ที่ระลึกการสัมมนาวิทยาศาสตร์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

พลูโทเนียมเป็นธาตุหนักกัมมันตรังสีในกลุ่มแอกทิไนด์ มีเลขอะตอม 94 และมีมวลอะตอม 293.13 มีความหนาแน่น 19.84 กรัมต่อ ลบ ซม (ที่ 25 °ซ) จุดหลอมเหลว 641 °ซ จุดเดือด 3,262 °ซ มีวาเลนซี 2, 3, 4, 5 และ 6[1] พลูโทเนียมปริมาณน้อยมีปรากฏอยู่ในธรรมชาติอันเป็นผลมาจากปฏิกริยานิวเคลียร์ในแร่ยูเรเนียมซึ่งนิวตรอนในธรรมชาติเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกริยานิวเคลียร์นี้ขึ้น ไอโซโทปของพลูโทเนียมทั้งหมดด้วยกัน 15 ไอโซโทป ไอโซโทปพลูโทเนียม -238 ถูกผลิตขึ้นมาเมื่อปี ค.ศ. 1940 โดย Seaborg, McMillan, Kennedy และ Wahl[2] โดยการยิงยูเรเนียมด้วยดิวเทอรอนในเครื่องเร่งอนุภาคไซโคลตรอน (มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เมืองเบอร์คเลย์) ไอโซโทปตัวที่สำคัญที่สุดในเวลานี้คือพลูโทเนียม -239 มีค่าครึ่งชีวิตยาวมากถึง 24,390 ปี ซึ่งถูกผลิตมากในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เกิดมาจากการใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมธรรมชาติ (ยูเรเนียม -238) จากปฏิกริยา n, γ กล่าวคือ $^{238}U(n, \gamma)\ ^{239}U \xrightarrow{\beta} {}^{239}Np \xrightarrow{\beta} {}^{239}Pu$

ในบรรดาธาตุหนักทรานยูเรเนียมด้วยกัน พลูโทเนียมนับว่าเป็นธาตุที่สำคัญมาก เนื่องจากใช้เป็นวัสดุทำอาวุธนิวเคลียร์ และการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน ทดแทนคือเป็นวัสดุนิวเคลียร์ในโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ พลูโทเนียม 1 ปอนด์ให้พลังงานเทียบเท่าประมาณ 10 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงของพลังงานความร้อน การนำเอาพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี เมื่อปี ค.ศ. 1976 ทั่วโลกมีโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทั้งหมด 187 แห่งใน 19 ประเทศ มีกำลังผลิตทั้งหมดรวมกันประมาณ 80 กิกกะวัตต์ (ไฟฟ้า) เป็นที่คาดว่าในปี ค.ศ. 2000 กำลังผลิตทั้งหมดจะเพิ่มเป็น 2,000 กิกกะวัตต์[3] ซึ่งหมายถึงการปล่อยพลูโทเนียมออกสู่บรรยากาศจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ปริมาณของไอโซโทปพลูโทเนียมที่ละลายเข้าไปในน้ำจะไม่ทำให้มนุษย์ได้รับปริมาณ

รังสีเพิ่มขึ้นมากกว่า 1 มิลลิเรดต่อปี และถึงแม้ว่าจะผลิตกระแสไฟฟ้าที่กำลัง 2,000 กิกกะวัตต์ชั่วโมงต่อไปอีก 500 ปีโดยใช้เทคโนโลยีของปัจจุบัน ปริมาณรังสีที่มนุษย์ได้รับเพิ่มขึ้นก็จะเป็นส่วนเล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับที่องค์การระหว่างประเทศกำหนดเอาไว้ให้รับได้ ซึ่งการรับปริมาณรังสีที่ไม่เกินค่าที่กำหนดเอาไว้จะไม่มีอาการใด ๆ ที่เป็นผลเสียแก่ร่างกายของมนุษย์ปรากฏให้เห็นเลยอย่างใด

การทดลองระเบิดนิวเคลียร์หรืออาวุธนิวเคลียร์ในบรรยากาศทำให้มีพลูโทเนียมกระจายปะปนอยู่ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น ระหว่างปี พ.ศ. 2515-2520 (ค.ศ. 1972-1977) ได้มีการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ในบรรยากาศ 20 ครั้ง[3] ซึ่ง 6 ครั้งเป็นการทดลองในบรรยากาศเหนือเส้นศูนย์สูตร (Northern hemisphere) และอีก 14 ครั้งเป็นการทดลองในบรรยากาศใต้เส้นศูนย์สูตร (Southern hemisphere)

ได้มีการใช้ไอโซโทปรังสีเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าใช้งานในที่ต่างไกลสถานีจ่ายกระแสไฟฟ้า เช่นในสถานีตรวจอากาศแถบขั้วโลก หรืองานในอวกาศ ไอโซโทปรังสีที่ใช้มีหลายธาตุด้วยกันขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการใช้งานและประเภทของงาน เช่นงานด้านการถ่ายทอดข่าวสารในอวกาศที่เรียกกันว่าข่าวดาวเทียม พลังนิวเคลียร์ใช้ยูเรเนียม -235 เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ประมาณลดพลังงานป้อนอุปกรณ์และเรดาร์ภายในหรือในตัวกำเนิดไฟฟ้าที่เรียกว่า Satellite Nuclear Auxiliary Power generator (SNAP generator) ของประเทศสหรัฐอเมริกาใช้พลูโทเนียม -238 เป็นเชื้อเพลิงสำหรับพลังนิวเคลียร์ หรือในงานที่มีโครงการระยะต่าง 1-6 ปีก็จะใช้พลูโทเนียม -238 เป็นเชื้อเพลิงสำหรับพลังนิวเคลียร์เช่นกัน เช่นเที่ยวบานอวกาศอะพอลโล -12 ปฏิบัติงานลงบนดวงจันทร์ ได้นำ $^{238}PuO_2$ ที่มีความแรงรังสี 41,500 คูรี ซึ่งออกแบบไว้ให้จ่ายพลังงาน 63 วัตต์ ไปทิ้งไว้บนดวงจันทร์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับงานวิจัย 5 โครงการเป็นเวลานาน 1 ปี[4]

การส่งกระจายเทียมพลังนิวเคลียร์ไปโคจรอยู่ในอากาศเหนือชั้นบรรยากาศก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีพลูโทเนียมในบรรยากาศและในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น ดาวเทียมพลังนิวเคลียร์ที่โคจรอยู่ในอากาศโดยทั่วไปเมื่อปฏิบัติการเสร็จตามภารกิจที่วางไว้จะปรับระดับโคจรให้สูงขึ้นและกลายเป็นดาวบริวารลอยอยู่ในห้วงอวกาศตลอดไป แต่ถ้าดาวเทียมพลังนิวเคลียร์ตกเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลกเมื่อไร เชื้อเพลิงนิวเคลียร์จะถูกเผาไหม้จากการเสียดสีในชั้นบรรยากาศและกระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศนั้น ซึ่งในที่สุดจะตกลงและสะสมอยู่ในพื้นผิวดิน น้ำ พืช และสัตว์ทั่วไป (ถ้าเชื้อเพลิงนั้นถูกเผาไหม้จนหมดไป) แต่บางครั้งก็มีชิ้นส่วนหรือละอองที่มีกัมมันตภาพรังสีที่เหลือจากการเผาไหม้ เมื่อเข้าสู่ชั้นบรรยากาศตกลงสู่พื้นดินหรือมหาสมุทร ซึ่งถ้าตกลงสู่มหาสมุทรก็จะไม่เป็นอันตรายหรือความเสี่ยงเกิดขึ้น แต่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์อย่างใหญ่หลวงหากว่าดาวเทียมตกลงสู่ในเขตชุมชนที่อยู่อาศัย

พลูโทเนียมเป็นธาตุมีพิษร้ายแรง[5] จากการศึกษาและทดลองในสัตว์พบว่า เมื่อหายใจหรือรับประทานพลูโทเนียม -239 ที่อยู่ในรูปที่สามารถละลายได้เข้าสู่ร่างกาย ส่วนมากจะไปสะสมที่กระดูกอาจทำให้เกิดโรคมะเร็งขึ้นได้ แต่ถ้าหายใจเอาพลูโทเนียมที่อยู่ในรูปอนุภาคที่ไม่ละลายก็จะก่อให้เกิดโรคมะเร็งที่ปอดขึ้น ไอโซโทปของพลูโทเนียมส่วนมากแผ่รังสีให้อนุภาคแอลฟาซึ่งมีอำนาจการทำลายสูงเมื่ออยู่ภายในร่างกาย เพราะสามารถถ่ายเทพลังงานได้หมดภายในระยะทางสั้น ๆ ในเนื้อเยื่อที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นถูกทำลายไป การที่พลูโทเนียมไปสะสมที่กระดูกจึงทำให้ถูกฉายเข้าเป็นสารรังสีที่มีพิษอันตรายมากที่ต้องมีการระมัดระวังสูงและเป็นพิเศษในการนำมาใช้ ได้มีการกำหนดค่าสูงสุดการสะสมปริมาณพลูโทเนียมในร่างกายของมนุษย์ที่โตเต็มที่แล้วให้มีได้ไม่เกิน 0.04 ไมโครคูรี (0.6 ไมโครกรัม) ซึ่งกำหนดไว้โดยคณะกรรมาธิการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection)[6] กล่าวคือถ้าตลอดชีวิตในร่างกายมีพลูโทเนียมสะสมอยู่น้อยกว่า 0.04 ไมโครคูรีก็จะไม่มีอาการใด ๆ ที่ทำให้เกิดผลเสียปรากฏขึ้นกับร่างกายได้ และได้แนะนำค่าระดับความเข้มข้นพลูโทเนียมในอากาศไม่ควรเกิน 5×10^{-14} ไมโครคูรีต่อ ลบ.ซม

ปริมาณแคดเมียมมีปะปนอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมรอบตัวมนุษย์ เกิดมาจากการกระทำของมนุษย์ จากการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ทำให้มีแคดเมียมกระจายปนอยู่ทั่วไปในบรรยากาศชั้นบน แคดเมียมที่กระจายอยู่ในบรรยากาศทั่วไปขณะนี้มีประมาณ 500,000 ลูกบาศก์ (7,500 กิโลกรัม)[7] ซึ่งแม้แต่ในเนื้อเยื่อและอวัยวะบางส่วนของมนุษย์ก็สามารถที่จะวิเคราะห์แคดเมียมปริมาณน้อยได้

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแคดเมียมระดับปริมาณต่ำ ๆ ในสิ่งแวดล้อมในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย สำหรับเป็นข้อมูลระดับมูลฐานเพื่อใช้ในการประเมินค่าการรับสารรังสีแคดเมียมที่เพิ่มขึ้นจากกิจการใช้พลังงานปรมาณูเป็นพลังงานทดแทนน้ำมัน และจะเป็นการทำให้ข้อมูลของปริมาณแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมของทั่วโลกสมบูรณ์ขึ้นด้วย

- เพื่อประโยชน์ในการศึกษาการแยกแคดเมียมออกจากธาตุกลุ่มแอกทิไนด์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการทำการศึกษาทางด้านนี้ต่อไป

- เป็นการพัฒนาวิธีการแยกแคดเมียมออกจากธาตุต่าง ๆ โดยวิธีการเคมี ได้ดัดแปลงวิธีการแยกมาจากหลาย ๆ วิธี เพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้วในขณะนี้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมซึ่งได้แก่ ดิน น้ำ และอากาศ ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งกสิกรรมและเกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศ โดยเน้นเขตกรุงเทพมหานครเป็นหลักเนื่องจากมีจำนวนประชากรหนาแน่นที่สุด จุดต่าง ๆ ที่ทำการเก็บตัวอย่างดินและน้ำได้แสดงไว้ในบทที่ 4 (รูปที่ 4.1.1.1 และ

4.1.3.1) ตัวอย่างอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นตัวอย่างที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อที่ 5

1.4 ข้อมูลของปริมาณพลูโทเนียม -239, 240 ในต่างประเทศ

ในต่างประเทศได้มีการวิเคราะห์ปริมาณพลูโทเนียม -239, 240 ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ดิน น้ำ และอากาศ เป็นต้น ได้รวบรวมปริมาณพลูโทเนียม -239, 240 ในตัวอย่างต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.4.1-1.4.4

ตารางที่ 1.4.1 ปริมาณพลูโทเนียม -239, 240 ในดิน

ประเทศ	สถานที่	พลูโทเนียม -239, 240 (พิโกคูรีต่อกรัม)	เอกสารอ้างอิง
อินเดีย	รอบพลูโตนิวเคลียร์	6-34.6	8
อเมริกา	ซิลเวอร์ตัน	2.86×10^3 *	9

* รายงานไว้ในหน่วยความแรงรังสีต่อตารางเมตร

ตารางที่ 1.4.2 ปริมาณพลูโทเนียม -239, 240 ในน้ำ

ประเทศ	สถานที่	พลูโทเนียม -239, 240 (เพโกคูรีต่อลิตรของน้ำ)	เอกสารอ้างอิง
	ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน	-	10
	ทะเลอิทรีเนียน	0.18	11
	ทะเลไอโอเนียน	0.07	11
	ลู่ เรอโนเวนทีน	0.04	11

ตารางที่ 1.5.2 (ต่อ)

ประเทศ	บริเวณที่	ปฏิกิริยา -239, 240 (ปริมาณรังสีต่อหน่วยน้ำหนัก)	เอกสารอ้างอิง
อินเดีย	น้ำทะเลที่ระดับเบย์	82	8
	น้ำเสียของเบย์	(5.0-20)x10^3	10
ญี่ปุ่น	บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือ	0.9	12
	บริเวณตะวันตกเฉียงเหนือ	2-3	12
	บริเวณตะวันตกเฉียงใต้	0.15-0.88	12
	บริเวณตะวันออกเฉียงใต้	0.13-0.23	12
อังกฤษ	ปากแม่น้ำไอริช	500x10^3	10
	ปากปล่องแม่น้ำไอริช	458	10
เปรู, เวเนซูเอลา, แม่น้ำอินดัส	น้ำ Ribeyre	0.03-0.23	14
	น้ำปากแม่น้ำ	0.02-0.17	15
อเมริกา	น้ำประปาในนิวยอร์ค	0.8	9
	แม่น้ำมิสซิสซิปปี	300	10
	น้ำบ่อน้ำอาร์เทเซียน	240-2,400	10
	ทะเลสาบมิชิแกน	600	10

ตารางที่ 1.[illegible] ปริมาณพลูโทเนียม -239, 240 ในอากาศ

ประเทศ	สถานที่	พลูโทเนียม -239, 240 (ออกโตคูรีต่อ ลบ.ม อากาศ)	เอกสารอ้างอิง
เปรู	ไทมา	2	10
บาวาเรีย	ซาคาลทายา	1	10
ชิลี	ซานติเอโก	3.7	10
เยอรมัน	ตูนย์ไวเคลียร์เมืองคาร์ลสรู	58	15
คานาดา	เมืองมูซอน รัฐออนทาริโอ	3 -5	16
อเมริกา	เมืองนิวยอร์ค รัฐนิวยอร์ค	3-10	16
	ร็อกกี้แฟลท รัฐโคโลราโด	116-342	16
	เมืองลิเวอร์มัวร์ รัฐแคลิฟอร์เนีย	3-10	16
	เมืองไมอามี่ รัฐฟลอริดา	6-9	16
	เมืองมัวนาโล รัฐเฮาวาย	12-16	16

ตารางที่ 1.4.4 ระดับของพลูโทเนียม -239, 240 ในอากาศในบรรยากาศชั้นล่าง

ประเทศ	สถานที่	พลูโทเนียม -239, 240 (femtocurie ต่อ ลบ.ม.อากาศ)	เอกสารอ้างอิง
อเมริกา	ฐานทัพอากาศเอลสันในรัฐอลาสกา (ปี ค.ศ. 1979)	1.56-3.75	16
	ฐานทัพอากาศฮิลส์โบโรในรัฐนอร์ทดาโคตา (ปี ค.ศ. 1980)	1.35-3.91	16
	ฐานทัพอากาศคอนคอร์ดในรัฐนิวแฮมป์เชียร์ (ปี ค.ศ. 1980)	2.1-2.8	16

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 การเก็บตัวอย่าง

1.5.1.1 ตัวอย่างดิน เก็บจากบริเวณที่ราบลุ่มในอำเภอบางปะกง โดยขุดดินจากพื้นที่กว้าง 9 นิ้ว ยาว 9 นิ้ว และลึก 2 นิ้ว ด้วยเครื่องมือขุด

1.5.1.2 ตัวอย่างน้ำ เก็บจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการบริโภค ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าลาด แม่น้ำท่าถึก คลองประปา คลองชลประทาน และคลองดำเนินสะดวก เก็บน้ำแต่ละตัวอย่างใส่ในปรมาตร 20 ลิตร โดยใช้ถังน้ำพลาสติกขนาด 5 ลิตรจำนวน 4 ใบ ทำให้น้ำนั้นเป็นกรดด้วยกรดไนตริก

1.5.1.3 ตัวอย่างอากาศ เก็บโดยดูดอากาศปริมาตรประมาณ 400 ลูกบาศก์เมตรผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (glass fibre filter paper) ด้วยเครื่องดูดอากาศชนิด high volume air sampler

1.5.2 การเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสม

ตัวอย่างน้ำและตัวอย่างอากาศที่เก็บมานำไปทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนในวิธีวิเคราะห์ได้เลย ส่วนตัวอย่างดินนำมาตากให้แห้ง บดให้ละเอียด ผ่านตะแกรง 140-325 เมช แล้วอบให้แห้ง เก็บใส่ถุงพลาสติกรอทำการวิเคราะห์ต่อไป

1.5.3 การวิเคราะห์แยกทางเคมี

เติมตัวติดตามพลูโทเนียม -242 ลงในตัวอย่างดินและอากาศ สำหรับตัวอย่างน้ำเติมตัวพาเหล็ก (III) (เพื่อเป็นตัวพาในการตกตะกอนร่วม) แทนตัวพาแบเรียม จะสลายตะกอนที่ได้แล้วแยกพลูโทเนียมโดยวิธีทางเคมี โดยใช้วิธีการสกัดและการแลกเปลี่ยนอนุมูล ตกตะกอนพลูโทเนียมที่ทำให้บริสุทธิ์แล้วกับตัวพาซีเรียม (cerium carrier) กรองตะกอนที่ได้ ทำให้แห้งแล้วนำไปวัดปริมาณรังสีของพลูโทเนียม

1.5.4 การวัดปริมาณไอโซโทปพลูโทเนียม

วัดพลังงานของอนุภาคแอลฟาด้วยหัววัดชนิด semiconductor ชนิด Surface barrier ประกอบกับเครื่องวิเคราะห์แบบ Multichannel ขนาด 1,024 ช่อง คำนวณปริมาณพลูโทเนียมในตัวอย่างโดยเปรียบเทียบจากตัวติดตามพลูโทเนียม -242 ที่เติมลงไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

- ปริมาณไอโซโทปของพลูโทเนียมในดิน น้ำ และอากาศ เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับตัวอย่างสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในภาคกลางของประเทศไทย เพื่อมีไว้เป็นข้อมูลขั้นมูลฐาน หากมีการนำเอาพลังงานนิวเคลียร์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันในการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยในอนาคตต่อไป

- วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างโทเนียมปริมาณน้อยในดิน น้ำ และอากาศ ที่พัฒนาให้เหมาะสมกับอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่มีอยู่ขณะนี้

- วิธีแยกตัวอย่างโทเนียมออกจากกลุ่มธาตุแรร์เอิร์ท และกลุ่มธาตุแอกทิไนด์