

รายงานฉบับสมบูรณ์

การวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ
สำหรับประเทศไทย

Development of appropriate and effective measurement methods of mercury in
ambient air and in wet deposition for Thailand

กลุ่มอากาศ เสียงและความสั่นสะเทือน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

กรมส่งเสริมคุณสิ่งแวดล้อม

มกราคม 2561

รายงานฉบับสมบูรณ์

การวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ
สำหรับประเทศไทย

Development of appropriate and effective measurement methods of mercury in
ambient air and in wet deposition for Thailand

กลุ่มอากาศ เสียงและความสั่นสะเทือน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

กรมส่งเสริมคุณสิ่งแวดล้อม

มกราคม 2561

รายงานฉบับสมบูรณ์

การวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ
สำหรับประเทศไทย

Development of appropriate and effective measurement methods of mercury in
ambient air and in wet deposition for Thailand

ที่ปรึกษาโครงการ

- | | |
|---------------------------|--|
| ๑. Dr. David Gay | National Atmospheric Deposition Program (NADP) |
| ๒. Mr. David Schmeltz | US. Environmental Protection Agency |
| ๓. Dr. Guy-Rong Sheu | National Central University, Taiwan |
| ๔. นางสาวศรินภา ศรีทองทิม | ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม |

คณะผู้วิจัย

- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| 1. นางสาวหทัยรัตน์ การ์ิเวทย์ | หัวหน้าโครงการวิจัย |
| 2. นางเดซี่ หมอกน้อย | |
| 3. นายธนาพันธ์ สุขสะอาด | |
| 4. นางสาวดวงเดือน ชานะทร | |
| 5. นางสาวจันทิราพร ทั้งสุวรรณ | |
| 6. นางสาวอรจิรียา รินสาร | |
| 7. นายสุธีระ บุญญาพิทักษ์ | |
| 8. นายนิรัน เปี่ยมไย | |
| 9. นายอดุลย์เดช ปัดภัย | |
| 10. นางสาวรุ่งระวี คงสงค์ | |

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยการสนับสนุนงบประมาณของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำหรับการปรับปรุงห้องปฏิบัติการ clean room ครุภัณฑ์และอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการพัฒนาวิธีการตรวจวัดที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย ตลอดจนการจัดตั้งสถานีตรวจวัดปรอทในอากาศและในน้ำฝน ซึ่งต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูงเนื่องจากระดับปรอทที่ศึกษาอยู่ในระดับส่วนในล้านล้านส่วน หรือ part per trillion นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ Dr. David Gay และ Mr. David Schmeltz ผู้เชี่ยวชาญในเครือข่าย Asia-Pacific Mercury Monitoring Network (APMMN) ที่ได้ให้คำปรึกษาและสนับสนุนด้านวิชาการให้คณะผู้วิจัยได้พัฒนาศักยภาพในการศึกษาสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนได้อย่างถูกต้อง ขอขอบคุณ Taiwan Environmental Protection Administration ที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติสำหรับสารปรอท ขอขอบคุณ Professor Guey-Rong Sheu มหาวิทยาลัย National Central University ประเทศไต้หวัน ที่ได้ทำการตรวจวัดตัวอย่างปรอทในน้ำฝนของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายตั้งแต่เริ่มโครงการจนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้ยังได้ให้การสนับสนุนผู้เชี่ยวชาญการตรวจวัดปรอทในน้ำฝน Mr. Da-Wei Lin แบบให้เปล่าเพื่อช่วยคณะผู้วิจัยในการแก้ปัญหาระหว่างการพัฒนาวิธีการตรวจวัดดังกล่าว นอกจากนี้ยังได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายทั้งหมดแก่เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจำนวน 3 คน ในการเดินทางไปเข้าร่วมประชุมประจำปี APMMN ครั้งที่ 6 และเข้ารับการอบรมวิธีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนที่ประเทศไต้หวัน เพื่อเป็นการเผยแพร่ผลงานและเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดฯ สุดท้ายคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ US Environmental Protection Agency ที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายทั้งหมดแก่หัวหน้าโครงการวิจัยในการเข้าร่วมนำเสนอผลงานในการสัมมนานานาชาติ International Conference on Mercury as a Global Pollutant ครั้งที่ 13 ณ รัฐ Rhode Island ประเทศสหรัฐอเมริกา ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ใช้ความอดทนและความเป็นมืออาชีพในการปฏิบัติงานในโครงการฯจนลุล่วงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี

บทคัดย่อ

ปรอทถือเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นอันตรายสูง เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นพิษ และการระเหยได้ที่อุณหภูมิปกติ ด้วยเหตุนี้ปรอทจึงปรากฏอยู่ทั่วไป สิ่งสำคัญคืออากาศเป็นหนทางหลักที่ปรอทแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนการตกของฝนมีประสิทธิภาพในการชะล้างสารปรอทจากอากาศลงสู่ระบบนิเวศได้เป็นอย่างดี ทำให้ปรอทปนเปื้อนในดินและน้ำ คณะมนตรีประชาสันการโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP GC) ได้ยกให้สารปรอทเป็นสารมลพิษระดับโลก ที่สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชากรโลกได้ ในประเทศไทยการเข้าถึงข้อมูลปริมาณปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝนยังมีข้อจำกัดอยู่มาก เนื่องจากยังไม่มีห้องปฏิบัติการทดสอบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากมากในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย ตลอดจนห้องปฏิบัติการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำ (Ultra-trace Mercury Level Laboratory) เป็นครั้งแรกในประเทศไทย โดยได้รับการสนับสนุนทางวิชาการจาก Asia-Pacific Mercury Monitoring Network (APMMN) การพัฒนาวิธีการเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดสารปรอทในอากาศใช้แนวทางของวิธี U.S. EPA Compendium Method IO-5 และวิธีการเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดสารปรอทในน้ำฝนใช้แนวทางของวิธี U.S. EPA Method 1631, Revision E. โดยทั้งสองวิธีใช้หลักการ Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS) เป็นที่ทราบกันดีว่าการป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนในตัวอย่าง สำหรับการตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝน เป็นสิ่งที่ยากและท้าทายเป็นอย่างมาก ดังนั้นความร่วมมือในเครือข่าย APMMN จึงช่วยให้การพัฒนาวิธีการตรวจวัดและห้องปฏิบัติการทดสอบมีความถูกต้องน่าเชื่อถือในระดับสากล ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้ทำการตรวจวัดสารปรอทในอากาศในหลายพื้นที่ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2560 พบว่าปริมาณปรอทในอากาศมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง $1.56\text{--}3.25\text{ ng/m}^3$ ทั้งนี้ปริมาณปรอทในอากาศจะแปรผันตามแหล่งกำเนิดในพื้นที่นั้นๆ สำหรับปริมาณปรอทในน้ำฝนในปี พ.ศ. 2559-2560 พบว่ามีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง $1.90\text{--}13.7\text{ ng/l}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปี (volume weighted average) อยู่ที่ 6.63 ng/l ทั้งนี้เป็นค่าความเข้มข้นในพื้นที่ชนบทของประเทศไทย ที่สถานีตรวจวัดของ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม อำเภอกลองหลวง จังหวัดพทุมธานี ในอนาคตการนำวิธีการตรวจวัดปรอทในอากาศและในน้ำฝนที่ได้มีการพัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ไปขยายผลในการตรวจติดตามปริมาณสารปรอทในสิ่งแวดล้อมให้ครอบคลุมทั้งประเทศเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะการแพร่กระจายและการตกสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงถึงแหล่งกำเนิดสารปรอทที่สำคัญในพื้นที่ เป็นการประเมินการลดผลกระทบจากมลพิษปรอทในประเทศไทย ทำให้ประชาชนมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และเป็นการปฏิบัติตามข้อบทที่ 19 และ 22 ของอนุสัญญามินามาตะว่าด้วยปรอทที่ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันไว้ด้วยแล้ว

คำสำคัญ: วิธีการตรวจวัด สารปรอทในอากาศ สารปรอทในน้ำฝน ปริมาณปนเปื้อนสารปรอท ประเทศไทย

Abstract

Mercury has been regarded to be one of the extremely hazardous metals due to its toxicity, volatility and low vapor pressure even at ambient temperature. As such, Mercury's existence is actually everywhere. It is noted that atmosphere is the foremost transport pathway of mercury emission and wet deposition is the most efficient at removing divalent mercury (a soluble form) from the air to the environment. However, there are still limited accessible data of air concentration and wet deposition of mercury in Thailand due to lack of measurements. Therefore, it is important to develop appropriate methods suitable for atmospheric and wet deposition mercury measurements in Thailand.

The study presents the implementation of atmospheric and wet deposition of mercury measurements laboratory and the initial mercury results at a rural area in Thailand. With guidance and technical supports of Asia-Pacific Mercury Monitoring Network (APMMN), we conduct research and development on methodologies. The sampling and analysis of mercury in ambient air was utilizing Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS) based on the Compendium Method IO-5. The determination of mercury in precipitation was by Oxidation, Purge and Trap, and CVAFS based on the Method 1631, Revision E. It is well known that preventing samples from becoming contaminated during the sampling, transport and analysis process constitutes one of the greatest difficulties encountered in trace mercury determinations. The collaboration with APMMN's experts enabled us to improve facilities and analytical techniques that should minimize contamination and maximize the ability of the laboratory to make reliable trace mercury determinations. We conducted measurement of atmospheric mercury in several locations in Thailand where the potential sources of mercury are different. The results showed that mercury in ambient air during 2017 ranged 1.56-3.25 ng/m³. The mercury level in precipitation samples of 2017 sampling at the Environmental Research and Training Center, which is located at rural area of Pathumthani province, were varied from 1.90 - 13.7 ng/l with the volume weighted average of the year at 6.63 ng/l. Continuous monitoring program of mercury in air and precipitation in different areas in Thailand is necessary to understand the characteristic of mercury transport and deposition as well as determining source-oriented mercury changes in Thailand. Furthermore, this is consistent to the Article 19 and 22 of Minamata Convention on Mercury in which Thailand has already ratified.

Keywords: measurement methods, mercury in ambient air, mercury wet deposition, level of mercury contamination, Thailand

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
3. ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
5. หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	4
6. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัย	4
 บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 คุณสมบัติของสารปรอทและความเป็นพิษในสิ่งแวดล้อม	5
2.2 สถานการณ์สารปรอทในประเทศไทย	10
2.3 การเฝ้าระวังสารปรอทในอากาศ	11
 บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการศึกษา	13
3.1 สถานีตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝน	13
3.2 ห้องปฏิบัติการ Clean room	14
3.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในอากาศ	16
3.4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน	19
3.5 ระบบฐานข้อมูลการปนเปื้อนและการกระจายตัวสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนเชิงพื้นที่	23
 บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	24
4.1 ปรอทในอากาศ	24
4.2 การเปรียบเทียบวิธีการตรวจวัดปรอทในอากาศด้วย “manual method” และ “automatic method”	30
4.3 ปรอทในน้ำฝน	33
4.4 ระบบฐานข้อมูลการปนเปื้อนและการกระจายตัวสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนเชิงพื้นที่	36
 บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผล	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม	39

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวกที่ 1 คู่มือการเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติ	41
ภาคผนวกที่ 2 คู่มือการทำงานหมาวิธีทดสอบหาปริมาณสารปรอทในน้ำฝน	47
ภาคผนวกที่ 3 คู่มือการทำงานหมาวิธีทดสอบหาปริมาณสารปรอทในตัวอย่างอากาศ	55

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 เคมีของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมที่มีความเชื่อมโยงกันทั้งในอากาศ น้ำและดิน	6
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการปลดปล่อยสารปรอทสู่อากาศในภูมิภาคต่างๆ ระหว่างปี 1995-2005 (ต้นต่อปี)	7
รูปที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยสารปรอทจากแหล่งกำเนิดภาคอุตสาหกรรม	7
รูปที่ 4 วงจรของสารปรอทในอากาศตั้งแต่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด(emission) การเกิดการ เปลี่ยนแปลงด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical transformation) และการถูกกำจัด ออกจากอากาศ (deposition)	8
รูปที่ 5 Mercury Spider: applications and activity	9
รูปที่ 3.1 สถานีเก็บตัวอย่างสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม	13
รูปที่ 3.2 ห้อง clean room และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	15
รูปที่ 3.3 เครื่องเก็บและเครื่องวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในอากาศ	17
รูปที่ 3.4 เครื่องเก็บน้ำฝนอัตโนมัติและเครื่องวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน	20
รูปที่ 4.1 แผนที่เก็บตัวอย่างที่ (1) วัดพุทธรัง (2) วัดถ้ำมกฏ อำเภอมะนัง จัหวัดสระบุรี	26
รูปที่ 4.2 แผนที่เก็บตัวอย่างที่ วัดบุยายใบ อำเภอสรรคมาโพธิ์ จัหวัดปราจีนบุรี	26
รูปที่ 4.3 แผนที่เก็บตัวอย่างที่ มาบตาพุด จัหวัดระยอง	27
รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศในแต่ละพื้นที่ แสดงค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และ ค่าสูงสุดของช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	29
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศ ณ วัดพุทธรัง จัหวัดสระบุรี เปรียบเทียบการตรวจวัด ระหว่าง เทคนิค automatic analyzer (Hg-Tekran) และ เทคนิค gold amalgam tube (Hg-Tube)	30
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศ ณ วัดถ้ำมกฏ จัหวัดสระบุรี เปรียบเทียบการตรวจวัด ระหว่าง เทคนิค automatic analyzer (Hg-Tekran) และ เทคนิค gold amalgam tube (Hg-Tube)	31
รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศ ณ วัดบุยายใบ จัหวัดปราจีนบุรี เปรียบเทียบการตรวจวัด ระหว่าง เทคนิค automatic analyzer (Hg-Tekran) และเทคนิค gold amalgam tube (Hg-Tube)	31
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศ ณ วัดปลวกเหตุ จัหวัดระยอง เปรียบเทียบการตรวจวัด ระหว่าง เทคนิค automatic analyzer (Hg-Tekran) และเทคนิค gold amalgam tube (Hg-Tube)	32
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจวัดปรอทในอากาศด้วยเครื่องตรวจวัดอัตโนมัติ (Tekran model 2537X) และตรวจวัดด้วยเทคนิคหลอดเก็บตัวอย่าง Gold amalgam tube (Hg-Tube)	32
รูปที่ 4.10 ระดับการปนเปื้อนสารปรอทใน blank ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน (ng/l)	33
รูปที่ 4.11 ปริมาณปรอททั้งหมดในน้ำฝน (ng/l) เทียบกับปริมาณน้ำฝน (mm) ของแต่ละ ตัวอย่างระหว่าง พฤษภาคม 2558 – พฤศจิกายน 2559	35
รูปที่ 4.12 ปริมาณการตกสะสมของปรอท ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) ระหว่าง พฤษภาคม 2558 – พฤศจิกายน 2559	35

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการตรวจวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างอากาศจากเครื่องวิเคราะห์ปรอท Mercury analyzer (NIC model WA-5F)	18
ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างการประกันคุณภาพของการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำฝนจากเครื่อง วิเคราะห์ปรอท Mercury analyzer (NIC) model RA-4300FG+	21
ตารางที่ 4.1 สถานที่เก็บตัวอย่างพร้อมลักษณะกิจกรรมในพื้นที่	25
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศในแต่ละพื้นที่ (ng/m ³)	28
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารปรอทในน้ำฝนที่สถานีเก็บตัวอย่างน้ำฝน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (n=49)	34

บทที่ 1

บทนำ

๑. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าสารปรอท (mercury) เป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในโลกนี้ตามธรรมชาติ ซึ่งปริมาณที่มีอยู่ในโลกจะไม่สูญหายไปไหน นอกจากการเปลี่ยนรูป หรือแพร่กระจายไปในที่ต่างๆ เท่านั้น ธาตุปรอทเป็นธาตุชนิดเดียวที่มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ มีสีเงินมันวาว ในธรรมชาติเราสามารถพบธาตุปรอทผสมอยู่กับธาตุอื่นๆ โดยมีความเข้มข้นสูงในเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) (www.epa.state.oh.us/opp/pq/fall98/merc498.html) นอกจากนี้สารปรอทยังสามารถระเหยเป็นไอได้ง่าย ดังนั้นทั้งโดยธรรมชาติเองและกิจกรรมที่มนุษย์ทำขึ้น เป็นสาเหตุให้ปรอทกระจายตัวในระบบนิเวศอากาศ น้ำและดิน โดยผ่านกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน ด้วยคุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ที่เฉพาะตัวของปรอท กล่าวคือ มีความถ่วงจำเพาะสูง มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ และมีปริมาตรคงที่เมื่อขยายตัว เป็นต้น ทำให้ปรอทถูกนำมาใช้เป็นสารประกอบในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ หรือแม้แต่การทำโลหะผสม กระบวนการเหล่านี้ทำให้ปรอทมีการกระจายตัวในสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น บรรยากาศถือเป็นตัวกลางสำคัญที่ปรอทจะถูกพัดพาไปในสิ่งแวดล้อม จากแหล่งกำเนิดแบบอยู่กับที่ หรือแบบพื้นผิว เมื่อปรอทถูกปลดปล่อยออกมาแล้วก็จะถูกพัดพาไปในอากาศจากที่หนึ่ง ตกลงสู่ดินและน้ำอีกที่หนึ่ง ซึ่งสามารถจะเก็บกักปรอทไว้จนกว่าจะมีการเคลื่อนไหวทำให้ปรอทกลับสู่บรรยากาศอีกครั้งหนึ่ง การเกิดฝนมีบทบาทสำคัญในการชะล้างปรอทจากบรรยากาศ ลงสู่ดินและน้ำ ดังนั้นปรอทจึงเป็นมลพิษข้ามแดน (long range transport pollutant) ได้ในบรรยากาศ

การปนเปื้อนของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม มักพบปนเปื้อนอยู่ในอากาศ น้ำ และดินเป็นส่วนใหญ่ สาเหตุมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาขยะ ขยะผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตามบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารปรอทเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตพลาสติก โรงงานผลิตเภสัชภัณฑ์ โรงงานไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหิน และโรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถพบสารปรอทในเครื่องสำอางและอาหารโดยเฉพาะอาหารทะเลพบมากในสัตว์ทะเลตัวใหญ่ เช่น หูฉลาม ทูน่า โลมา วาฬ เนื่องจากมีช่วงชีวิตที่ยืนยาวและกินปลาเล็กเป็นอาหาร จึงมีโอกาที่สารปรอทสะสมอยู่ในตัวค่อนข้างมาก (เรียกกระบวนการนี้ว่า Biomagnification) ซึ่งการปนเปื้อนของสารปรอทจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีสาเหตุมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมักปล่อยสารปรอทออกมากับน้ำทิ้งของโรงงานนั่นเอง สารปรอทเข้าสู่ร่างกายได้โดยตรงจากการหายใจ การสัมผัสทางผิวหนัง การกินอาหารและน้ำที่ปนเปื้อนสารปรอท สารปรอทที่อยู่ในรูปของเหลวสามารถระเหยเป็นไอได้ในภาวะปกติ ส่วนใหญ่พบอยู่ในเทอร์โมมิเตอร์ (ปรอทวัดไข้) ถ้าเทอร์โมมิเตอร์แตกสารปรอทจะกลายเป็นไอ แพร่กระจายออกมาปนเปื้อนในอากาศก่อให้เกิดอันตรายกับสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ได้

สืบเนื่องจากการประชุมคณะมนตรีประศาสน์การโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP GC) พ.ศ. ๒๕๔๔ ได้มีการประเมินผลกระทบของสารปรอทในระดับโลก ผลการประเมินพบว่า สารปรอทส่งผล

กระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชากรโลก และต่อมา UNEP GC ได้ข้อสรุปว่า “การลดความเสี่ยง” เป็นแนวทางหลักในการดำเนินงานเพื่อการจัดการสารปรอทระหว่างประเทศ (สารปรอทปนเปื้อนข้ามแดน) ในระยะยาว พร้อมทั้งเรียกร้องให้รัฐบาลประเทศต่างๆ องค์กรเอกชน และองค์กรระหว่างประเทศ ดำเนินกิจกรรมเพื่อลดความเสี่ยงจากสารปรอทในผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต และมีมติให้จัดทำมาตรการทางกฎหมายแล้วเสร็จ ซึ่งต่อมาได้พัฒนาเป็นอนุสัญญาระหว่างประเทศที่ใช้ชื่อว่า “The Minamata Convention on Mercury” มีวัตถุประสงค์ “เพื่อปกป้องสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากการปลดปล่อยสารปรอทและสารประกอบปรอทจากกิจกรรมของมนุษย์สู่อากาศ แหล่งน้ำ และดิน” ซึ่งจะมีผลให้ประเทศต่างๆ รวมทั้งประเทศไทยต้องมีการพิจารณารับรองหรือเข้าร่วมเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาต่อไป โดยจะมีการรับรองอนุสัญญาในเดือนตุลาคม ๒๕๕๖ ที่ผ่านมา และจะมีผลบังคับใช้ใน ๙๐ วัน หลังจากมีประเทศลงนามในอนุสัญญาดังกล่าวครบ ๕๐ ประเทศ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของสารปรอทในแหล่งน้ำ ในสัตว์น้ำ และในดิน เพื่อปกป้องสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในประเทศ แต่ยังไม่มีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝน ซึ่งมีปริมาณน้อยมาก ซึ่งต้องใช้วิธีการตรวจวัดที่เหมาะสม แม่นยำ ถูกต้องเชื่อถือได้ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เล็งเห็นความสำคัญของการปนเปื้อนสารปรอทในอากาศ ซึ่งเป็นตัวกลางสำคัญที่ปรอทจะถูกพัดพาไปในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การเกิดฝนมีบทบาทสำคัญในการชะล้างปรอทจากบรรยากาศ ลงสู่ดินและน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ดินและสัตว์น้ำ จึงได้ทำการศึกษาพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย เพื่อใช้ในการตรวจวัดการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารปรอทในอากาศ และในน้ำฝนในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศ เป็นการประเมินระดับการปนเปื้อนของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม และเพิ่มศักยภาพของประเทศไทยในการป้องกันและควบคุมปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากสารปรอท ยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน ตลอดจนเป็นข้อมูลให้แก่ประเทศไทยในการอนุวัติอนุสัญญามินามาตะว่าด้วยสารปรอท “The Minamata Convention on Mercury” ที่ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันแล้วเมื่อวันที่ ๒๓ มิถุนายน ๒๕๖๐ นับเป็นประเทศที่ ๖๖ ของอนุสัญญา

๒. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- ๒.๑ พัฒนารูปแบบการตรวจวัดสารปรอทในอากาศ และในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย
- ๒.๒ ศึกษาปริมาณของสารปรอทในอากาศและในน้ำฝน เพื่อเชื่อมโยงการปนเปื้อนสารปรอทและแหล่งกำเนิด โดยประยุกต์ใช้เทคนิคสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographical Information System) และสถิติสหสัมพันธ์
- ๒.๓ จัดทำระบบฐานข้อมูลพื้นที่การปนเปื้อนสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนที่ได้จากการศึกษา

๓. ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา:

- พื้นที่สะอาดที่ไม่มีการปนเปื้อนของสารปรอท เพื่อเป็นพื้นที่เปรียบเทียบ (Background site) ได้แก่ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จังหวัดปทุมธานี
- พื้นที่เสี่ยงมีการปนเปื้อนของสารปรอท และที่มีแหล่งกำเนิด ได้แก่ พื้นที่อุตสาหกรรม (มาบตาพุด จังหวัดระยอง) พื้นที่ฝังกลบขยะชุมชน (จังหวัดสมุทรปราการ) เป็นต้น

3.2 วิธีตรวจวัดสารปรอทในอากาศ ใช้วิธี Compendium method IO-5 (Reference US.EPA. 1999) เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศ โดยเป็นวิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์สารปรอทในอากาศด้วยเทคนิค Cold Vapour Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS)

3.3 วิธีตรวจวัดสารปรอทในน้ำฝน ใช้วิธี EPA method 1631 (Method 1631, Revision E, US.EPA. 2002) เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทในน้ำฝน โดยเป็นวิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์สารปรอทในน้ำสะอาดด้วยเทคนิค Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapour Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS).

3.4 จัดทำระบบฐานข้อมูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนสำหรับพื้นที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารปรอทโดยใช้โปรแกรมระบบฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2012

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

๔.๑ ด้านวิชาการ

- วิธีตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย
- ระบบฐานข้อมูลการปนเปื้อนและการกระจายตัวสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนเชิงพื้นที่

๔.๒ ด้านนโยบาย

- ข้อมูลสนับสนุนการพิจารณาจัดตั้งค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของสารปรอทในประเทศไทย
- ข้อมูลสนับสนุนการพิจารณาการเข้าร่วมเป็นภาคีในอนุสัญญา “The Minamata Convention for Mercury” ของประเทศไทย

๔.๓ ด้านสังคมและชุมชน

- เป็นองค์ความรู้สามารถนำเผยแพร่เพื่อให้ความรู้ต่อประชาชนทั่วไป เด็กนักเรียน และผู้นำในท้องถิ่น ได้มีความรู้ในเรื่องการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีส่วนผสมของสารปรอท เช่น หลอดไฟฟ้า ปรอทวัดไข้ เป็นต้น เมื่อไม่ใช้แล้วต้องมีการทิ้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นอาจเป็นแหล่งกำเนิดให้ปรอทออกมาปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดอันตรายต่อตนเองและผู้อื่นได้
- เผยแพร่ประชาสัมพันธ์ผลการศึกษาให้แก่ท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องเพื่อการบริหารจัดการแหล่งกำเนิดสารปรอทได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เช่น การจัดการขยะชุมชน และขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปนเปื้อนของสารปรอทให้เหมาะสม

5. หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

คณะอนุกรรมการอนุสัญญา “The Minamata Convention for Mercury” ของประเทศไทย กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ สถาบันการศึกษา สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น และประชาชนทั่วไป

6. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัย

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในอากาศ และในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย สามารถสร้างความรู้และความเข้าใจต่อปริมาณสารปรอทในบรรยากาศทั่วไปและการตกสะสมแบบเปียกของสารปรอทในพื้นที่ชนบท ซึ่งยังไม่มีการศึกษามาก่อนในประเทศไทย เป็นการสนับสนุนการพัฒนาศักยภาพของประเทศในการตรวจติดตามระดับการปนเปื้อนของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมของประเทศ ที่สอดคล้องกับพันธกรณีของอนุสัญญามินามาตะว่าด้วยปรอท “The Minamata Convention for Mercury” ที่ประเทศไทยได้ลงนามให้สัตยาบันแล้วเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2560 ซึ่งต้องมีการอนุวัติอนุสัญญาต่อไป นอกจากนี้ยังใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาจัดทำมาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับปรอทในประเทศไทยในอนาคต

บทที่ 2

บททวนวรรณกรรม

2.1 คุณสมบัติของสารปรอทและความเป็นพิษในสิ่งแวดล้อม

สารปรอทเป็นธาตุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นโลหะสีเงินมันวาว มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มักเกิดปะปนอยู่กับโลหะอื่นๆ โดยพบว่ามีการปนเปื้อนในระดับสูงในเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuels) สารปรอทในสิ่งแวดล้อมจะเกิดขึ้นในสามรูปแบบ ได้แก่ ในรูปของโลหะปรอท (elemental mercury) ในรูปของปรอทอนินทรีย์ (inorganic mercury) และปรอทอินทรีย์ (organic mercury) และทั้งสามรูปแบบนั้นมีคุณสมบัติเป็นสารพิษในสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น elemental mercury ถือเป็นรูปที่เสถียรที่สุด ละลายน้ำได้น้อย และสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้อง ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของปรอทในอากาศที่เป็นอันตรายได้ inorganic mercury โดยปกติจะอยู่ในรูปของเกลือโลหะ ใช้เป็นส่วนผสมของสารฆ่าเชื้อโรค และยาฆ่าแมลง ซึ่ง inorganic mercury หลายชนิดได้ถูกห้ามใช้โดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศอเมริกา (<http://www.epa.gov/opptintr/pbt/mercury.htm>) สำหรับ organic mercury เป็นสารที่สามารถสังเคราะห์ขึ้นทางเคมีหรือการเปลี่ยนรูปทางชีววิทยาโดยแบคทีเรียเช่น methyl mercury ส่วนมากมักใช้เป็นสารฆ่าเชื้อรา สาร organic mercury บางชนิดสามารถละลายน้ำได้ทำให้สามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร เกิดการสะสมตัวและขยายความเป็นพิษ ที่เรียกว่ากระบวนการ bioaccumulation. เคมีของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมที่มีความเชื่อมโยงทั้งในอากาศ น้ำและดิน ดังแสดงในรูปที่ 1

แหล่งกำเนิดหลักของปรอทในอากาศเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาขยะ ขยะผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตามบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารปรอทเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตพลาสติก โรงงานผลิตเภสัชภัณฑ์ โรงงานไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหิน และโรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น UNEP 2008 ได้ประเมินว่าในทวีปเอเชียมีปริมาณการปลดปล่อยสารปรอทสู่อากาศเพิ่มขึ้นกว่า 50% นับจากปี 1990-1995 ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการความต้องการการใช้ไฟฟ้าและพลังงานเพิ่มขึ้นในภูมิภาคนี้ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรและการเติบโตทางเศรษฐกิจ ตลอดจนมีการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณการปลดปล่อยสารปรอทในอากาศค่อนข้างคงที่นับจากปี 1995-2000 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการมีเทคโนโลยีการบำบัดอากาศเสียที่เหมาะสมในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามในภูมิภาคเอเชียมีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศค่อนข้างจำกัดมากทำให้ไม่สะท้อนสถานการณ์จริงของการปนเปื้อนสารปรอท รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณการปลดปล่อยสารปรอทสู่อากาศในภูมิภาคต่างๆ ระหว่างปี 1995-2005 มีหน่วยเป็นตันต่อปี แสดงให้เห็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารปรอทในอากาศคือการเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมนั่นเอง นอกจากนี้ รูปที่ 3 ยังแสดงถึงปริมาณการปลดปล่อยสารปรอทจากแหล่งกำเนิดภาคอุตสาหกรรมแยกตามประเภท ซึ่งรวมข้อมูลการประมาณการระบายสารปรอทในประเทศไทยที่จัดทำโดย United Nation Environmental Program (UNEP)

สารปรอทที่ถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศจะอยู่ใน 3 ส่วน คือส่วนประกอบที่เป็นก๊าซปรอท gaseous elemental mercury (GEM) ส่วนประกอบที่เป็นออกซิไดซ์ก๊าซปรอท หรือที่เรียกว่า Reactive Gas Mercury (RGM) และส่วนประกอบที่เกาะอยู่กับฝุ่นละอองในอากาศ หรือที่เรียกว่า Particulate Bound

Mercury (PBM) ทั้งสามส่วนนี้พบว่า GEM จะมีปริมาณมากที่สุดในอากาศ เนื่องจากถูกปลดปล่อยโดยตรง และมีความเสถียรมากที่สุดในอากาศ เมื่อถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดแล้วจะสามารถคงอยู่ในอากาศ (lifetime) ได้ ค่อนข้างนานประมาณ 6-18 เดือน จึงสามารถพบได้ทั่วไปในอากาศ ส่วน RGM และ PBM จะมีระยะเวลาคงอยู่ในอากาศได้ค่อนข้างสั้นคิดได้เป็นหลายๆ ชั่วโมงหรือหลายๆวัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ทำให้ปฏิกิริยาได้ง่ายในอากาศ และละลายน้ำได้ดี จึงสามารถถูกกำจัดออกจากอากาศได้อย่างรวดเร็ว ผ่านกระบวนการตกสะสมแบบเปียก (wet deposition) และ แบบแห้ง (dry deposition) แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับ PBM ในบางกรณีสามารถถูกพัดพาไปกับฝุ่นละอองได้ในระยะไกลๆ แบบ long range transport ได้เช่นกัน

ปฏิกิริยาเคมีของสารปรอทในอากาศมีความซับซ้อน และมีความไม่แน่นอนเป็นอย่างมาก เนื่องจากขึ้นกับหลายปัจจัย (Calvert and Lindberg 2005; Lin et al., 2006; Ariya et al., 2008; Steffen et al., 2008) การตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนจึงมีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณการกระจายตัวของปรอทในสิ่งแวดล้อม และสารปรอทที่ถูกกำจัดออกจากอากาศผ่านกระบวนการ wet and dry deposition รูปที่ 4 แสดงถึงวงจรของสารปรอทในอากาศตั้งแต่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด (emission) การเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical transformation) และการถูกกำจัดออกจากอากาศ (deposition)

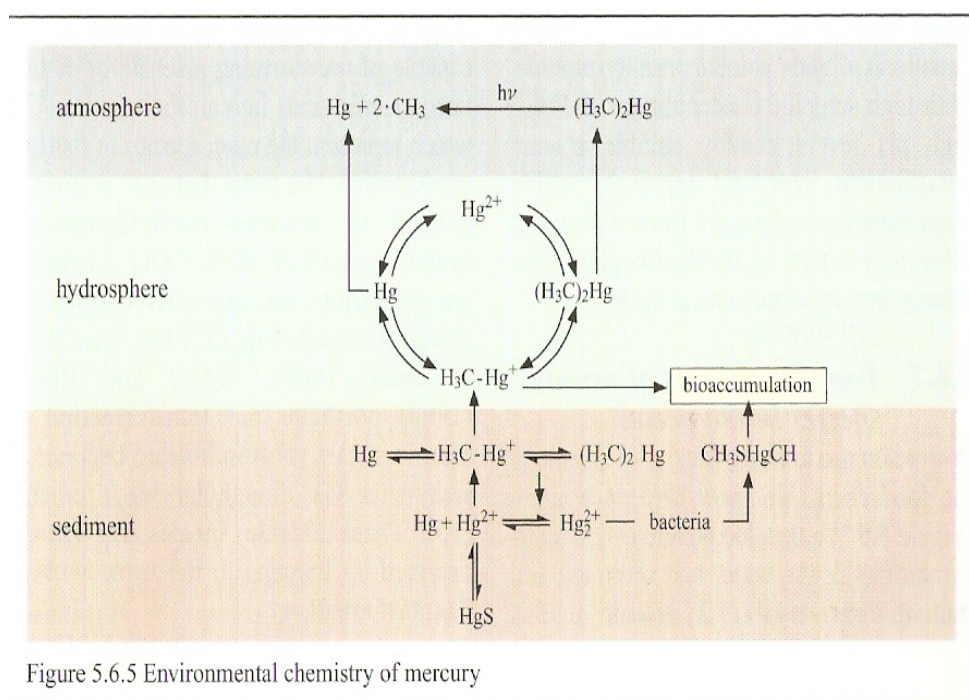
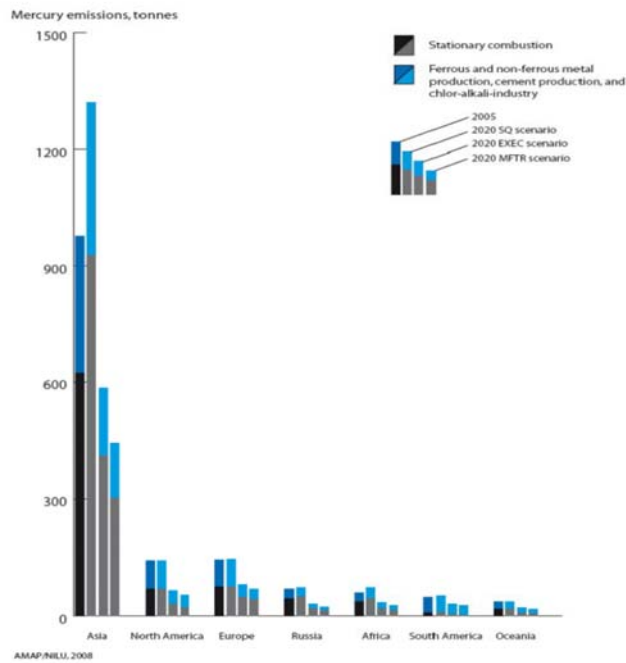


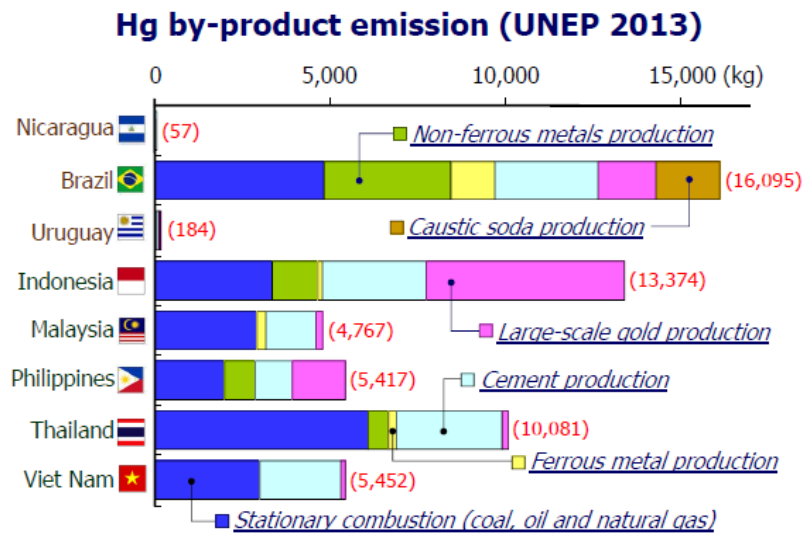
Figure 5.6.5 Environmental chemistry of mercury

รูปที่ 1 เคมีของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมที่มีความเชื่อมโยงกันทั้งในอากาศ น้ำและดิน

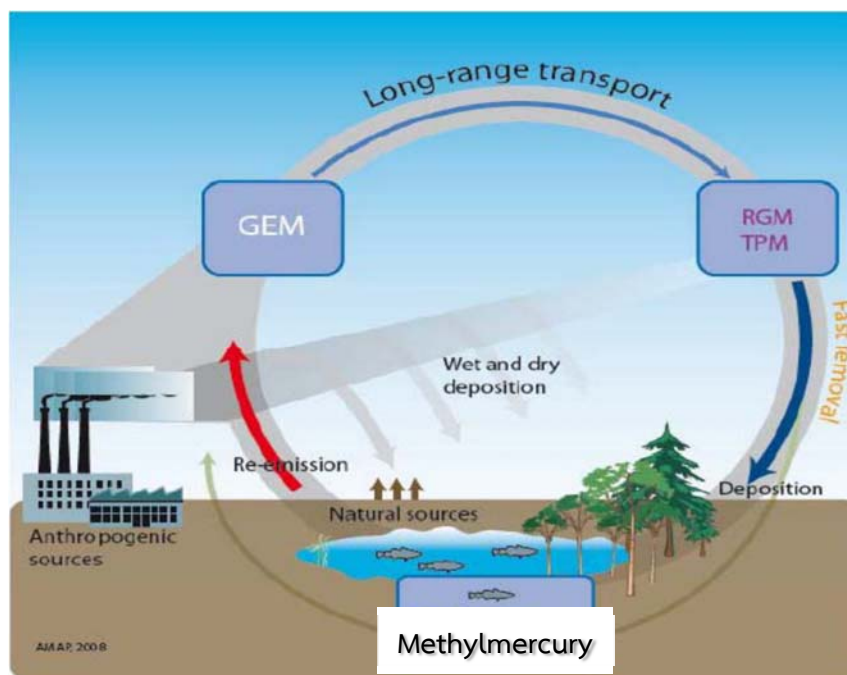
ที่มา: George Schwedt (2001), The Essential Guide to Environmental Chemistry.



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการปลดปล่อยสารปรอทสู่อากาศในภูมิภาคต่างๆ ระหว่างปี 1995-2005 (ต้นต่อปี)
ที่มา: UNEP Report 2008



รูปที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยสารปรอทจากแหล่งกำเนิดภาคอุตสาหกรรม
ที่มา: UNEP Report 2013



รูปที่ 4 วงจรของสารปรอทในอากาศตั้งแต่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด(emission) การเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical transformation) และการถูกกำจัดออกจากอากาศ (deposition)
ที่มา: UNEP Report 2008

Rompp (1993) ได้ทำการสำรวจว่าทั่วโลกมีการผลิตสารปรอทเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมในปี ค.ศ. 1987 ถึง 6000 ตัน ซึ่งประเมินว่าได้นำปรอทไปใช้ในอุตสาหกรรม chloroalkali 30% แบตเตอรี่ 21% อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ 20% อุตสาหกรรมผลิตสี 15% และ ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์และทันตกรรม 14% จากการใช้ปรอทดังกล่าวประเมินว่ามีการระเหยขึ้นสู่อากาศถึง 4 ตันต่อปี และปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำถึงปีละ 1 ตัน การตกสะสมของปรอทจากอากาศลงสู่พื้นโลกประเมินว่ามีถึง 10,000 ตันต่อปี Sunderland and Mason (2007) ได้ประเมินว่าโดยทั่วไปปริมาณสารปรอทที่ปนเปื้อนในอากาศมีปริมาณสุทธิคิดเป็น 6000 ตันต่อปี และมีเพียง 600 ตันต่อปีเท่านั้นเป็นปริมาณสุทธิที่ไหลลงแม่น้ำและทะเล การประเมินการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทั้งสองถึงแม้ว่าจะต่างเวลากัน แต่ก็มีคุณสมบัติคล้ายกัน แสดงให้เห็นว่าอากาศเป็นตัวกลางหลักและรวดเร็วของการแพร่กระจายสารปรอท ก่อให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ผลกระทบของสารปรอทต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพปรากฏให้เห็นครั้งแรกซึ่งเป็นที่รู้จักไปทั่วโลกคือ “โรคมินามาตะ” ที่จังหวัดคุมาโมโตะในประเทศญี่ปุ่น มีสาเหตุมาจาก methyl mercury อันเป็นสารประกอบอินทรีย์ของปรอทปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียซึ่งเกิดขึ้นจากโรงงานผลิต acetaldehyde acetic acid และ methyl mercury เกิดจากกระบวนการผลิต acetaldehyde ในโรงงาน สารพิษเหล่านั้นได้เข้าไปสะสมอยู่ในตัวปลาและหอยที่ชาวประมงจับขึ้นมาขายและรับประทาน ทำให้ประชาชนเสียชีวิต 46 คน และทรมานด้วยโรคดังกล่าวหลายร้อยคน (Japan Asia Quarterly Review 1997) นอกจากนี้แพทย์และผู้เชี่ยวชาญต่างๆ ต้องใช้เวลาถึง 12 ปีในการหาสาเหตุของโรคดังกล่าว

Kemper and Bertram (1987) ได้สร้าง diagram ความเชื่อมโยงหนทางของการได้รับสัมผัส (exposure possibilities) สารปรอทกับอวัยวะที่จะได้รับความเป็นพิษ (target organs of the toxicity) ตลอดจนอวัยวะที่สามารถเก็บสะสมสารปรอทได้ (storage compartments) เรียกว่า “Mercury Spider”: applications and activity ดังแสดงในรูปที่ 5 เนื่องจากสารปรอทมีความดันไอสูงจึงสามารถระเหยขึ้นในอากาศได้ง่ายทำให้มนุษย์สามารถได้รับสัมผัสโดยทางหายใจ โดยปรอทจะเข้าสู่ปอดและถูก oxidize อย่างรวดเร็วกลายเป็น Hg^{2+} และถูกดูดซึมเข้าไปในอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย inorganic mercury salts และ methyl mercury เข้าสู่ร่างกายทางระบบเดินอาหาร ซึ่งอาจก่อให้เกิดการอักเสบในระบบทางเดินอาหารได้ inorganic mercury มักสะสมได้ดีในไตต่อมไร้ท่อ และตับ ส่วน organic mercury จะสะสมได้ดีในสมองและระบบประสาทส่วนกลาง ความเป็นพิษสามารถหยุดระบบการทำงานของ enzyme ได้ ทั้งนี้สามารถเป็นทางพิษจนโรคว่าเกิดจากปรอทได้

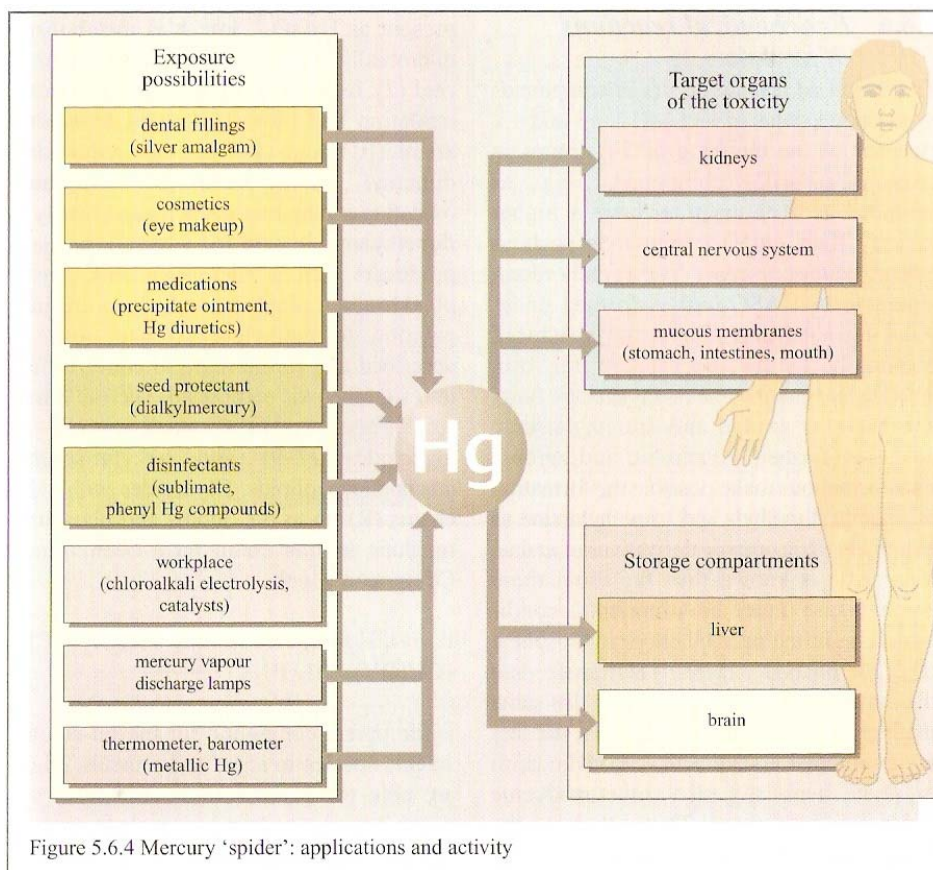


Figure 5.6.4 Mercury 'spider': applications and activity

รูปที่ 5 Mercury Spider: applications and activity

ที่มา: George Schwedt (2001), The Essential Guide to Environmental Chemistry.

2.2 สถานการณ์สารปรอทในประเทศไทย

ในประเทศไทย แหล่งกำเนิดหลักของปรอทในอากาศเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาขยะ ขยะผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตามบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารปรอทเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตพลาสติก โรงงานผลิตเภสัชภัณฑ์ โรงงานไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหิน โรงถลุงเหล็ก โรงงานปูนซีเมนต์ โรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมนอกจากนี้ยังสามารถพบสารปรอทในเครื่องสำอางและอาหาร

ประเทศไทยยังไม่มีมาตรการตรวจสอบสารปรอทในอากาศ มีแต่การติดตามตรวจสอบระดับของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ในน้ำ น้ำทะเล ในดิน และในสัตว์ทะเล ในพื้นที่ต่างๆ เพื่อเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารปรอท และเป็นการสร้างความตระหนักแก่ประชาชนในการบริโภคอาหาร และน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารปรอท หรือแม้แต่การใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารปรอทเป็นส่วนประกอบ โดยมีการติดตามตรวจสอบแยกตามประเภทของตัวอย่างได้ดังนี้

2.2.1 สารปรอทในน้ำทะเล

กรมควบคุมมลพิษได้ทำการติดตามตรวจสอบสารปรอทในน้ำทะเลมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เพื่อเฝ้าระวังให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของประเทศไทย โดยเน้นพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านเหนือและตะวันตกของอ่าวไทย ตลอดจนถึงทะเลตะวันออก (Eastern Seaboard) และด้านทะเลอันดามัน ข้อมูลการติดตามตรวจสอบในปี พ.ศ. 2544 แสดงค่าความเข้มข้นของสารปรอทในน้ำทะเลที่พบที่ ชายฝั่งทะเลด้านเหนือและตะวันตกของอ่าวไทย ฝั่งทะเลตะวันออก และทะเลอันดามัน พบว่ามีค่า 0.039 0.05 0.06 และ 0.04 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบค่าเฉลี่ยของสารปรอทบริเวณแนวชายฝั่งทะเลอยู่ในช่วง 0.02-0.09 ไมโครกรัมต่อลิตร และพบว่ามีแนวโน้มลดลงในปี พ.ศ. 2545 และ 2546 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 และ 0.009 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ ทั้งนี้จากการเฝ้าระวังระหว่างปี 2544-2546 พบว่าปริมาณสารปรอทในน้ำทะเลมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของประเทศไทยที่กำหนดไว้ 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่มีข้อสังเกตอยู่ว่าหากเป็นจุดเก็บตัวอย่างน้ำทะเลที่อยู่ใกล้บริเวณอุตสาหกรรมพบความเข้มข้นของสารปรอทมีค่าสูงกว่าพื้นที่ทั่วไปและมีค่าใกล้เคียงค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามข้อมูลการติดตามตรวจสอบสารปรอทในน้ำทะเลพบว่ามีค่าไม่ต่อเนื่องในปัจจุบัน ทำให้สถานการณ์การปนเปื้อนยังคงมีความไม่แน่นอน

2.2.2 สารปรอทในแม่น้ำ

สารปรอทเป็นสารมลพิษที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประเทศไทยมีค่า 2 ไมโครกรัมต่อลิตร กรมควบคุมมลพิษได้ทำการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่น้ำ 16 สายหลักของประเทศไทยระหว่างปี 2539-2543 ได้แก่ บางปะกง เจ้าพระยา ท่าจีน แม่กลอง ระยอง พังราด ตราท เพชรบุรี ปรามบุรี หลังสวน ตาปี ปากพนัง เทพา ตรัง ปัตตานี และสายบุรี พบว่าสารปรอทมีค่าอยู่ในช่วง น้อยกว่า 0.05 ถึง 1.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ศิริรัตนชัย (2544) ได้ทำการศึกษาสารปรอทในแม่น้ำเจ้าพระยาด้วยเทคนิค ultra clean ร่วมกับ Atomic Fluorescence Spectrometer พบว่าสารปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.024-0.133 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งผลการศึกษาที่มีความสอดคล้องกับการติดตามตรวจสอบของกรมควบคุมมลพิษโดยมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

2.2.3 สารปรอทในดินตะกอน

สารปรอทในตะกอนดินสามารถบ่งชี้การปนเปื้อนของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี เนื่องจากไม่ว่าสารปรอทที่อยู่ในอากาศหรือน้ำก็จะตกสะสมในตะกอนดินในที่สุด กรมควบคุมมลพิษได้ทำการติดตามตรวจสอบสารปรอทในตะกอนดินใน 106 สถานีครอบคลุมพื้นที่ 22 จังหวัดของประเทศไทย โดยเน้นพื้นที่บริเวณอ่าวไทยและชายฝั่งทะเลตะวันออก ผลการติดตามตรวจสอบในปี 2541 และ 2542 พบว่าค่าเฉลี่ยของสารปรอทในตะกอนดินเท่า 0.14 mg/kg dry wt. และ 0.07 mg/kg dry wt. ตามลำดับ แต่หากดูค่าความเข้มข้นสูงสุดที่พบจะเห็นว่ามีค่าสูง เช่นในปี 2541 มีค่า 2.14 mg/kg dry wt. และ ในปี 2542 มีค่า 0.87 mg/kg dry wt. ซึ่งค่าสูงสุดทั้งสองมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ของประเทศ ออสเตรเลีย และ นิวซีแลนด์ ที่กำหนดไว้ (0.15 mg/kg dry wt.) ทั้งนี้ประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานสารปรอทในตะกอนดิน

นอกจากนี้อุบัติการณ์การปนเปื้อนสารปรอทในสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในประเทศไทยมีให้เห็นแล้วที่อำเภอท่าตูม จังหวัดปราจีนบุรี พบสารปรอทในปลาและประชาชนที่อาศัยใกล้โรงไฟฟ้าถ่านหินและโรงผลิตเยื่อกระดาษ แม้เก็บตัวอย่างเพียง 20 ตัวอย่าง แต่ปลาทุกตัว (100%) มีปริมาณสารปรอทปนเปื้อนสูงเกินค่ามาตรฐานอาหารที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้อาหารมีสารปรอทปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.02 ppm แต่ปลาในคลองชลประทานซึ่งอยู่ใกล้โรงไฟฟ้าถ่านหินและโรงผลิตเยื่อกระดาษ มีสารปรอทปนเปื้อนตั้งแต่ 0.07-0.22 ppm มีสารปรอทปนเปื้อนเกินค่าที่ยอมรับได้ 3-11 เท่า ผลการตรวจวัดเส้นผมของชาวบ้าน 20 คนที่ บริโภคปลาในพื้นที่และอาศัยภายในรัศมี 2 กิโลเมตรของพื้นที่อุตสาหกรรมยังพบว่าเส้นผมของทุกคน (100%) มีสารปรอทสะสมอยู่ในปริมาณที่เกินค่าปริมาณอ้างอิง 1.00 ppm ซึ่งเป็นปริมาณที่อาจก่ออันตรายต่อการพัฒนาทางสมอง งานศึกษาครั้งนี้พบสารปรอทในเส้นผมของคน ตั้งแต่ 1.6-12.8 ppm

2.3 การเฝ้าระวังสารปรอทในอากาศ

ความพยายามในการเฝ้าระวังสารปรอทในอากาศได้มีขึ้นมานานแล้วในอดีตในทวีปยุโรปและอเมริกา Iverfeldt (1991) ได้เริ่มทำการตรวจวัดสารปรอทในน้ำฝนตั้งแต่ปี 1991 ต่อมาได้มีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศในรูป GEM และเมื่อไม่นานมานี้เองจึงได้มีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศทั้งสามรูปแบบ คือ GEM RGM และ TPM ได้ ซึ่งวิธีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศนั้น ในยุโรปและอเมริกาส่วนมากจะใช้วิธีของ US.EPA Compendium method IO-5 ซึ่งเป็นวิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์สารปรอทในอากาศด้วยเทคนิค Cold Vapour Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS) สำหรับวิธีตรวจวัดสารปรอทในน้ำฝน ใช้วิธี EPA method 1631 (Method 1631, Revision E, US.EPA. 2002) ซึ่งเป็นวิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์สารปรอทในน้ำสะอาดด้วยเทคนิค Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapour Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS).

ในอเมริกาเหนือมีการตรวจวัด GEM ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ ภายใต้ Canadian Atmospheric Mercury Network (CAMNET) โดยเป็นการเฝ้าระวังทั้งในพื้นที่ที่ไม่มีการปนเปื้อน (remote locations) และในพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิด ส่วนในอเมริกา การเฝ้าระวังจะเน้นพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน ทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับชาติ นอกจากนี้ยังมีการเฝ้าระวังสารปรอทในน้ำฝนภายใต้เครือข่าย Mercury Deposition Network (MDN) โดยมีการเชื่อมโยงกับ CAMNET ของแคนาดา เพื่อเป็นการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารปรอทในระดับภูมิภาค สำหรับในทวีปยุโรป มีการเฝ้าระวังสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนเช่นกัน ภายใต้ความร่วมมือ Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP)

นอกจากนี้การเฝ้าระวังการปนเปื้อนของปรอทในบริเวณขั้วโลกเหนือมีมาตั้งแต่ปี 1991 ภายใต้ The Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP)

จากการเฝ้าระวังสารปรอทในอากาศในทวีป ยุโรปและอเมริกาตอนเหนือ พบว่าความเข้มข้นของสารปรอทในอากาศ GEM ในพื้นที่ที่ไม่มีการปนเปื้อนเฉลี่ยรายปีมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-1.7 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสอดคล้องกับระดับที่พบในแอฟริกาใต้ในพื้นที่ที่ไม่มีการปนเปื้อนคือมีค่าประมาณ 1.2-1.4 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่สำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออก พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าคือ ประมาณ 4 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kim 2004) แต่ถ้าหากเป็นพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิด เช่นบริเวณเหมืองเก่าในประเทศสเปน พบความเข้มข้นของ GEM มีค่าสูงถึง 5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Ferrara et al., 1998) ในส่วนของระดับความเข้มข้น RGM ที่พบในทวีปยุโรปและอเมริกาเหนือ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 60 พิโคกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Wangberg et al., 2001) ปริมาณความเข้มข้นที่พบมากที่สุดอยู่ที่ Point Barrow ในรัฐ Alaska มีค่า 100 พิโคกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 1 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Brooks et al., 2006a) ในพื้นที่แถบขั้วโลกเหนือ (Arctic) ปริมาณ RGM ที่ตรวจวัดได้สูงสุดมีค่าประมาณ 40 พิโคกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ TPM มีค่า 100 พิโคกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Cobbett et al., 2007)

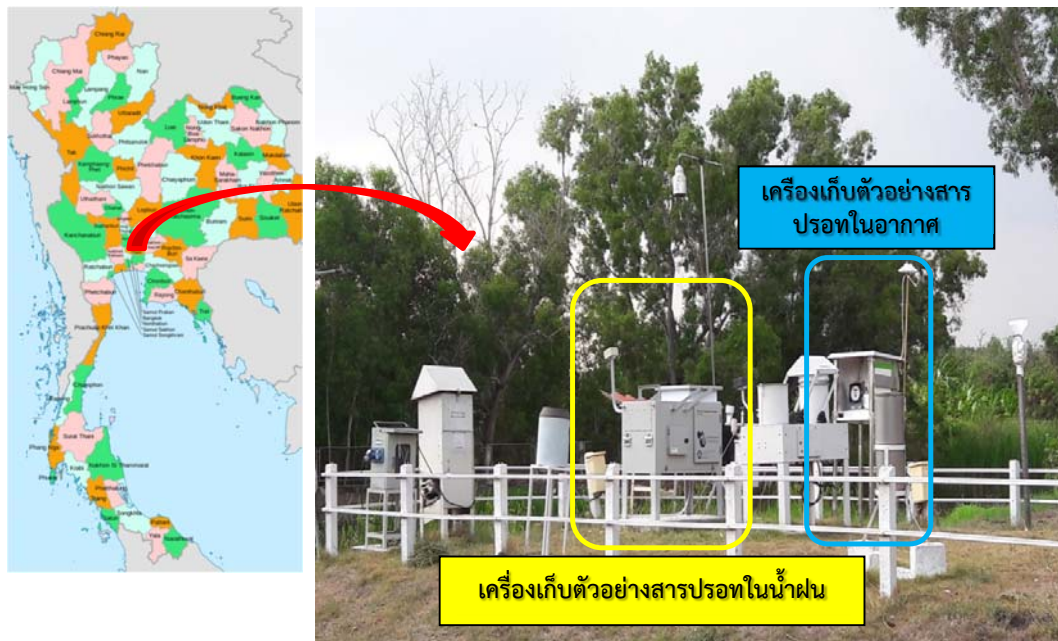
สำหรับทวีปเอเชีย มีการตรวจวัดสารปรอทในอากาศในประเทศจีน เกาหลีและญี่ปุ่น แต่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเอเชียแปซิฟิก ยังคงมีการตรวจวัดน้อยมาก ซึ่งจำเป็นต้องมีการพัฒนาศักยภาพในการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารปรอทในอากาศ เพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพอากาศและลดการสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม ตลอดจนลดการสะสมของสารปรอทในห่วงโซ่อาหารไม่ให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพเป็นการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนต่อไป

ในประเทศไทยสำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้มีการจัดตั้งห้องปฏิบัติการทดสอบสารปรอทปริมาณต่ำ (Ultra-trace Mercury Level Laboratory) ที่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สารปรอทในอากาศและในน้ำฝนเป็นแห่งแรกของประเทศไทย จึงเป็นการเพิ่มศักยภาพของประเทศในการลดและป้องกันการปนเปื้อนของปรอทในสิ่งแวดล้อม ให้คุณภาพชีวิตที่ดีต่อประชาชน ตลอดจนเป็นการเพิ่มความสามารถด้านความร่วมมือระหว่างประเทศบนเวทีโลกอีกทางหนึ่งด้วย

บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการศึกษา

3.1 สถานีตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝน

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ตั้งอยู่ในพื้นที่ชนบทของจังหวัดปทุมธานี จังหวัดปทุมธานีมีพื้นที่ ประมาณ 1,526 ตารางกิโลเมตร มีประชากร ประมาณ 1.1 ล้านคน อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครมาทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 40 กิโลเมตร ที่ตั้งสถานีตรวจวัดสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนตั้งอยู่ที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยี ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ที่พิกัด Latitude ที่ 14° 02" และ Longitude ที่ 100° 42" ความสูงจากระดับน้ำทะเล 6 เมตร อยู่ทางด้านฝั่งตะวันตกของอาคารหลักของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สถานีกว้าง 6 เมตร ยาว 7 เมตร และสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร พื้นของสถานีปูด้วยหญ้าเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากฝุ่นดิน การจัดวางเครื่องเก็บตัวอย่างในสถานีเป็นไปตามข้อแนะนำใน Technical Guideline for wet deposition monitoring ของเครือข่ายการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง หรือ EANET สถานีนี้จัดเป็นตัวแทนของพื้นที่ชนบทตั้งแต่ พ.ศ. 2544 เป็นต้นมา สถานีเก็บตัวอย่างสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สถานีเก็บตัวอย่างสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

3.2 ห้องปฏิบัติการ Clean room

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าปรอทถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสิ่งต่างๆมากมาย ตั้งแต่เครื่องสำอาง เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ไปจนถึงอุตสาหกรรมหลายประเภท ในการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญามินามาตะสมัยที่ 1 (Minamata Convention on Mercury Conference of the Parties, COP1) ประธานการประชุมได้กล่าวว่า **“หากกล่าวถึงปรอทในสิ่งแวดล้อม เราสามารถพบเจอได้ตั้งแต่มาศคาร่า ไปจนถึงโรงไฟฟ้าถ่านหิน”** ด้วยเหตุนี้ การป้องกันการปนเปื้อนของตัวอย่างในระหว่างการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างปรอทนั้น ถือเป็นเรื่องที่ยากและท้าทายมากที่สุดอย่างหนึ่ง เป็นที่ประจักษ์แล้วว่า ข้อมูลโลหะหนักปริมาณต่ำในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมที่มีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา มีความคลาดเคลื่อนและไม่เป็นตัวแทนของระดับความเข้มข้นที่แท้จริงในตัวอย่างนั้นๆ อันเนื่องมาจากการปนเปื้อนในขณะเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง ดังนั้นการป้องกันการปนเปื้อนของตัวอย่างในทุกขั้นตอนของการปฏิบัติงาน จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝน การควบคุมการปนเปื้อนในตัวอย่างที่ดีที่สุดคือการหลีกเลี่ยงไม่ให้ตัวอย่างสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีการปนเปื้อน และการที่นักวิเคราะห์ต้องมีสติและสมาธิในการปฏิบัติงานอย่างตระหนักรู้ว่าต้องไม่ให้ตัวอย่างได้รับสัมผัสกับการปนเปื้อนตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงจำเป็นมากที่ต้องใช้บุคลากรที่ผ่านการอบรมและมีประสบการณ์ในการวิเคราะห์ลักษณะนี้มาเป็นอย่างดี นอกจากนี้เครื่องแก้วและสารเคมีที่ใช้จำเป็นต้องจัดหามีคุณภาพตามที่ระบุในเอกสารวิธีการตรวจวัดอย่างเคร่งครัด ตลอดจนการทำความสะอาดและจัดเก็บเครื่องแก้วก็ต้องปฏิบัติอย่างเคร่งครัดมิให้เกิดการปนเปื้อนได้

สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดในการวิเคราะห์สารปรอทปริมาณต่ำในสิ่งแวดล้อมคือ ระบบ clean room class 100 หมายถึงอากาศในห้องต้องมีละอองลอยได้ไม่เกิน 100 particles/ft³ ในทางปฏิบัติศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้จัดทำห้องปฏิบัติการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในสิ่งแวดล้อม (Ultra-trace Mercury Level Laboratory) มีลักษณะเป็น Clean room (Class 10000) เพื่อสร้างสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการตรวจวิเคราะห์สารปรอทปริมาณต่ำในตัวอย่างอากาศและตัวอย่างน้ำฝน โดยใช้แผ่นกรอง HEPA filter เป็นตัวกรองอากาศภายในห้องเพื่อรักษาสภาพแวดล้อมให้มีค่าฝุ่นละอองน้อยที่สุด และมี clean bench class 100 เป็นพื้นที่ในการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์สารปรอทปริมาณต่ำ ทั้งนี้ในห้อง Clean room จึงประกอบด้วย

- เครื่องมือตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำในอากาศด้วยเทคนิค Dual gold amalgam cold vapor atomic fluorescence spectrometry ของ Nippon Instrument Cooperation รุ่น WA-5F จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องมือตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำในน้ำด้วยเทคนิค Oxidation, Purge and Trap cold vapor atomic fluorescence spectrometry ของ Nippon Instrument Cooperation รุ่น RA-4300FG+ จำนวน 1 เครื่อง
- ตู้เตรียมตัวอย่างสะอาด (Clean bench class 100) จำนวน 2 ตู้ สำหรับเตรียมตัวอย่าง
- ตู้ดูดควัน (Fume hood) จำนวน 1 ตู้
- Air condition ขนาด 16,000 Btu จำนวน 2 ตัว
- ตู้เย็นแช่สารเคมีความบริสุทธิ์สูงสำหรับการวิเคราะห์ปรอทปริมาณต่ำในน้ำฝน จำนวน 1 ตู้

- ห้อง Air shower ตรงประตูทางเข้าห้อง clean room เพื่อเป่าฝุ่นละอองออกจากเสื้อผ้าของผู้ที่จะเข้ามาปฏิบัติงานใน clean room

สภาวะแวดล้อมในห้อง clean room ปัจจุบันมีค่าความเข้มข้นของปรอทในอากาศ (Total gaseous elemental mercury) อยู่ระหว่าง 5-10 ng/m³ ซึ่งเหมาะสมในการตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำ ทั้งนี้สภาวะแวดล้อม เครื่องมือ สารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ต้องปราศจากการปนเปื้อนสารปรอท รูปที่ 3.2 แสดงถึงห้อง clean room ที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ปรับปรุงขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3.2 ห้อง clean room และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

3.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในอากาศ

การเก็บตัวอย่างสารปรอทในอากาศ เป็นการเก็บตัวอย่างปรอทในรูปปรอททั้งหมด (TGEM: total gaseous elemental mercury) โดยใช้วิธีมาตรฐาน US.EPA. Method IO-5 เป็นแนวทาง อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดได้แก่

- i) อุปกรณ์ดักฝุ่นและความชื้น ได้แก่ cellulose filter หรือ หลอดแก้ว borosilicate บรรจุด้วย Soda lime
- ii) หลอดเก็บตัวอย่างชนิด gold amalgam
- iii) ปัมและ flow meter (NIC รุ่น PS-4) ที่สามารถควบคุมอัตราการไหลที่ 1 ลิตรต่อนาที
- iv) Dry gas meter สำหรับวัดปริมาตรอากาศระหว่างการเก็บตัวอย่าง

นำอุปกรณ์ทั้ง 4 ส่วนมาประกอบเป็น series i)-ii)-iii)-iv) อากาศจะถูกดึงด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที ผ่านอุปกรณ์ดักฝุ่นและความชื้น เข้าสู่หลอดเก็บตัวอย่างชนิด gold amalgam ซึ่งปรอทในอากาศจะดูดซับอยู่กับทองคำในหลอด ผ่านเครื่องปั๊มและวัดอัตราการไหลของอากาศ ผ่านเครื่องวัดปริมาตรอากาศ การเก็บตัวอย่างปรอทในบรรยากาศจะเก็บครั้งละ 24 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mercury analyzer NIC รุ่น WA-5F

วิธีวิเคราะห์สารปรอทในอากาศจะใช้วิธี Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry ตาม guideline วิธี IO-5 ของ US. EPA. โดยสารปรอทที่ถูกจับอยู่กับอนุภาคของทองในรูปอมัลกัม (gold amalgam) ในหลอดเก็บตัวอย่าง จะหลุดจาก อมัลกัม โดยใช้พลังงานความร้อนเข้าไปสลายพันธะที่จับกันอยู่ ปรอทจะถูกปลดปล่อยในรูปไอปรอทซึ่งจะถูกดักจับด้วยหลอดอนุภาคทอง (gold amalgam) หลอดที่ 2 ก่อนที่จะถูกให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ไอปรอทเข้าไปใน fluorescence detector วัดค่าการดูดกลืนแสงของอะตอมเพื่อตรวจวัดปริมาณปรอทในตัวอย่าง ตัวดักจับปรอทเป็นแบบ dual-amalgamation นี้จะเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ให้มากขึ้น ข้อควรปฏิบัติสำหรับการวิเคราะห์ ได้แก่

- รักษาความสะอาดในทุกขั้นตอนของการเก็บตัวอย่าง การจัดการและการวิเคราะห์ เพื่อไม่ให้มีการปนเปื้อนไปกับตัวอย่าง เนื่องจากทำการตรวจวัดสารปรอทในปริมาณที่ต่ำมากในหน่วย พิโคกรัม (pg)
- สวมถุงมือทุกครั้งที่ทำกรเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนต่อตัวอย่าง
- สวมหน้ากากและถุงมือเมื่อเตรียมกราฟมาตรฐาน (calibration curve) จากสารมาตรฐานไอปรอทบริสุทธิ์ เพื่อป้องกันการสัมผัสกับสารปรอทในขณะปฏิบัติงาน

การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารปรอท กระทำโดยการเทียบปริมาณสารปรอทในตัวอย่างกับ calibration curve โดยรายงานความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างในหน่วยของน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศ ได้แก่ นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ng/m^3) ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 1

$$\text{Concentration (ng/m}^3\text{)} = \frac{\text{Total Amount of Hg for Sample}}{\text{Standard Volume of Air Sample}} \dots\dots\dots(1)$$

รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องเก็บและเครื่องวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในอากาศ และตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างตารางแสดงผลการตรวจวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างอากาศจากเครื่องวิเคราะห์ปรอท Mercury analyzer สำหรับวิธีตรวจวัดปรอทในอากาศโดยละเอียดแสดงใน ภาคผนวกที่ 1



เก็บตัวอย่างปรอทในอากาศด้วยหลอด gold Amalgam อัตราการไหลที่ 1 ลิตร/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

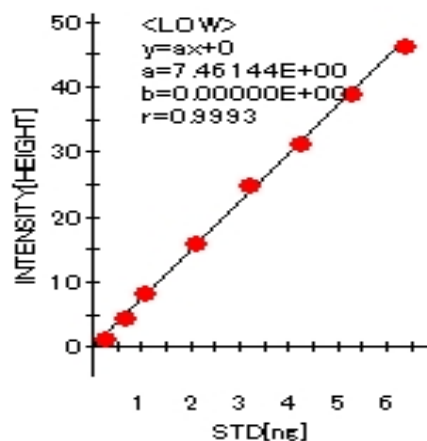


เครื่องตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำในอากาศ ด้วยเทคนิค dual gold amalgam CVAFS

รูปที่ 3.3 เครื่องเก็บและเครื่องวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในอากาศ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการตรวจวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างอากาศจากเครื่องวิเคราะห์ปรอท Mercury analyzer (NIC model WA-5F)

No.	NAME	S.VOL [L]	[ng]	[ng/m3]
1	Lab blank 1	0	0.023	0
2	Lab blank 2	0	0.001	0
3	Lab blank 3	0	0.001	0
4	Anamai Tube 1 Blank	0	0.005	0
5	Anamai Tube 2 Sample	1274	2.727	2.141
6	Anamai Tube 3 Blank	0	0.006	0
7	Anamai Tube 4 Sample	1203	3.489	2.9
8	Anamai Tube 5 Blank	0	0.004	0
9	Anamai Tube 6 Sample	1301	2.422	1.862
10	Anamai Tube 7 Blank	0	0.007	0
11	Anamai Tube 8 Sample	1324	3.444	2.601
12	Anamai Tube 9 Blank	0	0.005	0
13	Anamai Tube 10 Sample	1348	3.77	2.797
14	Anamai Tube 11 Blank	0	0.013	0
15	Anamai Tube 12 Sample	1292	3.196	2.474
16	Anamai Tube 13 Blank	0	0.007	0
17	Anamai Tube 14 Sample	1303	2.294	1.761
18	Anamai Tube 15		0.005	
19	Anamai Tube 16		0.006	
20	Krork Yai Sha Tube 1 Blank	0	0.016	0
21	Krork Yai Sha Tube 2 Sample	1196	2.328	1.946
22	Krork Yai Sha Tube 3 Blank	0	0.016	0
23	Krork Yai Sha Tube 4 Sample	1362	2.502	1.837



No.	[degC]	S.VOL [uL]	STD [ng]	HEIGHT	MEAS[ng]	DEV[%]
1	25.6	10	0.208	1.5522	0.208	0
2	25.7	30	0.63	4.6249	0.62	1.6
3	25.7	50	1.05	8.4332	1.13	7.6
4	25.7	100	2.1	16.1799	2.168	3.2
5	25.7	150	3.15	24.8528	3.331	5.7
6	25.7	200	4.2	31.4904	4.22	0.5
7	25.7	250	5.25	39.0051	5.228	0.4
8	25.8	300	6.35	46.488	6.23	1.9

3.4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน

ตัวอย่างปรอทในน้ำฝน เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำฝนด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติ Mercury wet deposition sampler model MDS-01 ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก Taiwan Environmental protection Administration (Taiwan EPA) ภายใต้ความร่วมมือในเครือข่าย Asia-Pacific Mercury Monitoring Network (APMMN) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559

เครื่องเก็บตัวอย่างปรอทในน้ำฝนแบบอัตโนมัติ คือเครื่องมือเก็บตัวอย่างปรอทในน้ำฝนที่มีภาชนะรองรับน้ำฝนทำด้วยวัสดุที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาสารปรอทในตัวอย่าง ไม่มีคุณสมบัติดูดซับหรือมีส่วนผสมของสารปรอทที่อาจหลุดเข้ามาปนเปื้อนในตัวอย่างได้ โดยหลักการแล้วมีวัสดุที่เหมาะสมอยู่สองชนิดคือ แก้ว borosilicate หรือ quartz และ โพลีเมอร์ชนิด Teflon สำหรับตัวเครื่องทำด้วยอลูมิเนียมอย่างดีเคลือบด้วยสีกันสนิมที่ไม่มีส่วนผสมของสารปรอท ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อตัวอย่าง มีฝาครอบภาชนะรองรับน้ำฝนที่มีเซ็นเซอร์ควบคุมการเปิด-ปิดฝาได้อย่างอัตโนมัติ โดยฝาจะเปิดเมื่อฝนตกและปิดสนิทเมื่อไม่มีฝนภายใน 1 นาที ชุดภาชนะเก็บตัวอย่างปรอทในน้ำฝนประกอบด้วย กรวยรับน้ำฝนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ทำด้วยแก้ว borosilicate ข้อต่อ Teflon ภายในบรรจุด้วยกรวยแก้ว borosilicate ขนาดเล็กมีปลายกรวยมนเป็นเกลียวเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำฝน และขวดตัวอย่างทำด้วย Teflon ขนาด 1 ลิตร พร้อมฝาปิด

อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างทั้งหมดต้องผ่านการล้างทำความสะอาดตามที่ระบุในวิธีการล้างเครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์ปรอทปริมาณต่ำ (method 1631 revision E) ขวดเก็บตัวอย่างก่อนนำไปเก็บตัวอย่างต้องนำมาเติมกรดไฮโดรคลอริก ultrapure grade ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร (ประมาณ 10 หยด) ลงในขวดเพื่อเป็นการเก็บรักษาให้ปรอทอยู่ในตัวอย่าง แล้วปิดฝาขวดให้สนิท แล้วนำไปตั้งและบันทึกน้ำหนักขวดก่อนเก็บตัวอย่างไว้ใน Protocol การเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝนจะเก็บตัวอย่างทุก 7 วัน เวลาเก็บตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 8:00 – 10:00 น. เมื่อครบกำหนดเก็บตัวอย่างจะมีขั้นตอนการจัดเก็บตัวอย่างในห้องปฏิบัติการดังต่อไปนี้

- ในห้องปฏิบัติการ ให้ผู้ปฏิบัติการล้างมือให้เรียบร้อย แล้วสวมถุงมือใหม่ นำขวดตัวอย่างออกจากถุงพลาสติกซีลล๊อค 2 ชั้น แล้วนำไปตั้งเพื่อหาน้ำหนักขวดพร้อมน้ำฝน บันทึกข้อมูลลงใน protocol การเก็บตัวอย่าง
- คำนวณน้ำหนักน้ำฝนโดยนำ น้ำหนักขวดพร้อมน้ำฝนลบด้วยน้ำหนักขวดก่อนเก็บตัวอย่าง จะได้ น้ำหนักน้ำฝนมีหน่วยเป็นกรัม
- นำตัวอย่างน้ำฝนจากขวดตัวอย่างขนาด 1 ลิตร เทลงในขวดเก็บตัวอย่างขนาด 150 มิลลิลิตร จำนวน 1 ขวด หากมีตัวอย่างน้ำฝนมาก ก็สามารถเก็บได้มากกว่า 1 ขวด
- ปิดฉลากขวดทั้งหมดโดยระบุ ชื่อสถานี วัน เดือน ปี ที่เก็บตัวอย่าง และ start time stop time ให้ชัดเจน และนำตัวอย่างไปแช่ไว้ในตู้เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

ทั้งนี้แบบฟอร์ม Protocol การเก็บตัวอย่างที่ประยุกต์มาจาก APMMN Field Sample SOP version September 1_14 และรายละเอียดการเก็บตัวอย่างและเก็บรักษาตัวอย่างเป็นไปตามคู่มือการเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝนด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติที่ได้นำเสนอไว้ใน ภาคผนวกที่ 2

การวิเคราะห์ปรอทในน้ำฝนทำโดยเครื่อง Mercury Analyzer NIC รุ่น RA-4300FG+ ด้วยวิธี Mercury in water by oxidation, purge and trap, and cold vapor Atomic Fluorescence Spectrometry ตาม guideline วิธี 1631 revision E ของ US.EPA. โดยมีหลักการคือปรอทในตัวอย่างน้ำฝนจะถูกออกซิไดซ์ด้วย BrCl ให้อยู่ในรูป Hg^{2+} หลังจากทิ้งไว้ ๑๒ ชั่วโมง นำตัวอย่างมาเติมด้วย $NH_4OH-HCl$ เพื่อกำจัด BrCl ส่วนเกิน หลังจากนั้นจะถูกรีดิวส์ด้วย stannous chloride ($SnCl_2$) เพื่อเปลี่ยน Hg^{2+} ให้เป็นไฮดรอกไซด์ (Hg^0) ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกพาด้วยก๊าซอาร์กอน เข้าไปจับอยู่กับอนุภาคทองในหลอด gold amalgam หลังจากนั้นจะใช้พลังงานความร้อนเข้าไปสลายพันธะที่จับกันอยู่ ปรอทจะถูกปลดปล่อยในรูปไฮดรอกไซด์อีกครั้งหนึ่งและจะถูกพาด้วยก๊าซอาร์กอน เข้าไปใน cold vapor atomic fluorescence spectrometer (CVAFS) detector วัดค่าการดูดกลืนแสงของอะตอมเพื่อตรวจวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างต่อไป ด้วยวิธีนี้ detection limit และ quantitation limit ของวิธีจะขึ้นกับสิ่งปนเปื้อน (interference) มากกว่าข้อจำกัดทางเครื่องมือวิเคราะห์ ในการศึกษาครั้งนี้ปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (the minimum level of quantitation) เท่ากับ ๐.๕ ng/L. คุณภาพวิเคราะห์ประกันความถูกต้องด้วย calibration curve การทดสอบ oxidation, purging และระบบ CVAFS ในส่วนของความปลอดภัย ถึงแม้ว่าสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ยังไม่ได้มีการพิสูจน์แน่นอนถึงความเป็นอันตราย และคุณสมบัติในการเป็นสารก่อมะเร็งในคน อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีเหล่านี้ควรปฏิบัติเหมือนกับสารเคมีอันตราย และควรมีการป้องกันเพื่อให้ระดับการได้รับสัมผัสน้อยที่สุด รูปที่ ๓.๔ แสดงการเก็บและเครื่องวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างการประกันคุณภาพของการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำฝนจากเครื่องวิเคราะห์ปรอท Mercury analyzer (NIC) model RA-4300FG+ ทั้งนี้รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ปรอทปริมาณต่ำในน้ำฝนที่ได้พัฒนาขึ้นจากการศึกษาครั้งนี้ได้นำเสนอไว้ใน ภาคผนวกที่ ๓

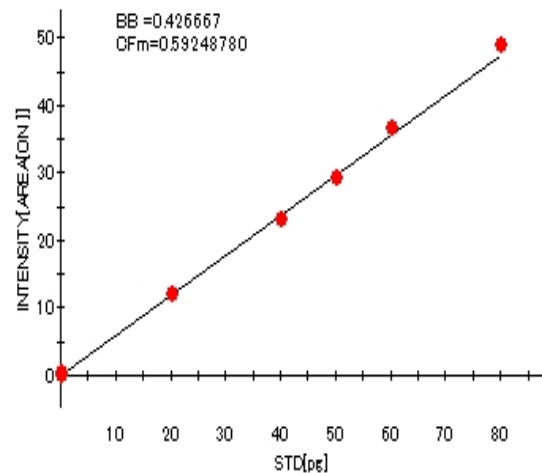


รูปที่ ๓.๔ เครื่องเก็บน้ำฝนอัตโนมัติและเครื่องวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างการประกันคุณภาพของการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำฝนจากเครื่องวิเคราะห์
ปรอท Mercury analyzer (NIC) model RA-4300FG+

SAMPLE No.				TAG	CONC [ng/L]	SVOL [mL]	CVOL [mL]	MEAS [pg]	CONC [ng/L]	CF [l/pg]
1	CAL.BLANK	0	0	5	5	0	0.55			
2	CAL.BLANK	0	0	5	5	0	0.39	0.928	0.186	
3	CAL.BLANK	0	0	5	5	0	0.34	0.658	0.132	
4	STD	0.02	1000	5	5	20	12.21	0.574	0.115	
5	STD	0.04	1000	5	5	40	23.35	19.888	3.978	0.589
6	STD	0.05	1000	5	5	50	29.65	38.69	7.738	0.573
7	STD	0.06	1000	5	5	60	36.79	49.323	9.865	0.584
8	STD	0.08	1000	5	5	80	49.2	61.374	12.275	0.606

MENU			
QC Items	Acceptance Criteria	Result	Pass
Calibration Blank Ave	0.5ng/L	0.144ng/L	OK
Calibration Blank SD	0.1ng/L	0.037ng/L	OK
CF RSD	15 %	2.58 %	OK
CF Recovery	75 ~ 125 %	99.4 %	OK
Method Blank	0.5ng/L	0.461ng/L	OK
MS(1)	71 ~ 125 %	77.2 %	OK
MSD(1)	71 ~ 125 %	77.5 %	OK
RPD of MS(1)	24 %	0.23 %	OK
OPR(1)	77 ~ 123 %	114.7 %	OK
OPR(2)	77 ~ 123 %	110.1 %	OK
Accuracy	---	105.9 ~ 118.9%	--
QCS	4 ~ 6ng/L	5.8ng/L	OK



การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารปรอทในน้ำฝน จะใช้หน่วยความเข้มข้นนาโนกรัมต่อลิตร (ng/L) และความเข้มข้นของตัวอย่างสารปรอทจะถูกคำนวณอย่างอัตโนมัติ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานปรอท จากสูตร

$$(Hg)(ng/L) = \frac{A_s - A_{BB}}{CF_m \times V}$$

โดยที่

A_s = Peak height (or peak area) for Hg in Sample

A_{BB} = Peak height (or peak area) for Hg in Bubbler Blank

CF_m = mean Calibration Factor (section 10.2.2.5)

V = Volume of sample(L)

โดยการคำนวณค่า calibration factor (CF_x) สำหรับปรอทในแต่ละค่าของสารมาตรฐาน

$$CF_x = \frac{(A_x) - (A_{BB})}{(C_x)}$$

A_x = Peak height (or peak area) for Hg in standards

A_{BB} = Peak height (or peak area) for Hg in Bubbler Blank

C_x = mass in standards analyzed (ng)

หมายเหตุ ในการศึกษาที่กำหนดเงื่อนไขให้ ค่าเฉลี่ยของ CF_x ตลอดช่วง calibration curve เรียกว่า CF_m ที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 0.5 ± 0.05

ทั้งนี้การวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทในตัวอย่างน้ำฝน ต้องใช้ความละเอียดสูง และต้องระมัดระวังการปนเปื้อนเป็นอย่างดี เนื่องจากปริมาณสารปรอทในน้ำฝนมีปริมาณน้อยมากระดับส่วนในล้านล้านส่วนหรือ part per trillion (ppt) ดังนั้นทุกชุดของตัวอย่างที่วิเคราะห์ต้องผ่านเงื่อนไขการควบคุมคุณภาพวิเคราะห์ (Quality Control) ทั้งหมดดังนี้

- Calibration blank average	0.5 ng/L
- Calibration blank SD	0.1 ng/L
- CF RSD	15%
- CF recovery	75-125%
- Method blank	0.5 ng/L
- Matrix spike 1 (MS1)	71-125%
- Matrix spike duplicate (MSD1)	71-125%
- RPD of MS1	24%
- OPR (1)	71-123%
- OPR (2)	71-123%
- Accuracy	105.9-118.9%
- QCS	4-6 ng/L

หากชุดตัวอย่างใดวิเคราะห์แล้วไม่ผ่านเงื่อนไขทั้งหมดนี้ จะต้องนำชุดตัวอย่างนั้นมาวิเคราะห์ซ้ำทันที

3.5 ระบบฐานข้อมูลการปนเปื้อนและการกระจายตัวสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนเชิงพื้นที่

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะนำไปจัดทำระบบฐานข้อมูลของสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนสำหรับพื้นที่ศึกษา โดยใช้โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server ๒๐๐๒ ชุดข้อมูลที่จะจัดเก็บประกอบด้วย

- ชุดข้อมูลที่ ๑ ได้แก่ รหัสจุดเก็บตัวอย่าง ชื่อจุดเก็บตัวอย่าง สถานที่เก็บตัวอย่าง พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง วันเวลาที่เก็บ วิธีการเก็บตัวอย่าง แหล่งเก็บ ปริมาณที่ตรวจพบ วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ชุดข้อมูลที่ ๒ ได้แก่ ข้อมูลสภาพแวดล้อมของบริเวณที่เก็บตัวอย่าง อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศ โดยใช้ฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดสภาพอากาศจริง

- ชุดข้อมูลที่ ๓ ได้แก่ ข้อมูลสภาพพื้นที่ (พื้นที่ป่า พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อุตสาหกรรม หรือพื้นที่ในเมือง) จำนวนประชากร ภาพถ่าย

ฐานข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ในการให้ความรู้ความเข้าใจต่อประชาชนทั่วไป โดยสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ใน website ของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม www.deqp.go.th

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การศึกษานี้ได้มีพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย โดยการพัฒนาวิธีการตรวจวัดนั้นจะใช้วิธีที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่รู้จักโดยทั่วไปในระดับสากล เช่น วิธีการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในอากาศจะใช้ วิธีการตรวจวัดมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา US. EPA. Method IO-5 เป็นแนวทางในการพัฒนา สำหรับวิธีการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในน้ำฝนจะใช้ วิธีการตรวจวัดมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา US. EPA. Method 1631 revision E เป็นแนวทางในการพัฒนา โดยได้มีการนำวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นไปเก็บตัวอย่างปรอทปริมาณต่ำในอากาศ ณ สถานีศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม และในหลายพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิดที่อาจปลดปล่อยสารปรอทออกสู่บรรยากาศได้ ได้แก่ สระบุรี ปราจีนบุรี ระยอง เป็นต้น สำหรับการตรวจวัดสารปรอทในน้ำฝนสามารถเก็บตัวอย่าง ณ สถานีศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติสำหรับปรอทในน้ำฝน และบุคลากรที่ต้องมีความรู้ความเข้าใจในการเก็บตัวอย่างและเก็บรักษาตัวอย่างอย่างถูกวิธี เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนในตัวอย่างจนกระทั่งห้องปฏิบัติการฯ ผลการตรวจวัดมีรายละเอียดดังนี้

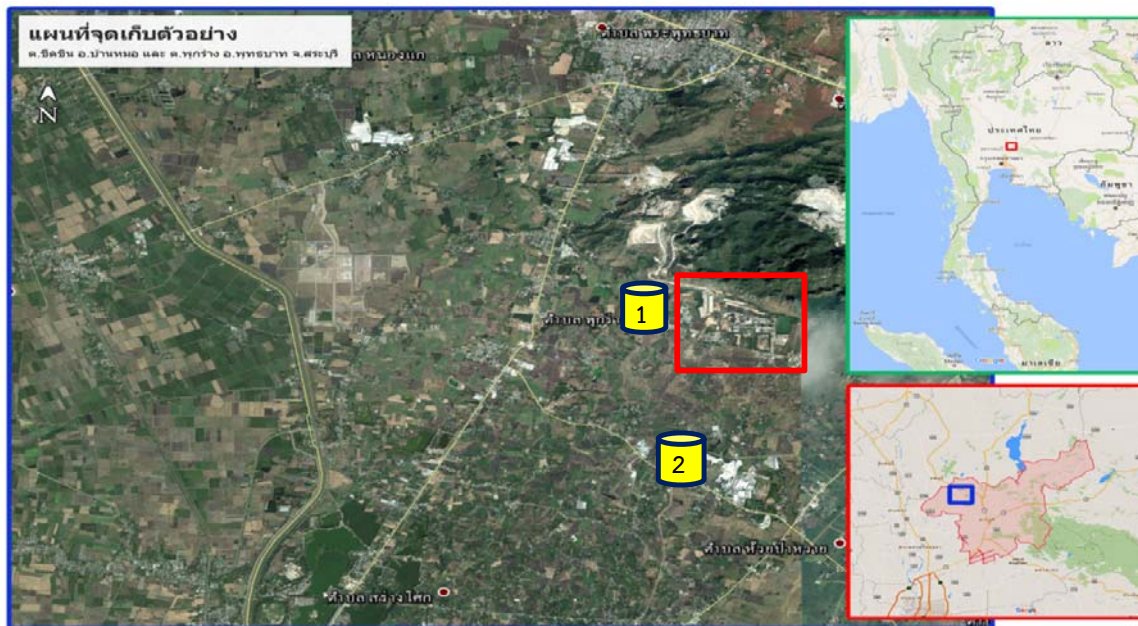
4.1 ปรอทในอากาศ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดปรอทในอากาศที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทยด้วยหลักการเก็บตัวอย่างโดยหลอดเก็บตัวอย่าง gold amalgam ปรอทในอากาศจะถูกดูดซับด้วยทองคำ หลังจากนั้นนำหลอดเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในตัวอย่างด้วยเครื่อง Mercury Analyzer (NIC model WA-5F) โดยวิธี Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS) วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำสุดที่ 1 พิโคกรัม และมีค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Detection Limit) ตั้งแต่ 0.01 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ng/m^3) สำหรับการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง

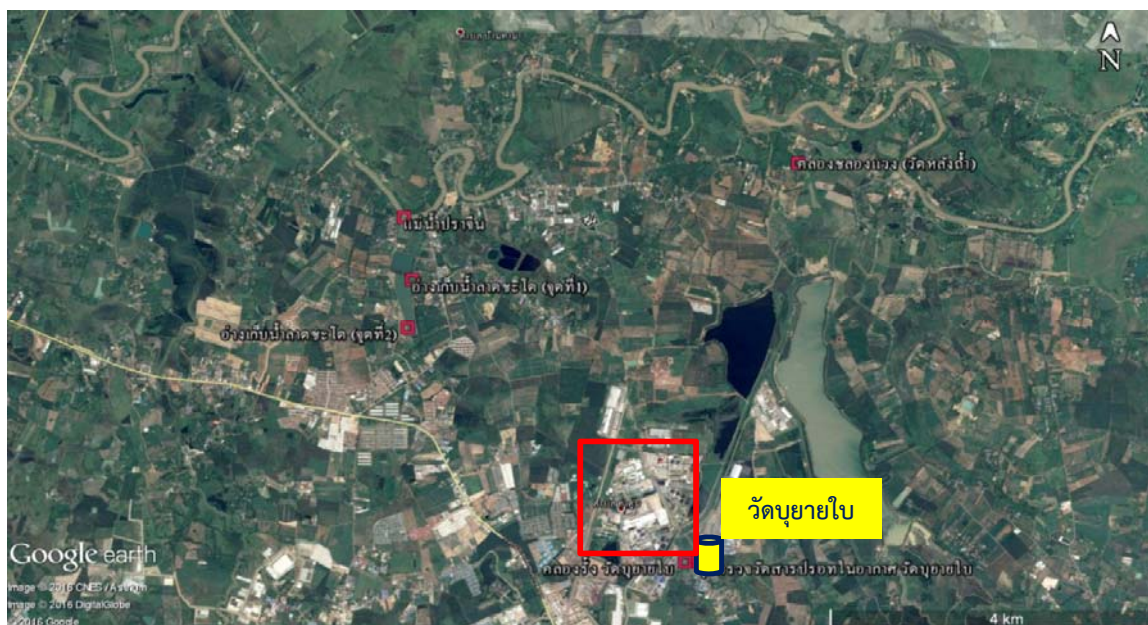
ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้นำวิธีการตรวจวัดปรอทในอากาศที่ได้พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ ไปตรวจวัดในหลายพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิดที่อาจมีการการปลดปล่อยสารปรอทสู่อากาศ ได้แก่ อำเภอหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี อำเภอศรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี อำเภอมายาพุด จังหวัดระยอง และสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำฝนของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ตารางที่ 4.1 แสดงสถานที่เก็บตัวอย่างพร้อมลักษณะกิจกรรมในพื้นที่ รูปที่ 4.1-4.3 แสดงแผนที่จุดเก็บตัวอย่างในจังหวัดสระบุรี จังหวัดปราจีนบุรี และจังหวัดระยอง ตามลำดับ ตารางที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นของปรอทในอากาศในแต่ละพื้นที่ และรูปที่ 4.4 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นปรอทในอากาศ (ng/m^3) โดยเปรียบเทียบค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดในแต่ละพื้นที่

ตารางที่ 4.1 สถานที่เก็บตัวอย่างพร้อมลักษณะกิจกรรมในพื้นที่

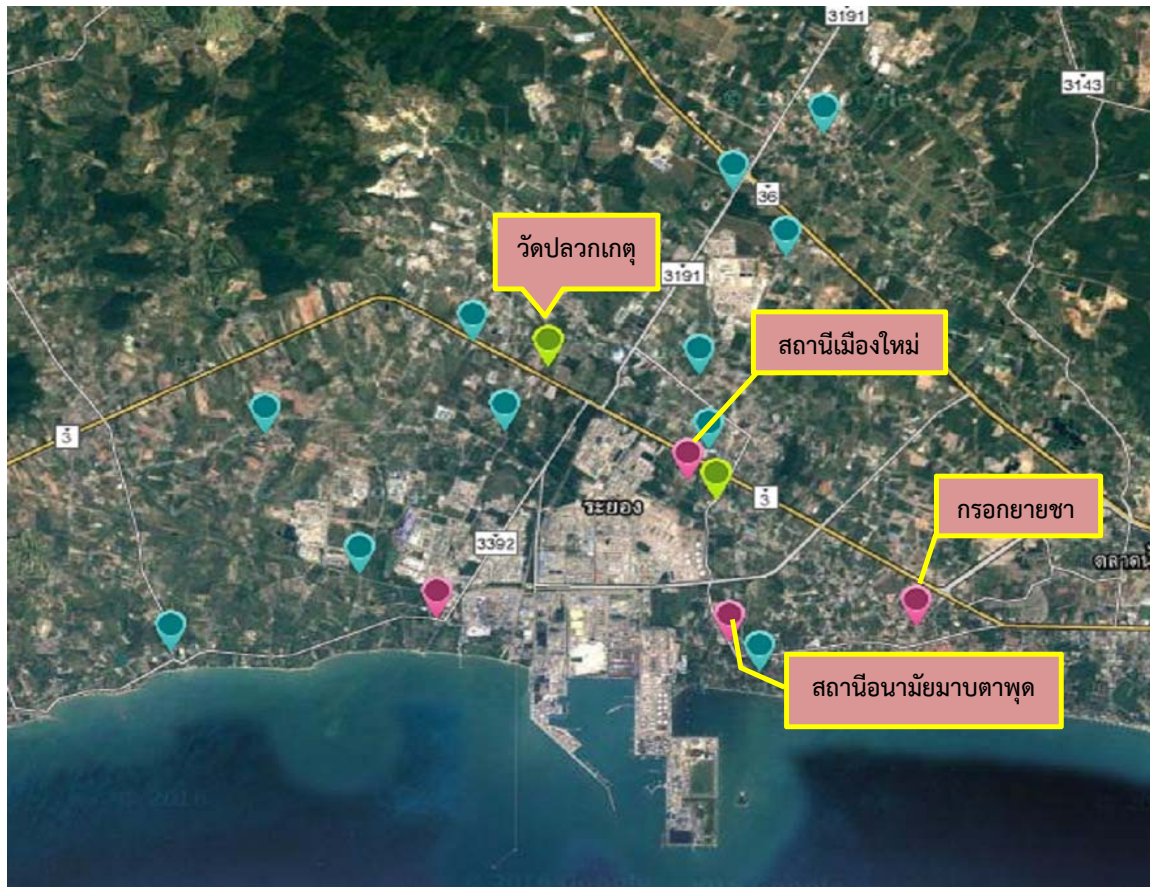
พื้นที่	สถานที่เก็บตัวอย่าง	พิกัด		ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง	ลักษณะกิจกรรมในพื้นที่
		Latitude	Longitude		
สระบุรี	1. วัดพุทรา่ง ต.พุทรา่ง อำเภอพระพุทธบาท	14.68	100.80	14-20/11/2559	- โรงงานปูนซิเมนต์
	2. วัดถ้ำมกฏ ตำบลเขาวง อำเภอพระพุทธบาท	14.68	100.85	22-29/11/2559	- โรงงานปูนซิเมนต์
ปราจีนบุรี	1. วัดบุงายไบ ตำบลท่าตูม อำเภอศรีมหาโพธิ์	13.92	101.59	7-14/02/2560	- โรงไฟฟ้าที่ใช้ชีวมวล ร่วมกับถ่านหินเป็น เชื้อเพลิง - โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ
ระยอง	1. วัดปลวกเหตุ ตำบลเชิงเนิน อำเภอเมือง	12.66	101.31	23-31/03/2560	- อุตสาหกรรมปิโตรเคมี - โรงกลั่นน้ำมัน
	2. สถานีอนามัยมาตาพูด	12.71	101.17	23-31/03/2560	- อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์
	3. สถานีเมืองใหม่ ตำบลห้วยพง อำเภอเมือง			23-31/03/2560	
	4. กรอกยายชา ตำบลเนินพระ อำเภอเมือง			23-31/03/2560	
ปทุมธานี	ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้าน สิ่งแวดล้อม ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง	14.02	100.42	6-9/06/2559 25-27/07/2559	พื้นที่ชนบทของประเทศไทย



รูปที่ 4.1 แผนที่เก็บตัวอย่างที่ (1) วัดพุทรา (2) วัดถ้ำมั่งกู่ อำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี กรอบ
สีแดงแสดงถึงโรงงานปูนซิเมน



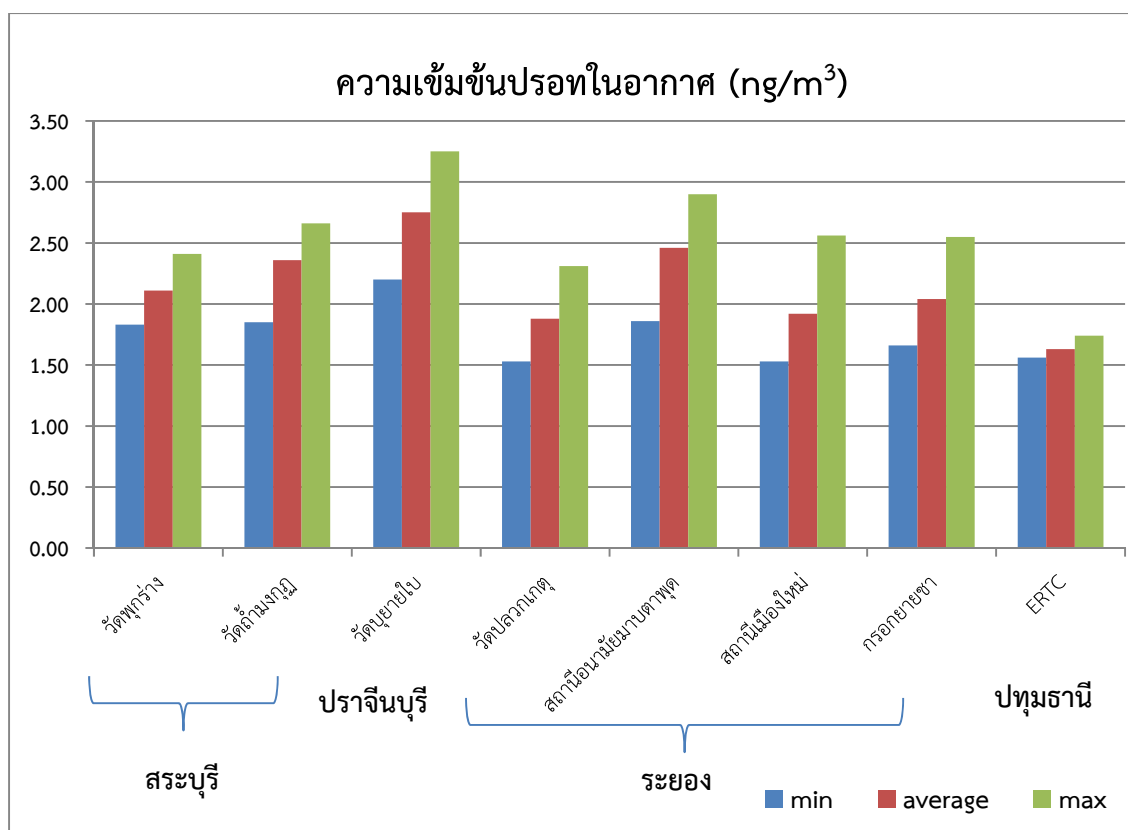
รูปที่ 4.2 แผนที่เก็บตัวอย่างที่ วัดบุยายใบ อำเภอสรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี กรอบสีแดงแสดงถึงนิคมอุตสาหกรรม 304



รูปที่ 4.3 แผนที่เก็บตัวอย่างที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศในแต่ละพื้นที่ (ng/m³)

พื้นที่	สถานที่เก็บตัวอย่าง	ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นปรอทในอากาศ (ng/m ³)		
			min	mean	max
สระบุรี	1. วัดพุทรา่ง ต.พุทรา่ง อำเภอพระพุทธบาท	14-20/11/2559	1.83	2.11	2.41
	2. วัดถ้ำมกฏ ตำบลเขาวง อำเภอพระพุทธบาท	22-29/11/2559	1.85	2.36	2.66
ปราจีนบุรี	1. วัดบุยายไ้ ตำบลท่าตูม อำเภอศรีมหาโพธิ์	7-14/02/2560	2.20	2.75	3.25
ระยอง	1. วัดปลวกเกตุ ตำบลเชิงเนิน อำเภอเมือง	23-31/03/2560	1.53	1.88	2.31
	2. สถานีอนามัยมาบตาพุด	23-31/03/2560	1.86	2.46	2.90
	3. สถานีเมืองใหม่ ตำบลห้วยพง อำเภอเมือง	23-31/03/2560	1.53	1.92	2.56
	4. กรอกยายชา ตำบลเนินพระ อำเภอเมือง	23-31/03/2560	1.66	2.04	2.55
ปทุมธานี	ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้าน สิ่งแวดล้อม ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง	25-27/07/2559	1.56	1.63	1.74



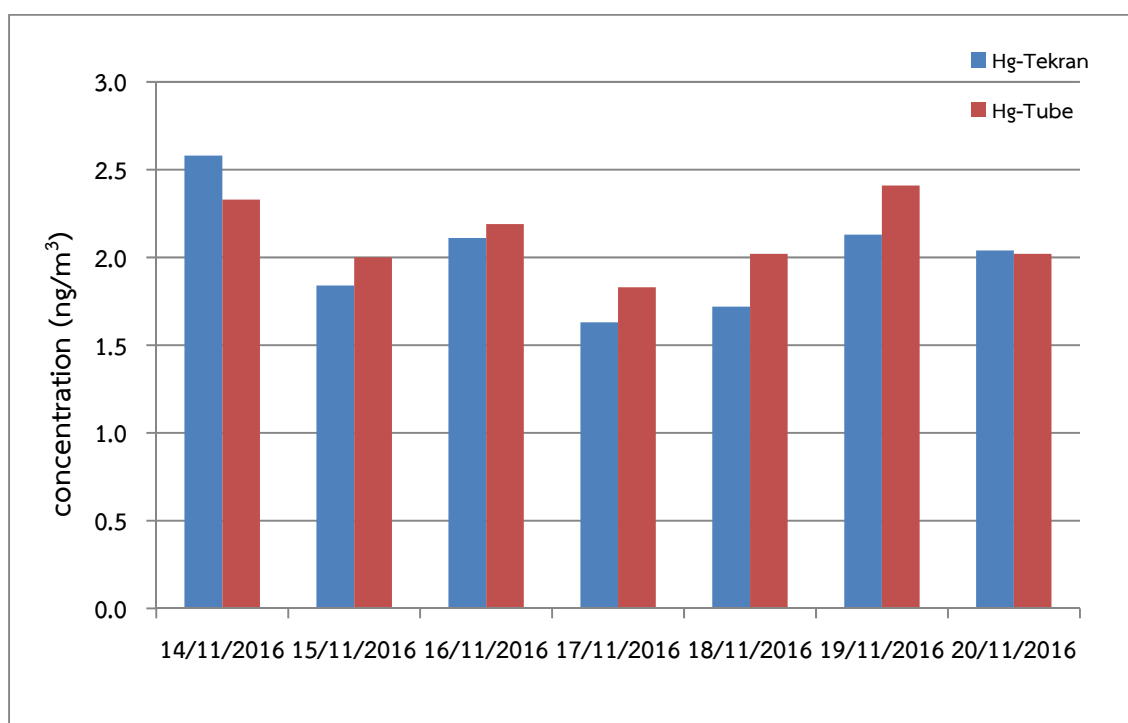
รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศในแต่ละพื้นที่ แสดงค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดของช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

จากผลการตรวจวัดพบว่าปริมาณปรอทในอากาศที่พบจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับแหล่งกำเนิดที่พบในพื้นที่ โดยพบปริมาณสูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 3.25 ng/m³ ที่วัดบึงไผ่ จังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างอยู่ติดกับนิคมอุตสาหกรรม 304 ที่มีโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมเชื้อเพลิงชีวมวล และโรงงานผลิตกระดาษ ลำดับรองลงมาพบปริมาณสูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 2.90 ng/m³ ที่สถานีอนามัยมาตาพุด จังหวัดระยอง ตั้งอยู่ในพื้นที่อุตสาหกรรมมาตาพุดซึ่งประกอบด้วยอุตสาหกรรมหนักประเภทปิโตรเคมี เคมีภัณฑ์และโรงกลั่น ลำดับถัดมาพบปริมาณสูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 2.66 ng/m³ ที่วัดถ้ำมกฏ จังหวัดสระบุรี มีโรงงานปูนซิเมนเป็นแหล่งกำเนิดหลักในพื้นที่ พื้นที่ทั้งหมดนี้จะมีปริมาณปรอทในอากาศสูงกว่าปริมาณสูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 1.74 ng/m³ ที่พบที่สถานีศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม พื้นที่ชนบท ในจังหวัดปทุมธานี ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นระดับทั่วไป (background concentration) ในพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งกำเนิดหลักใดๆ ปัจจุบันยังไม่มีประเทศใดกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของปรอท จากการเฝ้าระวังสารปรอทในอากาศในทวีปยุโรปและอเมริกาเหนือ พบว่าความเข้มข้นของสารปรอทในอากาศ (Total Gaseous Mercury, TGM) ในพื้นที่ที่ไม่มีการปนเปื้อนเฉลี่ยรายปีมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-1.7 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสอดคล้องกับระดับที่พบในแอฟริกาใต้ในพื้นที่ที่ไม่มีการปนเปื้อนคือมีค่าประมาณ 1.2-1.4 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่สำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออก พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าคือ ประมาณ 4 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kim 2004) แต่ถ้าหาก

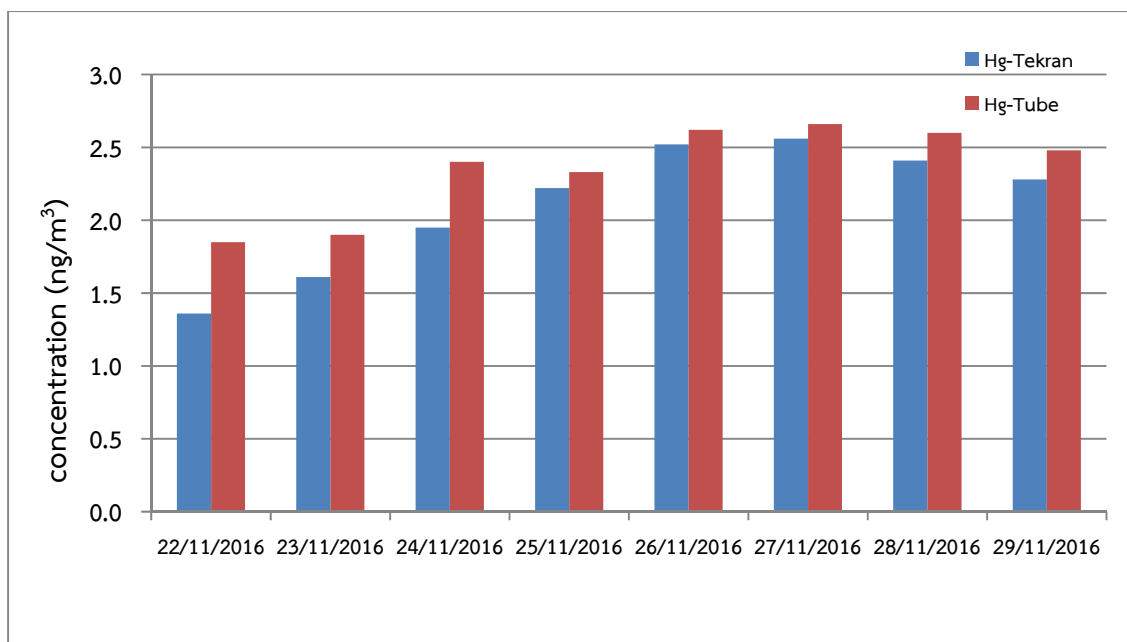
เป็นพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิด เช่นบริเวณเหมืองเก่าในประเทศสเปน พบความเข้มข้นของ TGM มีค่าสูงถึง 5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Ferrara et al., 1998) และในทวีปยุโรปพบความเข้มข้นของ TGM มีค่าสูงในช่วง 10-12 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในพื้นที่เมืองที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดใกล้เคียง เป็นต้น

4.2 การเปรียบเทียบวิธีการตรวจวัดปรอทในอากาศด้วย “manual method” และ “automatic method”

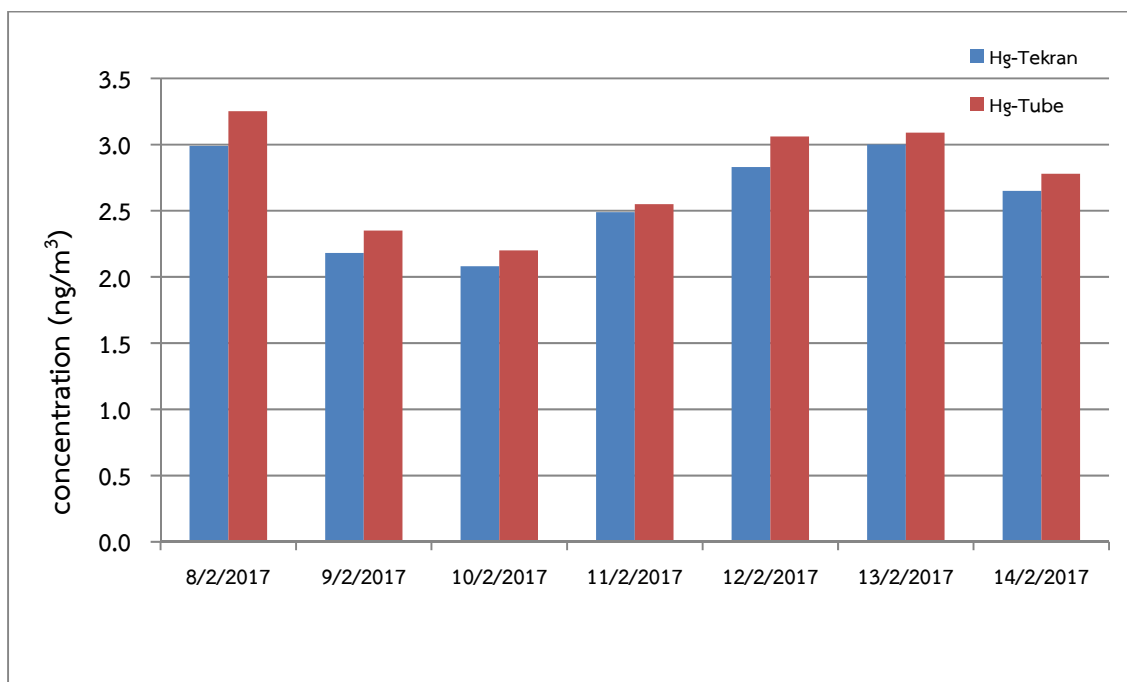
นอกจากนี้ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ทำการเปรียบเทียบวิธีตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำในอากาศที่พัฒนาขึ้นจากการศึกษานี้ หรือ “manual method” กับวิธีตรวจวัดแบบอัตโนมัติ หรือ “automatic method” ซึ่งกรมควบคุมมลพิษใช้ในการติดตามตรวจสอบปริมาณปรอทในอากาศด้วยเครื่อง Tekran model 2357X โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ทำการตรวจวัดร่วมกับกรมควบคุมมลพิษ ณ จุดเก็บตัวอย่างเดียวกันในหลายพื้นที่ได้แก่ จังหวัดสระบุรี จังหวัดปราจีนบุรี และจังหวัดระยอง โดยรายละเอียดพื้นที่เก็บตัวอย่างได้นำเสนอไว้ในตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดทั้งสองวิธีในแต่ละพื้นที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.5-4.8 ตามลำดับและกราฟแสดงภาพรวมความสอดคล้องของข้อมูลการตรวจวัดของทั้งสองวิธีแสดงในรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าการตรวจวัดทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกันอย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อนำข้อมูลที่ตรวจวัดในพื้นที่ต่าง ๆ มารวมกัน ($n=30$) เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ $R^2 = 0.8510$ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสองวิธีมีค่าอยู่ในระดับสูงถึง 85%



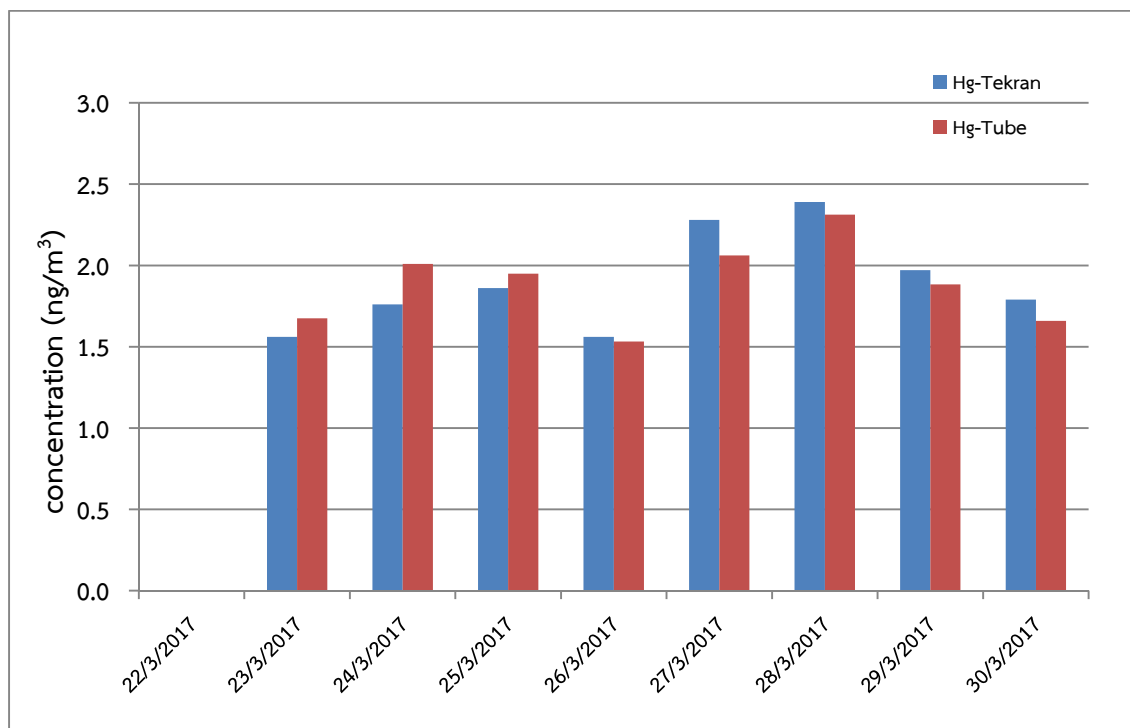
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศ ณ วัดพุทธรัง จังหวัดสระบุรี เปรียบเทียบการตรวจวัดระหว่างเทคนิค automatic analyzer (Hg-Tekran) และ เทคนิค gold amalgam tube (Hg-Tube)



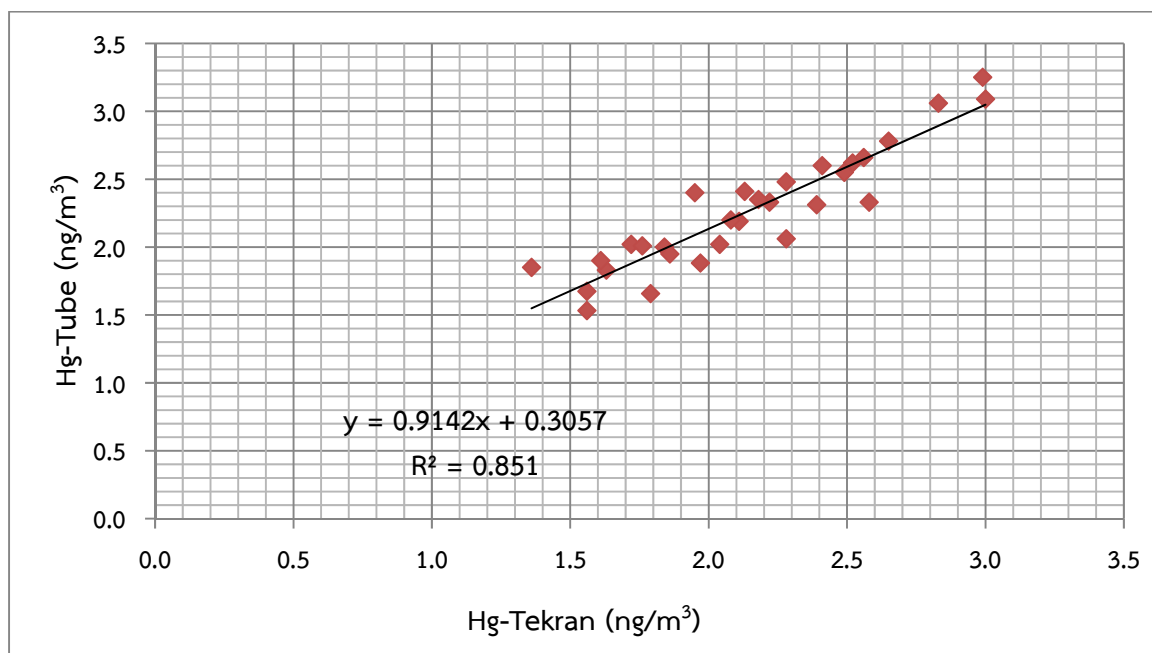
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศ ณ วัดถ้ำมวกูญ จังหวัดสระบุรี เปรียบเทียบการตรวจวัดระหว่างเทคนิค automatic analyzer (Hg-Tekran) และ เทคนิค gold amalgam tube (Hg-Tube)



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศ ณ วัดบุยายไ้ จังหวัดปราจีนบุรี เปรียบเทียบการตรวจวัดระหว่างเทคนิค automatic analyzer (Hg-Tekran) และเทคนิค gold amalgam tube (Hg-Tube)



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของปรอทในอากาศ ณ วัดปลวกเกิด จังหวัดระยอง เปรียบเทียบการตรวจวัดระหว่างเทคนิค automatic analyzer (Hg-Tekran) และเทคนิค gold amalgam tube (Hg-Tube)

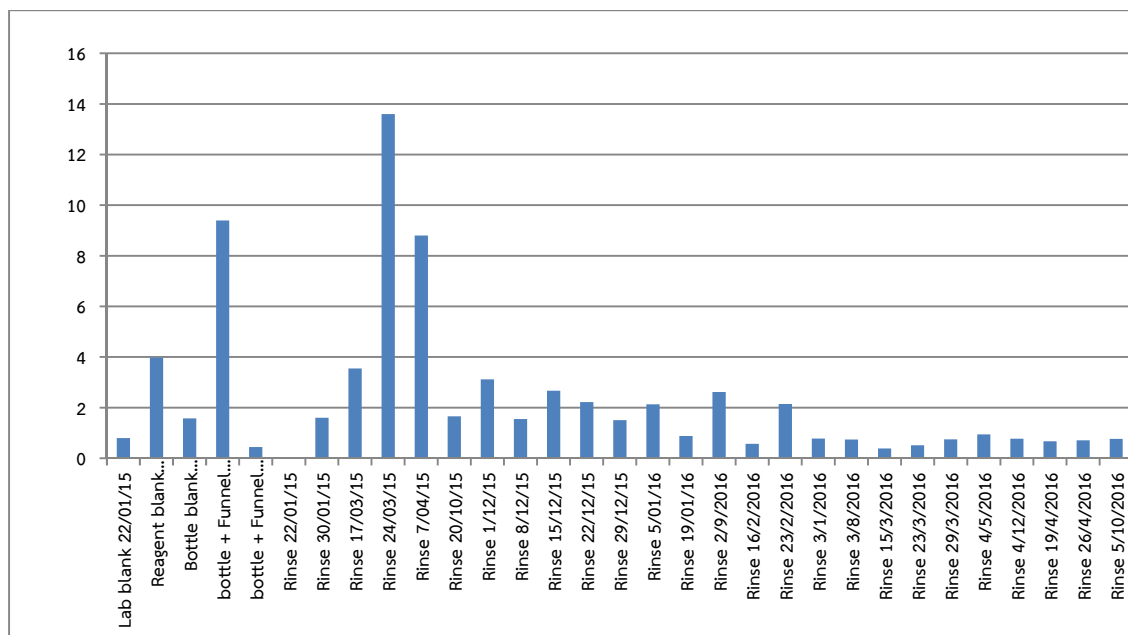


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจวัดปรอทในอากาศด้วยเครื่องตรวจวัดอัตโนมัติ (Tekran model 2537X) และตรวจวัดด้วยเทคนิคหลอดเก็บตัวอย่าง Gold amalgam tube (Hg-Tube), n=30

4.3 โปรทในน้ำฝน

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ทำการเก็บตัวอย่างโปรทในน้ำฝน ณ สถานีเก็บตัวอย่างน้ำฝนของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เก็บตัวอย่างราย 7 วัน โดยเก็บตัวอย่างทุกวันอังคารช่วงเวลา 8:00-10:00 น ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก Taiwan Environmental Protection Administration (Taiwan EPA) ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2558 ถึง เดือนพฤศจิกายน 2559 เป็นจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 49 ตัวอย่าง (n=49) ตัวอย่างทั้งหมดได้รับการอนุเคราะห์จาก National Central University Taiwan ภายใต้ความร่วมมือทางวิชาการของ Asia-Pacific Mercury Monitoring Network (APMMN) ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างช่วงเวลาดังกล่าว ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้มีการปรับปรุงอาคาร และห้อง Clean room ใหม่ ทำให้การพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในน้ำฝนมีความล่าช้า และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ยังไม่มีความพร้อม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงไม่สามารถตรวจวัดปรอทได้เอง และได้ส่งตัวอย่างโปรทในน้ำฝนทั้งหมดไปตรวจวัดที่ประเทศไต้หวัน

ในการพัฒนาวิธีทดสอบสารปรอทในน้ำฝนด้วยวิธีการทดสอบตามแนวทางวิธีของ US.EPA. เพื่อให้เหมาะสมสำหรับประเทศไทยนั้น การตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนสารปรอท (blank) ในตัวอย่างเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากปรอทในน้ำฝนมีระดับต่ำมากในระดับ part per trillion (ppt) หรือ ส่วนในล้านล้านส่วน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ทำการติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนแบบอัตโนมัติเพื่อเก็บตัวอย่างโปรทในน้ำฝน และจัดตั้งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ปรอทปริมาณต่ำในระดับ ppt โดยได้มีการตรวจสอบค่า blank ของการตรวจวัดสารปรอทในน้ำฝนทุกขั้นตอนตั้งแต่การเก็บตัวอย่างจนถึงการวิเคราะห์ ผลการตรวจวัด blank แสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ระดับการปนเปื้อนสารปรอทใน blank ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน (ng/l)

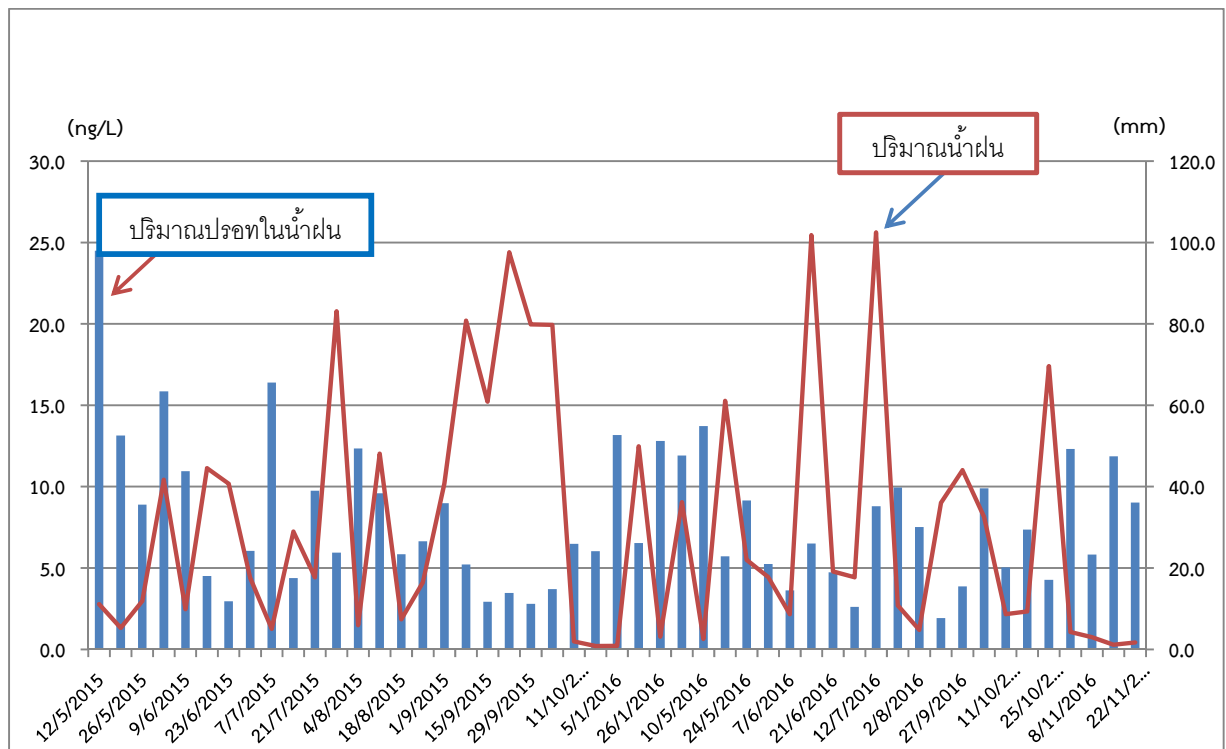
จะเห็นได้จากการปรับปรุงการตรวจวัดสารปรอทในน้ำฝนอย่างต่อเนื่องพบว่าปัจจุบัน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สามารถควบคุมค่า blank ให้อยู่ในระดับต่ำ (≤ 1 ng/l) เหมาะสมกับการตรวจวัดสารปรอทในน้ำฝน

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ทำการเก็บตัวอย่างปรอทในน้ำฝน ณ สถานีเก็บตัวอย่างน้ำฝนศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ระหว่างปี พ.ศ. ๒๕๕๘ และ พ.ศ. ๒๕๕๙ ได้จำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 49 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างสำหรับปี 2558 จำนวน 25 ตัวอย่าง และตัวอย่างสำหรับปี 2559 จำนวน 24 ตัวอย่าง เมื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณปรอทต่อปริมาณน้ำฝนในแต่ละตัวอย่าง หรือ volume weighted average ของแต่ละปี พบค่าเฉลี่ยปริมาณปรอทที่ 6.02 นาโนกรัมต่อลิตร และ 6.63 นาโนกรัมต่อลิตร สำหรับปี 2558 และ 2559 ตามลำดับ ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณปรอททั้งหมด ปริมาณน้ำฝน และปริมาณการตกสะสมของปรอทในตัวอย่างน้ำฝน ณ สถานีเก็บตัวอย่างน้ำฝนศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยที่พบในแต่ละปี ปริมาณปรอททั้งหมดในน้ำฝนเทียบกับปริมาณน้ำฝนของแต่ละตัวอย่างปรากฏตามรูปที่ 4.11 และปริมาณการตกสะสมของสารปรอท ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) แสดงในรูปที่ 4.12

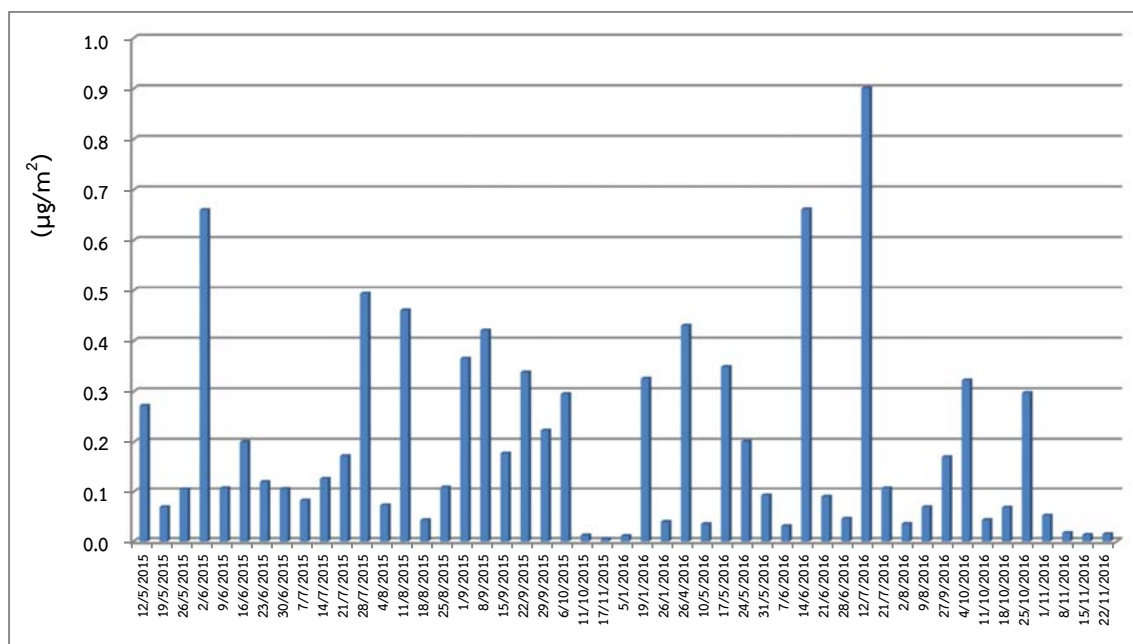
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารปรอทในน้ำฝนที่สถานีเก็บตัวอย่างน้ำฝน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (n=49)

	หน่วย	ค่าเฉลี่ย		ค่าพิสัย	
		2558 (n=24)	2559 (n=25)	2558 (n=24)	2559 (n=25)
ค่าเฉลี่ยปรอท (VWA*)	ng/L	6.02	6.63	-	-
ปริมาณน้ำฝน	mm	34.9	26.8	0.82-97.5	0.86-102.5
ปริมาณการตกสะสมของ ปรอท	$\mu\text{g}/\text{m}^2$	0.21	0.18	0.005-0.661	0.011-0.901
ปรอทในน้ำฝน	ng/L	8.0	7.7	1.7-24.5	1.9-13.7

*VWA = volume weighted average



รูปที่ 4.11 ปริมาณปรอททั้งหมดในน้ำฝน (ng/L) เทียบกับปริมาณน้ำฝน (mm) ของแต่ละตัวอย่างระหว่าง พฤษภาคม 2558 – พฤศจิกายน 2559



รูปที่ 4.12 ปริมาณการตกสะสมของปรอท ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) ระหว่าง พฤษภาคม 2558 – พฤศจิกายน 2559

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณปรอทในน้ำฝนมักจะสูงเมื่อมีปริมาณน้ำฝนน้อยดังแสดงในรูปที่ 4.11 แต่อย่างไรก็ตามจำนวนตัวอย่างในการศึกษารังนี้ยังคงน้อยและรูปแบบการตกของฝนในสองปีนี้ก็แตกต่างกัน ดังนั้นควรต้องมีการตรวจติดตามที่ต่อเนื่องระยะยาวเพื่อให้ทราบถึงรูปแบบที่แท้จริง และครอบคลุมสภาพอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ สำหรับปริมาณการตกสะสมของปรอทในพื้นที่คำนวณโดยผลคูณระหว่างปริมาณปรอทในน้ำฝนและปริมาณน้ำฝนดังแสดงในสมการ (i)

$$\text{Mercury flux } (\mu\text{g}/\text{m}^2) = 10^{-3} \times \text{mercury concentration (ng/L)} \times \text{precipitation amount (mm)} \dots (i)$$

ปริมาณการตกสะสมของปรอท ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) ระหว่าง พฤษภาคม 2558 – พฤศจิกายน 2559 พบว่าน้ำฝนเป็นตัวกลางที่พาให้ปรอทตกลงสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับการตกสะสมของสารปรอทในพื้นที่ชนบทในการศึกษานี้พบว่ามีค่าน้อยกว่า $1 \mu\text{g}/\text{m}^2$ เสมอ โดยมีค่าต่ำในเดือนพฤศจิกายน 2558 และในเดือนมกราคม 2559 ในขณะที่การตกสะสมของปรอทมีค่าสูงในเดือนมิถุนายน 2558 และเดือนกรกฎาคม 2559 ทั้งนี้ในช่วงเดือนมิถุนายน และเดือนกรกฎาคม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งกระแสลมพัดมาจากพื้นที่เมืองของกรุงเทพมหานคร ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณการตกสะสมที่เพิ่มขึ้นนั้นได้รับอิทธิพลมาจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่เมืองในช่วงดังกล่าว

4.4 ระบบฐานข้อมูลการปนเปื้อนและการกระจายตัวสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนเชิงพื้นที่

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ นับเป็นข้อมูลปริมาณปรอทในอากาศและในน้ำฝนแรกของประเทศไทย ซึ่งจะนำไปจัดทำระบบฐานข้อมูลของสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนสำหรับพื้นที่ศึกษา โดยใช้โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server ๒๐๑๒ ชุดข้อมูลที่จะจัดเก็บประกอบด้วย

- ชุดข้อมูลที่ ๑ ได้แก่ รหัสจุดเก็บตัวอย่าง ชื่อจุดเก็บตัวอย่าง สถานที่เก็บตัวอย่าง พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง วันเวลาที่เก็บ วิธีการเก็บตัวอย่าง แหล่งเก็บ ปริมาณที่ตรวจพบ วิเคราะห์ตัวอย่าง
- ชุดข้อมูลที่ ๒ ได้แก่ ข้อมูลสภาพแวดล้อมของบริเวณที่เก็บตัวอย่าง อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศ โดยใช้ฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดสภาพอากาศจริง
- ชุดข้อมูลที่ ๓ ได้แก่ ข้อมูลสภาพพื้นที่ (พื้นที่ป่า พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อุตสาหกรรม หรือพื้นที่ในเมือง) จำนวนประชากร ภาพถ่าย

อย่างไรก็ตามข้อมูลในปัจจุบันยังคงมีน้อยมาก ซึ่งในอนาคตจะต้องมีการนำวิธีตรวจวัดที่ได้พัฒนาขึ้นไปตรวจวัดและเก็บข้อมูลในอีกหลายๆพื้นที่ที่อาจมีการปนเปื้อนสารปรอท ไม่ว่าจะเป็นการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งทิ้งขยะชุมชน แหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ทั้งนี้จะทำให้ฐานข้อมูลใหญ่ขึ้นในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อประเทศมากหลังจากได้ให้สัตยาบันในอนุสัญญาไมนามาตะว่าด้วยปรอท ในการแสดงศักยภาพในการตรวจติดตามปรอทในอากาศและในน้ำฝนในประเทศไทย เพื่อแสดงถึงสถานะการปนเปื้อนที่แท้จริงของประเทศ และฐานข้อมูลนี้จะจัดทำขึ้นซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ใน website ของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม www.deqp.go.th

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปรอทถูกจัดเป็นมลพิษระดับโลก รองรับด้วยอนุสัญญามินามาตะว่าด้วยปรอทซึ่งในปัจจุบัน มีประเทศทั่วโลก 128 ประเทศให้การรับรองต่ออนุสัญญาฯ ในจำนวนดังกล่าว 86 ประเทศได้ให้สัตยาบันต่ออนุสัญญาฯ แล้ว โดยประเทศไทยได้ให้สัตยาบันต่ออนุสัญญาฯ เมื่อวันที่ 22 มิถุนายน 2560 นับเป็นประเทศที่ 66 ของอนุสัญญาฯ โดยมีพันธกรณีตามข้อบท (Article) ที่ 35 ข้อบทในอนุสัญญาฯ ซึ่งทำให้ประเทศต้องพัฒนาศักยภาพในการลดการใช้ปรอทและผลิตภัณฑ์ที่เติมปรอทในแหล่งกำเนิดต่างๆ ตลอดจนการตรวจติดตามสถานการณ์การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของการปนเปื้อนสารปรอทในสิ่งแวดล้อมและการประเมินประสิทธิผล ดังนั้นหนึ่งในแง่มุมที่สำคัญสำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือการพัฒนาห้องปฏิบัติการตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝนสำหรับประเทศไทย ซึ่งเป็นการพัฒนาศักยภาพในการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารปรอท สามารถควบคุมและลดการสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม เป็นผลให้สามารถลดการสะสมของสารปรอทในห่วงโซ่อาหารไม่ให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ เป็นการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้พัฒนาวิธีตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทยเป็นครั้งแรกในประเทศไทยและในภูมิภาคอาเซียน 10 ประเทศ โดยได้ใช้แนวทางของวิธีการที่เป็นที่รู้จักและยอมรับทั่วโลก ได้แก่วิธี US. EPA. Method IO-5 และวิธี US. EPA. Method 1631 revision E ในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝน ตามลำดับ

ความเข้มข้นของปรอทในอากาศที่ตรวจพบจะเปลี่ยนแปลงตามแหล่งกำเนิดในพื้นที่นั้นๆ ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการตรวจวัดในหลายพื้นที่พบว่าค่าความเข้มข้นของสารปรอทในอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 1.56 – 3.25 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงปกติที่พบในทวีปเอเชีย ยุโรป และอเมริกา ในส่วนของความเข้มข้นปรอทในน้ำฝน ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการตรวจวัดเฉพาะสถานีตรวจวัดของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมเท่านั้น ซึ่งถือเป็นพื้นที่ชนบทในจังหวัดปทุมธานีในระหว่างปี 2558 และ 2559 พบว่าปรอทในน้ำฝนมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.7-24.5 นาโนกรัมต่อลิตร (หรือส่วนในล้านล้านส่วน) โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นต่อปีที่คิดรวมค่าปริมาณน้ำฝน (Volume weighted average) อยู่ที่ 6.02 และ 6.23 นาโนกรัมต่อลิตร สำหรับปี 2558 และ 2559 ตามลำดับ สำหรับการตกสะสมของปรอทในน้ำฝน (mercury wet deposition flux) พบว่าอยู่ในช่วง 0.005 - 0.901 ไมโครกรัมต่อตารางเมตร

วิธีการและข้อมูลจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเปรียบเทียบประสิทธิผลในการกำกับดูแลและควบคุมปัญหาการปนเปื้อนของปรอทในสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยได้ตามพันธกรณีของอนุสัญญามินามาตะว่าด้วยปรอท นอกจากนี้ฐานข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นประโยชน์ในการให้ความรู้ความเข้าใจต่อประชาชนทั่วไปผ่านทาง website ของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม www.deqp.go.th.

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ห้องปฏิบัติการตรวจวัดปรอทปริมาณต่ำ และวิธีการตรวจวัดปรอทในอากาศและในน้ำฝน ที่กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้พัฒนาและจัดทำขึ้นจากการศึกษานี้ เป็นวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย สามารถนำไปใช้ตรวจวัดการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารปรอทในอากาศ และในน้ำฝนในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศ ได้อย่างถูกต้องเชื่อถือได้ และสามารถนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของต่างประเทศได้

5.2.2 กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม มีศักยภาพในการประเมินระดับการปนเปื้อนของสารปรอทในอากาศและในน้ำฝนเป็นแห่งแรกของประเทศ ทำให้ประเทศมีข้อมูลเชิงประจักษ์ในการป้องกันและควบคุมปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากสารปรอท ยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน

๕.๒.๓ ผลสำเร็จจากการวิจัยสามารถสนับสนุนภารกิจของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องและสอดคล้องกับการอนุวัติตามพันธกรณีของอนุสัญญามินามาตะว่าด้วยปรอท (The Minamata Convention on Mercury) ในหลายประเด็น โดยเฉพาะประเด็นการวิจัย การพัฒนาและการติดตามตรวจสอบ (ข้อบทที่ 19) การเผยแพร่ข้อมูล ความตระหนักและการศึกษา (ข้อบทที่ 18) การเสริมสร้างขีดความสามารถ ความช่วยเหลือด้านวิชาการ และการถ่ายทอดเทคโนโลยี (ข้อบทที่ 14) การปนเปื้อนจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ทองคำ (ข้อบทที่ 7) ตลอดจนเทคนิควิชาการและวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อบทต่างๆ ในอนุสัญญาฯ เพื่อให้สอดคล้องกับการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศ ตลอดจนสนับสนุนความร่วมมือและการบูรณาการร่วมกันในการดำเนินการตามพันธกรณี ข้อตกลงระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องที่ประเทศไทยเป็นภาคี และข้อตกลงที่สอดคล้องกับศักยภาพและขีดความสามารถของประเทศ

5.2.4 ในอนาคตประเทศไทยควรกำหนดค่า guideline หรือค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับปรอท เพื่อเป็นการควบคุมและกำจัดการปนเปื้อนสารปรอทให้หมดไปในอนาคต ผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถเป็นเครื่องมือในการสำรวจและติดตามสถานการณ์การปนเปื้อนสารปรอทในสิ่งแวดล้อมของประเทศในปัจจุบันและอนาคต และยังสามารถเป็นข้อมูลพื้นฐาน (baseline information) ในปัจจุบันที่จะนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในอนาคตเพื่อประเมินประสิทธิผลของมาตรการควบคุมต่างๆที่จะเกิดขึ้นต่อไป

5.2.5 ระบบฐานข้อมูลที่ได้จากการศึกษาได้นำเสนอข้อมูลปริมาณสารปรอทที่ตรวจพบทั้งในอากาศและในน้ำฝนในรูปแบบสารสนเทศเชิงพื้นที่เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัว ความเสี่ยงในการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมและความเสี่ยงกับประชากรที่อาศัยในบริเวณที่มีการปนเปื้อนดังกล่าว เป็นการให้ความรู้ความเข้าใจแก่ประชาชนทั่วไปได้

บรรณานุกรม

1. Mahaffey, K. R. (2000). Recent Advances in Recognition of Low-level Methylmercury Poisoning. *Current Opinion in Neurology*, 13, 699-707.
2. National Research Council. **Toxicological Effects of Methylmercury**-Chapter 1, Washington D.C., National Academy Press, 2000.
3. National Research Council. **Toxicological Effects of Methylmercury**-Chapter 8, Washington D.C., National Academy Press, 2000.
4. Myers, G.J., P.W. Davidson, C. Cox, C. Shamlaye, E. Cernichiari, T.W. Clarkson. (2000). Twenty-Seven Years Studying the Human Neurotoxicity of Methylmercury Exposure. *Environmental Research*, 83, 275-285.
5. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (1997). **Mercury Study for Congress Volume III**, Fate and Transport of Mercury in the Environment, page 2-3, EPA-452/R-97-003, December 1997.
6. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1997. **Mercury Study for Congress Volume I**, Executive Summary Table 3-1, Best Point Estimates of National Mercury Emission Rates by Category, EPA-452/R-97-003, December 1997.
7. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (1997). **Mercury Study for Congress Volume I**, Executive Summary Table 4-2, Potential Mercury Emission Reductions and Costs for Selected Source Categories, EPA-452/R-97-003, December 1997.
8. "A Chronology of Minamata Disease." *AMPO: Japan Asia Quarterly Review* Vol. 27 No.3, 1997.
9. <http://www.epa.gov/opptintr/pbt/mercury.htm>.
10. George Schwedt, 2001. The Essential Guide to Environmental Chemistry, John Wiley & Sons, Ltd, ISBN 0 471 89954 2.
11. Rompp, 1993. Lexikon Umwelt. Thieme, Stuttgart.
12. Kemper and Bertram, 1987. Canadian Environmental Quality Guidelines, COME.
13. Sunderland, E.M., and Mason, R.P., 2007, Human impacts on open ocean mercury concentrations. *Global Biogeochemical Cycles*, 21(4).
14. Calvert, J.G., and Lindberg, S.E., 2005, Mechanisms of mercury removal by O₃ and OH in the atmosphere. *Atmospheric Environment*, 39: 3355-3367.
15. Lin, C-J., Pongprueksa, P., Lindberg, S.E., Pehkonen, S.O., Byun, D., and Jang, C., 2006. Scientific uncertainties in atmospheric mercury models: Model Science Evaluation. *Atmospheric Environment*, 40: 2911-2928.
16. Ariya, P.A., Skov, H., Grage, M.L., and Goodsite, M.E., 2008. Gaseous elemental mercury in the ambient atmosphere: Review of the application of theoretical calculations and experimental studies for determination of reaction coefficients and mechanisms with halogens and other reactants. *Advances in Quantum Chemist* 55, chapter 4, 44-54.

17. Steffen, A., Douglas, T., Amyot, M., Ariya, P., Aspmo, K., Berg, T., Bottemheim, J., Brooks, S., Cobbett, F., Dastoor, A., Dommerque, A., Ebinghaus, R., Ferrari, C., Guardfeldt, K., Goodsite, M.E., Lean, D., Poulain, A.J., Scherz, C., Skov, H., Sommar, J., and Temme, C., 2008. A synthesis of atmospheric mercury depletion event chemistry in the atmosphere and snow. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8: 1445-1482.
18. Kim, K.H., 2004. The signature of diversification of sources processes in controlling atmospheric mercury levels in East Asia. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15: 261-267.
19. Ferrara, R., Maserti, B.E., Andersson, M., Edner, H., Ragnerson, P., Svenberg, S., and Hernandez, A., 1998. Atmospheric mercury concentrations and fluxes in the Almaden District (Spain). *Atmospheric Environment*, 32: 3897-3904.
20. Brooks, S., Saiz-Lopez, A., Skov, H., Lindberg, S., Plane, J.M.C., and Goodsite, M.E., 2006a. The mass balance of mercury in the springtime polar environment. *Geophysical Research Letters*, 33: L13812.
21. Cobbett, F.D., Steffen, A., Lawson, G., Van Heyst, B.J., 2007. GEM fluxes and atmospheric mercury concentrations (GEM, RGM and Hg-P) in the Canadian Arctic at Alert, Nunavut, Canada (February-June 2005). *Atmospheric Environment*, 41: 6527-6543.
22. Wangberg, I., Munthe, J., Pirrone, N., Iverfeldt, A., Bahlman, E., Costa, P., Ebinghaus, R., Feng, X., Ferrara, R., Gardfeldt, K., Kock, H., Lanzilotta, E., Mamane, Y., Mas, F., Melamed, E., Osnat, Y., Pirestbo, E., Sommar, J., Scamosen, S., Spain, G., Sprovieri, F., and Tuneel, G., 2001. Atmospheric mercury distribution in northern Europe and in the Mediterranean region. *Atmospheric Environment*, 35: 3019-3025.
23. UNEP Report 2008. Technical background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment.
24. US.EPA 2002. Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry
25. US.EPA 1999. Compendium methods for the determination of inorganic compounds in ambient air, Chapter IO-5, Sampling and analysis for atmospheric mercury.
26. กรมควบคุมมลพิษ 2557. Minamata Convention on Mercury. อนุสัญญามินามาตะว่าด้วยปรอท คพ. 04-13, ISBN: 978-616-316-207-6.

ภาคผนวกที่ 1

คู่มือการเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติ

คู่มือการปฏิบัติงาน

เรื่องการเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติ

1. บทนำ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กำลังดำเนินโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปรอทปริมาณต่ำในอากาศและในน้ำฝนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับประเทศไทย และมีความร่วมมือในเครือข่ายการติดตามตรวจสอบสารปรอทในอากาศและน้ำฝนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก (Asia-Pacific Mercury Monitoring Network, APMMN) ปรอทในน้ำฝนนั้นมีปริมาณต่ำมากในหน่วยของ นาโนกรัมต่อลิตร แต่มีความสำคัญมากเพราะเป็นหนทางหลักที่ทำให้สารปรอทตกสะสมลงสู่ระบบนิเวศ และเข้าไปปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหารได้ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์ พืช และมนุษย์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ส่งผลให้คุณภาพสิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิตเสื่อมโทรมลงในที่สุด ดังนั้นการรู้เท่าทันปัญหาจึงเป็นสิ่งจำเป็น APMMN จึงได้มีการพัฒนาคู่มือการเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝนให้เป็นแนวทางในการตรวจติดตามปัญหาการตกสะสมแบบเปียกของสารปรอท (mercury wet deposition) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามตรวจสอบสารปรอทในน้ำฝนในประเทศต่างๆในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก คู่มือการเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝนด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัตินี้ จึงจัดทำขึ้นตามแนวทางของ APMMN แต่ประยุกต์ให้มีความเหมาะสมสำหรับการศึกษาปัญหาการตกสะสมแบบเปียกของสารปรอทในประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติในการเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝนด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติ
- 2.2 เพื่อแสดงขั้นตอน อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง และข้อควรระวัง เพื่อให้ผู้ปฏิบัติเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามได้อย่างถูกต้อง

3. ขอบเขต

ใช้ในการเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝนด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติ

4. คำจำกัดความ

- 4.1 เครื่องเก็บตัวอย่างปรอทในน้ำฝนแบบอัตโนมัติ คือเครื่องมือเก็บตัวอย่างปรอทในน้ำฝนที่มีภาชนะรองรับน้ำฝนทำด้วยวัสดุที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาสารปรอทในตัวอย่าง ไม่มีคุณสมบัติดูดซับหรือมีส่วนผสมของสารปรอทที่อาจหลุดเข้ามาปนเปื้อนในตัวอย่างได้ โดยหลักการแล้วมีวัสดุที่เหมาะสมอยู่สองชนิดคือ แก้ว borosilicate หรือ quartz และ โพลีเมอร์ชนิด Teflon สำหรับตัวเครื่องทำด้วยอลูมิเนียมอย่างดีเคลือบด้วยสีกันสนิมที่ไม่มีส่วนผสมของสารปรอท ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อตัวอย่าง มีฝาครอบภาชนะรองรับน้ำฝนที่มีเซ็นเซอร์ควบคุมการเปิด-ปิดฝาได้อย่างอัตโนมัติ โดยฝาจะเปิดเมื่อฝนตก และปิดสนิทเมื่อไม่มีฝน

4.2 การตกสะสมแบบเปียกของสารปรอท หรือ mercury wet deposition หมายถึงสารปรอทที่ปะปนอยู่ในน้ำฝน และตกลงสู่พื้นดิน ซึ่งสามารถสะสมและเปลี่ยนรูปในสิ่งแวดล้อมตามปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ปริมาณการตกสะสมแบบเปียกของสารปรอท สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างปริมาณสารปรอทในน้ำฝนและปริมาณน้ำฝน ซึ่งจะมีหน่วยเป็นหน่วยน้ำหนักสารปรอทต่อพื้นที่ เช่น นาโนกรัมต่อตารางเมตร เป็นต้น

4.3 “Good hands/Bad hands” หมายถึงการแบ่งประเภทกิจกรรมที่จะปฏิบัติในการเก็บตัวอย่างเป็นสองแบบได้แก่ กิจกรรมที่ต้องสัมผัสกับอุปกรณ์รองรับน้ำฝนโดยตรง กิจกรรมนี้จะต้องปฏิบัติโดย “Good hands” เท่านั้น ส่วนกิจกรรมอื่นๆที่ไม่ได้สัมผัสกับอุปกรณ์รองรับน้ำฝนโดยตรง หรืออีกนัยหนึ่งคือมือผู้ช่วย จะเป็นกิจกรรมของ “Bad hands” การกำหนดเช่นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการปนเปื้อนต่อตัวอย่างอันเนื่องมาจากการเก็บตัวอย่าง ซึ่งจะมีผลทำให้ตัวอย่างที่เก็บได้ไม่เป็นตัวแทน (representative sample) อย่างแท้จริง

5. ขั้นตอนการดำเนินงาน

5.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

- เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติ
- ชุดภาชนะเก็บตัวอย่างปรอทในน้ำฝนประกอบด้วย กรวยรับน้ำฝนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ทำด้วยแก้ว borosilicate ข้อต่อ Teflon ภายในบรรจุด้วยกรวยแก้ว borosilicate ขนาดเล็กมีปลายกรวยมนเป็นเกลียวเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำฝน และขวดตัวอย่างทำด้วย Teflon ขนาด 1 ลิตร พร้อมฝาปิด
- ถุงพลาสติกปากซิปปขนาดใหญ่อพที่จะใส่ขวดตัวอย่างขนาด 2 ลิตร และกรวยรับน้ำฝนพร้อมอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ
- ถุงมือชนิด Nitrile powderless gloves
- กระดาษ Kimwipes สำหรับทำความสะอาดเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติ
- ตะกร้าหรือกล่องใส่อุปกรณ์ต่างๆ
- ผ้าหรือพลาสติกปูรองพื้นก่อนวางกล่องอุปกรณ์เพื่อป้องกันฝุ่น
- กรดไฮโดรคลอริก ultrapure grade
- เครื่องชั่ง 5 ตำแหน่ง
- น้ำกลั่นชนิด Deionized Distilled Water (DIW) ที่มีค่าความต้านทานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 18.2M/cm พร้อมกระบอกฉีดยา
- ขวดเก็บตัวอย่างน้ำฝนขนาด 150 มิลลิลิตร ทำด้วยวัสดุ Nalgene® Square Media Bottles, PETG, Sterile, Graduated.
- Protocol การเก็บตัวอย่าง
- ปากกา

5.2 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนนำไปเก็บตัวอย่าง

- การเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่างๆให้ทำในห้องปฏิบัติการ โดยต้องสวมถุงมือทุกครั้ง
- นำขวดเก็บตัวอย่างขนาด 1 ลิตร ที่ล้างสะอาดตามวิธีการล้างเครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์ปรอทปริมาณต่ำ (method 1631 revision E) มาตั้งไว้บนโต๊ะที่สะอาดในห้องปฏิบัติการ เติมกรดไฮโดรคลอริก ultrapure grade ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร (ประมาณ 10 หยด) ลงในขวด ปิดฝาให้สนิท
- นำขวดที่หยดกรดแล้วพร้อมฝาไปซั้ และบันทึกน้ำหนักขวดก่อนเก็บตัวอย่างไว้ใน Protocol การเก็บตัวอย่าง
- นำขวดที่ซั้แล้วใส่ลงในถุงพลาสติกฝาซิปป 2 ชั้น
- นำกรวยเก็บตัวอย่างพร้อมอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆที่ล้างสะอาดตามวิธีการล้างเครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์ปรอทปริมาณต่ำ ใส่ลงในถุงพลาสติกซิปล็อค 2 ชั้น
- นำอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดใส่ลงในกล่องหรือตะกร้า เพื่อพร้อมนำไปเก็บตัวอย่างที่สถานี

5.3 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่สถานีเก็บตัวอย่าง

- เมื่อถึงสถานีเก็บตัวอย่างให้หาพื้นที่ที่เหมาะสมในการวางอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง โดยต้องปูผ้าหรือพลาสติกรองพื้นก่อน แล้วจึงวางกล่องอุปกรณ์ลงบนผ้าปู
- เดินเข้าหาเครื่องเก็บตัวอย่างทางใต้ลม สังเกตเครื่องเก็บตัวอย่างและสถานีโดยรอบว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่ บันทึกข้อสังเกตทั้งหมดลงใน protocol การเก็บตัวอย่าง
- การเก็บตัวอย่างควรมีเจ้าหน้าที่ 2 คน เพื่อแบ่งหน้าที่ว่าใครจะเป็น “Good hands” และ “Bad hands” แต่ถ้าหากมีคนเดียวก็ต้องเปลี่ยนถุงมือทุกครั้งที่จะต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ที่เก็บตัวอย่างโดยตรง เช่น ขวดเก็บตัวอย่าง กรวย และข้อต่อของชุดรองรับตัวอย่างน้ำฝนที่จะต้องใส่ลงในเครื่องเก็บตัวอย่างอัตโนมัติ
- สวมถุงมือและเดินเข้าหาเครื่องเก็บตัวอย่างทางใต้ลม ใช้กระดาษ kimwipes เช็ดเครื่องเก็บตัวอย่างทั้งภายในและภายนอกตามลำดับ หากพบว่ามีการปนเปื้อนบริเวณใดของตัวเครื่องสามารถใช้ผ้าชุบน้ำเช็ด และใช้แปรงสีฟันทำความสะอาดเฉพาะจุดได้
- สวมถุงมือและเดินเข้าหาเครื่องเก็บตัวอย่างทางใต้ลม เปิดถุงซิปล็อคแล้วนำกรวยออกมาประกอบกับอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ แล้วนำไปวางตรงช่องชุดรับน้ำฝนของเครื่องเก็บตัวอย่าง
- เปิดถุงซิปล็อคแล้วนำขวดเก็บตัวอย่างที่ซั้แล้ว เปิดฝาดอกแล้วนำไปต่อกับข้อต่อด้านล่างของชุดรองรับน้ำฝน
- ทำการปิดฝาเครื่องเก็บตัวอย่าง และทดสอบตัวเซ็นเซอร์ว่ายังทำงานปกติหรือไม่ โดยการฉีดน้ำกลั่นเล็กน้อยลงบนเซ็นเซอร์ ฝาของเครื่องจะต้องเปิดภายใน 1 นาที หลังจากนั้นให้เช็ดเซ็นเซอร์ให้แห้งและรอให้ฝาเครื่องกลับมาปิดชุดรองรับน้ำฝนเหมือนเดิม ซึ่งไม่ควรเกิน 1 นาที เช่นกัน
- บันทึกวัน เดือน ปี และเวลาเริ่มเก็บตัวอย่าง (Start time) ลงใน protocol การเก็บตัวอย่าง

5.3 การเก็บตัวอย่างที่สถานีเก็บตัวอย่าง

- การเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝนจะเก็บตัวอย่างทุก 7 วัน เวลาเก็บตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 8:00 – 10:00 น.
- เมื่อครบเจ็ดวันให้เจ้าหน้าที่เตรียมอุปกรณ์มาเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 5.2
- เมื่อถึงสถานีเก็บตัวอย่างให้หาพื้นที่ที่เหมาะสมในการวางอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง โดยต้องปูผ้าหรือพลาสติกรองพื้นก่อน แล้วจึงวางกล่องอุปกรณ์ลงบนผ้าปู
- เดินเข้าหาเครื่องเก็บตัวอย่างทางใต้ลม สังเกตเครื่องเก็บตัวอย่างและสถานีโดยรอบว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่ บันทึกข้อสังเกตทั้งหมดลงใน protocol การเก็บตัวอย่าง
- สวมถุงมือและเดินเข้าหาเครื่องเก็บตัวอย่างทางใต้ลม “Bad hands” เปิดประตูเครื่องเก็บตัวอย่าง ด้านล่างจะเห็นขวดเก็บตัวอย่างขนาด 1 ลิตร ที่ติดอยู่กับชุดรองรับน้ำฝน ให้ “Good hands” สวมถุงมือแล้วถอดขวดเก็บตัวอย่างออกจากชุดรองรับน้ำฝน ปิดฝาขวด แล้วนำมาใส่ลงในถุงพลาสติกซิปล็อค 2 ชั้น ปิดฝาถุงให้สนิท
- บันทึก วัน เดือน ปี และเวลาที่เก็บตัวอย่าง (stop time) ของอาทิตย์ที่ผ่านมา
- “Bad hands” สวมถุงมือ กดปุ่มให้ฝาเครื่องเปิดออก แล้วนำเอาชุดรองรับน้ำฝนที่เก็บตัวอย่าง เมื่ออาทิตย์ที่ผ่านมาออกใส่ถุงพลาสติกใส่ตะกร้าเพื่อนำไปล้างทำความสะอาดตามวิธีการล้างเครื่องแก้ว สำหรับการวิเคราะห์ปรอทปริมาณต่ำ (method 1631 revision E) ต่อไป
- “Bad hands” ใช้กระดาษ kimwipe เช็ดเครื่องเก็บตัวอย่างทั้งภายในและภายนอก โดยเริ่มจากภายในทั้งหมดก่อน แล้วจึงเช็ดออกมาข้างนอก เพื่อกำจัดฝุ่นออกจากเครื่องเก็บตัวอย่าง
- “Good hands” นำชุดรองรับน้ำฝนใหม่ที่เตรียมมา ออกจากถุงพลาสติกซิปล็อค 2 ชั้น แล้วนำไปใส่ลงในที่ตั้งชุดรองรับน้ำฝนภายในเครื่อง
- “Good hands” นำขวดเก็บตัวอย่างขนาด 1 ลิตรที่เตรียมมาใหม่ เปิดฝา แล้วนำไปต่อเข้ากับส่วนล่างของชุดรองรับน้ำฝน
- กดปุ่มปิดฝาเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝน
- ทดสอบประสิทธิภาพของฝาเปิด-ปิด ของเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝน ด้วยการฉีดน้ำกลั่นเล็กน้อยลงบนเซ็นเซอร์ แล้วพิจารณาการเปิดฝาแบบอัตโนมัติของเครื่องว่าใช้เวลามากกว่าที่กำหนดหรือไม่ หลังจากนั้นใช้กระดาษ kimwipe เช็ดเซ็นเซอร์ให้แห้ง แล้วพิจารณาการเปิดฝาแบบอัตโนมัติของเครื่องว่าใช้เวลามากกว่าที่กำหนดหรือไม่อีกครั้งหนึ่ง
- พิจารณาสภาวะแวดล้อมของสถานีเก็บตัวอย่างว่ามีความผิดปกติอะไรหรือไม่ เติมเต็มข้อมูลใน Protocol ในส่วนของข้อสังเกตต่างๆ
- ดูเครื่องมือเก็บตัวอย่างให้เรียบร้อย ตลอดจนเรื่องไฟฟ้าของเครื่องมือด้วย
- นำตัวอย่างและอุปกรณ์ทั้งหมดกลับไปที่ห้องปฏิบัติการ

5.4 การจัดเก็บตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

- ในห้องปฏิบัติการ ให้ผู้ปฏิบัติการล้างมือให้เรียบร้อย แล้วสวมถุงมือใหม่ นำขวดตัวอย่างออกจากถุงพลาสติกซีลล็อก 2 ชั้น แล้วนำไปแช่เพื่อหาน้ำหนักขวดพร้อมน้ำฝน บันทึกข้อมูลลงใน protocol การเก็บตัวอย่าง
- คำนวณน้ำหนักน้ำฝนโดยนำ น้ำหนักขวดพร้อมน้ำฝนลบด้วยน้ำหนักขวดก่อนเก็บตัวอย่าง จะได้ น้ำหนักน้ำฝนมีหน่วยเป็นกรัม
- นำตัวอย่างน้ำฝนจากขวดตัวอย่างขนาด 1 ลิตร เทลงในขวดเก็บตัวอย่างขนาด 150 มิลลิลิตร จำนวน 1 ขวด หากมีตัวอย่างน้ำฝนมาก ก็สามารถเก็บได้มากกว่า 1 ขวด
- ปิดฉลากขวดทั้งหมดโดยระบุ ชื่อสถานี วัน เดือน ปี ที่เก็บตัวอย่าง และ start time stop time ให้ชัดเจน และนำตัวอย่างไปแช่ไว้ในตู้เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

6. แบบฟอร์ม/เอกสารที่เกี่ยวข้อง/เอกสารประกอบ/เอกสารภาคผนวกที่ใช้

6.1 แบบฟอร์ม Protocol การเก็บตัวอย่าง ที่ประยุกต์มาจาก APMMN Field Sample SOP version September 1_14 รายละเอียดในเอกสารแนบ

7. ประโยชน์ของการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน

เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบสามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง ทำให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทน และการได้มาของตัวอย่างอยู่บนพื้นฐาน หรือมาตรฐานการเก็บตัวอย่างเดียวกัน

8. เอกสารอ้างอิง

8.1 APMMN Field Sample SOP version September 1_14

8.2 Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry

ภาคผนวกที่ 2

คู่มือการทำงานหมวดวิธีทดสอบหาปริมาณสารปรอทในน้ำฝน

คู่มือการทำงานหมวดวิธีทดสอบหาปริมาณสารปรอทในน้ำฝน

1. ขอบเขตและการประยุกต์ใช้

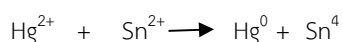
1.1 ใช้สำหรับวิธีทดสอบหาปริมาณ สารปรอทในน้ำฝน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สารปรอท Mercury Analyzer ยี่ห้อ NIC Model RA-4300FG+

1.2 โดยทดสอบ

ช่วงความเข้มข้น ของสารปรอท สามารถทดสอบได้ในระดับนาโนกรัม

2. หลักการ

วิธีทดสอบหาปริมาณ สารปรอทในน้ำฝน เป็นวิธีการที่จะทำให้ทราบถึงปริมาณ หรือค่าความเข้มข้น ของสารปรอทที่ปนเปื้อน อยู่ในน้ำอยู่ในน้ำฝน โดยใช้ Method 1631, Revision E (the "Method") โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สารปรอท (Mercury Analyzer Model RA-4300FG+) ซึ่งสาร Bromine monochloride (BrCl) จะถูกเติมลงตัวอย่างเพื่อรักษากลุ่มออกซิไดซ์ จากนั้น BrCl จะถูกกำจัดออกเพื่อไม่ให้ขัดขวางการวัด (BrCl เป็นสารออกซิเดชัน) โดยมีการเติม hydroxylammonium chloride solution (NH₂OH.HCl), และเติม stannous chloride solution (SnCl₂) ปรอทรูปสองบวก (Hg²⁺) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นปรอทศูนย์(Hg⁰) ซึ่งเป็นรูปก๊าซปรอท ที่ละลายน้ำได้น้อย หลังจากนั้นปรอทจะถูกพาเข้าสู่ส่วนตรวจวัดโดยการเป่าแก๊สผ่านหลอดตัวอย่าง



ปรอทอิสระ ในรูปแก๊สจะถูกเก็บเพื่อรวมความเข้มข้นในรูป gold amalgam หลังจากนั้นปรอททั้งหมดจากตัวอย่างจะถูกเผาไล่ปรอททั้งจากตัวจับ gold amalgam ทำลายพันธะการจับ และเข้าสู่หน่วยตรวจวัด

ระบบการตรวจวัดด้วยหลักการ atomic fluorescence spectrometry อะตอมอิสระจะถูกทำให้ เกิดการเรืองแสง (fluorescence) เมื่อได้รับพลังงานจากรังสี อัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet rays) โดยการพาของแก๊สอาร์กอน สารปรอทอิสระ ที่เรืองแสงจะเป็นปริมาณแปรผันตรงกับปริมาณปรอท (ปรอทในแก๊สตัวพา), แสงที่วัดได้จะถูกเปลี่ยนเป็นปริมาณปรอท

3. ข้อควรระวังและความปลอดภัย

3.1 ก่อนทำการทดสอบ ต้องเปิดระบบดูดอากาศ (Hood) และระบบปรับอากาศ ในห้องปฏิบัติการ Clean Room ก่อนทุกครั้ง

3.2 หลังจากการใช้งานเครื่องทุกครั้ง ควรทำการล้างระบบเพื่อป้องกันการอุดตันในระบบ

3.3 ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมอุปกรณ์ความปลอดภัยทุกครั้งในการเตรียมสารเคมี

3.4 ผู้ปฏิบัติงานต้องปฏิบัติตามเอกสาร Safety Data sheet

3.5 ให้ทำการตรวจสอบกราฟมาตรฐาน Confirmation of Calibration Curve (CFm) ใช้ได้อยู่ในช่วง ประมาณ 0.5±0.05 จึงสามารถทำการทดสอบได้

4. นิยามหรือคำศัพท์

ปรอท เป็นธาตุโลหะหนัก ที่อุณหภูมิปกติปรอทจะมีลักษณะเป็นของเหลวไหลได้รวดเร็ว มีสีเงินมันวาว และสามารถระเหยเป็นไอได้ในอุณหภูมิปกติ มีความยาวคลื่นจำเพาะที่ 253.7 นาโนเมตร แหล่งกำเนิดของปรอท มีทั้งจากแหล่งธรรมชาติ เช่น จากการผุพังของสินแร่ที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ ซึ่งบางส่วนปะปนมากับก๊าซจากการระเบิดของภูเขาไฟ ไฟป่า และการระเหยจากมหาสมุทร และมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง ธรรมชาติ การทำเหมืองโลหะ และอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งปรอทจะถูกปล่อยในรูปแบบของมลพิษที่แพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

ปรอทในบรรยากาศมี 2 รูปแบบ คือ ไอปรอท (Hg⁰) โดยกระแสลมในบรรยากาศจะพัดพาไอปรอทให้กระจายไปทั่ว ส่วนปรอทในรูปประจุบวก (Hg²⁺) จะเกาะอยู่กับอนุภาคของสารอื่น และจะตกลงสู่พื้นไม่ไกลจากแหล่งกำเนิด พืชปรอทเข้าสู่ร่างกายเราได้ทุกทาง ไอระเหยของโลหะปรอทเข้าทางจมูก และปอดโดยการหายใจ สารละลายเกลือปรอทเข้าทางปาก และทางเดินอาหาร ยาที่มีปรอทจะถูกดูดซึมเข้าทางผิวหนังหรือลำไส้ผ่านเข้าไปในกระแสเลือด และกระจายตัวตามเนื้อเยื่อต่างๆ อวัยวะที่มีการสะสมปรอทได้มาก

ที่สุด คือ ไต ถัดลงมาตามลำดับ คือ ตับ ม้าม สมอง ผนัง ลำไส้เล็ก หัวใจ กล้ามเนื้อลาย และปอด เมื่อสะสมมากจะทำให้เซลล์ระบบประสาทส่วนกลางถูกทำลาย เกิดอาการผิดปกติทางประสาท อาทิ ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายไม่ได้ พูดติดอ่าง หูอื้อหนวก ช็อก และเสียชีวิตในที่สุด นอกจากนั้น อาการทางประสาทอื่นๆ ได้แก่ ปัสสาวะขัด ความจำเสื่อม สายตาลำมัว และการมองเห็นลดลง เป็นต้น

5. การจัดการตัวอย่าง

5.1 การเก็บตัวอย่างให้ปฏิบัติตามขั้นตอน ตาม Method 1631, Revision E

5.2 การให้รหัสตัวอย่างดำเนินการตามขั้นตอนดำเนินงานหมวดการจัดการตัวอย่างกลุ่มอากาศฯ และบันทึกข้อมูลลงใน Protocol Wet Mercury in Rain Water

6. เครื่องมือและอุปกรณ์

6.1 เครื่องเก็บตัวอย่างสารปรอทในน้ำฝน

6.2 เครื่องวิเคราะห์สารปรอท (Mercury Analyzer Model RA-4300FG+)

6.3 ตู้ดูดควัน (Hood)

6.4 Oven—stainless steel, in Class-100 clean area, capable of maintaining $\pm 5^{\circ}\text{C}$ in the 60–70°C temperature range

6.5 บีกเกอร์

6.6 หลอดทดสอบ ตัวอย่าง

6.7 Tip

6.8 Volumetric Flask ขนาด 100 ml 1000 ml 1000 ml

6.9 กระบอกตวง -ขนาด 100 ml

6.10 ไมโครปิเปต - ขนาด 200 μl 1000 μl 5000 μl และ 10 ml

6.11 เขยื้อกบรรจุน้ำกลั่น

6.12 ถังบรรจุ Waste -ขวดแก้ว บรรจุ Waste

6.13 ชุดสำหรับ Purge สารเคมี

6.14 Sample collection bottles-fluoropolymer or glass, 125- to 1000-mL, with fluoropolymer or fluoropolymer-lined cap.

6.15 Cleaning ชนิดทนกรด-ด่าง

6.16 reagent bottle และขวดแก้วขนาดตามความเหมาะสม

6.17 Erlenmeyer Flask -ขนาดต่างๆ

6.18 dropper พร้อมลูกยาง

6.19 กล้องพลาสติก

6.20 ถังมือ

6.21 แวนตานิรภัย

6.22 ผ้าปิดจมูก

7. สารเคมี

7.1 น้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูงความต้านทานการนำไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 18- M Ω (ultrapure deionized water)

7.2 สารมาตรฐานปรอท ความเข้มข้นประมาณ 1000 ppm traceable to NIST Standard Reference Materials

7.3 Bromine monochloride (BrCl) หรือ 1 N Br/1N BrO₃ in DI H₂O ยี่ห้อ O2si

7.4 Hydroxylammonium Chloride Solution (NH₂OH.HCl) ยี่ห้อ KANTO CHEMICA แบบสำเร็จรูป

7.5 Stannous Chloride (SnCl₂) For EPA Method 1631 ยี่ห้อ O2si

7.6 Hydrochloric Acid (HCl) For Method 1631 ความบริสุทธิ์สูงยี่ห้อ O2si

7.7 Hydrochloric Acid 37%

- 7.8 Gas Argon ความบริสุทธิ์สูง (ultra high-purity, GC grade)
7.9 Gas Nitrogen ความบริสุทธิ์สูง (standard laboratory grade)

8. การควบคุมคุณภาพ

- 8.1 การควบคุมคุณภาพการทดสอบเป็นไปตามแผนการควบคุมคุณภาพการทดสอบ ของวิธีหาปริมาณสารปรอทในน้ำฝน
8.2 เกณฑ์การควบคุมคุณภาพเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแผนการควบคุมคุณภาพ ของวิธีทดสอบของวิธีหาปริมาณสารปรอทในน้ำฝน
8.3 ในกรณีที่การควบคุมคุณภาพไม่อยู่ในเกณฑ์การยอมรับนั้น ไม่สามารถที่จะรายงานผลการทดสอบนั้นๆ และจะต้องมีการตรวจสอบข้อบกพร่องนั้นๆ โดยปฏิบัติตามขั้นตอนดำเนินงานหมวดการควบคุมงานทดสอบที่บกพร่อง

9 วิธีการทดสอบ

9.1 การเตรียมสารเคมี

9.1.1. เตรียม Stannous Chloride (SnCl_2) Solution

For EPA Method 1631 ยี่ห้อ o2si 40 g

9.1.1.1 เตรียมขวด Volumetric flask ขนาด 2 ลิตร ละลายเกลือ Stannous chloride จำนวน 40 g ด้วยน้ำ(ultrapure non-ion water)

9.1.1.2 เทลงใน Volumetric flask ขนาด 2 ลิตร ใส่กรด HCl For 1631 ปริมาตร 200 ml ไม่เกิน 10 % เขย่า โดยค่อยๆเติมจนกว่าสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ultrapure deionized water)

9.1.1.3ให้เป็น 2 ลิตร

9.1.1.4 Purge ด้วย Gas Nitrogen หรือ Gas Argon ความบริสุทธิ์สูง ประมาณ 30 นาที

9.1.1.5 เทใส่ในขวดตำแหน่งขวด P2 ของเครื่องวิเคราะห์สารปรอท (Mercury Analyzer Model RA-4300FG+)

9.1.2 เตรียม 1 N Br/1N BrO_3 in DI H_2O Solution

9.1.2.1 เทสาร 1 N Br/1N BrO_3 in DI H_2O จำนวน 1 หลอดใส่ ในขวด Volumetric Flask ขนาด 100 ml เติม Hydrochloric Acid (HCl) ultrapure For Method 1631 ความบริสุทธิ์ ลงไป 90 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml

9.1.3 เตรียม Hydroxylammonium Chloride Solution

9.1.3.1นำ Hydroxylammonium Chloride Solution ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) ยี่ห้อ KANTO CHEMICAL แบบสำเร็จรูปใส่ลงในบีกเกอร์ผ่านการ เทใส่ในชุดสำหรับ Purge สารเคมี ใช้ 50 ml Purge ด้วย Gas Nitrogen หรือ Gas Nitrogen ความบริสุทธิ์สูง ประมาณ 30 นาที ก่อนนำไปใช้

9.1.4 เตรียมน้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูงความต้านทานการนำไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 18- $\text{M}\Omega$ (ultrapure deionized water) ใส่ในเครื่อง

9.1.4.1 บรรจุ น้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูงความต้านทานการนำไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 18- $\text{M}\Omega$ (ultrapure deionized water) ใส่ลงในขวดประมาณ 2 ลิตร -ของเครื่องวิเคราะห์สารปรอท (Mercury Analyzer Model RA-4300FG+)

9.1.5 การเตรียมสารมาตรฐานปรอท และการเตรียมตัวอย่าง

9.1.5.1 การเตรียมสารละลาย L-Cysteine Solution (สำหรับ การเตรียม Stock STD)

9.1.5.1.1 L-Cysteine Solution Volume 1000 ml cone 0.001% (มีอายุประมาณ 6 เดือน)

_ - สารละลาย L-cysteine เข้มข้น 0.001% (มีอายุประมาณ 6 เดือน)

ชั่ง L-cysteine 10 mg ใส่ใน Volumetric flask 1000 mL และเติมน้ำ DI Water (ultrapure deionized water) พอประมาณ และเติม 2 mL ของ concentrated nitric acid สำหรับการตรวจวัดโลหะที่เป็นอันตราย จากนั้นปล่อยให้มันละลาย จนเป็น เนื้อเดียวกัน ค่อยปรับ ปริมาตรด้วยน้ำ DI Water (ultrapure deionized water) จนจำนวนเท่ากับ 1,000 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเย็น ระบุความเข้มข้น วันที่

9.1.5.1.2 L-Cysteine Solution Volume 1000 ml dilute 100 เท่า (สำหรับ การเตรียม Stock STD)

- ปิเปต L-Cysteine Solution จาก ข้อ 1 ความเข้มข้น 0.001% มา 5 ml เติมลงใน Volumetric flask 500 ml
- make volume ด้วยDI Water (ultrapure deionized water) ให้เป็น 500 ml
- (จะได้สารละลาย dilute 100 เท่าสำหรับ การเตรียม **Stock STD**)ระบุความเข้มข้น วันที่

9.1.5.2 การเตรียมสารมาตรฐาน (Standard Mercury(Hg))

9.1.5.2.1 การเตรียมสารมาตรฐาน (Standard Mercury(Hg)) 10 PPM (เก็บได้ 6 เดือน)

- เติมน้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง มา 50 ML ใส่ Volumetric flask 100 ml
- ปิเปต standard 1000 ppm (NIST) Mercury (Hg) 1 ML ใส่ Volumetric flask 100 ml
- Dilute น้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง จะได้สารมาตรฐานความเข้มข้น Hg standard 10 ppm ระบุความเข้มข้น วันที่

9.1.5.2.2 การเตรียมสารมาตรฐาน (Standard Mercury(Hg)) 0.1 PPM (เก็บได้ 3 เดือน)

- เติมน้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง มา 50 ML ใส่ Volumetric flask 100 ml
- ปิเปต standard 10 ppm Mercury(Hg) 1 ML ใส่ Volumetric flask 100 ml
- Dilute น้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง จะได้สารมาตรฐานความเข้มข้น Hg standard 0.1 ppm (หรือ100 ppb) ระบุความเข้มข้น วันที่

9.1.5.2.3 การเตรียมสารมาตรฐาน (Standard Mercury (Hg)) 0.001 ppm (หรือ100 ppb)

(เก็บได้ 1 เดือน) ใช้สารละลายปรอทมาตรฐาน ที่ใช้ในการสร้าง calibration curve

- น้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง มา 50 ML ใส่ Volumetric flask 100 ml
- ปิเปต standard 0.1 ppm Mercury (Hg) 1 ML ใส่ Volumetric flask 100 ml
- Dilute น้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง จะได้สารมาตรฐานความเข้มข้น Hg standard 0.1 ppm (หรือ 1 ppb) ระบุความเข้มข้น วันที่

9.1.5.2.4 การเตรียมสารมาตรฐาน (Standard Mercury(Hg)) Calibration and Standardization

ตัวอย่างการสร้าง Calibration Curve

- ปิเปต น้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูงความต้านทานการนำไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 18- MΩ (ultrapure deionized water) standard มา 5 ML ใส่ในหลอดทดสอบ จำนวน 3 หลอด (หลอดทดสอบ CAL Blank)
- ปิเปต น้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง มา 5 ML ใส่ในหลอดทดสอบ จำนวน 5 หลอด (หลอดทดสอบ Standard)
- ปิเปต Standard 0.001 ppm (1 ppb) ใส่ลงในหลอดของแต่ละหลอด ดัง Flow Chart

Working Hg Standard (5 point ตาม Method 1631, Revision E - ข้อ10.3.2)

STD 1	STD 2	STD 3	STD 4	STD 5
10 pg	25 pg	50 pg	75 pg	100 pg
2 ng/L (ppt)	5 ng /L (ppt)	10 ng/L (ppt)	15 ng/L (ppt)	20 ng/L (ppt)
STD.VOL	STD.VOL	STD.VOL	STD.VOL	STD.VOL
10 ul	25 ul	50 ul	75ul	100 ul

-จากนั้นนำไปเข้าเครื่องวิเคราะห์สารปรอท Mercury Analyzer ยี่ห้อ NIC Model RA-4300FG+ ซึ่งจะแสดงกราฟมาตรฐาน Calibration curve จะแสดงขึ้นอัตโนมัติหากวัดเสร็จ จากการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า(Voltage) เป็นพื้นที่ใต้พีค(Peak area) โดยกำหนดเกณฑ์ให้ ค่า gradient (CFm) และ intercept (BB) สมการจะแสดงเส้นตรง เส้นตรงของกราฟ calibration curve ใช้ได้หรือไม่เป็นไปตามมาตรฐาน EPA1631E ซึ่งตรวจสอบโดยใช้ QC Test Report by clicking the icon วิเคราะห์สารปรอท Mercury Analyzer ยี่ห้อ NIC Model RA-4300FG+

-ให้ทำการตรวจสอบกราฟมาตรฐาน Confirmation of Calibration Curve (CFm) ใช้ได้อยู่ในช่วง ประมาณ 0.5 ± 0.05 จึง สามารถทำการทดสอบได้

9.1.5.2.5 ลำดับการวิเคราะห์ทั่วไปอย่างน้อยประกอบด้วย ตาม Method 1631, Revision E ข้อ 9.1.7

(1) Method Blank

-ปิเปต น้ำ DI Water (ultrapure deionized water) Standard มา 5 ML ใส่ในหลอดทดสอบ จำนวน 3 หลอด

(2) Ongoing precision and recovery (OPR1, OPR2) ตรวจสอบ Standard recovery rate ก่อนและหลังการวัดตัวอย่าง

-ปิเปต น้ำ DI Water (ultrapure deionized water) Standard มา 5 ML ใส่ในหลอดทดสอบ จำนวน 2 หลอด เติมสารมาตรฐานที่อยู่ในช่วงการทดสอบ

(3) Seven samples

-ปิเปต ตัวอย่างแต่ละตัวมา 5 ML ใส่ในหลอดทดสอบจำนวน 7 หลอด ตามลำดับ

(4) Sample M1

-ปิเปต ตัวอย่างสุดท้าย no.7 มา 5 ML ใส่ในหลอดทดสอบ ตามลำดับ

เป็นการกำหนดค่าตัวอย่าง เพื่อหาค่า recovery rate

(5) Matrix Spikes (MS1) เพื่อตรวจสอบ ประสิทธิภาพของการทดสอบ

-ปิเปต ตัวอย่างสุดท้าย no.7 มา 5 ML ใส่ในหลอดทดสอบ เติมสารมาตรฐานที่อยู่ในช่วงการทดสอบ ตามลำดับ (หลอดทดสอบ MS1) เพื่อตรวจสอบ corresponding

(6) Matrix Spikes Duplicates (MSD) เพื่อประเมินความแม่นยำ ของการทดสอบ

-ปิเปต ตัวอย่างสุดท้าย no.7 มา 5 ML ใส่ในหลอดทดสอบ เติมสารมาตรฐานที่อยู่ในช่วงการทดสอบ ตามลำดับ

9.1.5.2.6 Initial Precision and Recovery (IPR) (ตรวจสอบผล recovery rate ของแต่ละตัวอย่าง IPR)

-ปิเปต น้ำ DI Water (ultrapure deionized water) มา 5 ML เติม Standard Low (10pg) ใส่ในหลอดทดสอบ จำนวน 4 หลอด

9.1.5.2.7 Method detection limit (ability to detect Hg)

-ปิเปต น้ำ DI Water (ultrapure deionized water) มา 5 ML ใส่ในหลอดทดสอบ จำนวน 4 หลอด จากนั้นนำไปทดสอบ

-เติม สารละลาย BrO_3 หลอดละ 0.5 ml ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง เฉพาะกลุ่ม SMP เพื่อรักษากลุ่ม ออกไซด์ จากนั้น BrCl จะถูกกำจัดออกเพื่อไม่ให้ขัดขวางการวัด (BrO_3 เป็นสารออกซิเดชัน)

-เติม $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 0.3 ml เพื่อกำจัด BrO_3 เติม stannous chloride solution 0.3 mL Sample เพื่อกำจัด BrO_3 ออกเพื่อไม่ให้ขัดขวางการวัด

-เติม Stannous Chloride solution (SnCl) ป้อนรูปสองบวก (Hg^{2+}) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นปรอทศูนย์ (Hg^0) ซึ่งเป็นรูปก๊าซปรอท ที่ละลายน้ำได้น้อย

-นำไปทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สารปรอท Mercury Analyzer ยี่ห้อ NIC Model RA-4300FG+ ตามคู่มือการทำงานของหมวดวิธีการใช้เครื่อง Mercury Analyzer ยี่ห้อ NIC Model RA-4300FG+

-บันทึกผลการวัดลงในแบบฟอร์ม รายงานผลการทดสอบตามขั้นตอนการดำเนินงาน

10. การคำนวณ Calculate the concentration of Hg in ng/L (parts-per-trillion; ppt) in each sample and Calibration factor

10.1 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารปรอท จะใช้หน่วยความเข้มข้นนาโนกรัม ต่อ ลิตร(ng/L)

และความเข้มข้นของตัวอย่างสารปรอทจะถูกคำนวณอย่างอัตโนมัติ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานปรอท จากสูตร

$$(\text{Hg})(\text{ng/L}) = \frac{A_s - A_{BB}}{CF_m \times V}$$

A_s = Peak height(area) for Hg in Sample

A_{BB} = Peak height(area) for Hg in Bubbler Blank

CF_m = mean Calibration Factor (section 10.2.2.5)

V = Volume of sample(L)

10.2 การคำนวณค่า calibration factor (CF_x) for Hg in each of the five standards

$$CF_x = \frac{(A_x) - (A_{BB})}{(C_x)}$$

A_x = Peak height(area) for Hg in standards

A_{BB} = Peak height(area) for Hg in Bubbler Blank

C_x = mass in standards analyzed(ng)

(CF_m) mean Calibration factor ใช้ได้อยู่ในช่วง ประมาณ 0.5 ± 0.05 จึง สามารถทำการทดสอบได้

11. การรายงานผลการทดสอบ

10.1 รายงานผลการทดสอบหาปริมาณสารปรอทในน้ำฝนในหน่วย (ng/L) หรือ ppt

10.2 รายงานผลการทดสอบด้วยเลขจำนวนทศนิยมสองตำแหน่ง

10.3 ในกรณีที่ผลการทดสอบน้อยกว่า LOQ(Limit of Quantitation) ให้ระบุ ว่า ND พร้อมกับระบุ ว่า ND หมายถึงน้อยกว่า LOQ(Limit of Quantitation)พร้อมระบุ ว่า LOQ เท่าไร

12. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ

12.1 อย่างน้อยควรตรวจสอบ

12.1.1 Calibration

12.1.2 Precision and recovery

12.1.3 Analysis of blanks

12.1.4 Matrix spike / matrix spike duplicate analysis

12.1.5 Ongoing precision and recovery

12.1.6 Quality control sample

12.1.7 Method detection limit

13. การจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการ (Waste Management) Method EPA1631E

13.1 รวบรวมขยะ เช่น ถังมือ กระดาษ, Aluminum foil ,Tip, ผ้าปิดจมูก ส่งบริษัทเพื่อกำจัด

13.2 กรดตัวอย่างที่ pH <2 และ BrCl solution ต้องถูกทำให้เป็นกลางก่อนที่จะทิ้ง

13.3 Waste ปรอท บรรจุใส่ในขวด ติดฉลาก ส่งบริษัทเพื่อกำจัด

14. ภาคผนวก/เอกสารที่เกี่ยวข้อง/เอกสารประกอบ

14.1 ขั้นตอนการดำเนินงานหมวดการควบคุมงานทดสอบที่บกพร่อง QP -10-1-A

14.2 ขั้นตอนดำเนินงานหมวดการจัดการตัวอย่างกลุ่มอากาศฯ QP -23-1-A

14.3 คู่มือการทำงานหมวดวิธีการใช้เครื่องมือวิเคราะห์สารปรอท (Mercury Analyzer Model RA-4300FG+) ยี่ห้อ NIC รุ่น RA-4300FG WI-20-1-1-AA 001

14.4 คู่มือการทำงานหมวดการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบกลุ่มอากาศฯ WI-19-1-2-A

14.5 แบบฟอร์มข้อมูลการทดสอบสารปรอท ERTC : W-19-DAT-ERTCA7001

14.6 แผนการควบคุมคุณภาพการทดสอบ ERTC : P -24-QUC

14.7 รายงานผลการทดสอบกลุ่มอากาศ เสียงและความสั่นสะเทือน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

14.8 Method EPA1631E

15. เอกสารอ้างอิง

15.1 คู่มือการทำงานหมวดวิธีการใช้เครื่องวิเคราะห์สารปรอท (Mercury Analyzer Model RA-4300FG+) ยี่ห้อ NIC รุ่น RA-4300FG+

15.2 Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry

ภาคผนวกที่ 3

คู่มือการทำงานหมวดวิธีทดสอบหาปริมาณสารปรอทในตัวอย่างอากาศ

คู่มือการทำงานหอดวิธีทดสอบหาปริมาณสารปรอทในตัวอย่างอากาศ

1. ขอบเขตและการประยุกต์ใช้

สารปรอท (mercury) เป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในโลกนี้ตามธรรมชาติ ปรอทเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง แต่ธาตุปรอทเป็นธาตุชนิดเดียวที่มีลักษณะเป็นของเหลวและสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้มีลักษณะการกระจายตัวแตกต่างจากโลหะหนักชนิดอื่นโดยทั่วไป

แหล่งกำเนิดมลพิษในบรรยากาศ จากสารปรอทที่สำคัญ ได้แก่ กระบวนการเผาไหม้ (การเผาของขยะมูลฝอยกากตะกอนน้ำเสียและของเสียอันตรายตลอดจนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล) และ กระบวนการผลิต (การทำเหมืองแร่ / การถลุงการผลิตปูนซีเมนต์) เป็นต้น

วิธีการตรวจวัดสารปรอทในตัวอย่างอากาศ ทำโดยการใช้เทคนิค cold vapor atomic fluorescence spectrometry (CVAFS) สามารถทดสอบได้ในระดับนาโนกรัม (ng)

2. หลักการ

ใช้หลักการทำให้สารปรอทกลายเป็นไอ (Hg^0) และดักจับไอปรอทที่เกิดขึ้นด้วยอนุภาคทอง (gold amalgam) วัดค่าการดูดกลืนแสงของอะตอมด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometer (CVAFS) ใช้เทคนิค dual-amalgamation คือ มีตัวดักจับสารปรอท จำนวน 2 ชุด ได้แก่ ตัวดักจับตัวอย่างสารปรอท และ ตัวดักจับสำหรับวิเคราะห์สารปรอท เพื่อให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์มากขึ้น

3. ข้อควรระวังและความปลอดภัย

- 3.1 รักษาความสะอาดในทุกขั้นตอนของการเก็บตัวอย่าง การจัดการและการวิเคราะห์ เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนไปกับตัวอย่าง เนื่องจากทำการตรวจวัดสารปรอทในปริมาณที่ต่ำมากในหน่วย พิโกกรัม (pg)
- 3.2 สวมถุงมือทุกครั้งที่ทำกรเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน
- 3.3 สารมาตรฐานของปรอทมีความเป็นพิษสูง หากสูดดมกลืนหรือดูดซึมผ่านผิวหนัง ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการควรใช้ความระมัดระวังและสวมถุงมือเมื่อปฏิบัติงานในระหว่างที่เตรียมสารมาตรฐาน

4. นิยามหรือคำศัพท์

ปรอท เป็นธาตุโลหะหนัก ที่อุณหภูมิปกติปรอทจะมีลักษณะเป็นของเหลวไหลได้รวดเร็ว มีสีเงินมันวาว และสามารถระเหยเป็นไอได้ในอุณหภูมิปกติ มีความยาวคลื่นจำเพาะที่ 253.7 นาโนเมตร แหล่งกำเนิดของปรอท มีทั้งจากแหล่งธรรมชาติ เช่น จากการผุพังของสินแร่ที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ ซึ่งบางส่วนปะปนมากับก๊าซจากการระเบิดของภูเขาไฟ ไฟป่า และการระเหยจากมหาสมุทร และมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงธรรมชาติ การทำเหมืองโลหะ และอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งปรอทจะถูกปล่อยในรูปของมลพิษที่แพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

ปรอทในบรรยากาศมี 2 รูปแบบ คือ ไอปรอท (Hg^0) โดยกระแสลมในบรรยากาศจะพัดพาไอปรอทให้กระจายไปทั่ว ส่วนปรอทในรูปประจุบวก (Hg^{2+}) จะเกาะอยู่กับอนุภาคของสารอื่น และจะตกลงสู่พื้นไม่ไกลจากแหล่งกำเนิด พิษปรอทเข้าสู่ร่างกายเราได้ทุกทาง ไอระเหยของโลหะปรอทเข้าทางจมูก และปอดโดยการหายใจ สารละลายเกลือปรอทเข้าทางปาก และทางเดินอาหาร ยาที่มีปรอทจะถูกดูดซึมเข้าทางผิวหนังหรือลำไส้ผ่านเข้าสู่

ไปในกระแสเลือด และกระจายตัวตามเนื้อเยื่อต่างๆ อวัยวะที่มีการสะสมปรอทได้มากที่สุด คือ ไต ถัดลงมาตามลำดับ คือ ตับ ม้าม สมอง ผนัง ลำไส้เล็ก หัวใจ กล้ามเนื้อลาย และปอด เมื่อสะสมมากจะทำให้เซลล์ระบบประสาทส่วนกลางถูกทำลาย เกิดอาการผิดปกติทางประสาท อาทิ ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายไม่ได้ พูดติดอ่าง หูอื้อหนวก ซีด และเสียชีวิตในที่สุด นอกจากนั้น อาการทางประสาทอื่นๆ ได้แก่ ปัสสาวะขัด ความจำเสื่อม สายตาพร่ามัว และการมองเห็นลดลง เป็นต้น

5. การจัดการและการเก็บรักษาตัวอย่าง

- 5.1 ตัวอย่างสารปรอทภายในหลอดเก็บตัวอย่าง Gold amalgam สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ จนกว่าจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง
- 5.2 ควรเตรียมและเก็บหลอดตัวอย่าง Gold amalgam ในห้อง Clean room ที่มีความสะอาดปราศจากการปนเปื้อนฝุ่นละอองและสิ่งสกปรก

6. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 6.1 Mercury standard gas
- 6.2 เข็ม Gas tight syringe
- 6.3 หลอดเก็บตัวอย่าง Gold amalgam
- 6.4 เครื่องวัดสารปรอท Double Amalgam Atmospheric Mercury Measuring System Mercury

7. สารเคมี

- 7.1 สารละลาย Standard buffer solution (pH=6.86)

8. การควบคุมคุณภาพ

- 8.1 Environmental Condition ต้องรักษาความสะอาดและระวังการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม
- 8.2 ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการควรได้รับการฝึกฝนอย่างสม่ำเสมอและถูกต้องในขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างและขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารปรอทในอากาศ
- 8.3 การทำ Daily Check ได้แก่ การทำ System check และ Measurement method ของเครื่องวัดสารปรอท
- 8.4 ทดสอบ Method blank เพื่อเช็คการปนเปื้อนของระบบและขั้นตอนการทดสอบ

9. วิธีการ

- 9.1 การเตรียมเครื่องวัดสารปรอท WA-5F และการสร้าง Calibration curve
 - 9.1.1 เตรียมเครื่องวัดสารปรอท WA-5F ให้พร้อมสำหรับใช้งานโดยทำการเปลี่ยน Standard buffer solution (pH=6.86) ที่ช่อง Gas washing bottle และทำการเปลี่ยน Buffer ทุกสัปดาห์ก่อนทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง
 - 9.1.2 ตรวจสอบเครื่องวัดสารปรอท WA-5F ให้พร้อมใช้งาน โดยใช้โปรแกรม System check ซึ่งเป็นการตรวจสอบระบบต่างๆของเครื่อง ก่อนทำการทดสอบ ได้แก่

1. Flow rate check
 2. Heater temperature rise check
 3. Leak check
 4. Voltage check
 5. Drift check
 6. Blank check
- 9.1.3 การทำ Calibration curve
- 9.1.4 เตรียมสารมาตรฐานปรอท (Preparation of standard gas) ทำโดย
1. ดูดตัวอย่างแก๊สมาตรฐานสารปรอทจาก standard gas box ด้วยเข็มฉีดยา ทำการดูดและฉีดแก๊สมาตรฐานในกลอง ก่อนดูดจริงซัก 2-3 รอบเพื่อให้ความเข้มข้นของแก๊สมาตรฐานปรอทมีความเข้มข้นเป็นเนื้อเดียวกัน และทำการดูดจริง
 2. ฉีดตัวอย่างแก๊สผ่าน septum ในครั้งเดียว (one stroke)
 3. ใส่อุณหภูมิของแก๊สมาตรฐานสารปรอท ที่อ่านได้จาก standard gas box ลงในช่อง TEMP (°C) ของตารางโปรแกรมเครื่องวัดสารปรอท WA-5F
 4. เตรียม Standard เพื่อสร้าง Calibration Curve สำหรับหาปริมาณสารปรอทดังนี้
 - STD (1) = 0.0 ng
 - STD (2) = 0.2 ng
 - STD (3) = 0.4 ng
 - STD (4) = 0.8 ng
 - STD (5) = 1.6 ng
 กราฟมาตรฐาน Calibration curve จะแสดงขึ้นอัตโนมัติหากวัดเสร็จ จากการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า(Voltage) เป็นพื้นที่ใต้พีค(Peak area) โดยกำหนดเกณฑ์ให้ $R^2 = 0.999$, $CV < 5\%$ (ตาม method IO-5)
- 9.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างวิเคราะห์
- 9.2.1 หลอดเก็บตัวอย่าง Gold amalgam ต้องเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
 - 9.2.2 นำหลอดเก็บตัวอย่าง ไปใส่ในช่อง Injection port ที่อยู่ส่วนบนของเครื่องวัดสารปรอท WA-5F
 - 9.2.3 ใส่ปริมาตรตัวอย่างอากาศ ที่บันทึกได้จาก Protocol การเก็บตัวอย่าง ลงในช่อง SVOL มีหน่วยเป็นลิตร (L) ของตารางโปรแกรมเครื่องวัดสารปรอท WA-5F
 - 9.2.4 นำหลอดเก็บตัวอย่าง Gold amalgam ไปใส่ในช่อง Injection port ที่อยู่ส่วนบนของเครื่องวัดสารปรอท WA-5F โดยสังเกตปลายหลอดเก็บตัวอย่าง Gold amalgam ให้ถูกครี๊กลงในช่อง Injection port และเชื่อมต่อ joint กับ septum ส่วนบนของหลอดเก็บตัวอย่าง
 - 9.2.5 วิเคราะห์หาปริมาณสารปรอทในตัวอย่าง ตัวอย่างอากาศและแก๊ส ด้วยเครื่อง Double Amalgam Atmospheric Mercury Measuring System Mercury WA-5F ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์ให้ปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานเครื่องมือวัดสารปรอทในตัวอย่าง

อากาศและแก๊ส Double Amalgam Atmospheric Mercury Measuring System
Mercury WA-5F ยี่ห้อ NIC

10. วิธีคำนวณ

- 10.1 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารปรอท จะใช้หน่วยความเข้มข้นนาโนกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร (ng/m³) และความเข้มข้นของตัวอย่างสารปรอทจะถูกคำนวณอย่างอัตโนมัติ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานปรอท จากสูตร

$$\text{Concentration (ng/m}^3 \text{)} = \frac{\text{Total Amount of Hg for Sample}}{\text{Standard Volume of Air Sample}}$$

11. การรายงานผลการทดสอบ

- 11.1 รายงานผลการวิเคราะห์เป็นนาโนกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร (ng/m³) โดยมีทศนิยม 3 ตำแหน่ง

12. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี

- 12.1 Method Blank
- 12.2 Instrument Detection Limit (IDL)
- 12.3 Method Detection Limit (MDL)
- 12.4 Precision and Accuracy

13. ภาคผนวก/เอกสารที่เกี่ยวข้อง/เอกสารประกอบ

- 1. Compendium Method IO-5 : Sampling and analysis for vapor and particle phase mercury in ambient air utilizing cold vapor atomic fluorescence spectrometry (CVAFS), June 1999
- 2. คู่มือการใช้งานเครื่องมือวัดสารปรอทในตัวอย่างอากาศและแก๊ส Double Amalgam Atmospheric Mercury Measuring System Mercury (WA-5F) ยี่ห้อNIC

14. เอกสารอ้างอิง

-