.00 ± 12.17 Bq/kg ถึง 629.00 ± 17.73 Bq/kg รองลงมาได้แก่ ยูเรเนียมมีปริมาณ 209.79 ± 10.24 Bq/kg ถึง 296.00 ± 12.17 Bq/kg และทอเรียมมีปริมาณ 15.4 ± 1.30 Bq/kg ถึง 67.64 ± 2.74 Bq/kg ปริมาณรังสีแกมมาของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมของทั้งสองวิธีต่างกัน แนวโน้มค่าเบคกราวด์จากการวัดในภาคสนามจะสูงกว่าในห้องปฏิบัติการ อาจเกิดจากสาเหตุเนื่องจากไม่มีการกำบัง และมีการรบกวนจากของไอโซโทปอื่นในบรรยากาศ ที่อาจให้รังสีแกมมาในพลังงานใกล้เคียงกันสำหรับการเก็บตัวอย่าง เพื่อวัดในห้องปฏิบัติการอาจไม่เป็นตัวแทนแทนพื้นที่อย่างแท้จริง นอกจากนี้ การวัดตัวอย่างโดยระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตริกแต่ละครั้ง แม้ในการวัดตัวอย่างเดียวกัน และใช้ระบบวัดเดียวกัน รวมทั้งควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการวัดทุกอย่างให้เหมือนกัน ก็ยังให้ผลที่ไม่มีทางเท่ากันเสมอ ซึ่งค่าความแตกต่างนี้จะลดให้น้อยลงได้ด้วยการเพิ่มจำนวนครั้งการวัดให้มากขึ้น เมื่อพิจารณาการคำนวณยูเรเนียมมีระดับความผิดพลาดสูง เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของรังสีแกมมาน้อย ทำให้การคำนวณแต่ละครั้งมีความแตกต่างสูง เมื่อพิจารณาเวลาการวัดบริเวณภาคสนาม 4000 วินาที อาจจะน้อยเกินไปเมื่อเทียบกับในห้องปฏิบัติการ

ที่ใช้เวลาในการวัดนาน 60,000 – 80,000 วินาที นอกจากนั้นคำนวณที่ต่างกันก็มีผล เนื่องจากค่าตัวประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับหนึ่งเสมอ ดังนั้น หากใช้ตัวประกอบต่าง ๆ มากขึ้น ก็จะทำให้การคำนวณมีความผิดพลาดสูงตามไปด้วย บริเวณที่มีปริมาณ โพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมมากที่สุดได้แก่ บริเวณทุ่งนาคลองหนองเหล็ก ซึ่งมีความเข้มข้นเฉพาะ 629.00 ± 17.73 Bq/kg , 296.00 ± 12.17 Bq/kg และ 74.00 ± 6.08 Bq/kg ตามลำดับ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งฟอสฟอรัสได้จากแร่ฟอสเฟตซึ่งเป็นแร่ที่มีระดับยูเรเนียมสูง จากตารางที่ 3 แสดงค่าเปรียบเทียบปริมาณรังสีแกมมาในดินของโพแทสเซียมของผลการศึกษาค้นคว้านี้ เมื่อเทียบกับของประเทศไทย และของโลกพบว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วงขอบบนของข้อมูลของประเทศไทย และของโลก และอยู่ในช่วงกลางเมื่อเทียบกับข้อมูลของประเทศจีน ค่าเปรียบเทียบปริมาณรังสีแกมมาในดินของยูเรเนียมของผลการศึกษาค้นคว้านี้กับระดับปริมาณรังสีแกมมาของประเทศไทย พบว่า ค่าที่ได้อยู่ในช่วงขอบล่างของข้อมูลของประเทศไทยและอยู่นอกช่วงเมื่อเทียบข้อมูลของโลก และค่าเปรียบเทียบปริมาณรังสีแกมมาในดินของทอเรียมของผลการศึกษาค้นคว้านี้ เมื่อเทียบกับของประเทศไทย และของประเทศจีน พบว่าค่าอยู่ในช่วงขอบล่างของข้อมูลของประเทศไทย และของประเทศจีน และ อยู่ในช่วงเดียวกันเมื่อเทียบกับข้อมูลของโลก

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของรังสีแกมมาจากการวัดในภาคสนามและผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการโดยกลุ่มเผ่าตรวจกัมมันตภาพรังสี สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ตัวอย่างดิน	กัมมันตรังสี	ค่าความเข้มข้นของรังสีแกมมาที่วัดได้จากภาคสนาม (Bq/kg)	ค่าความเข้มข้นของรังสีแกมมาที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Bq/kg)
ดินทุ่งนา คลองหนองเหล็ก	K-40	629.00 ± 17.73	636.20 ± 12.32
	U-238	296.00 ± 12.17	MDC=236.63
	Th-232	74.00 ± 6.08	67.64 ± 2.74
หอพักหญิง 3-4 มหาวิทยาลัยนเรศวร	K-40	592.00 ± 17.20	405.11 ± 9.73
	U-238	209.79 ± 10.24	246.36 ± 54.88
	Th-232	59.2 ± 5.44	45.89 ± 1.93
ดินบ้านวังมะปราง อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์	K-40	172.79 ± 13.14	121.50 ± 5.46
	U-238	123.21 ± 11.10	MDC=116.56
	Th-232	37.00 ± 6.08	21.50 ± 1.42
ดินเหมืองแร่สุริยะ จ.เพชรบูรณ์	K-40	296.00 ± 12.17	198.74 ± 7.09
	U-238	234.21 ± 10.82	MDC=147.99
	Th-232	29.6 ± 3.85	15.47 ± 1.30

หมายเหตุ.

MDC หมายถึง ค่าต่ำสุดที่สามารถวัดได้

อภิญา จาดศรี. (2543). การวัดรังสีแกมมาของโพแทสเซียมยูเรเนียมและทอเรียมโดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (HPGe). พิษณุโลก: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Beck, H. L., De Campo, J., & Gogolak, C., (1972). *In situ Ge (Li) and NaI (Tl) gamma-ray spectrometry*. New York: US Atomic Energy Commission Report HASL-258.

Miller, K. M., & Shell, P. (1993). *Environmental measurement laboratory*. New York: U.S Department of Energy.

Turner, J. E. (1995). *Atoms radiation and radiation protection* (2nd Ed.). New York: Wiley Interscience.

Wang, N., Xiao, L., Li, C., Huang, Y., Pei, S., Liu, S., et al. (2005). Determination of radioactivity level of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in surface medium in Zhuhai City by in-situ Gamma-ray spectrometry. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 42, 888-896