

ผลกระทบของดอนเมืองโทลล์เวย์ต่อปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Effect of Don Muang Tollway to Concentrations of Pb-214 and Bi-214 in Kasetsart University Atmosphere

รัชณี รุจิวิโรดม

Rachanee Rujiwarodom

ABSTRACT

^{214}Pb and ^{214}Bi concentrations in the Don Muang Tollway atmosphere were measured using gamma spectrometer. Air particles were collected on glass fiber filters by using a high volume jet air sampler for 3 hours. The 540 air samples from six different locations in the Don Muang Tollway 2 times each for 3 months (7 Dec 1998-26 Feb 1999 and 1 Mar-21 May 1999) were monitored for gamma activities using a Hyper Pure Germanium (HPGe) detector. The average concentrations of ^{214}Pb and ^{214}Bi were $(2.283 \pm 0.015) \times 10^{-11} \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $(2.683 \pm 0.036) \times 10^{-11} \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The concentration of ^{222}Rn in secular equilibrium condition was also calculated from the concentration of ^{214}Pb , giving an average value $(4.867 \pm 0.032) \times 10^{-9} \mu\text{g}/\text{m}^3$, which are lower than the maximum values of the safety standards ($1 \times 10^{-8} \mu\text{g}/\text{m}^3$ for ^{214}Pb and ^{214}Bi , $2 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$ for ^{222}Rn). The result of this study showed that ^{214}Pb and ^{214}Bi concentrations after building the Don Muang Tollway were about 10 times higher than the former condition in 1990. This also corresponds with the properties of the Earth atmosphere.

Key words : natural radioisotope, gamma spectrometry, atmosphere

บทคัดย่อ

จากการศึกษาเกมมาสเปกโตรเมตรีของฝุ่นละอองในบรรยากาศบริเวณทางยกระดับดอนเมืองโทลล์เวย์พบว่า ตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 มีปริมาณสูง โดยเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องดูดอากาศความเร็วสูงผ่าน

แผ่นกรองอากาศชนิดไฮแกว นานครั้งละ 3 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างอากาศจากสถานที่ต่างๆ 6 แห่ง บริเวณทางยกระดับดอนเมืองโทลล์เวย์ ในเวลา 6 เดือน คือ ฤดูหนาว 3 เดือน (7 ธ.ค. 41 - 26 ก.พ. 42) และฤดูร้อน 3 เดือน (1 มี.ค. 42 - 21 พ.ค. 42) ได้ตัวอย่างอากาศทั้งหมด 540 ตัวอย่าง วัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากตัวอย่าง

อากาศด้วยหัววัดรังสีชนิด HPGe (Hyper Pure Germanium detector) จากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวพบ ปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ได้ค่าเฉลี่ย $(2.283 \pm 0.015) \times 10^{-11}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ $(2.683 \pm 0.036) \times 10^{-11}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อนำผลไปวิเคราะห์หาปริมาณเรดอน -222 จากคุณสมบัติสถานะสมดุลกับมันตรังสีได้ค่าเฉลี่ย $(4.867 \pm 0.032) \times 10^{-9}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งต่ำกว่า ค่ามาตรฐานปลอดภัยกำหนดไว้ว่า ปริมาณตะกั่ว -214 หรือ บิสมัท -214 ในบรรยากาศต้องไม่เกิน 1×10^{-8} ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และปริมาณเรดอน -222 ต้องไม่เกิน 2×10^{-7} ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ผลกระทบของคอนเมือง โทลล์เวย์ต่อปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำให้แต่ละปริมาณมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่าของปริมาณเดิม ก่อนที่จะมีการสร้างทางยกระดับของคอนเมืองโทลล์เวย์ และผลที่ได้ก็ยังสอดคล้องกับคุณสมบัติของบรรยากาศโลกด้วย

คำนำ

ธาตุกัมมันตรังสีธรรมชาติในบรรยากาศที่มีผลต่อระบบหายใจส่วนลึก ได้แก่ ตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีธรรมชาติในอนุกรมยูเรเนียม โดยเรดอน -222 ซึ่งอยู่ในสภาพก๊าซเฉื่อยจะสลายตัวให้ ตะกั่ว -214 และตะกั่ว -214 สลายตัวให้บิสมัท -214 เวลาครึ่งชีวิตของธาตุทั้งสามเท่ากับ 3.825 วัน, 26.8 นาที และ 19.7 นาที ตามลำดับ ผลของรังสีจากธาตุทั้งสองที่ทำอันตรายต่อปอดเป็น 500 เท่าของผลของรังสีจากธาตุกัมมันตรังสีธรรมชาติชนิดอื่นๆ ในบรรยากาศ (Mirril, 1972) ทั้งนี้เพราะตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 จะอยู่ในรูปของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า สามารถเกาะติดกับฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.035 ไมครอนได้ เมื่อคนเราหายใจเข้าก็จะมีส่วนของ ตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 เข้าไปด้วย และเกาะตามส่วนต่าง ๆ ของอวัยวะระบบทางเดินหายใจโดยขึ้นอยู่กับ

กับขนาดของฝุ่นละอองที่เกาะอยู่ ปกติฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนถึงเล็กกว่า 10 ไมครอน จะถูกกักไว้ที่บริเวณโพรงจมูกและทางเดินหายใจส่วนบน (head airways region, Figure 1) ซึ่งร่างกายจะมีกลไกทางสรีระช่วยกรองและขับฝุ่นพวกนี้ออกมาทางเสมหะ สำหรับฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอน จะตกค้างอยู่ในทางเดินหายใจส่วนลึกเริ่มตั้งแต่เยื่อส่วนบนของปอดเรื่อยไปจนถึงผนังด้านในของถุงลม (gas exchange region, Figure 1) ทำให้อวัยวะส่วนนั้นได้รับอันตรายจากรังสีที่เกิดจากการสลายตัวของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 จากรายงานวิจัยของสถาบัน National Academy of Sciences (Mirril, 1972) ซึ่งชี้ว่าสารกัมมันตรังสีที่ตกค้างในปอดเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งปอดได้ ตามเกณฑ์ที่ปลอดภัยกำหนดไว้ว่า ปริมาณของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศต้องไม่เกิน 1×10^{-8} ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (IAEA, 1998)

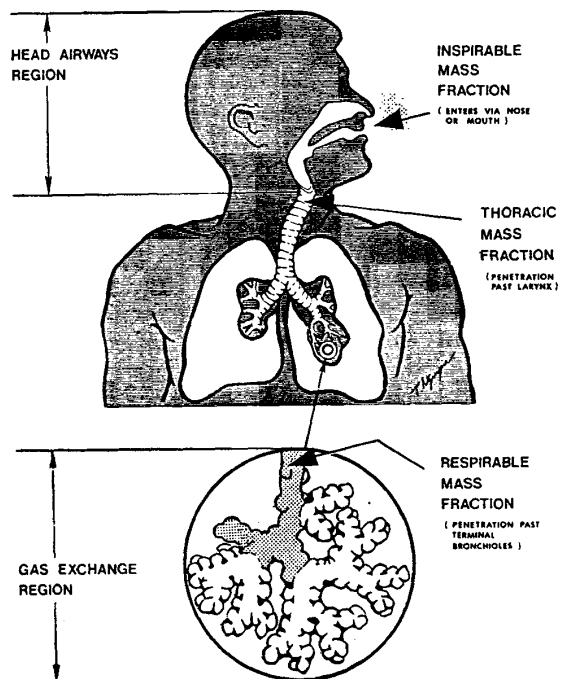


Figure 1 The manner in which the inhaled dust is deposited in the various parts of the respiratory tract (Mirril, 1972).

จากผลการวิจัยเรื่องระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ราชันี, 2535) ในปี 2533 ซึ่งเก็บข้อมูล (ตัวอย่างแผ่นกรองอากาศ) ในช่วง 3 เดือน (ธ.ค. 32 - ก.พ. 33) ได้ตัวอย่างอากาศ 270 ตัวอย่าง พบว่า ปริมาณของธาตุตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ได้ค่าเฉลี่ย $(5.79 \pm 0.62) \times 10^{-12}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ $(1.61 \pm 0.31) \times 10^{-12}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานปลอดภัยที่กำหนดไว้ และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของฝุ่นละอองในบรรยากาศ นอกจากนี้ปริมาณของธาตุทั้งสองยังขึ้นกับสภาพของบรรยากาศ กล่าวคือ ปริมาณของธาตุทั้งสองในเวลากลางวันจะน้อยกว่าในเวลาเช้ามืดหรือในเวลาเย็น ซึ่งขึ้นกับการฟุ้งกระจายของบรรยากาศและคุณสมบัติของบรรยากาศโลก

เนื่องจากขณะนี้สภาพการจราจรบริเวณรอบๆ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้เปลี่ยนไปมาก โดยมีทางยกระดับคอนกรีตเมืองโกลด์เวย์เกิดขึ้น ทำให้สภาพอากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เปลี่ยนไป กล่าวคือ เกิดปริมาณของฝุ่นละอองจำนวนมากจากรถยนต์ที่แล่นผ่านไปมามากขึ้น ทำให้ปริมาณของธาตุทั้งสองในบรรยากาศมากขึ้นตามไปด้วย จึงสมควรที่ทำการศึกษาวินิจฉัยเรื่องนี้เพื่อหาปริมาณของธาตุทั้งสองในบรรยากาศว่ามีผลกระทบมาจากทางยกระดับคอนกรีตเมืองโกลด์เวย์มากหรือน้อยเพียงใด และปริมาณของธาตุทั้งสองยังอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยหรือไม่ โดยจะทำการเก็บตัวอย่างอากาศในช่วงเวลา 6 เดือน คือ ช่วงฤดูร้อน (3 เดือน) และช่วงฤดูหนาว (3 เดือน) เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนว่าปริมาณของธาตุทั้งสองขึ้น คุณสมบัติของบรรยากาศโลกอย่างไร

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ทำการทดลองหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องวัดรังสี (Multichannel Analyzer) หัววัดชนิด Hyper Pure Germanium Detector (HPGe) โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Multi-Gamma ray Standard ที่ประกอบด้วย

ธาตุกัมมันตรังสียูโรเพียม (Europium) 3 ไอโซโทป คือ Eu -152, Eu -154 และ Eu -155 และจัดวางให้อยู่ในลักษณะเดียวกับตัวอย่างอากาศที่จะเข้าเครื่องวัด พร้อมทั้งใช้โปรแกรม Oxford Gamma Trac วิเคราะห์คำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัด HPGe ที่ระดับพลังงานของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ตามลำดับ

2. เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้เครื่องดูดอากาศความเร็วสูง ดูดอากาศเป็นเวลานานครั้งละ 3 ชั่วโมงผ่านแผ่นกรองอากาศที่ทำด้วยใยแก้ว (glass fiber filter) ชนิด 934 AH ซึ่งสามารถกรองฝุ่นละอองในบรรยากาศได้ถึง 99 %

3. เก็บตัวอย่างอากาศตามสถานที่ต่างๆ 6 ตำแหน่ง ที่ระดับความสูงพื้นดินประมาณ 1 เมตรจากพื้นถนน และอยู่ในแนวตั้งฉากกับคอนกรีตเมืองโกลด์เวย์เป็นระยะทางต่างๆ ตามแผนที่ Figure 2 ดังนี้

3.1 ตำแหน่งที่ 1 บริเวณประตูเข้าออกมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ด้านติดกับถนนวิภาวดี ห่างจากคอนกรีตเมืองโกลด์เวย์ประมาณ 20 เมตร เก็บตัวอย่างอากาศในถนนวิภาวดี โดยหันหน้าเครื่องดูดอากาศออกสู่ถนนวิภาวดี

3.2 ตำแหน่งที่ 2 บริเวณด้านหน้าของอาคารศูนย์สารนิเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห่างจากคอนกรีตเมืองโกลด์เวย์ประมาณ 300 เมตร เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณด้านหน้าตรงบันไดขึ้นลงบริเวณชั้นล่างของอาคารศูนย์สารนิเทศ

3.3 ตำแหน่งที่ 3 บริเวณโรงอาหารกลางมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห่างจากคอนกรีตเมืองโกลด์เวย์ประมาณ 150 เมตร เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณที่นั่งรับประทานอาหาร โดยหันหน้าเครื่องดูดอากาศออกสู่หน้าต่างตรงถนนด้านหน้าของโรงอาหารกลาง

3.4 ตำแหน่งที่ 4 บริเวณสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ด้านติดกับถนนวิภาวดีห่างจากคอนกรีตเมืองโกลด์เวย์ประมาณ 30 เมตร และห่างจากตำแหน่งที่ 1 ประมาณ 500 เมตร เก็บตัวอย่างอากาศในถนนวิภาวดี

3.5 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณลานจอดรถโรงพยาบาลวิภาวดี ด้านติดกับถนนวิภาวดีห่างจากคอนกรีตเมืองโกลด์เวย์ประมาณ 50 เมตร และห่างจากตำแหน่งที่

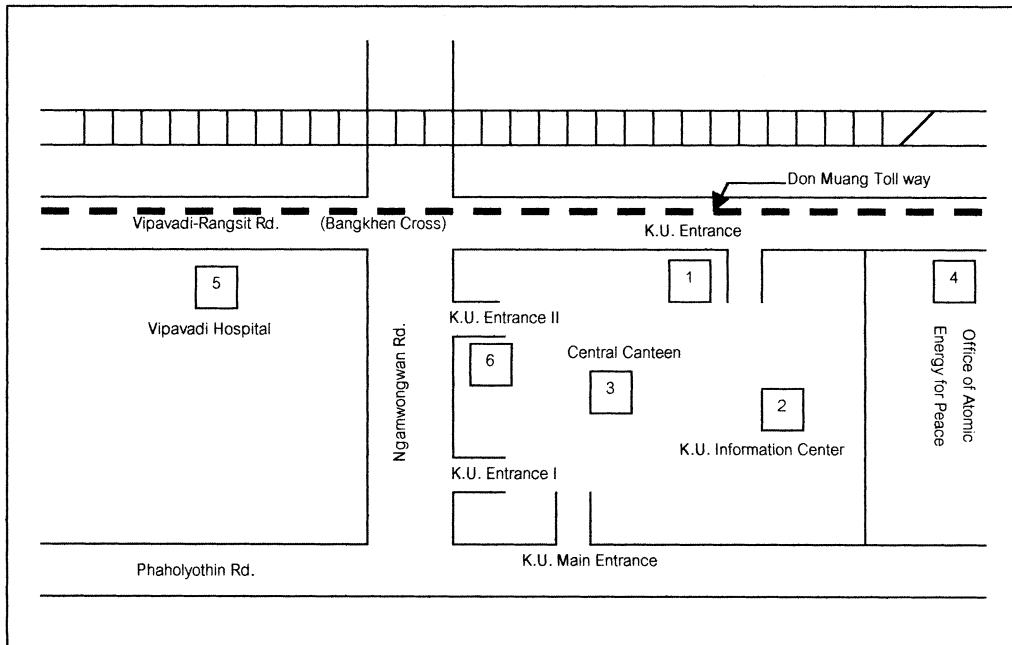


Figure 2 Show 6 sampling locations.

1 ประมาณ 500 เมตร เก็บตัวอย่างอากาศในถนนวิภาวดี
3.6 ตำแหน่งที่ 6 ประตูเข้าออกมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ด้านติดกับถนนงามวงศ์วานห่างจากคอน
เมืองโกลด์เวย์ประมาณ 150 เมตร เก็บตัวอย่างอากาศ
ในถนนงามวงศ์วาน

เก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 6 เดือน ในช่วงฤดู
หนาว 3 เดือนตั้งแต่ 7 ธันวาคม 2541 - 26 กุมภาพันธ์
2542 และในช่วงฤดูร้อน 3 เดือน ตั้งแต่ 1 มีนาคม 2542
- 21 พฤษภาคม 2542 ในแต่ละเดือน (30 วัน) เก็บตัว
อย่างอากาศจากสถานที่ 6 ตำแหน่งดังกล่าวแห่งละ 5 วัน
ติดต่อกัน และในแต่ละวันเก็บตัวอย่างอากาศ 3 ตัวอย่าง
โดยเก็บในช่วงเช้า (06.30 - 09.30 น.) ช่วงกลางวัน (9.30
- 12.30 น.) และช่วงเย็น (12.30 - 15.30 น.) ดังนั้นใน
เวลา 6 เดือนจะได้ตัวอย่างอากาศจากสถานที่แต่ละแห่ง
90 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างอากาศทั้งหมดจากสถานที่ 6 แห่ง
540 ตัวอย่าง

4. นำตัวอย่างอากาศที่ได้แต่ละตัวอย่าง
เข้าเครื่องวัดรังสี ใช้หัววัดชนิด HPGe ต่อเข้ากับ
คอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมสมการการสลายตัวเป็น

อนุกรมของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 (Irving, 1963)
เพื่อใช้วิเคราะห์ และคำนวณหาปริมาณตะกั่ว -214
และบิสมัท -214 ดังนี้

$$N_0 = \frac{\bar{D}_0}{V_0} (1 - e^{-\lambda t_s})^{-1} \quad (1)$$

เมื่อ N_0 คือ จำนวนอะตอมของตะกั่ว -214 หรือ
บิสมัท -214 ในบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วย
ลูกบาศก์เมตร

V_0 คือ ปริมาตรเฉลี่ยของอากาศที่ถูกดูดผ่าน
เครื่องดูดอากาศต่อหน่วยเวลา ขณะที่
เก็บตัวอย่างอากาศแต่ละครั้ง

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของตะกั่ว -214
หรือบิสมัท -214

t_s คือ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างอากาศแต่ละ
ตัวอย่าง (3 ชั่วโมง)

$\bar{D}_0$ คือ ค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพของตะกั่ว -214
หรือบิสมัท -214 บนแผ่นกรองอากาศ ณ
เวลาปิดเครื่องดูดอากาศ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ (2) และสมการ (3) ตามลำดับดังนี้

ตะกั่ว -214 : $D_0 = D_1^t e^{\lambda_1 t}$ (2)

เมื่อ D_1^t คือ กัมมันตภาพของตะกั่ว -214 ขณะที่มีการสลายตัวนับจากเวลาปิดเครื่องดูดอากาศคำนวณได้จากสมการ $D_1^t =$ อัตราการนับ / {(ประสิทธิภาพของหัววัด) $\times$ (ส่วนที่ตะกั่ว-214 ให้รังสีแกมมาที่ระดับพลังงานต่าง ๆ)}

λ_1 คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของตะกั่ว -214

บิสมัท -214 :

$$D_0 = (D_2^t e^{\lambda_2 t}) - D_1^0 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \left(e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} - 1 \right) \quad (3)$$

เมื่อ D_2^t คือ กัมมันตภาพของบิสมัท -214 ขณะที่มีการสลายตัวนับจากเวลาปิดเครื่องดูดอากาศคำนวณได้จากสมการ $D_2^t =$ อัตราการนับ / {(ประสิทธิภาพของหัววัด) $\times$ (ส่วนที่บิสมัท-214 ให้รังสีแกมมาที่ระดับพลังงานต่าง ๆ)}

D_1^0 คือ กัมมันตภาพของตะกั่ว -214 ณ เวลาปิดเครื่องดูดอากาศ (คำนวณจากสมการ 2)

λ_1 และ λ_2 คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในหน่วยของจำนวนอะตอมต่อลูกบาศก์เมตร (N_0) ให้เป็นมวลในหน่วยของไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (M) ได้จากสมการ ดังนี้

$$M = \frac{N_0 \times 214 \times 10^6}{6.02 \times 10^{23}} \quad (4)$$

5. เมื่อนำตัวอย่างอากาศแต่ละตัวอย่างที่เก็บจากสถานที่ต่าง ๆ ตามข้อ 3 เข้าเครื่องวัดรังสี ซึ่งมีช่วงเวลาก่อนนับกัมมันตภาพรังสีตามแผนภาพ Figure 3 จากข้อมูลที่ได้จากการนับแต่ละครั้ง สามารถคำนวณโดยใช้สมการ (2) หา กัมมันตภาพของตะกั่ว -214 บนแผ่นกรองอากาศ ณ เวลาปิดเครื่องดูดอากาศ (D_0) ได้ 2 ค่า คือ ที่ระดับพลังงาน 351.920 keV (A) และที่ระดับพลังงาน 295.220 keV (B) และใช้สมการ (3) หา

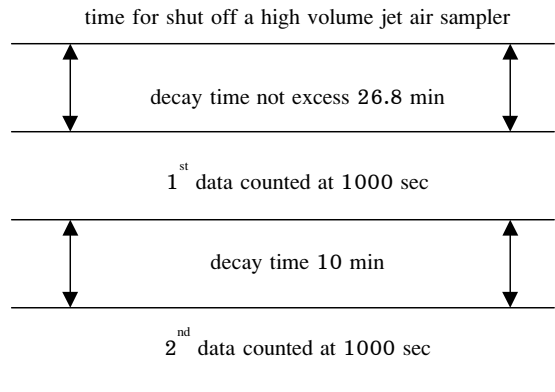


Figure 3 Diagram for counting radioactivity from an air sample by using multichannel analyzer.

กัมมันตภาพของบิสมัท -214 บนแผ่นกรองอากาศ ณ เวลาปิดเครื่องดูดอากาศ (D_0) ได้ 2 ค่า คือ ที่ระดับพลังงาน 609.310 keV (C) และที่ระดับพลังงาน 1120.280 keV (D) ซึ่งสามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักตามสมการดังนี้

ค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักของตะกั่ว -214

$$= \frac{(A \times 36.60) + (B \times 19.20)}{55.80} \quad (5)$$

ค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักของบิสมัท -214

$$= \frac{(C \times 44.80) + (D \times 14.94)}{59.74} \quad (6)$$

จากแผนภาพ Figure 3 ข้อมูลที่ได้จากการนับสำหรับตัวอย่างแต่ละตัวอย่างมีทั้งหมด 2 ครั้ง สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักของตะกั่ว-214 และบิสมัท -214 ได้อย่างละ 2 ค่า ซึ่งเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยวิธีการทั่วไป จะได้เป็นค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพของตะกั่ว -214 ($\bar{D}_0$) และค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพของบิสมัท -214 ($\bar{D}_0$) บนแผ่นกรองอากาศ ณ เวลาปิดเครื่องดูดอากาศซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณของตะกั่ว-214 และบิสมัท-214 ในหน่วยของไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรได้จากสมการ (1) และ (4) ตามลำดับ อย่างละ 1 ค่า สำหรับตัวอย่างอากาศแต่ละตัวอย่าง

6. จากตัวอย่างอากาศที่เก็บได้จากสถานที่ 6 แห่งรวม 540 ตัวอย่าง จะได้ปริมาณตะกั่ว -214 จำนวน

540 ค่า และปริมาณบิสมัท -214 จำนวน 540 ค่า ในวันและเวลาที่ต่างกัน นำค่าต่างๆ เหล่านี้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และนำค่าต่างๆ เหล่านี้มาเปรียบเทียบกันโดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฉลี่ยของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในแต่ละตำแหน่งของสถานที่ 6 ตำแหน่ง และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท-214 กับช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างอากาศที่ติดต่อกันในแต่ละวันของสถานที่ 6 ตำแหน่ง ในเวลา 5 วันติดต่อกัน

ผลและวิจารณ์

1. จากโปรแกรม Oxford Gamma Trac สามารถวิเคราะห์คำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัด HPGc ที่ระดับพลังงานของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 (Table 1)

2. การวิเคราะห์โดยโปรแกรม Oxford Gamma Trac จะแปลงค่ากัมมันตภาพของตะกั่ว-214 และบิสมัท -214 ที่มีหน่วยเป็นจำนวนนับต่อวินาที (count per second, cps) เปลี่ยนเป็นนิวเคลียสต่อวินาที หรือเรียกว่า เบกเคอเรล (becquerel, B_q) ซึ่งก็คือค่า D_1' และ D_2' ตามลำดับ จากนั้นจะผ่านไปยังสมการ 2 และสมการ 3 เพื่อหาค่า D_0 ของตะกั่ว -214 และค่า D_0 ของบิสมัท -214 และนำไปหาค่า $\bar{D}_0$ ของตะกั่ว -214 และค่า $\bar{D}_0$ ของบิสมัท -214 โดยใช้สมการ (5) และ (6) ตามลำดับ พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการทั่วไปและผ่านเข้าสมการ

(1) ก็จะได้จำนวนอะตอมของตะกั่ว -214 และ บิสมัท -214 ในบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตร (N_0) จากนั้นเปลี่ยนจำนวนอะตอมของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ให้อยู่ในรูปของมวลโดยใช้สมการ (4) จะได้ปริมาณของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในหน่วยของไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3. จากการวิเคราะห์และคำนวณเห็นได้ว่า ตัวอย่างอากาศแต่ละตัวอย่างสามารถคำนวณปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ได้ปริมาณละ 1 ค่า ดังตัวอย่างของสถานที่ตำแหน่งที่ 1 ในการเก็บตัวอย่างอากาศ 5 วันติดต่อกัน (Table 2) ดังนั้นจากตัวอย่างอากาศ 90 ตัวอย่างของสถานที่แต่ละตำแหน่งจะได้ปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 อย่างละ 90 ค่า ซึ่งนำมาหาค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ของสถานที่แต่ละตำแหน่ง (Table 3)

4. จาก Table 2 เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในแต่ละตำแหน่งจะได้ตาม Figure 4 และเมื่อนำปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างอากาศที่ติดต่อกันของสถานที่ 6 ตำแหน่งในเวลา 5 วัน ติดต่อกันจะได้ตาม Figure 5

5. จาก Figure 4 เห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 1 อยู่ใกล้กับดอนเมืองโทลล์เวย์มากที่สุด และมีรถยนต์วิ่งเข้าออกอยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดฝุ่นละอองในบรรยากาศมากจึงมีปริมาณของธาตุทั้งสองสูงสุด ส่วนตำแหน่งที่ 3 เป็นบริเวณที่นึ่งรับประทานอาหารเป็นห้องโถงใหญ่ซึ่ง

Table 1 Efficiency of HPGc detector at energy level of Pb-214 and Bi -214.

Isotope name	Half-life (min)	Energy (keV)	Intensity (%)	Efficiency value (count per second/ B_q)	error (%)
Pb-214	26.8	351.920	36.60	2.14×10^{-2}	9.8
		295.220	19.20	2.49×10^{-2}	9.9
Bi-214	19.7	609.310	44.80	1.35×10^{-2}	9.4
		1120.280	14.94	8.07×10^{-3}	7.3

เป็นบริเวณเปิด มีบริเวณฝุ่นละอองน้อยจึงมีปริมาณของธาตุทั้งสองต่ำสุด สำหรับตำแหน่งที่ 2 ด้านหน้าของอาคารศูนย์สารสนเทศ 50 ปี ห่างจากถนนเมืองโทลล์เวย์มากที่สุด แต่มีปริมาณของธาตุทั้งสองสูงเป็นอันดับ 2 ทั้งนี้เพราะมีลมพัดแรงมาจากถนนวิภาวดี และด้านหน้าอาคารเป็นที่โล่ง ถ้าวันใดเปิดน้ำพุด้านหน้าอาคารจะทำให้ปริมาณของธาตุทั้งสองลดลงเหลือเป็นครึ่งหนึ่งของวันปกติ ทั้งนี้เพราะน้ำพุจะทำให้ปริมาณฝุ่นละออง

Table 2 ^{214}Pb and ^{214}Bi concentrations in atmosphere at position 1.
(Winter season, 11-15, 1, 1999)

Date	Time	Pb -214 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Bi -214 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
11/1/99	06.30-09.30	$(4.431 \pm 0.219) \times 10^{-11}$	$(5.562 \pm 0.596) \times 10^{-11}$
11/1/99	09.30-12.30	$(3.378 \pm 0.175) \times 10^{-11}$	$(3.855 \pm 0.384) \times 10^{-11}$
11/1/99	12.30-15.30	$(3.357 \pm 0.176) \times 10^{-11}$	$(3.621 \pm 0.435) \times 10^{-11}$
12/1/99	06.30-09.30	$(4.357 \pm 0.227) \times 10^{-11}$	$(4.990 \pm 0.506) \times 10^{-11}$
12/1/99	09.30-12.30	$(4.063 \pm 0.210) \times 10^{-11}$	$(4.982 \pm 0.424) \times 10^{-11}$
12/1/99	12.30-15.30	$(4.874 \pm 0.254) \times 10^{-11}$	$(5.146 \pm 0.626) \times 10^{-11}$
13/1/99	06.30-09.30	$(5.906 \pm 0.305) \times 10^{-11}$	$(6.855 \pm 0.677) \times 10^{-11}$
13/1/99	09.30-12.30	$(5.853 \pm 0.303) \times 10^{-11}$	$(7.112 \pm 0.647) \times 10^{-11}$
13/1/99	12.30-15.30	$(5.460 \pm 0.282) \times 10^{-11}$	$(5.608 \pm 0.665) \times 10^{-11}$
14/1/99	06.30-09.30	$(5.591 \pm 0.289) \times 10^{-11}$	$(6.461 \pm 0.670) \times 10^{-11}$
14/1/99	09.30-12.30	$(5.355 \pm 0.277) \times 10^{-11}$	$(6.325 \pm 0.588) \times 10^{-11}$
14/1/99	12.30-15.30	$(5.158 \pm 0.267) \times 10^{-11}$	$(6.189 \pm 0.608) \times 10^{-11}$
15/1/99	06.30-09.30	$(4.580 \pm 0.238) \times 10^{-11}$	$(5.282 \pm 0.564) \times 10^{-11}$
15/1/99	09.30-12.30 (raining)	$(2.756 \pm 0.144) \times 10^{-11}$	$(3.240 \pm 0.291) \times 10^{-11}$
15/1/99	12.30-15.30	$(2.354 \pm 0.125) \times 10^{-11}$	$(2.329 \pm 0.285) \times 10^{-11}$

Table 3 Average concentration of ^{214}Pb and ^{214}Bi in the atmosphere of 6 positions.

Position	Pb-214 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Bi-214 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	$(4.498 \pm 0.062) \times 10^{-11}$	$(5.170 \pm 0.141) \times 10^{-11}$
2	$(3.183 \pm 0.045) \times 10^{-11}$	$(3.648 \pm 0.107) \times 10^{-11}$
3	$(0.909 \pm 0.016) \times 10^{-11}$	$(1.122 \pm 0.042) \times 10^{-11}$
4	$(2.120 \pm 0.032) \times 10^{-11}$	$(2.566 \pm 0.071) \times 10^{-11}$
5	$(1.708 \pm 0.026) \times 10^{-11}$	$(2.013 \pm 0.063) \times 10^{-11}$
6	$(1.281 \pm 0.025) \times 10^{-11}$	$(1.578 \pm 0.064) \times 10^{-11}$

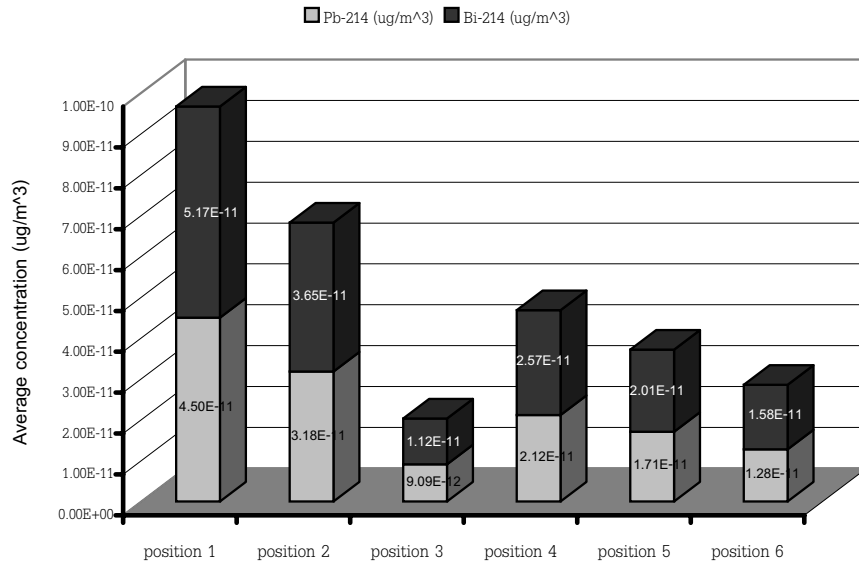


Figure 4 ²¹⁴Pb and ²¹⁴Bi average concentrations in reference to each sample location.

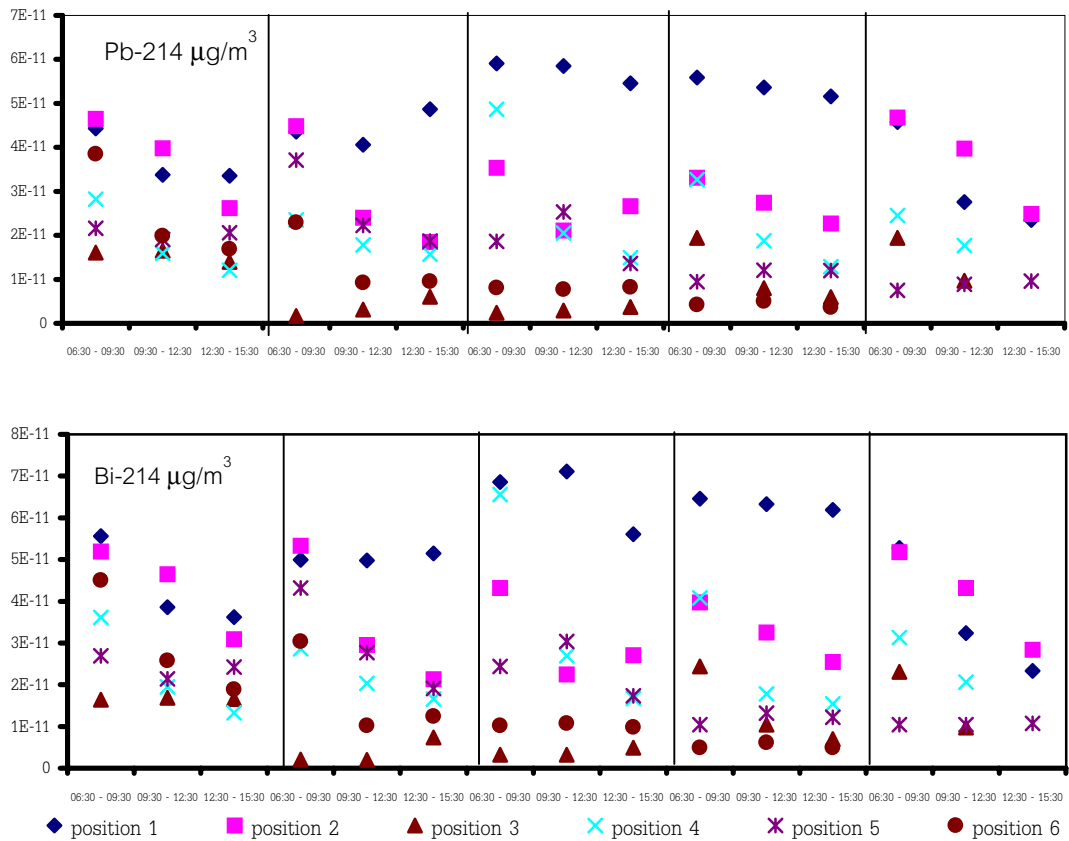


Figure 5 ²¹⁴Pb and ²¹⁴Bi concentrations vs. sampling times at different 6 locations continued for 5 days.

ในบรรยากาศลดลง ส่วนตำแหน่งที่ 4, 5 และ 6 มีสภาพภูมิประเทศใกล้เคียงกัน มีฝุ่นละอองที่เกิดจากรถยนต์ที่แล่นบนทางยกระดับคอนกรีตเมืองโทลล์เวย์ โดยตรงไม่มีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้องมากนัก จึงมีปริมาณของธาตุทั้งสองใกล้เคียงกัน

6. จาก Figure 5 เห็นได้ว่า ในวันที่มีสภาพอากาศปกติ ปริมาณของธาตุทั้งสองที่ได้จากตัวอย่างอากาศซึ่งทำการเก็บในช่วงเวลา 06.30-09.30 น. มีค่ามากกว่าในช่วงเวลา 09.30-12.30 น. และ 12.30-15.30 น. ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับคุณสมบัติของบรรยากาศโลก ทั้งนี้เพราะในเวลากลางวัน (10.00-16.00 น.) พื้นโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศที่ใกล้พื้นโลกร้อนกว่าอากาศที่อยู่สูงขึ้นไป ลักษณะโปรไฟล์ของอุณหภูมิ (temperature profile) จะเป็นแบบซูเปอร์อะเดียเบติก (Superadiabatic) กล่าวคือ อุณหภูมิของบรรยากาศโลกจะลดลงด้วยอัตรามากกว่า 1 องศาเซลเซียสต่อความสูงเหนือพื้นโลก 100 เมตร จึงเป็นผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศตามแนวตั้งอย่างอลวน (turbulent motion) ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีการถ่ายเทออกไปพอดกเวลากลางคืน (18.30-07.30 น.) พื้นโลกคายความร้อนได้เร็วกว่าอากาศที่อยู่เหนือพื้นโลกขึ้นไป ลักษณะโปรไฟล์ของอุณหภูมิจะอยู่ในสภาพผกผันกลับ (inversions) กล่าวคือ อากาศร้อนลอยอยู่เหนืออากาศเย็น สภาพะบรรยากาศอยู่ในสภาพสมดุลได้ เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองน้อยกว่า ทำให้ฝุ่นละอองไม่มีการถ่ายเทออกไป ปริมาณของธาตุทั้งสองที่เกาะติดกับฝุ่นละอองในบรรยากาศในเวลา กลางคืนจึงมากกว่าในเวลากลางวัน

7. ฤดูกาลมีผลต่อปริมาณของธาตุทั้งสองในบรรยากาศ ทั้งนี้เพราะในฤดูร้อนอากาศชื้นกว่า ในฤดูหนาวซึ่งอากาศแห้ง การฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจะน้อยกว่า ดังนั้นในวันที่กระแสลมแรงเท่ากัน สำหรับตัวอย่างอากาศที่เก็บจากสถานที่ตำแหน่งเดียวกันและในช่วงเวลาเดียวกัน ปริมาณของธาตุทั้งสองในฤดูร้อนจะมากกว่าในฤดูหนาว

8. ธาตุตะกั่ว -214 เกิดจากการสลายตัวของเรดอน -222 ซึ่งมีเวลาครึ่งชีวิต 3.825 วัน และอยู่ในสภาพก๊าซ

เฉื่อย ล็อกฮาร์ท (Lockhart, Mirril 1972) ได้แสดงว่า อัตราการสลายตัวของตะกั่ว -214 เท่ากับอัตราสลายตัวของเรดอน -222 ซึ่งเรียกว่าอยู่ในสภาวะสมดุลกัมมันตรังสี ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณตะกั่ว -214 ในบรรยากาศ บริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ก็สามารถคำนวณหาปริมาณเรดอน -222 ได้ โดยใช้คุณสมบัติสภาวะสมดุลกัมมันตรังสีคำนวณหาปริมาณเรดอน -222 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ค่าเฉลี่ยเป็น $(4.867 \pm 0.032) \times 10^{-9}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานปลอดภัยที่กำหนดไว้ว่า ปริมาณเรดอน -222 ในบรรยากาศต้องไม่เกิน 2×10^{-7} ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สรุป

1. จาก Figure 4 นำมาคำนวณหาปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ค่าเฉลี่ยเป็น $(2.283 \pm 0.015) \times 10^{-11}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ $(2.683 \pm 0.036) \times 10^{-11}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานปลอดภัยที่กำหนดไว้ว่าปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศต้องไม่เกิน 1×10^{-8} ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2. เมื่อนำปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในข้อ 1 มาเปรียบเทียบกับปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เมื่อปี พ.ศ. 2533 ซึ่งได้ค่าเฉลี่ย $(5.79 \pm 0.62) \times 10^{-12}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ $(1.61 \pm 0.31) \times 10^{-12}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ พบว่ามีเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่า จึงกล่าวได้ว่าผลกระทบของคอนกรีตเมืองโทลล์เวย์ต่อปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำให้แต่ละปริมาณมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่าของปริมาณเดิมก่อนที่จะมีการสร้างทางยกระดับคอนกรีตเมืองโทลล์เวย์

3. ปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศของสถานที่แต่ละตำแหน่งเป็นสัดส่วนต่อกันโดยประมาณ 1 ต่อ 1

4. ปริมาณตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของฝุ่นละอองในบรรยากาศและปริมาณของธาตุทั้งสองในเวลากลางวันน้อยกว่าในเวลาเช้ามืดและเวลาเย็น นอกจากนี้ปริมาณของธาตุทั้งสองยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล กล่าวคือ ในฤดูร้อนจะมากกว่าในฤดูหนาว

5. ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับคุณสมบัติของบรรยากาศโลกและสามารถนำมาหาปริมาณเรดอน -222 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานปลอดภัยที่กำหนดไว้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และขอขอบคุณกองฟิสิกส์สุขภาพ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการ วิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

รัชนี้ รุจิโรดม. 2535. ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศ บริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ว.เกษตรศาสตร์ (วทย.) 26 : 67-74.

Irving, K. 1963. Nuclear Physics. 2nd ed. Addison-Wesley Publishing Co., London. 770 p.

IAEA. 1998. Basic Safety Standards for Radiation Protection. International Atomic Energy Agency, Vienna. 946 p.

Mirril, E. 1972. Environmental Radioactivity. McGraw-Hill Book Co., New York. 640 p.

วันรับเรื่อง : 30 ก.ย. 42

วันรับตีพิมพ์ : 29 ธ.ค. 42