

ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Concentration of Pb-214 and Bi-214 in the Atmosphere at Kasetsart University

รัชณี รุจิวิโรดม¹

Rachanee Rugivarodom

ATSTRACT

By gamma spectrometry of dusts in the atmosphere, the natural radioisotopes ^{214}Pb and ^{214}Bi were found. Samples of air were examined to ascertain the concentration per unit volume. Air particles were collected on fibre glass filters using a high volume jet air sampler. The two hundred-seventy air samples from six different locations at K.U. were monitored for gamma activities by a Hyper Pure Germanium (HPGe) detector. The gamma spectra were then examined and analyzed by microcomputer. The average concentrations of ^{214}Pb and ^{214}Bi in the atmosphere at K.U. were found to be $(5.79 \pm 0.62) \times 10^{-12} \mu\text{gm}/\text{m}^3$ and $(1.61 \pm 0.31) \times 10^{-11} \mu\text{gm}/\text{m}^3$ respectively. Safety standard of maximum concentration of ^{214}Pb or ^{214}Bi in the atmosphere is $1 \times 10^{-6} \mu\text{gm}/\text{m}^3$. The results show that the concentration of these isotopes is lower than the maximum of the safety standard.

Key words : atmosphere, Kasetsart University, Pb-214, Bi-214 concentration

บทคัดย่อ

จากการศึกษาแกมมาสเปกโตรเมตรีของฝุ่นละอองในบรรยากาศ พบตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีธรรมชาติ มีปริมาณสูงพอที่จะเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นในบรรยากาศได้ โดยการดูดอากาศผ่านแผ่นกรองอากาศชนิดใยแก้วด้วยเครื่องดูดอากาศความเร็วสูง เก็บตัวอย่างอากาศจากสถานที่ 6 แห่ง บริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ตัวอย่างอากาศทั้งหมด 270 ตัวอย่าง วัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากอากาศตัวอย่างด้วยหัววัดรังสีชนิด HPGe (Hyper Pure Germanium detector) วิเคราะห์ข้อมูลและคำนวณด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ หาระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214

และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ค่าเฉลี่ยเป็น $(5.79 \pm 0.62) \times 10^{-12}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ $(1.61 \pm 0.31) \times 10^{-11}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานปลอดภัยที่กำหนดไว้ว่าระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 หรือบิสมัท -214 ในบรรยากาศต้องไม่เกิน 1×10^{-6} ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

คำนำ

ตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 เป็นธาตุกัมมันตรังสีธรรมชาติในอนุกรมของยูเรเนียมที่มีเวลาครึ่งชีวิต 26.7 นาที และ 19.7 นาที ตามลำดับ ธาตุทั้งสองอยู่ในรูป

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า สามารถเกาะติดกับฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.035 ไมโครเมตรได้ (Mimil, 1972) เมื่อคนหายใจเข้าก็จะมีส่วนของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 เข้าไปด้วยและจะเกาะตามส่วนต่างๆ ของอวัยวะระบบการหายใจโดยขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละอองที่เกาะอยู่ซึ่งเริ่มตั้งแต่เยื่อส่วนบนของปอดเรื่อยไปจนถึงผนังด้านในของถุงลม และจะถูกขับออกจากร่างกายเพียงบางส่วนเท่านั้นซึ่งกว่าจะขับออกได้ก็กินเวลานาน ทำให้อวัยวะส่วนนั้นได้รับรังสีที่เกิดจากการสลายตัวของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ตามเกณฑ์ที่ปลอดภัยกำหนดไว้สำหรับระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในอากาศต้องไม่เกิน 1×10^{-6} ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (IAEA, 1982) ซึ่งจากการศึกษาแกมมาสเปกโตรเมตรีของฝุ่นละอองในบรรยากาศ พบว่า ตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 มีปริมาณสูงพอที่จะเก็บข้อมูลวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นในบรรยากาศได้

ด้วยเหตุนี้ผู้ดำเนินการวิจัยจึงมีความเห็นว่าควรจะทำการศึกษาหาระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ซึ่งมีอาณาเขตติดกับสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติซึ่งเป็นแหล่งผลิตและใช้สารกัมมันตรังสีจำนวนมาก เพื่อศึกษาว่ามีระดับความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยหรือไม่ และขึ้นกับสภาวะบรรยากาศและสภาพภูมิประเทศอย่างไร ซึ่งจากผลงานวิจัยเกี่ยวกับระดับความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีในบรรยากาศ ยังไม่มีผู้รายงานถึงปริมาณทั้งสองนี้ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้สามารถนำมาแยกกล่าวได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้เครื่องดูดอากาศความเร็วสูง (Figure 1) ดูดอากาศเป็นเวลานาน 3 ชั่วโมงผ่านแผ่นกรองอากาศที่ทำด้วยใยแก้วชนิด 934 AH มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 เซนติเมตร ซึ่งสามารถกรองฝุ่นละอองในบรรยากาศได้ถึง 99%

2. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศตามสถานที่ต่างๆ ที่

มีลักษณะแตกต่างกัน 6 แห่ง ทั้งในและนอกมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Figure 2) ดังนี้

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 3 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2532 ถึง วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2533 ในแต่ละเดือนทำการเก็บตัวอย่างอากาศจากสถานที่ 6 แห่งๆ ละ 5 วันติดต่อกัน และในแต่ละวันเก็บตัวอย่างอากาศ 3 ตัวอย่าง โดยเก็บในช่วงเช้า กลางวัน และเย็น ดังนั้นในช่วงเวลา 3 เดือน (90 วัน) จะได้ตัวอย่างอากาศจากสถานที่แต่ละแห่ง 45 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างอากาศที่ได้ทั้งหมดจากสถานที่ 6 แห่งเป็นจำนวน 270 ตัวอย่าง

3. นำแผ่นกรองอากาศตามข้อ 1 เข้าเครื่องวัดรังสี (Multichannel Analyzer) ใช้หัววัดชนิด HPGe (Hyper Pure Germanium Detector) ที่ต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ (Figure 3) เพื่อใช้วิเคราะห์และคำนวณหาระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214

4. จากตัวอย่างอากาศที่เก็บได้จากสถานที่ 6 แห่งรวม 270 ตัวอย่าง จะได้ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 จำนวน 270 ค่า และระดับความเข้มข้นของบิสมัท -214 จำนวน 270 ค่า ในวันและเวลาที่ต่างกัน นำค่าต่างๆ เหล่านี้มาคำนวณหาระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และนำค่าต่างๆ เหล่านี้มาเปรียบเทียบกับเพื่อศึกษาว่าสอดคล้องกับคุณสมบัติของบรรยากาศและสภาพความเป็นจริงหรือไม่

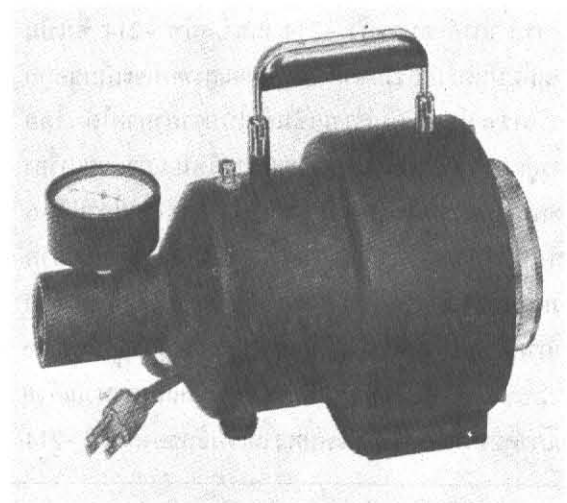


Figure 1 Model 550 high Volume Air Sampler.

วิเคราะห์และคำนวณ

จากผลการวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีชนิด HPGe ของตัวอย่างอากาศที่ทำการเก็บจากบริเวณ A ได้สเปกตรัมของรังสีแกมมา (Figure 4)

จะเห็นว่า ปริมาณของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 มีปริมาณสูงพอที่เครื่องวัดรังสี สามารถวัดอัตราการสลายตัวของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 หรือที่เรียกว่ากัมมันตภาพของตะกั่ว -214 และกัมมันตภาพของบิสมัท -214 ได้

นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ป้อนเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมซึ่งประกอบด้วย

1. ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี HPGe (Price, 1964)

2. สมการการสลายตัวเป็นอนุกรมของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ที่มีเวลาครึ่งชีวิต 26.7 นาที และ 19.7 นาที ตามลำดับ (John 1953; Irving, 1963) ดังนี้

$$No = \frac{Do (1 - e^{-\lambda_s t})^{-1}}{Vo} \quad (1)$$

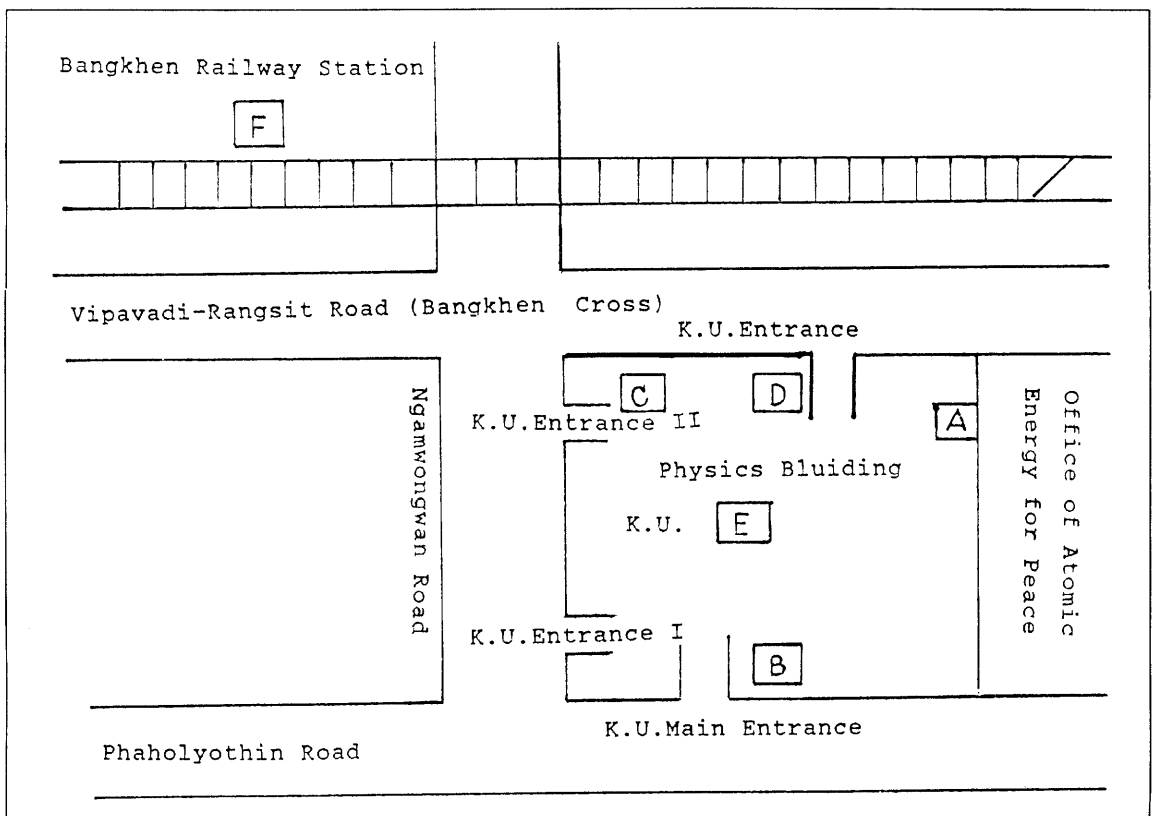


Figure 2 Show 6 sampling places.

- A - บริเวณรั้วของ มก. ใกล้กับสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
- B - ประตูใหญ่ของ มก. ด้านถนนพหลโยธิน
- C - ประตูข้าง มก. ด้านถนนงามวงศ์วาน
- D - กองยานพาหนะของ มก. ติดกับถนนวิภาวดี
- E - บริเวณตึกฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มก.
- F - หน้าสถานีรถไฟบางเขน



Figure 3 (a) Hyper Pure Germanium Detector (right) with Multichannel Analyzer (left)
(b) Microcomputer for data processing

เมื่อ No คือ จำนวนอะตอมของตะกั่ว 214 หรือ
บิสมัท 214 ในอากาศต่อหนึ่งหน่วย
ลูกบาศก์เมตร

Vo คือ ปริมาตรเฉลี่ยของอากาศที่ถูกดูดผ่าน
เครื่องดูดอากาศในหนึ่งหน่วยเวลา ขณะ
ที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศแต่ละครั้ง

- λ คือ ค่าคงตัวของการสลายตัวของตะกั่ว - 214 หรือบิสมัท -214 214
- t_s คือ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างอากาศแต่ละตัวอย่าง (3 ชั่วโมง) บิสมัท -214 :
- D_0 คือ กัมมันตภาพของตะกั่ว -214 หรือ บิสมัท -214 บนแผ่นกรองอากาศ ณ ขณะปิดเครื่องดูดอากาศ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2) และสมการ (3) ตามลำดับดังนี้
- $$D_0 = (D_1' e^{\lambda_1 t}) - D_1^0 (\lambda_2) e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t-1}] \quad (3)$$
- เมื่อ D_1' คือ กัมมันตภาพของบิสมัท -214 ขณะที่มีช่วงเวลาการสลายตัว t นับจากเวลาปิดเครื่องดูดอากาศ
- D_1^0 คือ กัมมันตภาพของตะกั่ว-214 ณ ขณะปิดเครื่องดูดอากาศ (คำนวณจากสมการ 2)
- λ_1 และ λ_2 คือ ค่าคงตัวของการสลายตัวของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ตามลำดับ
- ตะกั่ว -214 : $D_0 = D_1' e^{\lambda_1 t}$ (2)
- เมื่อ D_1' คือ กัมมันตภาพของตะกั่ว -214 ขณะที่ มีช่วงเวลาการสลายตัว t นับจากเวลาปิดเครื่องดูดอากาศ
- λ_1 คือ ค่าคงตัวของการสลายตัวของตะกั่ว - 214 และบิสมัท -214 ในหน่วยของอะตอมต่อลูกบาศก์เมตร (No)
3. สมการที่เปลี่ยนจำนวนอะตอมของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214

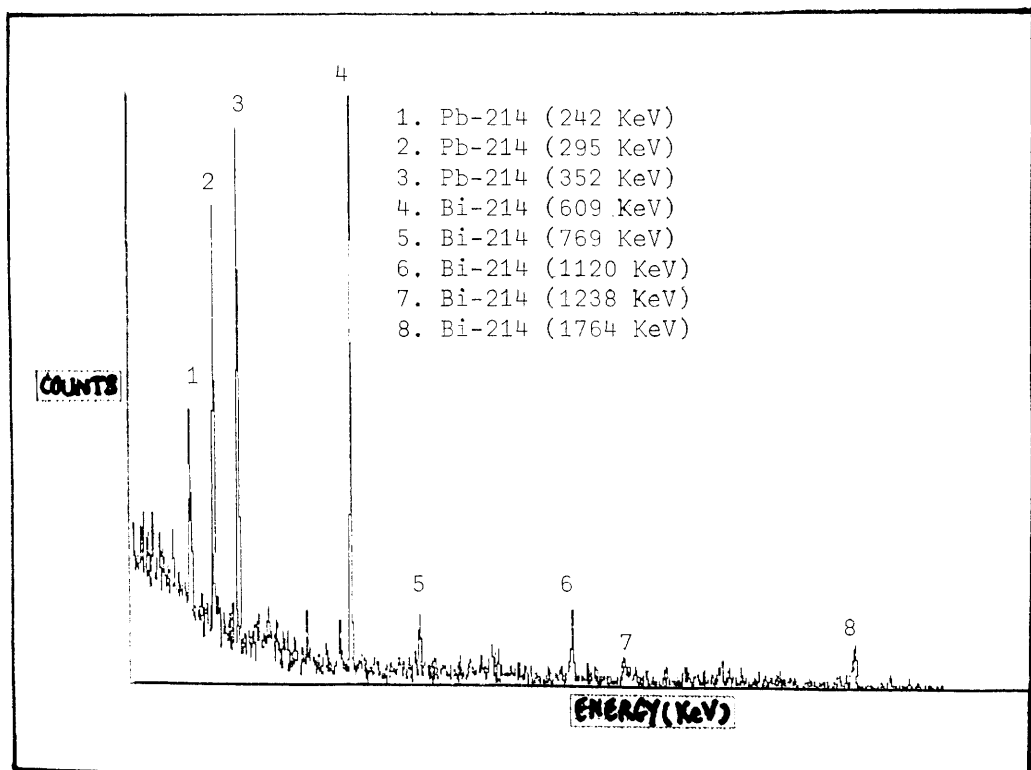


Figure 4 Air sample spectrum of one sample.

Table 1 Concentration of Pb-214 and Bi-214 in the atmosphere of an air sample

Date	Place	Time	Pb-214 (10^{-12} gm/m ³)	Bi-214 (10^{-11} gm/m ³)
30-1-90	A	08.55-11.55	(9.04±0.32)	(2.15±0.41)
30-1-90		11.56-14.56	(4.55±0.95)	(1.28±0.18)
30-1-90		14.57-17.57	(3.69±0.40)	(1.04±0.18)
4-2-90	B	06.20-09.20	(5.42±0.12)	(2.04±0.53)
4-2-90		09.27-12.29	(4.28±0.86)	(1.33±0.33)
4-2-90		12.34-15.34	(4.12±0.61)	(1.04±0.18)
9-2-90	C	06.15-09.15	(5.49±0.65)	(1.80±0.41)
9-2-90		09.17-12.17	(3.41±0.87)	(0.82±0.02)
9-2-90		12.20-15.20	(2.56±0.71)	(0.98±0.08)
14-2-90	D	05.54-08.54	(8.11±0.13)	(2.57±0.22)
14-2-90		08.56-11.56	(6.26±0.11)	(1.89±0.36)
14-2-90		12.06-15.06	(5.17±0.34)	(1.43±0.30)
19-2-90	E	06.30-09.30	(6.55±0.14)	(2.50±0.48)
19-2-90		09.32-12.32	(4.29±0.20)	(1.10±0.20)
19-2-90		12.32-15.32	(2.67±0.69)	(0.85±0.01)
24-2-90	F	06.20-09.20	(6.29±0.70)	(1.80±0.28)
24-2-90		09.23-12.23	(4.88±0.81)	(1.55±0.85)
24-2-90		12.25-15.25	(2.92±0.55)	(1.02±0.22)

ให้เป็นมวลในหน่วยของไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (M) (Irving, 1963) ดังนี้

$$M = \frac{NoX214X10^6}{6.02X10^{23}} \quad (4)$$

เมื่อข้อมูลจากเครื่องวัดรังสีผ่านโปรแกรมแรกจะทำให้กัมมันตภาพของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ที่มีหน่วยเป็น จำนวนนับต่อวินาที (count per second, cps) เปลี่ยนเป็น นิวเคลียสต่อวินาที หรือเรียกว่า เบคเคอเรล (becquerel, Bq) ซึ่งก็คือค่า D_1 และ D_2 ตามลำดับ จากนั้นจะผ่านไปยังสมการ 2 และสมการ 3 เพื่อหาค่า D_0 ของตะกั่ว -214 และค่า D_0 ของบิสมัท -214 และผ่านเข้าสมการ 1 ก็จะได้จำนวนอะตอมของตะกั่ว-214 และบิสมัท-214 ในอากาศต่อหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตร (No) จากนั้นเปลี่ยนจำนวนอะตอมของตะกั่ว -214 และบิสมัท

-214 ให้อยู่ในรูปของมวลซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรโดยใช้สมการ 4 จะได้ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในหน่วยของไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผลและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์และคำนวณเห็นได้ว่าตัวอย่างแผ่นกรองอากาศ 1 ตัวอย่างสามารถคำนวณได้ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 อย่างละ 1 ค่า (Table 1) ดังนั้นจากตัวอย่างอากาศ 45 ตัวอย่างของสถานที่แต่ละแห่งก็จะได้ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 อย่างละ 45 ค่า ซึ่งสามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ของสถานที่แต่ละแห่งได้ (Table 2)

จาก Table 2 นำมาคำนวณหาระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ค่าเฉลี่ยเป็น $(5.79 \pm 0.62) \times 10^{-12}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ $(1.61 \pm 0.31) \times 10^{-11}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

นอกจากนี้เมื่อนำระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศที่ได้จากตัวอย่างอากาศ 270 ตัวอย่างมาเปรียบเทียบกัน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศของสถานที่แต่ละแห่ง มีค่าเป็นสัดส่วนต่อกันโดยประมาณ 1 ต่อ 4

2. พบว่าระดับความเข้มข้นของธาตุทั้งสองเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยในสภาพภูมิประเทศบริเวณที่มีฝุ่นละอองมาก เช่น สถานีรถไฟ (F), ถนนที่มีการจราจรคับคั่ง (D) ฯลฯ หรือบริเวณใกล้กับที่เก็บและผลิตสารกัมมันตรังสี (A) จะมีระดับความเข้มข้นของธาตุทั้งสองมากกว่าบริเวณอื่นๆ และในสถานที่แห่งเดียวกัน ระดับความเข้มข้นของธาตุทั้งสองยังขึ้นกับความสูงที่ตั้งเครื่องดูดอากาศจากพื้นดิน กล่าวคือ จะมีค่าลดลงเมื่อระดับความสูงมีค่าเพิ่มขึ้น

3. ระดับความเข้มข้นของธาตุทั้งสองที่ได้จากตัวอย่างอากาศซึ่งทำการเก็บในช่วงเวลา 6.00 - 9.00 น. มี

ค่ามากกว่าในช่วงเวลา 9.00 - 12.00 น. และ 13.00 - 16.00 น. โดยบรรยากาศอยู่ในสภาพปกติ ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับคุณสมบัติของบรรยากาศโลก ทั้งนี้เพราะในเวลากลางคืน (18.30 - 7.00 น.) บรรยากาศอยู่ในสภาพสมดุลมีการฟุ้งกระจายน้อย ทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศไม่มีการถ่ายเท ระดับความเข้มข้นของธาตุทั้งสองที่เกาะติดกับฝุ่นละอองในบรรยากาศจึงมีค่าสูง พอในช่วงเวลากลางวัน (10.00 - 16.00 น.) พื้นโลกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้บรรยากาศบริเวณพื้นผิวโลกเกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งอย่างอลวน ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีการถ่ายเทออกไประดับความเข้มข้นของธาตุทั้งสองจึงมีค่าลดลง

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และขอขอบคุณกองฟิสิกส์สุขภาพ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการด้านเครื่องมือของการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ผัสสพร จิตตาภรณ์. 2523. การศึกษาระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอน -222 พอลโลเนียม -218 ตะกั่ว -214 ตะกั่ว -212 และบิสมัท -212 ภายในโรงงานแปรรูปแร่โมนาไซด์ขนาดเล็กของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. รายงานวิชาการประจำปี 2523 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ : 135-140.
- แสวง โพธิ์เงิน. 2529. กัมมันตภาพรังสีในอากาศในกรุงเทพมหานครมีระดับสูงขึ้น. จดหมายข่าวสมาคมฟิสิกส์ไทยฉบับที่ 2 ปีที่ 1 : 11
- รัชณี รุจิโรตม และสุวัฒน์ บุญนาค. 2532. ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว -214 และบิสมัท -214 ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15. สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ. 894 หน้า.

Table 2 Concentration of Pb-214 and Bi-214 in the atmosphere of each place

Place	Average Pb-214 (10^{-12} gm/m ³)	Average Bi-214 (10^{-11} gm/m ³)
A	(6.20±0.49)	(1.48±0.29)
B	(4.51±0.63)	(1.42±0.30)
C	(4.04±0.62)	(1.12±0.30)
D	(6.73±0.76)	(1.92±0.37)
E	(5.65±0.87)	(1.61±0.32)
F	(7.62±0.37)	(2.21±0.27)

- Airborne Daughter Products of Radon. *Nuclear Science and Technology* 11 : 10-18.
- Mirril, E. 1972. *Environmental Radioactivity*. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Irving, K. 1963. *Nuclear Physics*. 2nd edition. Addison-Wesley Publishing Co., London. pp. 229-253.
- Price, W.J. 1964. *Nuclear Radiation Detection*. McGraw-Hill Book Co., New York
- IAEA. 1982. *Basic Safety Standards for Radiation Protection*. International Atomic Energy Agency, Vienna. pp. 44-46.