

ES03: การตรวจวัดเบริลเลียม-7 ในผักตบชวาโดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี

*นพพร ยิ้มแฉ่ง¹ นเรศร์ จันทน์ขาว¹ และอุดร ยังช่วย²

¹ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กทม.10330

โทรศัพท์ : (02) 218-6781 โทรสาร : (02) 218-6770 E-Mail: fnenck@eng.chula.ac.th

²สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 16 ถ.วิภาวดีรังสิต ลาดยาว จตุจักร

กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์ : (02) 596 7600 โทรสาร : (02) 579 0220

บทคัดย่อ

เบริลเลียม-7 (Be-7) เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกในบรรยากาศเบื้องบน และเข้ามาสู่บรรยากาศด้านล่างโดยกระบวนการหมุนเวียนของบรรยากาศ ประมาณร้อยละ 90 ของเบริลเลียม-7 สลายตัวโดยการจับอิเล็กตรอนเกิดเป็นลิเทียม-7 ที่สภาวะพื้นโดยตรง และอีกประมาณร้อยละ 10 ได้ลิเทียม-7 ที่สภาวะกระตุ้น แล้วตามด้วยการปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงาน 477.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ด้วยค่าครึ่งชีวิต 53.3 วัน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการวัดความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมซึ่งรวมทั้งน้ำ และในพืชน้ำบางชนิด จากการวิจัยเบื้องต้นโดยการวัดรังสีแกมมาพลังงาน 477.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ พบว่า สามารถตรวจพบเบริลเลียม-7 ในผักตบชวา จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างผักตบชวาในช่วงเวลาต่าง ๆ กันของปี พ.ศ. 2550-2551 จากบริเวณหนึ่งในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เพื่อทำการวัดรังสีแกมมาพลังงาน 477.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ด้วยหัววัดรังสีเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง จากผลที่ได้พบว่าปริมาณเบริลเลียม-7 จะมีค่าสูงในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือนตุลาคม 2550 และ เดือน มิถุนายน 2551 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน โดยมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 อยู่ระหว่าง 3 - 5 เบคเคอเรลต่อกิโลกรัม ส่วนในช่วงฤดูแล้ง คือ ฤดูหนาว และฤดูร้อนของปี มีค่าความแรงรังสีจำเพาะน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ ความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พบในผักตบชวา ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกตามที่ได้คาดไว้

คำสำคัญ: เบริลเลียม-7 ผักตบชวา นิวไคลด์กัมมันตรังสี รังสีคอสมิก

Measurement of Beryllium-7 in Water Hyacinth Using Gamma-Ray Spectrometry

* Nopporn Yimchalam¹, Nares Chankow¹ and Udon Yangchaui²

¹Department of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330. Phone: (02) 218-6781 , Fax: (02) 218-6770, E-Mail: fnenck@eng.chula.ac.th

²Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization) 16 Vibhavadi Rangsit Road, Bangkok 10900.

Abstract

Beryllium-7 (Be-7) is a cosmogenic radionuclide produced in the upper atmosphere and enters the lower atmosphere by atmospheric circulation processes. About 90 % of Be-7 decays directly through electron capture

to Li-7 at ground state and about 10% to Li-7 at 1^{st} excited state followed by 477.6 keV gamma-ray emission with a half-life of 53.3 days. The aim of this research was to measure ^7Be activity in environmental samples including water and aquatic plants. From the preliminary investigation by measurement of the 477.6 keV gamma-ray peak, Be-7 could be found in fresh Water Hyacinth samples. Thus, Water Hyacinth samples were then collected at different times of the year 2007 - 2008 in an area of Bang Khaen campus of Kasetsart University for determination of Be-7 activity using a HPGe detector. It was found that Be-7 specific activity was about 3 - 5 Bq/kg in the samples collected in rainy season during August-October 2007 and in June 2008 but could not detect in dry seasons i.e. summer and winter. The specific activity of Be-7 in Water Hyacinth sample depended on rainfalls as expected.

Keywords: Beryllium-7, Cosmogenic radionuclide, Water Hyacinth, Gamma-ray Spectrometry

1. บทนำ

เบริลเลียม-7 เป็นสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและปะปนอยู่ที่พื้นผิวโลก ซึ่งเกิดจากรังสีคอสมิกที่มีพลังงานสูงผ่านเข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก ทำปฏิกิริยาแบบ Spallation กับธาตุเบา ๆ ในอากาศ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน ในบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียตอนล่าง และชั้นโทรโพสเฟียตอนบน ผลของปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดนิวไคลด์ต่าง ๆ ขึ้น และนิวไคลด์บางชนิดก็เป็นสารกัมมันตรังสี เช่น ทริเทียม (H-3), เบริลเลียม-7 (Be-7), คาร์บอน-14 (C-14) เป็นต้น เมื่อนิวไคลด์กัมมันตรังสีซึ่งอยู่ในชั้นบรรยากาศรวมตัวกับฝุ่นละอองเล็ก ๆ (aerosol) แล้วฝุ่นละอองเหล่านั้นเกิดการรวมตัวกับไอน้ำในอากาศ เรียกว่า “น้ำฟ้า (Precipitation)” เช่น น้ำฝน หิมะ ลูกเห็บ เมื่อน้ำฝน หิมะ ลูกเห็บตกลงมาสู่พื้นผิวโลก¹ จึงมีสารกัมมันตรังสีปะปนตามมามีด้วย

สารกัมมันตรังสีที่พบในสิ่งแวดล้อมสามารถเคลื่อนไปสู่พืชได้ 2 วิธี คือ สารกัมมันตรังสีถูกดูดซึมจากดินผ่านรากของพืช และสารกัมมันตรังสีถูกดูดซับโดยตรงผ่านส่วนต่าง ๆ ของพืชที่สัมผัสกับอากาศ² ดังนั้น จึงสามารถตรวจวัดสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำฝน หิมะ ลูกเห็บ จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบสน ใบหญ้า มอส (moss) บางชนิด ถ้าวัดความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 โดยตรงจากน้ำฝน จะไม่สามารถวัดได้เนื่องจากมีปริมาณน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องใช้พืช เช่น ใบสน ใบหญ้า เป็นตัวดูดซับเบริลเลียม-7 ด้วยกระบวนการเผาผลาญอาหารของพืช (Metabolism) ทำให้สามารถวัดค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝนได้⁴

เบริลเลียม-7 เป็นสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวแบบ Electron capture ปล่อยรังสีแกมมา 10.3 % ที่พลังงาน 477.6 keV กลายเป็นลิเทียม-7 ซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้น เนื่องจากเบริลเลียม-7 มีค่าครึ่งชีวิตสั้น คือ 53.3 วัน ดังนั้นข้อมูลจากการวิจัยจึงเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อหาอายุของน้ำฝนตั้งแต่ฝนตก และหาทิศทางการไหลของน้ำฝนตามบริเวณพื้นดิน เพื่อใช้ประเมินความช่วยเหลือในเรื่องการเก็บ

กักน้ำฝน ดังนั้นการตรวจหาปริมาณเบริลเลียม-7 ในพืชน้ำ จึงเป็นจุดเริ่มต้นในการใช้เบริลเลียม-7 เป็นเครื่องมือในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเล็ก ๆ จากชั้นบรรยากาศลงสู่ผิวดิน และการติดตามการเคลื่อนย้ายของน้ำฝน ตลอดจนการแลกเปลี่ยนและการกระจายของน้ำฝนที่ตกลงมา

สำหรับงานวิจัยนี้มีความสนใจศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในผักตบชวากับช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี และความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในผักตบชวากับค่าปริมาณน้ำฝนที่ตก โดยเก็บตัวอย่างผักตบชวาที่บริเวณคลองน้ำคณะประมงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน จำนวน 10 ตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2551 โดยทำการตรวจวัดค่าความแรงรังสีด้วยหัววัดรังสีเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยความอนุเคราะห์ของหน่วยความปลอดภัย สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

2. วัสดุอุปกรณ์

- 1.1 ภาชนะบรรจุตัวอย่างมาริเนลีสปีกเกอร์
- 1.2 หัววัดรังสีแบบเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ขนาด 2 x 2 นิ้ว ที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ของบริษัท Ortec
- 1.3 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multi Channel Analyser ; MCA) (Despec)
- 1.4 ระบบการวัดวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma Vision-32)
- 1.5 สารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุอยู่ในมาริเนลีสปีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 1 กรัมต่อมิลลิลิตร ของบริษัท Eckert & Ziegler Isotope Products
- 1.6 แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 และ Co-60

3. วิธีการ

เก็บตัวอย่างใบผักตบชวาสดล้างให้สะอาดแล้วเช็ดให้แห้ง หั่นตัวอย่างใบผักตบชวาสดให้มีขนาดเล็กลง แล้วนำไปปั่นให้ละเอียด นำตัวอย่างใบผักตบชวาสดที่ปั่นละเอียดบรรจุลงในมาริเนลีสปีกเกอร์ให้เต็มและอัดตัวอย่างให้แน่น เพื่อให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับสารมาตรฐานและมีลักษณะเช่นเดียวกับสารมาตรฐาน คำนวณหาน้ำหนักสุทธิของตัวอย่างใบผักตบชวาสด ทำการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวัดวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยการวัดปริมาณรังสีแกมมาจากสารมาตรฐาน Multinuclides โดยใช้เวลานับรังสี 80,000 วินาที เมื่อหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีได้แล้ว ทำการวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาของตัวอย่างผักตบชวา โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลานับรังสี 80,000 วินาที เช่นเดียวกับสารมาตรฐาน จน

ครบทั้ง 10 ตัวอย่าง และวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานที่ได้จากการนับรังสีเพื่อคำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะเบริลเลียม-7

4. ผลการทดลอง

การวัดความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในผักตบชวา โดยการวัดพลังงานของรังสีแกมมาโดยตรง ที่พลังงาน 477.6 keV ซึ่งมีค่าการสลายกัมมันตรังสีเท่ากับ 10.3 % โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง จากการเปรียบเทียบได้ประสิทธิภาพสัมบูรณ์ (absolute efficiency) ของหัววัดรังสีนี้ที่พลังงาน 477.6 keV สำหรับตัวอย่างที่บรรจุในมาริเนลลิกเกอร์เท่ากับ 0.999 % เพื่อใช้ในการคำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในผักตบชวา

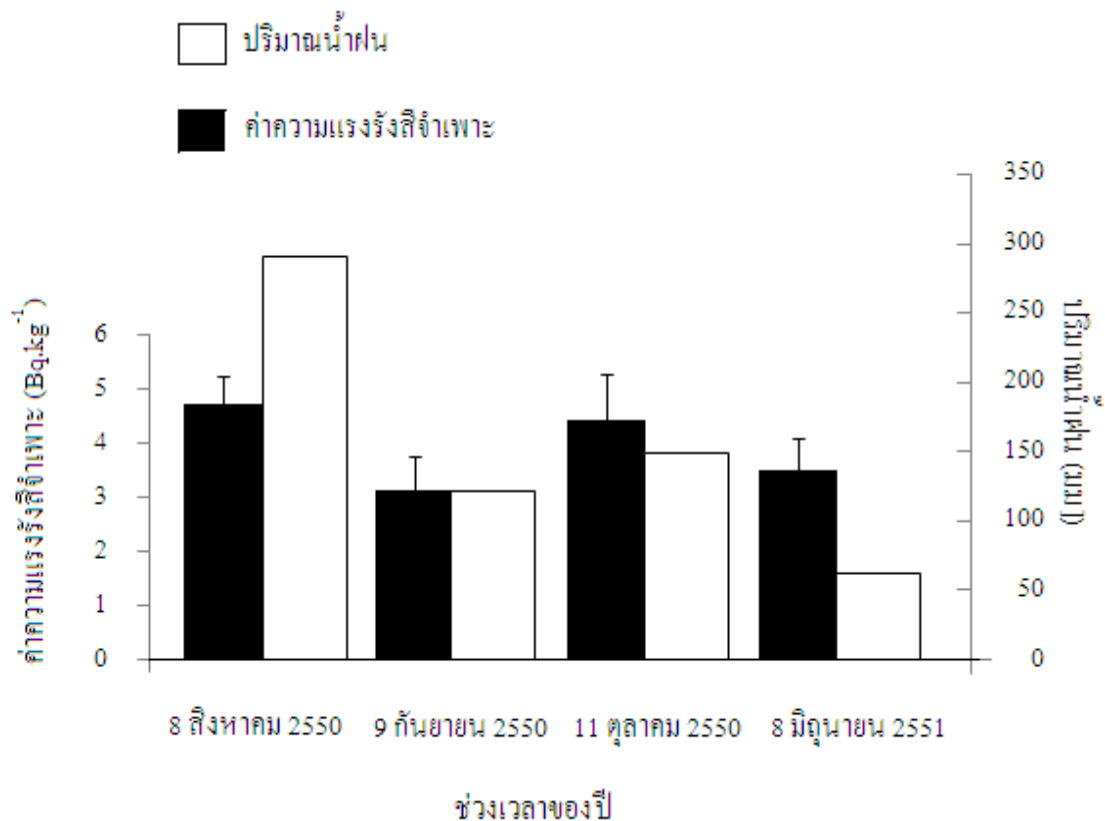
ในการวิจัยนี้เก็บตัวอย่างผักตบชวาจากบริเวณคลองน้ำ ในคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน สามารถคำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะของตัวอย่างผักตบชวาในบริเวณดังกล่าว จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาับรังสี 80,000 วินาที โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ซึ่งโปรแกรม Gamma Vision-32 ในเครื่องประมวลผลของพื้นที่ได้ฟิค (net area) และได้นำข้อมูลดังกล่าวไปคำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พลังงาน 477.6 keV แสดงผลที่ได้ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในผักตบชวาและปริมาณน้ำฝน
ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี

ช่วงเวลาของปี	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq.kg ⁻¹)
8 สิงหาคม 2550	290.24	4.73 ± 0.53
9 กันยายน 2550	122	3.13 ± 0.62
11 ตุลาคม 2550	148.5	4.42 ± 0.88
พฤศจิกายน 2550	-	ไม่ได้เก็บตัวอย่าง
16 ธันวาคม 2550	12.7	ตรวจไม่พบ
มกราคม 2551	-	ไม่ได้เก็บตัวอย่าง
7 กุมภาพันธ์ 2551	0	ตรวจไม่พบ
9 มีนาคม 2551	0	ตรวจไม่พบ
9 เมษายน 2551	3.5	ตรวจไม่พบ
5 พฤษภาคม 2551	0	ตรวจไม่พบ
8 มิถุนายน 2551	62.4	3.50 ± 0.58

หมายเหตุ : - ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดเท่ากับ 2.28 Bq.kg⁻¹

- ค่าปริมาณน้ำฝนมาจากรายงานค่าปริมาณน้ำฝนประจำวันของกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7
ในฝักคบบชากับปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี

5. สรุปและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาข้างต้นจึงได้ทำการทดลองวัดค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในฝักคบบช โดยการเก็บตัวอย่างฝักคบบชจากคลองน้ำคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ ในช่วง เดือนสิงหาคม 2550 ถึง เดือนมิถุนายน 2551 มาวัดรังสีแกมมาโดยตรงที่พลังงาน 477.6 keV โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง และเวลานับรังสีเท่ากับ 80,000 วินาที ปรากฏว่า ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในฝักคบบชแปรผันกับช่วงเวลาต่าง ๆ ของปีดังนี้คือ จะมีค่าสูงในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือนตุลาคม 2550 และ เดือนมิถุนายน 2551 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน โดยมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 อยู่ระหว่าง 3 – 5 Bq.kg⁻¹ ส่วนในช่วงฤดูแล้ง คือ ฤดูหนาว และฤดูร้อนของปี มีค่าความแรงรังสีจำเพาะน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พบในฝักคบบชขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกตามที่ได้คาดไว้ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ O. Epik and G. Yaprak² ทำการวิจัยเรื่องความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีจาก Cs-137, K-40 และ Be-7 ในใบของต้นสนไบเจ้ม ในป่าสนรอบเมือง Izmir

ประเทศตุรกี งานวิจัยนี้ทำการหาปริมาณความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีที่มนุษย์ทำขึ้นมาแล้วเกิด การฟุ้งกระจายอยู่บนท้องฟ้า คือ Cs-137 และสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติ ได้แก่ K-40 และ Be-7 ในใบสนเข็มแบบสดและแบบแห้ง จากป่าสนบริเวณเมือง Izmir โดยใช้ห้ววัดเจอร์เมเนียม บริสุทธิ์สูง ที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 25 % พบว่าความแรงรังสีจำเพาะของ Cs-137, K-40 และ Be-7 เท่ากับ 0.01, 0.1 และ 4.36 Bq.kg⁻¹ ตามลำดับ² เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความแรงรังสีจำเพาะของ เบริเลียม-7 ที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีค่าอยู่ระหว่าง 3 – 5 Bq.kg⁻¹ ซึ่งมีความแรงรังสีจำเพาะใกล้เคียงกัน แต่ความแรงรังสีจำเพาะของเบริเลียม-7 ยังแปรผันตามแอลติจูด (altitude) และละติจูด (latitude) ของ แต่ละภูมิภาคอีกด้วย การวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการสร้างกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของห้ววัดรังสีใน การหาประสิทธิภาพที่พลังงาน 477.6 keV ของเบริเลียม-7 ซึ่งถ้าใช้สารละลายมาตรฐานเบริเลียม-7 จะสะดวกในการเปรียบเทียบมากกว่าและน่าจะให้ผลได้ถูกต้องยิ่งขึ้นหากมีการเตรียมสารมาตรฐานที่ดี แต่เนื่องจากสารละลายมาตรฐานเบริเลียม-7 มีราคาค่อนข้างสูงและมีครึ่งชีวิตเพียงประมาณ 50 วัน จึงมิได้ใช้ในการวิจัยนี้ การวิจัยขั้นต่อไปในอนาคตจะได้เน้นศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความ แรงรังสีจำเพาะของเบริเลียม-7 ในน้ำกับในผักตบชวา และอัตราการดูดซับเบริเลียม-7 ของ ผักตบชวา

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงอย่างดี เนื่องจากได้รับความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำรวมทั้งได้รับการ แก้ไขข้อบกพร่องจาก รองศาสตราจารย์ณรงค์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ดร.อุคร ยังช่วย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การ มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้ววัดรังสีแบบเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง และวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ งานวัดกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสินค้าส่งออก ฝ่ายตรวจวัดวิเคราะห์โดย เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ ศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การ มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องชั่งตัวอย่าง และวัสดุอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่ให้ความ อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง และวัสดุอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ กรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

7. เอกสารอ้างอิง

1. Sugihara, S., Momoshima, N., Maeda, Y., Osaki, S., 2005. Variation of Atmospheric Be⁷ and Pb²¹⁰ Deposition at Fukuoka, Japan. 10th International Congress of the International Radiation Protection Association, 2000.05.
2. Epik, O., Yaprak, G., 2003. Cs-137, K-40 and Be-7 Activity Concentration in pine Needles in Coniferous Forest around Izmir. General Conference of the Balkan Physical: 5, August 2003, 1507-1510.
3. Karunakara, N., Somashecekarapa, H.M., and Narayana, Y., Avadhani, Y., D.N., Mahesh, H.M., Siddappa, K., 2003. ²²⁶Ra, ⁴⁰K and ⁷Be activity concentrations in plants in the environment of Kaiga, India. Journal of Environmental Radioactivity 65, 225-226.
4. วีรภรณ์ รัตนีสัย, 2548. การวิจัยเรื่องการพัฒนาเทคนิคในการวัดความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาคศึกษานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. Adams, F., Dams, R., 1970. Applied Gamma-ray Spectrometry. 2nd ed. Pergaman Press, Oxford.
6. Duenas, C., Fernandez, M.C., Caretero, J., Lger, E., Canete, S., 2004. Long-term Variation of the concentration of long-lived Rn descendants and cosmogenic Be⁷ and determination of the MRT of aerosol. Atmospheric Environment 38, 1291-1310.
7. Al-Azmi, D., Sayed, A.M., Yatin, H.A., 2001. Variations in Be⁷ concentration in the atmosphere of Kuwait during the period 1994 to 1998. Applied Radiation and Isotope 55, 413-417.
8. Knoll, G.F., 1999. Radiation Detection and Measurement. 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.
9. Cooper, J.R., Randle, K., Sokhi, R.S., 2003. Radioactivity Releases in the Environment: Impact and Assessment. John Wiley & Sons, West Sussex.