

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในฝุ่นละอองอากาศ ณ บริเวณใกล้สนามบินสุวรรณภูมิ
โดยใช้เทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน

**ELEMENTAL QUANTIFICATION OF AIRBORNE PARTICULATE
MATTER NEAR SUVARNABHUMI AIRPORT BY NEUTRON
ACTIVATION ANALYSIS**



1105307



คพ.
พ ๗๗๗๗
๑๕๕๒

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 105307
วัน,เดือน,ปี..... 18 พ.ย. 2552

.b. 121๖8๗8๖
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2552

KMITL-2009-SC-M-030-040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ELEMENTAL QUANTIFICATION OF AIRBORNE PARTICULATE
MATTER NEAR SUVARNABHUMI AIRPORT BY NEUTRON
ACTIVATION ANALYSIS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2009

KMITL-2009-SC-M-030-040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2009

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การหาปริมาณธาตุในฝุ่นละอองอากาศ ณ บริเวณใกล้
สนามบินสุวรรณภูมิโดยใช้เทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน

นักศึกษา

นายพิริยะ ปรานীগิจ

รหัสประจำตัว

47064103

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

พ.ศ.

2552

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ศศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.วรรณภา วิมลวัฒนาภักดิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณธาตุที่มีในฝุ่นละอองอากาศโดยใช้เทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน (Neutron Activation Analysis : NAA) โดยเก็บฝุ่นละอองตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 2.5- 10 ไมครอนและที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในบริเวณใกล้สนามบินสุวรรณภูมิ บริเวณที่เลือกเป็นจุดเก็บตัวอย่าง ได้แก่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) และ จุดตรวจสภาพอากาศของอุศุณิคมวิทยาแห่งประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตสนามบิน โดยในแต่ละสถานที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองสัปดาห์ละ 2 วันอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 4 เดือน การเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมดทำโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่าง “Gent” Stacked Filter Unit (SFU) สารตัวอย่างและสารมาตรฐานถูกนำไปอาบรังสีนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ปริมาณรังสีแกมมาของธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น ตรวจวัดโดยระบบตรวจวัดรังสีที่ใช้หัววัดชนิด HPGe การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในฝุ่นละอองตัวอย่างหาได้โดยการเปรียบเทียบปริมาณรังสีแกมมาของฝุ่นละอองตัวอย่างกับปริมาณรังสีที่ออกมาจากสารมาตรฐานที่รู้น้ำหนักภายใต้สภาวะและเงื่อนไขเดียวกัน ธาตุที่ทำการวิเคราะห์มี 19 ธาตุ ได้แก่ Al, As, Br, Ca, Cl, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Sb, Sc, Se, Sm, Th, Ti, V และ Zn ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้ไม่สามารถบ่งบอกอะไรได้ชัดเจนทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของการกระจายตัวของฝุ่นมีมากมาย เช่น ทิศทางลม และแหล่งกำเนิด เป็นต้น มีอยู่เพียงธาตุเดียวเท่านั้นคือ วานาเดียม (V) ซึ่งเป็นธาตุที่อยู่ในปิโตรเลียม ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในลักษณะสอดคล้องกับการที่มีสนามบินเกิดขึ้นในเขตลาดกระบัง พบว่าในบริเวณจุดตรวจสภาพอากาศภายในสนามบินสุวรรณภูมิมีความเข้มข้นของปริมาณธาตุรวมเฉลี่ย น้อยกว่าบริเวณ สจล.และปริมาณธาตุรวมเฉลี่ยในฝุ่นละอองอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีค่าเท่ากับ $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ จุดตรวจสภาพอากาศบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ มีค่าเท่ากับ $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ถึงแม้ว่าปริมาณธาตุรวมเฉลี่ยไม่ใช่ ปริมาณฝุ่นรวมแต่อาจนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นบ่งชี้คุณภาพอากาศได้ โดยพบว่าปริมาณธาตุรวมเฉลี่ยในฝุ่นอากาศบริเวณ สจล.ในช่วงที่เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษามีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด คือปริมาณฝุ่นรวมเฉลี่ยต้องไม่เกิน $50 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ถือได้ว่า
สภาพอากาศเสีย ส่วนสภาพอากาศบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิในช่วงที่ทำการศึกษายังอยู่ในเกณฑ์
มาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	ELEMENTAL QUANTIFICATION OF AIRBORNE PARTICULATE MATTER NEAR SUVARNABHUMI AIRPORT BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS
Students	PIRIYA PRANEEKIT
Degree	Master of Science
Major	Applied Physics
Academic Year	2009
Advisor	Asst Prof Dr. Preecha Teansompasong
Co-Advisor	Dr. Wanna Wimolwattanapun

ABSTRACT

This research analyzed the elements and their quantities in airborne particulate matter by neutron activation analysis. The samples were collected into two size ranges, i.e., 2.5 -10 μ m, and less than 2.5 μ m. Two locations were chosen for sample collections, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) and the building of Thai Meteorological Department near Suvarnabhumi airport. The samples were collected for two days a week for the period of four months continuously at both places. The samples were collected using the "Gent" Stacked Filter Unit (SFU). The airborne particulate and standard samples were activated by neutron radiation from the research reactor at Thailand Institute of Nuclear Technology. The gamma rays from the activated isotopes were measured by a solid state detector HPGe. The element quantities of the samples were determined by the gamma rays intensity of airborne particulate and standard sample together with the weight of the standard samples. 19 elements were determined consisting of Al, As, Br, Ca, Cl, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Sb, Sc, Se, Sm, Th, Ti, V and Zn. The obtained results could not indicate clear information as they could be effected by many factors such as wind direction and the polluting sources. However, only one element, vanadium (V) which is generally found in petroleum, has increasing tendency correspondent to the Suvarnabhumi air port operation. It was found that the total concentration of the analyzed elements in the Suvarnabhumi airport was less than that of the KMITL area. The average quantity of total element at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang and the building of Thai Meteorological Department near Suvarnabhumi airport were 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Even though the total elements were not the total particulate mass but they could provide primary information to indicate the air quality. The results show that the ambient air at King Mongkut's Institute of Technology

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวทศงานวิจัยสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ladkrabang during the time of study was over the limit of ambient air quality standard, i.e., ambient particulate mass should not exceed $50 \mu\text{g} / \text{m}^3$. However the air quality at Suvarnabhumi airport was still in the standard limit.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์ อาจารย์ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.วรรณมา วิมลวัฒนาภักดิ์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด เสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา และอนุเคราะห์เครื่องมือในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วราวุฒิ เถาถัดดา และ ดร.ปิติพร ธนอมงามอาจารย์ประจำภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำ และช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมพร จงคำ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่ได้ให้คำแนะนำ และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหของวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ นางสาวรุ่งอรุณ สายศรี เจ้าหน้าที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่ได้ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูล และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดในการทำวิทยานิพนธ์

นายพิริยะ ปราณีกิจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 มลพิษทางอากาศ.....	3
2.1.1 แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ.....	5
2.1.2 อากาศหรือบรรยากาศ.....	5
2.1.3 ผู้ได้รับผลเสียหรือผลกระทบ.....	5
2.2 ผู้มลพิษในอากาศ.....	5
2.2.1 ขนาดของผู้มลพิษที่สามารถเข้าไปในส่วนต่างๆ ของระบบ ทางเดินหายใจ	7
2.2.1.1 ส่วนโพรงจมูกถึงคอ.....	7
2.2.1.2 ส่วนของหลอดลมต่างๆ.....	7
2.2.1.3 ส่วนของท่อลมเล็กๆ ต่างๆ ในปอด	8
2.2.1.4 ผลของผู้มลพิษขนาดเล็กต่อระบบทางเดินหายใจ..	8
2.2.2 ประเภทของแหล่งกำเนิดผู้มลพิษในอากาศ.....	10
2.2.2.1 แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ได้.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4. การวิเคราะห์ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว.....	39
3.2.4.4 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง.....	39
1) การหาพื้นที่ใต้กราฟ.....	40
2) การหาปริมาณรังสีเริ่มต้น.....	41
3) การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง.....	43
4) การคำนวณค่าความผิดพลาด.....	44
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	46
4.1 ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ฝุ่นอากาศที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	46
4.1.1 ธาตุที่พบมากบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	47
4.1.2 ธาตุที่พบน้อยบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	47
4.2 ปริมาณธาตุรวมในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	69
4.3 ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ฝุ่นอากาศที่สนามบึงสุวรรณภูมิ.....	70
4.3.1 ธาตุที่พบมากบริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิ.....	70
4.3.2 ธาตุที่พบน้อยบริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิ.....	71
4.4 ปริมาณธาตุรวมในบริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิ.....	83
4.5 เปรียบเทียบปริมาณธาตุรวมในบริเวณบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกับสนามบึงสุวรรณภูมิ.....	83
4.6 การวิเคราะห์Black carbon บริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิและบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	84
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	85
5.1 ธาตุที่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอคทีเวชัน ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและสนามบึงสุวรรณภูมิ.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 ปริมาณธาตุรวมในฝุ่นละอองอากาศ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังและสนามบินสุวรรณภูมิ.....	85
บรรณานุกรม.....	87
ภาคผนวก ก รายงานสถานการณ์ประจำวันสถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ.....	88
ภาคผนวก ข มาตรฐานที่ใช้.....	93



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซและฝุ่นในอากาศสะอาดและอากาศที่ถือว่าเสีย.....	4
2.2 ชนิดธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ	16
3.1 ค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ใช้ในการเปรียบเทียบพลังงาน.....	36
3.2 ไอโซโทปและพลังงานของรังสีแกมมาที่พบในฝุ่นละอองตัวอย่าง.....	37
3.3 แสดงเวลาในการอาบรังสีนิวตรอนและเวลาในการวัดรังสีแกมมา.....	38
4.1 ปริมาณธาตุ Al, Ca, K และ Na บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง.....	47
4.2 ปริมาณธาตุ As, Br, Cl, และ Fe บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง.....	47
4.3 ปริมาณธาตุ La, Mg และ Mn บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง.....	48
4.4 ปริมาณธาตุ Sb, Sc, และ Se บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง.....	48
4.5 ปริมาณธาตุ Sm, Th, และ Ti บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง.....	49
4.6 ปริมาณธาตุ V และ Zn บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง.....	49
4.8 ปริมาณธาตุ Al, Ca, K และ Na บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	70
4.9 ปริมาณธาตุ As, Br, และ Cl บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	71
4.10 ปริมาณธาตุ Fe, La, และ Mg บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	71
4.11 ปริมาณธาตุ Mn, Sb, และ Sc บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	72
4.12 ปริมาณธาตุ Sc, Se, และ Sm บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	72
4.13 ปริมาณ ธาตุธาตุ Ti, V, และ Zn บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบมลพิษอากาศ.....	3
2.2 ขนาดของฝุ่นในระบบทางเดินหายใจ.....	9
2.3 จำนวน โปตรอน และ นิวตรอน ของธาตุที่เสถียร.....	17
2.4 อันตรกิริยาการจับนิวตรอนของนิวเคลียส.....	21 ฐ
2.5 แผนภาพขั้นตอนของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชัน.....	22 ฐ
2.6 สเปกตรัมและพลังงานของแต่ละธาตุในช่วงพลังงาน 200-900 keV.....	23 ฐ
2.7 สเปกตรัมและพลังงานของแต่ละธาตุในช่วงพลังงาน 800-1600 keV.....	23 ฐ
3.1 กระจาขกรอง Nuclepore.....	28 ร
3.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องวัดรังสีแกมมา.....	29
3.3 หัววัดรังสีแกมมาแบบ เจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง.....	29
3.4 แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอน.....	30
3.5 ที่ตั้งของกรมอคูนิยมวิทยาภายในสนามบิณสูวรณภูมิ และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	31
3.6 สนามฟุตบอลของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	32
3.7 บริเวณกรมอคูนิยมวิทยาภายในสนามบิณสูวรณภูมิ.....	32
3.8 การแยกขนาดฝุ่นละออง โดย Inlet head.....	33
3.9 Vial และ rabbit ขนาดต่างๆที่ใช้บรรจุ กระจาขกรองที่นำก่อนนำไปอบนิวตรอน..	36
3.10 สเปกตรัมของธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว และปานกลางที่ได้จากระบบวัดรังสีแกมมา..	39
3.11 พื้นฐานและพื้นที่สุทธิของสเปกตรัมรังสีแกมมา.....	40
3.12 สเปกตรัมของ AI ในสารมาตรฐานมาตรฐาน pacs.....	42
3.13 สเปกตรัมของ AI จากสารตัวอย่างในฝุ่นหยาบ บริเวณลาดกระบังวันที่ 29 ตุลาคม 2549.....	43
4.1 ปริมาณธาตุ Aluminum ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	50
4.2 ปริมาณธาตุ Arsenic ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ปริมาณธาตุ Bromine ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	52
4.4 ปริมาณธาตุ Calcium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	53
4.5 ปริมาณธาตุ Chlorine ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	54
4.6 ปริมาณธาตุ Iron ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	55
4.7 ปริมาณธาตุ Potassium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	56
4.8 ปริมาณธาตุ Lanthanum ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	57
4.9 ปริมาณธาตุ Magnesium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	58
4.10 ปริมาณธาตุ Manganese ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	59
4.11 ปริมาณธาตุ Sodium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	60
4.12 ปริมาณธาตุ Antimony ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	61
4.13 ปริมาณธาตุ Scandium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	62
4.14 ปริมาณธาตุ Selenium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	63
4.15 ปริมาณธาตุ Samarium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	64
4.16 ปริมาณธาตุ Thorium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ปริมาณธาตุ Titanium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	66
4.18 ปริมาณธาตุ Vanadium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	67
4.19 ปริมาณธาตุ Zinc ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	68
4.20 ปริมาณธาตุรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	69
4.21 ปริมาณธาตุ Aluminum ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ	73
4.22 ปริมาณธาตุ Arsenic ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	74
4.23 ปริมาณธาตุ Bromine ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	74
4.24 ปริมาณธาตุ Calcium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	75
4.25 ปริมาณธาตุ Chlorine ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	75
4.26 ปริมาณธาตุ Iron ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	76
4.27 ปริมาณธาตุ Potassium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	76
4.28 ปริมาณธาตุ Lanthanum ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	77
4.29 ปริมาณธาตุ Magnesium ใน ฟันละเอียด, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ปริมาณธาตุ Manganese ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	78
4.31 ปริมาณธาตุ Sodium ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	78
4.32 ปริมาณธาตุ Antimony ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	79
4.33 ปริมาณธาตุ Scandium ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	79
4.34 ปริมาณธาตุ Selenium ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	80
4.35 ปริมาณธาตุ Samarium ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	80
4.36 ปริมาณธาตุ Thorium ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	81
4.37 ปริมาณธาตุ Titanium ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	81
4.38 ปริมาณธาตุ Vanadium ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	82
4.39 ปริมาณธาตุ Zinc ใน ฟันละเอียดยุค, ฟันหยาบ และฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	82
4.40 ปริมาณฟันรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	83
4.41 เปรียบเทียบปริมาณฟันที่ลาดกระบังกับสุวรรณภูมิ.....	83
4.42 ปริมาณ Black carbon ในฟันหยาบและฟันละเอียดยุค บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	84
4.43 ปริมาณ Black carbon ในฟันหยาบและฟันละเอียดยุคบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศ เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญเป็นอันดับต้นๆ ซึ่งจะเห็นชัดเจนทั้งในเขตชุมชนขนาดใหญ่ และพื้นที่พัฒนาที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วของกิจกรรมทางการอุตสาหกรรม แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญในประเทศไทย แบ่งได้เป็น 3 แหล่งใหญ่ๆคือ แหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม การคมนาคมและการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนต่างๆ สารมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาหลักและเกินมาตรฐานจะยังคงเป็นปัญหาในอนาคตที่สำคัญนั้น ได้แก่ ฝุ่นละอองและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยเฉพาะฝุ่นละอองในแหล่งชุมชนที่มีการจราจรคับคั่ง ซึ่งจะมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศสูงกว่าค่ามาตรฐานประมาณ 3-5 เท่า[1] ส่วนสารมลพิษทางอากาศอื่นๆได้แก่ สารตะกั่ว ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ปัจจุบันยังอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ [1] ปัญหามลพิษทางอากาศของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์โดยเฉพาะผู้ที่อาศัยอยู่ในเมืองหลวงของประเทศเช่นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเมืองที่เป็นศูนย์กลางของประเทศทั้งการพาณิชย์และอุตสาหกรรม ทำให้เป็นแหล่งที่รวมของมลภาวะต่างๆ ซึ่งผู้อยู่อาศัยก็จะได้รับมลพิษนี้เอาไว้ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางอากาศนับว่าเป็นปัญหาที่ค่อนข้างแก้ไขอย่างเร่งด่วน เพราะมนุษย์เรานั้นต้องหายใจอยู่ตลอดเวลา อาจสูดเอาสิ่งที่เป็นอันตรายหรือเป็นพิษเข้าไปได้โดยไม่รู้ตัว เนื่องจากต้นเหตุของมลพิษเพิ่มขึ้น เช่น จากปริมาณรถบนท้องถนน โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

ในการตรวจวัดคุณภาพอากาศและเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเช่น การตกตัว(Gravity) เป็นการเก็บตัวอย่างมลสารในระดับอนุภาค โดยใช้เทคนิคการตกตัว (Gravimetric technique) การกรอง (Filtration) โดยใช้ตัวกรอง (Filter) เป็นตัวกลางสำหรับเก็บตัวอย่างอนุภาค การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitation) การตกตะกอนเชิงความร้อน (Thermal Precipitation) และการใช้เครื่องมือเก็บอนุภาคฝุ่นละอองประเภทอิมพินเจอร์ขนาดต่างๆ เป็นต้น

เนื่องจากบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับสนามบินสุวรรณภูมิซึ่งน่าจะได้รับผลกระทบจากฝุ่นละอองจากการจราจรที่เพิ่มขึ้นทั้งทางบกและทางอากาศจึงได้ทำการเก็บอากาศบริเวณนี้เพื่อดูผลกระทบจากการเปิดใช้สนามบิน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุในฝุ่นละอองอากาศ ณ บริเวณ สนามบินสุวรรณภูมิ และ สถานที่ใกล้เคียง
2. ประเมินผลกระทบของฝุ่นละอองในอากาศเนื่องจากการเปิดสนามบินสุวรรณภูมิ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองอากาศสองบริเวณ คือ สนามบินสุวรรณภูมิ และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองอากาศสองขนาดคือ $PM_{2.5-10}$ และ $PM_{2.5}$
3. ใช้เทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในฝุ่นละอองอากาศ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาพอากาศบริเวณรอบๆ สนามบินสุวรรณภูมิ
2. ได้เรียนรู้การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ศึกษา/ทบทวนเอกสาร	←→											
เตรียมอุปกรณ์และติดตั้งเครื่องเก็บอากาศ			←→									
เก็บตัวอย่างอากาศ				←→								
อาบนิวตรอนและวิเคราะห์ผลโดย NAA									←→			
วิเคราะห์ผล สรุปผล และจัดทำรายงาน										←→		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

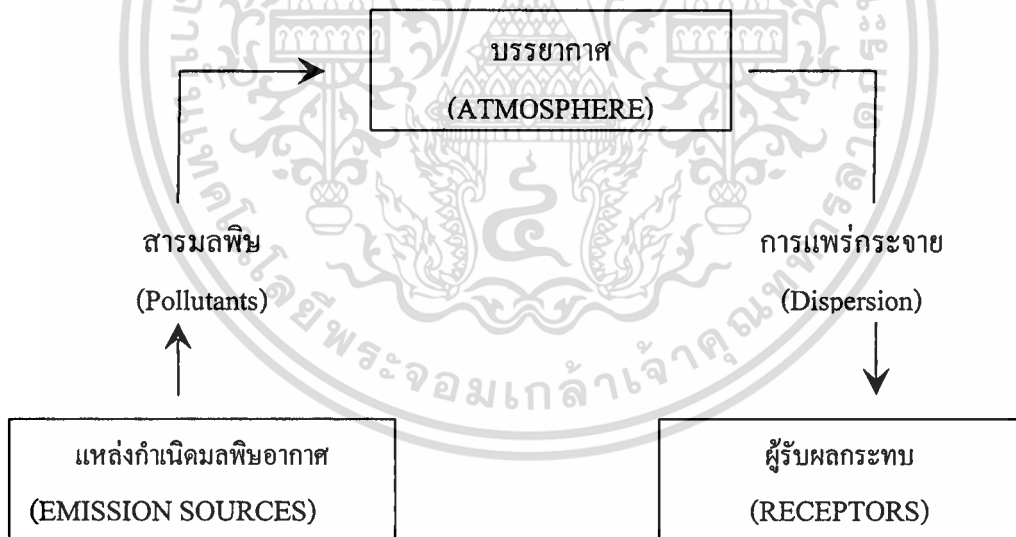
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศ ที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มาก และเป็นระยะเวลาานพอ ที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และ วัสดุ ต่างๆ สารดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบ ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำ ของมนุษย์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็งก็ได้ สารมลพิษอากาศหลัก ที่สำคัญคือ ฝุ่นละออง (Airborne Particulate Matter: APM) ตะกั่ว (Pb) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซโอโซน (O₃)

ระบบภาวะมลพิษอากาศ (Air Pollution System) มีส่วนประกอบ 3 ส่วน ที่มีความสัมพันธ์กัน คือ แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ (Emission Sources) อากาศหรือบรรยากาศ (Atmosphere) และ ผู้รับผลกระทบ (Receptors) แสดง เป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ดังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบมลพิษอากาศ (Air Pollution System) [4]

กรมควบคุมมลพิษได้ตรวจวัดคุณภาพอากาศในกรุงเทพฯ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 และได้มีการ กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ สำหรับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มีค่าเฉลี่ย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24 ชม. เท่ากับ 120 ไมโครกรัมต่อลบ.ม.และค่าเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานที่แนะนำโดยองค์การอนามัยโลก และที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศต่างๆ รวมทั้งสหรัฐอเมริกา และในปี 2537 ได้ระบุว่ากรุงเทพฯ มีมลภาวะอากาศที่รุนแรงในเรื่องของระดับฝุ่นละออง ผลการตรวจวัดโดยกรมควบคุมมลพิษบริเวณริมถนนในกรุงเทพฯ พบระดับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยทั่วไปสูงกว่าค่ามาตรฐานรายปีประมาณ 40-60% และมีค่าเฉลี่ย 24 ชม. สูงสุดเท่ากับ 240 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. หรือประมาณ 2 เท่าของค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่ปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์[2]

ในการติดตามและตรวจสอบปริมาณฝุ่น และก๊าซในอากาศ มีหน่วยวัด 2 หน่วยคือ

ก. พีพีเอ็ม (Parts per million: ppm) ส่วนของมลภาวะในล้านส่วนของอากาศโดยปริมาตร

ข. น้ำหนักเป็นไมโครกรัม (μg) ต่อลูกบาศก์เมตร ของอากาศที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดันหนึ่งบรรยากาศ (atm)

หน่วย ppm นิยมใช้กับก๊าซ ในขณะที่หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรใช้กับฝุ่น (Particulates) แต่ก็ใช้กับก๊าซด้วยในบางครั้งเช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นต้น มาตรฐานของความเข้มข้นของก๊าซที่ถือว่าสะอาดหรือเสียแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซและฝุ่นในอากาศสะอาด (Clean air) และอากาศที่ถือว่าเสีย (Polluted air)[11]

ชนิดของก๊าซ	อากาศสะอาด	อากาศเสีย
SO_2	0.001-0.01 ppm	0.02-2 ppm
CO_2	310-330 ppm	350-700 ppm
CO	1 ppm	5-200 ppm
NO_x (NO, NO_2)	0.001-0.01 ppm	0.01-05 ppm
Hydrocarbons	1 ppm	1-20 ppm
Particulate matter(ฝุ่น)	10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70-700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ (Air pollution sources)

เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดสารมลพิษทางอากาศและระบายออกไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก โดยที่ชนิดและปริมาณของสารมลพิษทางอากาศที่ถูกระบายออกสู่อากาศขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ และ วิธีการควบคุมระบายมลพิษทางอากาศ

2.1.2 อากาศหรือบรรยากาศ

เป็นส่วนหนึ่งของระบบที่รองรับสารมลพิษทางอากาศที่ถูกระบายออกมาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ และเป็นตัวกลาง (Medium) ให้สารมลพิษทางอากาศที่ถูกระบายออกสู่อากาศ มีการแพร่กระจายออกไป โดยมีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความเร็ว และทิศทางกระแสลม รวมทั้ง ลักษณะภูมิประเทศ เช่น ภูเขา หุบเขา อาคารบ้านเรือน เป็นตัวกำหนดลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศ

2.1.3 ผู้ได้รับผลเสีย หรือ ผลกระทบ

เป็นส่วนหนึ่งของระบบที่สัมผัสกับสารมลพิษในอากาศ ทำให้ได้รับความเสียหาย หรืออันตรายโดยผู้รับผลเสียอาจเป็นสิ่งที่มีชีวิต เช่น คน พืช และ สัตว์ หรือเป็นสิ่งที่ไม่มีชีวิต เช่น เสื้อผ้า อาคาร บ้านเรือน วัสดุและสิ่งก่อสร้างต่างๆ ความเสียหายหรือผลกระทบที่เกิดขึ้น จะมีความรุนแรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศและระยะเวลาที่สัมผัส

จากส่วนประกอบของระบบภาวะมลพิษทางอากาศที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าปริมาณและลักษณะของภูมิประเทศ (Topography) จะเป็นตัวกำหนดชนิดปริมาณและความเข้มข้นของสารมลพิษที่เจือปนอยู่ในอากาศอยู่ห่างไกลออกไป ส่วนคุณภาพอากาศจะเป็นตัวกำหนดถึงลักษณะและความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น (Air Pollution Effects) อีกทอดหนึ่ง

2.2 ฝุ่นละอองอากาศ (Particulate Matter)

มีความหมายรวมถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่กระจายในอากาศนี้บางชนิดมีขนาดใหญ่ และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศโดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา (Total Suspended Particulate; TSP) ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคม ขนส่งนานาชาติประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละออง ในบรรยากาศขึ้น สำหรับในประเทศไทยสหรัฐอเมริกาองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของอเมริกา (United State Environmental Protection Agency ; US. EPA) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม และฝุ่น PM_{10} แต่เนื่องจากมีการเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาวิจัย ฝุ่นขนาดเล็กนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไประบบทางเดินหายใจส่วนใน โดยเฉพาะฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนดังรูปที่ 2.2 และมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น US. EPA จึงได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นชนิดละเอียด $PM_{2.5}$

PM_{10} หมายถึง อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยางตามการขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมบด ข่อย หิน

$PM_{2.5}$ หมายถึง ฝุ่นละเอียด (Fine Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ SO_2 , ออกไซด์ของไนโตรเจน NO_x และ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOC) จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดฝุ่นละเอียดได้

ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก เมื่อหายใจเข้าไปในปอดจะเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ในสหรัฐอเมริกาพบว่า ผู้ที่ได้รับฝุ่น PM_{10} ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรคหืดหอบ (Asthma) และ ฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอด และเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคหืดหอบ และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนปกติด้วย

ในประเทศไทยฝุ่นละอองเป็นปัญหามลพิษทางอากาศสำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนนักวิจัยเพื่อสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยของคนในกรุงเทพมหานคร จากผลการวิจัยพบว่าฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานครมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่างๆทั่วโลก โดยระดับของฝุ่นขนาดเล็กอาจทำให้คนในกรุงเทพมหานครตายก่อนเวลาอันควร ถึง 4,000 - 5,500 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่าการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{10}) และจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณ PM_{10} ในบรรยากาศลงได้ 10 ลูกบาศก์เมตร จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพ คิดเป็นจำนวนเงิน 35,000 - 88,000 ล้านบาทต่อปี

ฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เกิดขึ้นถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดทั้งแหล่งกำเนิดโดยทางธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ ฝุ่นดิน ฝุ่นละอองจากน้ำทะเล ไฟป่า และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น จากการจราจร การอุตสาหกรรม และการก่อสร้าง โดยฝุ่นละอองที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดโดยตรงแล้วแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ เรียกว่า ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (Primary particulate) ต่อมาฝุ่นละอองถูกพัดพาไปโดยกระแสลมทำให้ฝุ่นละอองสามารถเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในบรรยากาศเกิดเป็นฝุ่นละอองที่มีลักษณะ คุณสมบัติ และองค์ประกอบที่แตกต่างไปจากเดิม เรียกว่า ฝุ่นละอองทุติยภูมิ (Secondary particulate) กระบวนการเกิดและกำจัดฝุ่นในอากาศเกิดขึ้นตลอดเวลาและอย่างต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และสภาพทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตุนิยมวิทยา เมื่อฝุ่นละอองถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดสู่บรรยากาศ ฝุ่นละอองจะถูกควบคุมโดยกระบวนการต่างๆ ของพฤติกรรมเชิงพลวัต (Dynamic behavior) ซึ่งได้แก่ การตกตะกอน (sedimentation) การแพร่ (diffusion) การรวมตัว (Coagulation) นอกจากนั้นฝุ่นละอองอาจเกิดอันตรกิริยาเชิงเคมี กับ องค์ประกอบเคมีในสถานะก๊าซซึ่งอยู่รอบๆ และ อาจถูกกำจัดออกจากอากาศได้โดยกระบวนการนิวคลีเอชัน (nucleation process) โดยการชะล้างของ ฝน หิมะ หรือ ถูกเก็บในบรรยากาศ

2.2.1 ขนาดของฝุ่นละอองที่สามารถเข้าไปในส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจ (Inhaled Dust)

ฝุ่นที่ปนเข้าไปกับลมหายใจ อาจเป็นอันตรายหรือไม่เป็นอันตรายแล้วแต่ชนิดและขนาดของฝุ่น ฝุ่นขนาดหยาบจะถูกดักและกำจัดที่โพรงจมูกในขณะที่ฝุ่นละเอียดลงไปจะเข้าไปถึงหลอดลมและปอด ซึ่งจะถูกเก็บกักไว้บางส่วน และส่วนที่ละเอียดมาก ๆ ส่วนใหญ่จะกลับออกมาที่ลมหายใจออก แต่ที่ละเอียดกว่า 0.1 ไมครอนลงไปแล้วจะถูกจับไว้ที่ปอดเป็นส่วนมาก ฝุ่นและอันตรายของฝุ่นต่อ ร่างกายที่ส่วนต่างๆ 3 ส่วนของระบบหายใจ อาจแยกกล่าวได้ดังนี้

2.2.1.1 ส่วนโพรงจมูกถึงคอ (Nasopharyngeal Compartment)

ขนาดของฝุ่นที่ดักหรือค้างที่ส่วนนี้ได้ อยู่ในช่วง 1-100 ไมครอน

ก. ฝุ่นที่ละลายได้ (Soluble dust)

กักดัก	:	ขนจมูก น้ำมูก ขนอ่อน เสมหะ
กำจัดโดย	:	กลืนลงคอ ถ่มเสมหะ สั่งน้ำมูก
ผลกระทบ	:	ทำลายเยื่อจมูก ขนอ่อนจับแข็งโยกไหวไม่ได้ อาการภูมิแพ้ (น้ำมูกมาก ช่องหายใจตื้น หายใจยาก)

ข. ฝุ่นที่ไม่ละลาย (Insoluble dust)

กักดัก	:	ขนจมูก ขนอ่อน เยื่อจมูก
กำจัดโดย	:	ไอ จาม
ผลกระทบ	:	ทำลายเยื่อจมูก และอาการภูมิแพ้

2.2.1.2 ส่วนของหลอดลมต่างๆ (Tracheobronchial Compartment)

ขนาดของฝุ่นที่ดักหรือค้างในส่วนนี้ได้ อยู่ในช่วง 0.01-10 ไมครอน

กักดัก	:	ขนอ่อน และเยื่อเมือก (Mucosa)
ผลกระทบ	:	เหมือนส่วนโพรงจมูกถึงคอทั้งกรณีฝุ่นที่ละลายได้และไม่ละลาย แต่รุนแรงมากกว่าเนื่องจากฝุ่นมีขนาดเล็กกว่า มีพื้นที่ผิวมากกว่า และเยื่อต่างๆ ในส่วนนี้จะบอบบางกว่า นอกจากนั้นอาจเกิดอาการหลอดลมตีบ และเกิดการแพ้ และติดเชื้อเฉพาะที่ (Local Infection) แล้วยังส่งผลให้มีโอกาสแพ้ภาวะอื่นๆ ได้ง่ายอีกด้วย

2.2.1.3 ส่วนของท่อลมเล็กๆ ต่างๆ ในปอด (Pulmonary tracts)

- กับังคัก : ขนอ่อน และเยื่อเมือก
- กำจักคอคย : เม็ดเลือดขาวจะไปหุ้มเม็ดฝุ่น แล้วถูกกวาดโดยขนอ่อนออกไปทางหลอดลม เข้าสู่คอแล้วถูกกลืน (ช่วยคุ้มครองเยื่อถุงลมปอดไม่ให้ถูกฝุ่นซึคข่วน และทึมค้ำเป็นรูเป็นแผล)
- ผลกระทบ : ผลกระทบจะรุนแรงมากกว่าสองส่วนแรก

ก. ฝุ่นที่ละลายได้

- ผลกระทบ : ทำลายขนอ่อนในปอด (Epithelium)
ระบบทางเดินหายใจเล็กๆ ในปอด (Peripheral respiratory unit) ตึบหรืออุดตัน

ข. ฝุ่นที่ไม่ละลาย

- ผลกระทบ : ทำลายเนื้อเยื่อ
เกิดการสะสมที่ตอมน้ำเหลืองที่ขั้วปอด

รูปที่ 2.2 จะเป็นการแสดงถึงขนาดของฝุ่นละอองที่สามารถเข้าถึงส่วนต่างๆของระบบทางเดินหายใจซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าฝุ่นที่มีขนาดเล็กสามารถเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้ และอาจก่อให้เกิดอันตรายกับระบบทางเดินหายใจเป็นอย่างมาก

2.2.1.4 ผลของฝุ่นละอองขนาดเล็กต่อระบบทางเดินหายใจ

อาการของระบบทางเดินหายใจ ตั้งแต่อาการน้อย เช่น ไอ จาม มีน้ำมูก จนไปถึงการอักเสบของไซนัส เจ็บคอ ภูมิแพ้ หรือมีไข้ หรืออาจมีอาการของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ได้แก่ หายใจลำบาก เจ็บหน้าอก หรือหายใจมีเสียงดัง วีซ (Wheez) เนื่องจากการหดตัวของหลอดลม

หลอดลมอักเสบ (Bronchitis) ในกลุ่มประชากรที่สัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในปริมาณที่มาก จะมีอุบัติการณ์ของการเกิดโรคหลอดลมอักเสบสูงกว่า และในรายที่มีโรคหัวใจเป็นโรคประจำตัวอยู่แล้ว เมื่อเกิดโรคหลอดลมอักเสบ(Bronchitis) หรือปอดบวม(Pneumonia) จะซ้ำเติมให้การทำงานของหัวใจแย่ลง จนเกิดหัวใจวายได้ (Heart Failure)



รูปที่ 2.2 ขนาดของฝุ่นในระบบทางเดินหายใจ

ปอดเป็นพังผืดจากการระคายเคืองเรื้อรัง (Pneumoconiosis) การที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าไปในปอดไประคายเคืองระบบทางเดินหายใจเรื้อรัง จนเกิดพังผืดขึ้นในเนื้อปอด

มะเร็งของระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีส่วนผสมของสารบางอย่าง เช่น Arsenic, Chromate, Poly aromatic hydrocarbon (PAH), Nickel สารกัมมันตรังสี ซึ่งเมื่อสัมผัสกับเนื้อปอด จะทำให้เป็นมะเร็งปอดได้ และถ้าสารดังกล่าวที่กล่าวนี้อาจสามารถละลายน้ำได้ เมื่อไปสู่อวัยวะต่างๆนอกปอด ก็สามารถทำให้อวัยวะเหล่านั้นเกิดมะเร็งได้เช่นกัน

เพิ่มอัตราการตาย และอัตราการนอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาล โดยมีการศึกษาสนับสนุนดังนี้

การศึกษาในสหรัฐอเมริกา ในปี 1944 ถ้าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับปกติ 10 ไมโครกรัมต่อ ลบ.ม. จะทำให้อัตราการตายสูงขึ้นร้อยละ 1.0-3.2 และเพิ่มการนอนรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจขึ้นร้อยละ 1-2

การศึกษาในสหราชอาณาจักร พบว่า PM_{10} เพิ่มอัตราการตายร้อยละ 1.9 และเพิ่มการนอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอื่นๆ พบว่า ถ้า PM_{10} เพิ่มขึ้นจากระดับปกติ 10 ไมโครกรัมต่อ ลบม. จะทำให้ อัตราการตายเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 อัตราการตายจากโรคหัวใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.4 การนอนพักรักษาตัว ในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8 และการรักษาตัวในห้องฉุกเฉินเพิ่มขึ้นร้อยละ 1

2.2.2 ประเภทของแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองอากาศ (Sources of Air Particulate matter)

แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองอากาศ แบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural Sources)

เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองอากาศ ตามกระบวนการทางธรรมชาติ ไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องแต่อย่างใด เช่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟป่า และมหาสมุทร ซึ่งเป็น แหล่งกำเนิดของละอองเกลือ เป็นต้น

- แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man – Made Sources)

เป็นแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทำให้มีการระบายสารมลพิษอากาศแบ่งออก ได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.2.2.1 แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Sources)

ได้แก่ รถยนต์ เรือยนต์ เครื่องบิน เป็นต้น โดยเฉพาะผลจากเขม่าควันจากการเผาไหม้ และ ชาติต่างๆที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน ในสังคมปัจจุบันมีการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงอย่าง แพร่หลายทั้งใน รถจักรยานยนต์, รถยนต์นั่งส่วนบุคคล และ เครื่องบิน เป็นต้น และจะมีการปล่อย สารพิษออกมาเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ หรือ แม้แต่สารที่เติมเข้าไปในน้ำมันด้วยเหตุผล ต่างๆ ก็จะถูกปล่อยออกมาด้วย ซึ่งน้ำมันทั้งหมดแบ่งตามการใช้งานดังนี้

1) น้ำมันเบนซิน [5]

น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงประเภทระเหยได้ง่าย ใช้กับเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายใน โดยมี หัวเทียนเป็นเครื่องจุดระเบิด (Spark Ignition Internal Combustion Engine) ความสามารถในการ ระเหยของน้ำมัน จะต้องพอเหมาะ การเผาไหม้ในกระบอกสูบจะต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและ ต่อเนื่อง

องค์ประกอบของน้ำมันเบนซิน น้ำมันเบนซินสำเร็จรูป ได้จากการผสมน้ำมันเบาที่มีช่วง จุดเดือดเหมาะสมหลายชนิด (ประมาณ 30-210 °C) ซึ่งได้มาจาก กระบวนการกลั่นที่ทันสมัย น้ำมัน ที่นำมาผสม ได้แก่ Tops, Naphtha, Reformate, Themally Cracked, Gasoline, Catalytically, Cracked Gasoline, Hydrocracked Gasoline และ LPG นอกจากนี้ยังมีน้ำมันจากกระบวนการพิเศษ คือ Alkylate, Polymerized Gasoline, Isomerized Gasoline มาผสมเพิ่มเติมถ้ามี จะเห็นว่าองค์ประ เภอบในการผสมมีมากมาย ซึ่งต้องนำมาใช้ในอัตราที่เหมาะสม หลังจากนั้นต้องใส่สารเติม เติมสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Additives) เช่น สารกันน็อค อันได้แก่ สารตะกั่ว, กำมะถัน สารกันการเกิดยางเหนียว และอื่นๆ เพื่อให้ได้คุณภาพตามข้อกำหนด

ปัจจุบันได้มีการใช้สารอื่นๆ ที่มีไฮโดรคาร์บอนมาผสมในน้ำมันเบนซินด้วยเพื่อลดปริมาณสารตะกั่วที่จะต้องใส่ หรือ เพื่อผลิตน้ำมันเบนซินที่ปราศจากสารตะกั่ว สารที่ได้รับการสนใจมาก ได้แก่ Ethyl Alcohol, Methyl Alcohol, Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE), Tertiary Butyl Alcohol (TBA)

ลักษณะการเผาไหม้และค่าออกเทน เมื่อไอน้ำมันเบนซินผสมกับอากาศถูกอัดเข้าไปในกระบอกสูบ และลูกสูบเคลื่อนที่ไปถึงจุด (Top Dead Centre) ก็จะเป็นจังหวะที่ไฟฟ้าผ่านเข้าหัวเทียน ทำให้ไอน้ำมันผสมอากาศที่ล้อมรอบหัวเทียนอยู่จุดระเบิดทันที เปลวไฟขยายตัวออกไป ทำให้เกิดการเผาไหม้ของไอน้ำมันส่วนอื่นๆ ให้ห้องเผาไหม้ตามลำดับ พร้อมทั้งให้พลังงานผลักดันลูกสูบต่อไป แต่การขยายตัวของเปลวไฟ มีผลให้อุณหภูมิและความดันของไอน้ำมันผสมอากาศในส่วนที่เปลวไฟยังไปไม่ถึงเพิ่มขึ้นด้วย และจะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า Pre-Flame Reactions ขึ้น ทำให้เกิดกลุ่มเปอร์ออกไซด์ ซึ่งไวต่ออุณหภูมิ และ จะทำให้เกิดจุดระเบิดตัวเองได้ โดยไม่ต้องอาศัยเปลวไฟ ถ้าปริมาณกลุ่มเปอร์ออกไซด์สูงกว่าค่ากำหนด (Threshold Limits) ถ้าจุดระเบิดตัวเองเช่นนี้เกิดขึ้นก่อนที่เปลวไฟที่มาจากหัวเทียนเคลื่อนมาถึง ก็จะทำให้เกิดการกระแทกก่อนจังหวะงานในกระบอกสูบ ซึ่งเรียกว่า เกิดการน็อคหรือการเคาะ ทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ เกิดการสูญเสียพลังงาน และมีผลเสียต่อชิ้นส่วนเครื่องยนต์อย่างมาก ดังนั้นน้ำมันที่เหมาะสมจะต้องทำให้เกิดการสะสมของสารเปอร์ออกไซด์แต่น้อยหรือซ้ำๆ เพื่อให้เปลวไฟจากหัวเทียนเดินทางมาถึงเสียก่อนที่จะมีสารเปอร์ออกไซด์เกินค่าอันตราย การเผาไหม้ทั้งสิ้นก็จะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ไม่มีอาการน็อคเกิดขึ้นและได้พลังงานเต็มที่ ปฏิกิริยา Pre-Flame Reactions นี้ขึ้นอยู่กับชนิด และโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอน พวก Aromatics, Iso-paraffins ที่มีโซ่กิ่งมากๆ และ Olefins จะต้านทานการน็อค (Antiknock) ได้สูง Iso-Paraffins ที่มีโซ่กิ่งน้อย และ Naphthenes จะเป็นกลุ่มกลางๆ ส่วน n-Paraffins จะมีคุณสมบัติในด้านนี้ต่ำที่สุด

อาศัยหลักนี้ จึงได้ตั้งหน่วยการวัดความสามารถในการต้านทานการน็อคเป็นหน่วยค่าออกเทน (Octane Number) โดยกำหนดให้ Iso Octane มีค่าออกเทนเป็น 100 และ Normal Heptane มีค่าออกเทนเป็น 0 สำหรับเป็นค่าเปรียบเทียบกับน้ำมันที่มีค่าออกเทนเป็น 95 จะหมายถึงน้ำมันที่มีความสามารถในการต้านทานการน็อคเท่ากับน้ำมันเชื้อเพลิงมาตรฐานที่มีส่วนประกอบของไอโซออกเทน 95 % โดยปริมาตร นอร์มอลเฮปเทน 5 % โดยปริมาตร การวัดเปรียบเทียบ การวัดเปรียบเทียบเช่นนี้ทำในห้องทดลองใช้เครื่องยนต์มาตรฐานสูบเดี่ยวแบบ CFR ซึ่งสามารถปรับอัตราส่วนการอัดตัวได้และมีเครื่องวัดการน็อคของเครื่องยนต์ติดอยู่ด้วย

การน็อคของเครื่องยนต์นอกจากจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการวัดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ การออกแบบเครื่องในรายละเอียดและสภาวะการใช้งาน เช่น การตั้งส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศ การตั้งจังหวะจุดระเบิด (Spark Advance) ความเร็วของเครื่อง และสภาวะอากาศ เป็นต้น

ความสามารถในการระเหย (ASTM Distillation และ Vapour Pressure) ความสามารถในการระเหยมีผลกับการทำงานของน้ำมันเป็นอย่างมาก เพื่อให้สตาร์ทง่าย อุณหภูมิเครื่องเร็ว มีการกระจายของไอน้ำมันไปยังกระบอกสูบทุกอันได้เท่าๆ กันน้ำมันต้องไม่ระเหยมากเกินไปจนเกิดเป็นไอระหว่างส่งเข้ามาตามท่อ ทำให้เนื่อน้ำมันเข้าสู่คาร์บิวเรเตอร์ไม่ได้และเครื่องสะดุดหยุดลง ที่เราเรียกว่า Vapour lock และ ต้องไม่หนักเกินไปจนเกิดการละลายลงในถังน้ำมันเครื่องได้ ดังนั้นจึงต้องมีข้อกำหนดเรื่อง ASTM Distillation และ Vapour Pressure ไว้

ความสะอาดของน้ำมัน คราบเหนียว (Gum) องค์ประกอบเบนซินที่มี Olefins, Thiophenol หรือ Nitrogen Compounds ซึ่งมักได้มาจาก Cracking Process เมื่อทิ้งไว้ในอากาศจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นยางเหนียวขึ้น แรกๆ ก็ละลายอยู่ในน้ำมัน แต่แล้วก็จะตกตะกอนออกมา ยางเหนียวพวกนี้มันติดในคาบูเรเตอร์ Inlet Manifold และตามวาล์วไอดี

ตัวเติมสำหรับน้ำมันเบนซินการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันเบนซินต้องใช้ตัวเติมหลายชนิด ที่สำคัญจริงๆ จะเติมที่โรงงานกลั่นหรือในกระบวนการผลิตเลย ตัวเติมบางอย่างมีผลมากในด้านการตลาด ซึ่งบริษัทผู้ขายจะพัฒนาตัวเติมของตนเองขึ้นและใช้ชื่อต่างๆ กันออกไป ตัวเติมเหล่านี้อาจเติมที่คลังจำหน่ายของผู้ขายเอง

2) น้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบิน[5]

น้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบินแบ่งออกตามลักษณะของเครื่องยนต์เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ น้ำมันเบนซินเครื่องบินใบพัด และน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบินไอพ่น

น้ำมันเบนซินเครื่องบินใบพัด (Aviation Gasoline) เครื่องยนต์ที่ใช้กับเครื่องบินใบพัดมีลักษณะและระบบเหมือนเครื่องยนต์เบนซิน แต่มีแรงม้าสูงและได้รับการออกแบบให้ทำงานได้ในสภาวะที่ความดันและอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง ซึ่งรวมถึงในระดับสูง ที่มีอากาศเจือจางด้วย น้ำมันเบนซินที่ใช้แม้จะมีลักษณะทั่วไปเหมือนน้ำมันเบนซินรถยนต์แต่ต้องมีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติมหลายอย่าง เพื่อให้ทำงานได้ตามต้องการ มีค่าออกเทนสูงเป็นพิเศษ มีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์เครื่องบิน

น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบินไอพ่น (Aviation turbine Fuels) เครื่องบินไอพ่นได้รับความนิยมน้อย เพราะมีแรงขับเคลื่อนมาก บินได้เร็ว มีประสิทธิภาพดี ประหยัด เพราะใช้เชื้อเพลิงมีราคาถูกและหาได้ง่าย แรก ๆ ก็ใช้น้ำมันก๊าดทั่วไปเป็นเชื้อเพลิงแต่เมื่อเครื่องยนต์วิวัฒนาการมากขึ้นมีความต้องการด้านคุณภาพเป็นพิเศษหลายอย่าง จึงได้มีการจัดทำข้อกำหนดคุณภาพของเชื้อเพลิงขึ้นเป็นมาตรฐานสำหรับใช้ทั่วโลก เพราะกิจการการบินเกี่ยวพันไปทั่วโลกองค์กรที่จัดทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดมาตรฐานเหล่านี้ ได้แก่ องค์การการบินระหว่างประเทศ (IATA) กระทรวงกลาโหม อังกฤษ (DERD) กระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ (US-MIL) และ ASTM

น้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบินไอพ่นที่ใช้มีอยู่สองกลุ่มใหญ่ๆ กลุ่มแรกเป็นพวกน้ำมันก๊าดที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ซึ่งสายการบินพาณิชย์ส่วนใหญ่นิยมใช้มาก เพราะเข้าใจว่าปลอดภัยกว่า โดยที่มีจุดวาบไฟสูงกว่าแบบอื่น เรียกว่า น้ำมัน JP-1 หรือ Jet A-1 (ในสหรัฐฯ มีการแบ่งย่อยไปอีกคือ Jet A เป็นน้ำมันมีจุดแข็งตัว -40°C และ Jet A-1 มีจุดแข็งตัว -47°C) อีกกลุ่มหนึ่งเป็นน้ำมันประเภท Wide Cut Gasoline ซึ่งได้จากการผสมน้ำมันก๊าดเข้ากับเนฟทาแล้วเติม LPG เพื่อปรับ RVP อันจัดว่าเป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบเบาและระเหยง่าย มีกำลังมากและให้ความเร็วสูง มักใช้ในการทหาร และการบินเหนือเสียง ที่รู้จักกันดีคือ น้ำมัน JP-4 หรือ Avtag จัดเป็นการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงเครื่องบินไอพ่นที่สามารถผลิตได้และด้วยราคาที่ถูกลง สายการบินพาณิชย์บางแห่งก็ใช้น้ำมันประเภทนี้เช่นกัน แต่จะเรียกว่า น้ำมัน Jet B ข้อกำหนดคุณสมบัติ Jet A-1 และ Jet B นอกจาก JP-1 และ JP-4 แล้วยังมีน้ำมันทหารสำหรับอเมริกา (US-MIL) อีก 2 ประเภท คือ JP-3 และ JP-5 ซึ่งใช้เฉพาะทางการทหาร

องค์ประกอบของน้ำมันเครื่องบินไอพ่น จัดเป็นจุดสำคัญเริ่มต้นในการควบคุมคุณภาพของน้ำมัน เพื่อให้ได้การเผาไหม้ที่สะอาด จะต้องจำกัดปริมาณของไฮโดรคาร์บอนประเภทโอเลฟิน และ อะโรแมติก ไว้ไม่ให้สูงเกินไป ทั้งนี้เพราะการเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนประเภทนี้ไม่สะอาด มักจะให้ควัน โดยเฉพาะอะโรแมติก ซึ่งจะเกิดควันและเขม่า เกาะเครื่องทำให้เสื่อมประสิทธิภาพ นอกจากนั้นเปลวไฟจะสะท้อนสว่าง (Luminous) ทำให้อายุห้องเผาไหม้สั้น และทำให้สารพวกอีลาสโตเมอร์ในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงเสื่อมได้

คุณสมบัติในการเผาไหม้ คุณสมบัติด้านนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยพวกพาราฟินจะเผาไหม้ดีมาก แต่อะโรแมติก และเนฟทาลินจะเผาไหม้ไม่ดี จึงวัดด้วยการจุดควันแบบเดียวกับน้ำมันก๊าด หรือจุดควันประกอบด้วยปริมาณของเนฟทาลิน หรืออาจใช้วัดความสามารถจากการจุดไฟด้วยเครื่อง Luminometer (ASTM D 1740) โดยใช้หน่วยเปรียบเทียบได้ Tetralin มี Luminometer Number (LN) เป็น 0 และ Isooctane มี LN 100 เป็นมาตรฐาน ค่า LN ต้องไม่ต่ำเกินไปสำหรับ Jet A-1 เพราะจะมีผลต่ออายุห้องเผาไหม้ นอกจากนี้ปริมาณพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องกำหนดค่าต่ำสุดไว้เพื่อให้ได้บินไปถึงที่หมาย สำหรับ Jet A-1 วัดเป็น Net Specific Energy (ASTM D-1405) ส่วน JP-4 วัดเป็น Aniline Gravity Product (ASTM D-1405)

สารกันการกัดกร่อน เพื่อป้องกันการกัดกร่อนเครื่องยนต์ ได้มีข้อกำหนดในด้านนี้ไว้หลายประการ กล่าวคือ ปริมาณกำมะถัน (ASTM D-1266) ปริมาณเมอร์แคปเทน หรือดีออกเตอร์เทสต์ (โดยเหตุผลทำนองเดียวกับกรณีเบนซิน) ตัวเลขความเป็นกรด (Total Acid Number ASTM D 3242) การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion ASTM D-130) และการกัดกร่อนแผ่นเงิน (IP 227)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเติมน้ำมันเครื่องบินไอพ่น น้ำมันเครื่องบินไอพ่นต้องใช้ตัวเติมหลายชนิด คือ สาร Anti-oxidant, สารเพิ่มการนำกระแสไฟฟ้าของน้ำมัน (Anti Static Additive), สารกันการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitor), และสารกันการแข็งตัว (Anti Icing Additive)

3) น้ำมันดีเซล[5]

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง และจุดระเบิดเอง (High Compression, Self Ignition Engine) ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบ โดยไม่ต้องใช้หัวเทียน วงจรของเครื่องยนต์ ประกอบด้วยขั้นตอนการส่งอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้ การอัดอากาศภายในกระบอกสูบ การฉีดเชื้อเพลิงเป็นฝอยเข้าไปซึ่งเผาไหม้ทันที ก๊าซ จากการเผาไหม้ขยายตัว และปล่อยก๊าซ จากการเผาไหม้ ออกไป

องค์ประกอบในการผสมของน้ำมันดีเซลน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาถูก และสามารถผลิตได้จากน้ำมันกึ่งสำเร็จรูปหลายอย่างนำมาผสมเข้าด้วยกัน จัดเป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบมากที่สุดและมีช่วงจุดเดือดกว้าง น้ำมันดีเซลได้จากการผสมน้ำมันต่อไปนี้คือ

น้ำมันก๊าด น้ำมันก๊าดขอยล์ที่ได้จากหอกลิ้นน้ำมันดิบทั้ง Light Gas oil และ Heavy Gas Oil (Straight Run Gas Oils) น้ำมันเบาจากหอกลิ้นสูญญากาศ (Light Vacuum Gas oil) น้ำมันก๊าดขอยล์จากกระบวนการเทอร์มอลแครกเกอร์ (Thermally Cracked Gas Oil) น้ำมันก๊าดขอยล์จากกระบวนการแคทแครกเกอร์ (Cat. Cracked Light Cycle oil) น้ำมันก๊าดขอยล์จากกระบวนการไฮโดรแครกเกอร์ (Hydro cracked Gas Oil)

น้ำมันเหล่านี้ถ้ามีกำมะถันอยู่มากเกินไปก็ต้องทำการกำจัดกำมะถันเสียก่อนโดยผ่านกระบวนการ Gas Oil Hydrodesulfurizer และการผสมองค์ประกอบต่างๆ ก็ต้องใช้ส่วนผสมที่พอเหมาะให้ได้คุณภาพตามต้องการ

คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล ความต้องการพื้นฐานของน้ำมันดีเซลคือ ต้องจุดระเบิดได้เอง โดยเร็วและเผาไหม้ได้หมดภายใต้สภาวะภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ สามารถส่งถ่ายได้ตัวด้วยอุปกรณ์การฉีดน้ำมัน และ จะต้องเหมาะสมกับการส่งถ่ายจากโรงกลั่นถึงน้ำมันเครื่องยนต์ โดยไม่เสื่อมสภาพและไม่เกิดอันตรายต่อพื้นผิวที่มันสัมผัสอยู่

น้ำมันดีเซลเดิมเป็นน้ำมันพวก Straight-Run จากการกลั่นน้ำมันดิบ ในปัจจุบันเนื่องจากมีกระบวนการแตกตัวในโรงกลั่นหลายกระบวนการ จึงอาจมีน้ำมันส่วนที่ได้จากการแตกตัวผสมอยู่ เพื่อเพิ่มปริมาณให้สอดคล้องกับอุปสงค์ที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา โดยที่ราคายังถูกที่สุดอยู่

2.2.2.2 แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Sources)

หมายถึง แหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสารมลพิษอากาศเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงและเกิดจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ โดยสรุปดังนี้

1. กระบวนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ เตาเผาซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการก่อให้เกิดพลังงานความร้อน เช่น เตาเผาเพิ่มความร้อน เตาเผากำจัดของเสีย นอกจากจะทำให้เกิด SO_2 , NO_x , เขม่าและ CO แล้วบางครั้งก็ยังมีไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจนคลอไรด์ และไดออกซินเกิดขึ้นอีกด้วย
2. การถลุงและแปรรูปโลหะ ในกระบวนการถลุงแร่ เช่น การเผาและอบ จะเกิดการแพร่กระจายของทองแดง ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียมปรอท และธาตุอื่นๆในสินแร่ ในการอบแร่ที่ปนอยู่กับกำมะถัน นอกจากจะเกิด SO_2 เป็นจำนวนมากแล้วก็มี NO_x และเขม่าเกิดขึ้นอีกด้วย
3. การทำงานเกี่ยวข้องกับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง เช่น การบดวัตถุดิบ การคัดแยก การผสม แปรรูปและการขนส่งที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง
4. การกลั่นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งการใช้สารละลายและสีจะทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน
5. การแพร่กระจายของก๊าซพิษเกิดจากที่ขาดความระมัดระวัง การกระจายของสารเคมีทางการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า เป็นต้น
6. การก่อสร้างทำให้เกิดฝุ่นละออง

2.3 ชนิดธาตุที่มีอยู่ในอนุภาคฝุ่นละออง[8]

ฝุ่นละอองแต่ละชนิดประกอบด้วยธาตุชนิดต่างๆ ขึ้นกับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองชนิดนั้น ๆ เช่น ฝุ่นจากดินจะประกอบด้วยธาตุหลัก ๆ คือ ซิลิกา อะลูมิเนียม และ แคลเซียม ซึ่งเป็นองค์ประกอบของดินส่วนฝุ่นที่มาจากการก่อสร้างจะมีธาตุแคลเซียมซึ่งเป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ ส่วนฝุ่นที่มาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉพาะจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลจะมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ ธาตุคาร์บอน เป็นต้น การที่ฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน จะทำให้อนุภาคฝุ่นละอองชนิดนั้น ๆ มีองค์ประกอบของธาตุที่แตกต่างกัน มีการรวบรวมองค์ประกอบจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ [9]

Emission Sources	Markers Elements
Soil	Al, Si, Sc, Ti, Fe, Sm, Ca
Road dust	Ca, Al, Sc, Si, Ti, Fe, Sm
Sea Salt	Na, Cl, Na ⁺ , Cl ⁻ , Br, I, Mg, Mg ²⁺
Oil Burning	V, Ni, Mn, Fe, Cr, As, S, SO ₄ ²⁺ ,
Coal Burning	Al, Sc, Se, Co, As, Ti, Th, S
Iron and Steel Industries	Mn, Cr, Fe, Zn, W, Rb
Non-Ferrous metal industries	Zn, Cu, As, Sb, Pb, Al
Glass industry	Sb, As, Pb
Cement Industry	Ca
Refuse Incineration	K, Zn, Pb, Sb
Straw burning	K, C _{ele} , C _{org} , Br
Automobile gasoline	C _{ele} , Br, Ce, La, Pt, SO ₄ ²⁻ , NO ₃
Automobile diesel	C _{ele} , C _{org} , S, SO ₄ ²⁻ , NO ₃
Secondary aerosols	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺

C_{ele} : Element Carbon

C_{org} : Organic Carbon

2.4 การวิเคราะห์ทางรังสี (Radio Methods) [7]

หลักการวิเคราะห์ทางรังสีนั้น เป็นการวิเคราะห์ที่อาศัยสมบัติพิเศษของธาตุกัมมันตรังสี (radioisotope) ที่มีการสลายตัวให้รังสีซึ่งมีพลังงานและมีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ที่มีค่าเฉพาะ ธาตุกัมมันตรังสีที่กล่าวนี้อาจได้จากการศึกษาปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ของธาตุที่เสถียร หรือ อาจได้จากรวมชาติ เทคนิคต่างๆที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ การวิเคราะห์นี้ได้แก่ Nuclear Activation Analysis หรือ Neutron Activation Analysis (NAA) ซึ่งเป็นเทคนิคของการวิเคราะห์ที่ให้ความเที่ยงตรง และแม่นยำ มีสภาพไวสูง และขีดจำกัดการตรวจหา (limit of detection) ต่ำมากๆ และเป็นที่ยอมรับกัน โดยทั่วไป

2.4.1 เสถียรภาพของนิวเคลียส (Nucleus Stability)

นิวเคลียสของธาตุทุกชนิดประกอบด้วยอนุภาคพื้นฐานที่สำคัญซึ่งเรียกว่านิวคลีออนมีอยู่ 2 ชนิด คือ โปรตอนและนิวตรอน ยกเว้นนิวเคลียสของธาตุไฮโดรเจนซึ่งมีเฉพาะโปรตอนเท่านั้น ธาตุจะเสถียรหรือไม่ขึ้นอยู่กับพิจารณาจากอัตราส่วนของ neutron : proton (n / p)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ดังนั้น - ธาตุ atomic no. ต่ำ จะเสถียรเมื่อ $n/p \approx 1$
- ธาตุ atomic no. สูงขึ้น จะเสถียรเมื่อ $n/p > 1$

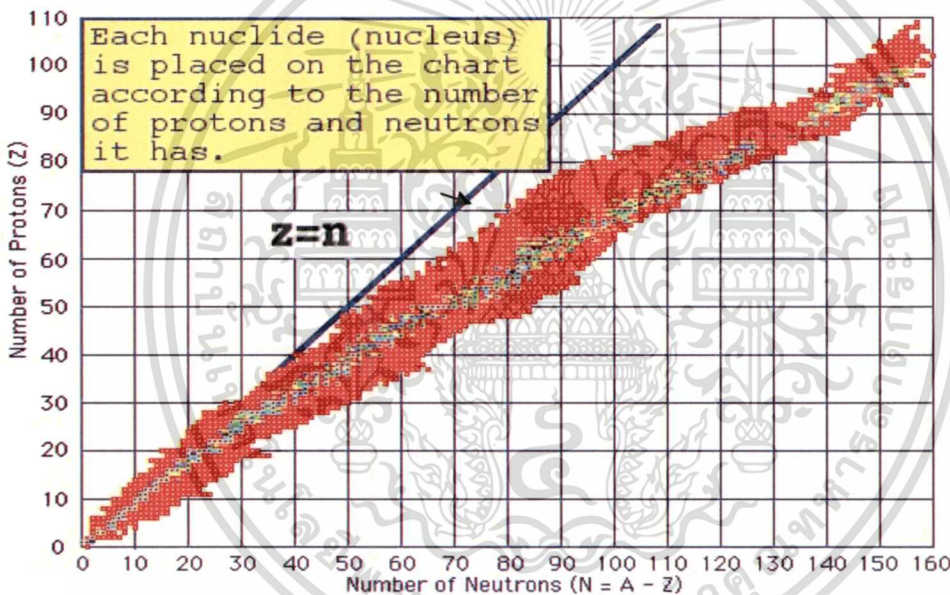
ดังนั้น ถ้าเขียนกราฟระหว่างเลขอะตอมของไอโซโทปที่เสถียรทุกชนิดกับจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียส จะได้กราฟดังรูปที่ 2.3

- ธาตุที่ nuclei มี $p = 2, 8, 20, 50, 82, 126$ จะเสถียรมากกว่า (จำนวน 2, 8, 20, 50, 82, 126 นี้เรียกว่า เลขมหัศจรรย์ (magic number) พิจารณาจาก

จำนวน Stable isotopes ของธาตุ)

- ธาตุที่มีจำนวน p, n เป็นเลขคู่ (even) เสถียรกว่าเลขคี่ (odd)

นอกจากจะขึ้นอยู่กับจำนวนโปรตอนและนิวตรอนในนิวเคลียสแล้วยังขึ้นอยู่กับพลังงานนิวเคลียส หรือสถานะ กระตุ้น (State of excitation) ของนิวเคลียส



รูปที่ 2.3 จำนวน โปรตอน และ นิวตรอน ของธาตุที่เสถียร

ซึ่งเมื่อธาตุอยู่ในสถานะกระตุ้นหรือไม่เสถียรแล้วจะต้องมีการคายพลังงานหรืออนุภาคต่างๆ เช่น รังสี แกมมา, บีตา และ แอลฟา เพื่อให้ธาตุนั้นๆ กลับสู่สถานะเสถียร และแต่ละธาตุก็จะสลายตัวด้วยพลังงาน และ ค่าครึ่งชีวิตที่ต่างกัน

2.4.2 ทฤษฎีการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี (Theory of Radioactive Decay) [7]

ถ้าพิจารณาจำนวนอะตอมในธาตุกัมมันตรังสีทั้งหมดในสารตัวอย่างเท่ากับ N_t อะตอม ที่เวลา “ t ” และในจำนวนนั้นได้สลายตัวไปแล้ว dN_t อะตอม เมื่อเวลาเปลี่ยนจาก “ t ” เป็น $t + dt$ หรือ

ในช่วงเวลา “ dt ” จะได้อัตราการสลายตัวดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-\frac{dN_t}{dt} = \lambda N_t \quad (2.1)$$

จะได้

$$-\frac{dN_t}{N_t} = \lambda dt \quad (2.2)$$

อินทิเกรต (2.2) จะได้

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t \quad (2.3)$$

\therefore

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

N_0 = จำนวนอะตอมของธาตุเมื่อเวลาเริ่มต้น $t = 0$

N_t = จำนวนอะตอมของธาตุที่เหลือหลังจากที่เวลาผ่านไปเท่ากับ t

การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีจะพบว่าจำนวนอะตอมไม่มีโอกาสหมดไปโดยสิ้นเชิงมีแต่จะลดลงจนมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้ช่วงเวลาที่ทำให้ปริมาณของอะตอมกัมมันตรังสีลดลงครึ่งหนึ่งของจำนวนที่มีอยู่เดิม เรียกว่า ค่าครึ่งชีวิต (half-life) แทนด้วยสัญลักษณ์ $t_{1/2}$ และมีความสัมพันธ์กับ λ ดังนี้

จากสมการที่ (2.4) แทน t ด้วย $t_{1/2}$ จะได้ $N_t = \frac{N_0}{2}$ ดังสมการที่ (2.5)

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$$

(2.5)

จากสมการที่ (2.5) เราจะสามารถหาค่า $t_{1/2}$ ได้จาก λ ดังสมการที่ (2.6)

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.6)$$

2.4.3 การวิเคราะห์โดยวิธีนิวตรอนแอกติเวชัน (Neutron Activation Analysis : NAA) [7]

การวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน (Neutron Activation analysis) เป็นการวิเคราะห์ธาตุโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในนิวเคลียส (nuclear transformation) โดยการยิงอนุภาคต่างๆ เช่น อนุภาคนิวตรอน, อนุภาคโปรตอน, หรืออนุภาคแอลฟา เป็นต้น เข้าไปในนิวเคลียส จะเกิดอันตรกิริยารังสีต่างๆ (interaction) สารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจะอยู่ในสถานะไม่เสถียร จะสลายตัวให้รังสี หรืออนุภาคต่างๆ เช่น รังสีแกมมา แอลฟา หรือ บีต้า ออกมาซึ่งมีพลังงาน และค่าครึ่งชีวิต (half-life) ที่แตกต่างกันไป สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ว่าสารกัมมันตรังสีนั้นเป็นธาตุอะไร ปริมาณรังสีหรือความแรงรังสี (radioactivity) จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของ

สารรังสีที่เกิดขึ้น สามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุได้ ซึ่งนิวตรอนที่ใช้สามารถแบ่งได้ตามช่วงพลังงาน

2.4.3.1 นิวตรอน[3]

อนุภาคนิวตรอน เป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุมีมวลประมาณ 1.675×10^{-27} กิโลกรัม (1.00839 amu) ถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2475 โดยแซดวิก (Chadwick) ได้เสนอว่าในปฏิกิริยาที่ยิงแอลฟาไปยังเบริลเลียม (beryllium; ${}^4_2\text{Be}$) อนุภาคที่ได้ออกมาจากปฏิกิริยาคืออนุภาคนิวตรอนดังปฏิกิริยาตามสมการที่ (2.7)



ประเภทของนิวตรอนแบ่งตามขนาดของพลังงาน

Cold neutrons	มีพลังงานน้อยกว่า	0.003	eV
Slow (thermal) neutrons	มีพลังงานระหว่าง	0.003 - 4	eV
Slow (Epithermal) neutron	มีพลังงานระหว่าง	0.4 - 100	eV
Intermediate neutron	มีพลังงานระหว่าง	100 eV - 200	keV
Fast neutrons	มีพลังงานระหว่าง	200 keV - 10	MeV
High energy (relativistic) neutron	มีพลังงานมากกว่า	10	MeV

2.4.3.2 ต้นกำเนิดนิวตรอน[3]

ต้นกำเนิดนิวตรอน สามารถพิจารณาได้ พอสังเขป ดังนี้

1. ปฏิกิริยา (α, n) (Alpha Particle – Induced Nuclear Reactions)

ถ้าใช้อนุภาคแอลฟา จากสารกัมมันตรังสีเช่น ${}^{241}\text{Am}$, ${}^{242}\text{Cm}$, ${}^{200}\text{Po}$, ${}^{239}\text{Pu}$, ${}^{226}\text{Ra}$ ไปยังนิวเคลียสของธาตุเบา เช่น B, Be, F, Li จะมีนิวตรอนถูกปล่อยออกมา ตัวอย่างปฏิกิริยาดังสมการที่ (2.10)



2. ปฏิกิริยา (γ, n) (Photo neutron (γ, n) Sources)

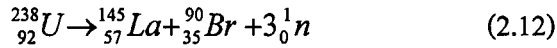
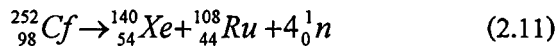
ใช้รังสีแกมมา ไปยังนิวเคลียสของธาตุควิที่เรียม (Deuterium; ${}^2_1\text{H}$) และ เบริลเลียม จะมีนิวตรอนถูกปล่อยออกมา ตัวอย่างปฏิกิริยาดังสมการที่ (2.9) และ (2.10)



3. ฟิชชันที่เกิดขึ้นเอง (Spontaneous Fission)

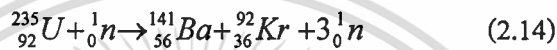
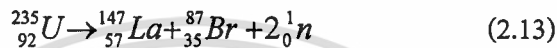
เนื่องจากการแตกตัวของนิวเคลียสของธาตุหนักออกเป็นสองส่วน ซึ่งเกิดกับนิวไคลด์กัมมันตรังสี (Radionuclide) ที่มีเลขมวลมากกว่าหรือเท่ากับ 230 ($A \geq 230$) เช่น คาร์ลิวอร์เนียม –

252 (Californium; $^{252}_{98}\text{Cf}$) โอกาสในการเกิดนิวตรอนที่น้อยมากประมาณ 3% ตัวอย่างปฏิกิริยาดังสมการที่ (2.13) และ (2.14)



4. ปฏิกิริยาฟิชชันที่ถูกเหนี่ยวนำโดยนิวตรอน (Neutron-Induced Fission)

เกิดเนื่องจากนิวเคลียสของธาตุหนัก ถูกกระดมยิงด้วยนิวตรอนแล้วแตกออกเป็น 2 หรือ 3 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนเรียกว่าส่วนของฟิชชัน (Fission fragment) และมีนิวตรอนจำนวน 2-3 ตัวถูกปล่อยออกมา ตัวอย่างปฏิกิริยาดังสมการ (2.14) และ(2.16)



5. นิวเคลียร์ฟิวชัน (Nuclear Fusion)

เกิดเนื่องจากการรวมตัวกันของนิวเคลียสของธาตุเบา ($A < 8$) แล้วมีพลังงานปลดปล่อยออกมา ซึ่งเกิดได้ภายใต้อุณหภูมิและความกดดันสูงมากประมาณร้อยล้านเคลวิน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ (thermonuclear reaction) ตัวอย่างปฏิกิริยาดังสมการที่ (2.15) และ (2.16)



6. เครื่องเร่งอนุภาค (Accelerator)

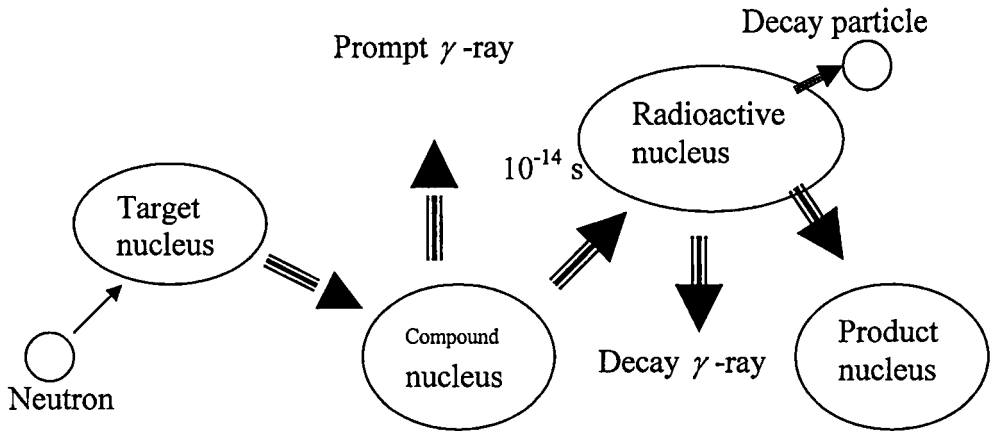
นิวตรอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องเร่ง เร่ง โปรตอน, อิเล็กตรอน, และ ดิวเทรอน ให้มีพลังงานสูงวิ่งชนเป้า ตัวอย่างปฏิกิริยาดังสมการ (2.17) และ (2.18)



7. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Reactors)

เมื่อนิวตรอนเข้าชนนิวเคลียสของธาตุแล้ว ทำให้เกิดการแบ่งแยกตัวแล้วมีนิวตรอนถูกปล่อยออกมา นิวตรอนเหล่านี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาแบ่งตัวต่อไปได้เรื่อยๆ เรียกปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ซึ่งนิวตรอนที่ได้ออกมาส่วนมากจะเป็น Fast neutron ยากที่จะเกิดการจับ

การวิเคราะห์ทางแอกติเวชันซึ่งใช้อนุภาคนิวตรอนยังเข้าไปในนิวเคลียสของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ธาตุต่างๆ ในตัวอย่างจะกลายเป็นนิวเคลียสกัมมันตรังสี จากนั้นวัดปริมาณรังสีแกมมาที่เกิดจากอันตรกิริยานิวตรอนแกมมา (n, γ interaction) เรียกเทคนิคการวิเคราะห์นี้ว่า “นิวตรอนแอกติเวชัน” ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อันตรกิริยาการจับนิวตรอนของนิวเคลียส

จากรูปที่ 2.4 เมื่อนิวเคลียสในสารตัวอย่างถูกยิงโดยนิวตรอน นิวเคลียสจะจับนิวตรอนแล้วเกิดเป็น Compound Nucleus ที่มีเลขมวลอะตอมสูงขึ้น และอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น เรียกว่า Excited Compound Nucleus ซึ่งจะปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมาทันทีที่เรียกว่า Prompt Gamma Ray ภายใน 10^{-14} วินาที แล้วกลายเป็นสารกัมมันตรังสี (Radioactive) สารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นใหม่นี้ จะปล่อยอนุภาค บีต้า และรังสีแกมมาออกมา

รังสีแกมมาที่แผ่ออกมาเกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของนิวเคลียสจากภาวะที่ถูกกระตุ้น ไปสู่สถานะพื้น ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าโดยการแผ่รังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา พบว่ารังสีแกมมามักเกิดตามหลังการสลายให้อนุภาคแอลฟาหรืออนุภาคบีต้าเสมอ เช่น Pb-214 สลายด้วยการปล่อยอนุภาคเบตาแล้วกลายเป็น Bi-214 พบว่า Bi-214 ที่เกิดขึ้นอยู่ในสภาวะกระตุ้นแล้ว Bi-214 จะลดระดับพลังงานสู่สถานะปกติและปล่อยรังสีแกมมาออกมา

การวัดรังสีแกมมาที่เกิดขึ้นทันทีนี้ปริมาณความเข้มรังสีสัมพันธ์กับปริมาณธาตุที่เกิดขึ้นเป็น Compound Nucleus ในตัวอย่างที่สนใจ เรียกเทคนิคนี้ว่า Prompt Gamma Ray Analysis (PGA) ส่วนเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันจะวัดรังสีแกมมาที่ปล่อยออกมาภายหลัง ทั้งสองเทคนิคนี้ต้องอาศัยนิวตรอนเหนี่ยวนำให้เกิดอันตรกิริยาให้เกิดอันตรกิริยานิวเคลียร์ แต่เทคนิค PGA ต้องวัดรังสีแกมมาพร้อมกับการยิงนิวตรอนบนตัวอย่าง ส่วนเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันจะวัดรังสีแกมมาหลังจากสิ้นสุดขบวนการยิงนิวตรอนหรืออาบนิวตรอนกับตัวอย่าง

ตัวอย่างปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ใช้นิวตรอนเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดรังสีแกมมา ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน เช่น



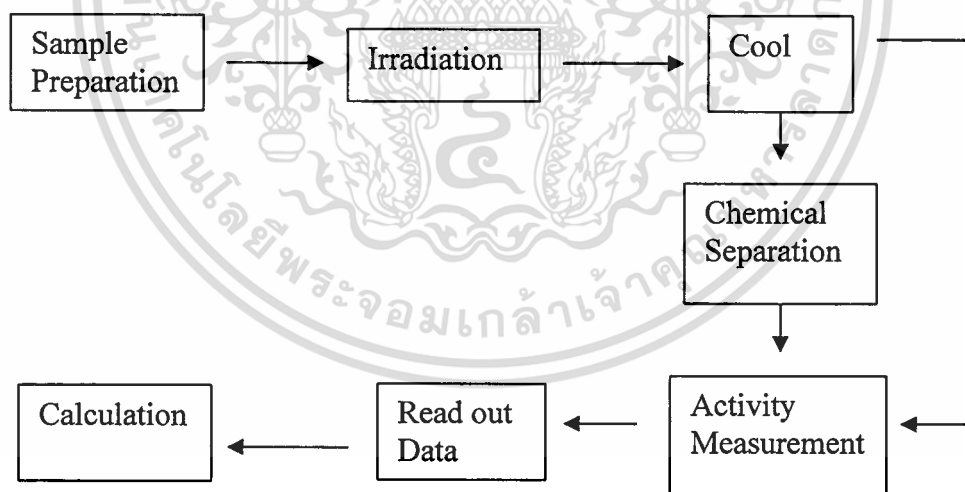
เขียนย่อเป็น ${}^{23}\text{N}(n, \gamma){}^{24}\text{Na}$



เขียนย่อเป็น ${}^{75}\text{As}(n, \gamma){}^{76}\text{As}$

การวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

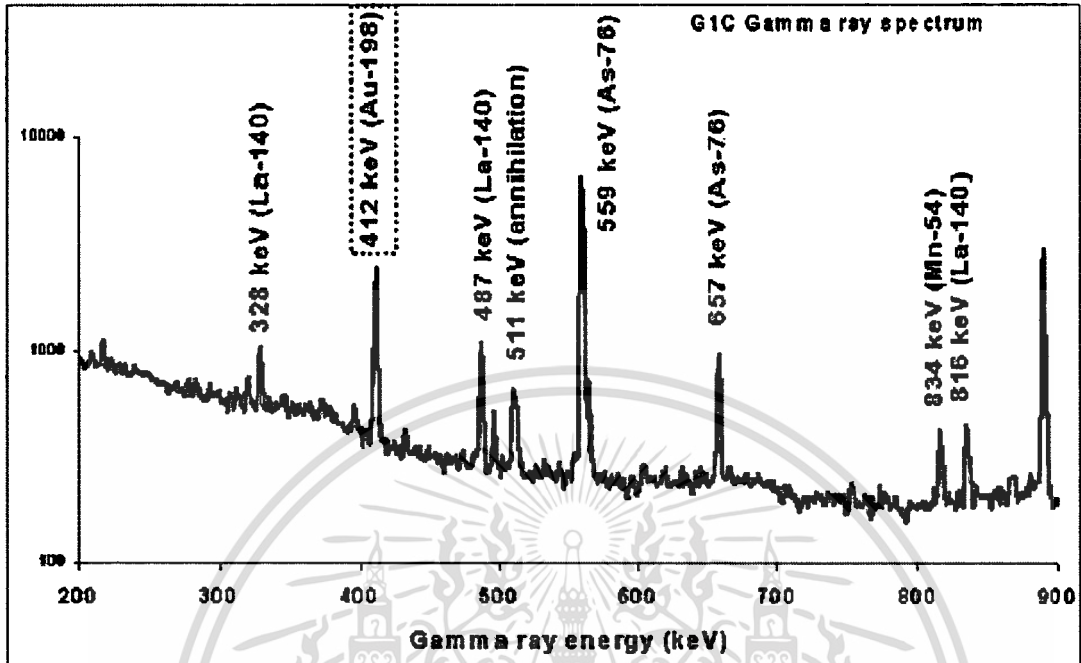
- 1 การวิเคราะห์นิวตรอนแอกติเวชันแบบใช้เครื่องมือ (Instrumental Neutron Activation Analysis, INAA) คือการวิเคราะห์โดยนำตัวอย่างและสารมาตรฐานไปอบนิวตรอนพร้อมกัน และวัดความแรงของรังสีแกมมาของเรดิโอไอโซโทปของธาตุที่ต้องการหาปริมาณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนทางเคมีก่อนหรือหลังอบรังสี
- 2 การวิเคราะห์นิวตรอนแอกติเวชัน โดยผ่านการแยกทางเคมี (Radiochemical Neutron Activation, RNAA) คือ การวิเคราะห์ที่ต้องนำกรรมวิธีทางเคมีมาช่วยแยกธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ออกจากตัวอย่างก่อนหรือหลังอบรังสี เช่น การย่อย การตกตะกอน การแยก โดยผ่านคอลัมน์ เป็นต้น เพื่อแยกเรดิโอไอโซโทปของธาตุอื่นที่รบกวนหรือบดบังสเปกตรัมของธาตุที่สนใจวิเคราะห์ และวัดความแรงรังสีเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน



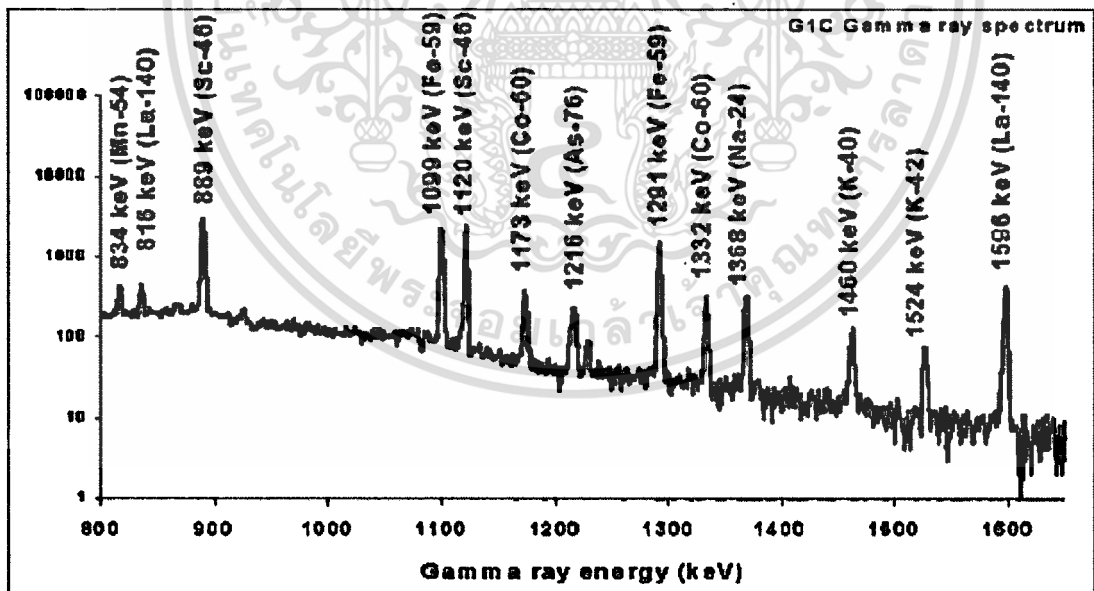
รูปที่ 2.5 แผนภาพขั้นตอนของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NAA

การอบนิวตรอนเป็นวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุในสารตัวอย่างประเภทต่างๆ หลายชนิด โดยมีความถูกต้องและเที่ยงตรงสูง เทคนิคนี้เป็นตัวอย่างที่นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยใช้ประโยชน์ของไอโซโทปรังสี รวมทั้งนำมาใช้ช่วยในการพิสูจน์หลักฐาน วิธีการนี้ใช้หลักการ

ตรวจวัดรังสีแกมมาจากไอโซโทปรังสี ที่มาจากตัวอย่างที่นำไปอบนิวตรอน ซึ่งจะมีพลังงานที่เฉพาะในแต่ละธาตุ ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมและพลังงานของแต่ละธาตุในช่วงพลังงาน 200-900 keV



รูปที่ 2.7 สเปกตรัมและพลังงานของแต่ละธาตุในช่วงพลังงาน 800-1600 keV

สารตัวอย่างที่นำไปอบนิวตรอน จะทำให้ธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่างนั้นกลายเป็นธาตุกัมมันตรังสีอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง การตรวจวัดรังสีที่แผ่ออกมา สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างได้ โดยพลังงานของรังสีจะแสดงชนิดของธาตุ และความเข้มของรังสีจะบอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง เนื่องจากแต่ละธาตุที่ทำปฏิกิริยากับนิวตรอน จะกลายเป็นไอโซโทปรังสีที่มีพลังงานเฉพาะของแต่ละไอโซโทป

การอบนิวตรอนสามารถใช้วิเคราะห์ได้ครั้งละหลายธาตุพร้อมกัน โดยสามารถเลือกปรับพารามิเตอร์การวิเคราะห์ให้เหมาะสมที่สุดกับแต่ละธาตุ โดยที่การวิเคราะห์ชนิดของธาตุได้มากขึ้น ไม่ทำให้ค่าใช้จ่ายหรือกระบวนการวิเคราะห์เพิ่มขึ้น ในการวิเคราะห์โดยการอบนิวตรอน โดยทั่วไป สามารถหาปริมาณธาตุในตัวอย่างทางธรณีวิทยา เนื้อเยื่อของคน สัตว์หรือพืช ได้ประมาณ 40 ชนิด

การอบนิวตรอนสามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อยมาก ๆ ได้ เพราะมีความไวในการวิเคราะห์ (Sensitivity) ดีกว่าวิธีการที่ไม่ใช้นิวเคลียร์เทคนิค โดยอยู่ในระดับของ parts per million (ppm) หรือดีกว่า กระบวนการวิเคราะห์ทำให้สามารถให้ผลที่รวดเร็วกว่าและมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีการที่ไม่ใช้นิวเคลียร์เทคนิค

นอกจากนั้น การอบนิวตรอนยังใช้เป็นวิธีการอ้างอิง (Referee method) ของวิธีการอื่นที่อาจมีการพัฒนากระบวนการขึ้นมาใหม่ หรือให้ค่าตอบที่ไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีความถูกต้องและได้รับความเชื่อถือสูง

การวิเคราะห์โดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ชนิดของธาตุ และปริมาณธาตุในตัวอย่าง โดยการทำให้ไอโซโทปเสถียร กลายเป็นไอโซโทปรังสี ซึ่งจะสลายตัวกลับเป็นไอโซโทปเสถียร โดยการปลดปล่อยรังสีที่มีพลังงานจำเพาะของแต่ละไอโซโทปออกมา

ตัวอย่างที่อบนิวตรอน (Neutron irradiation) จะทำให้นิวเคลียสของธาตุในตัวอย่างดูดกลืนนิวตรอน แล้วกลายเป็นสารกัมมันตรังสี เรียกว่า นิวไคลด์รังสี (radionuclide) หรือไอโซโทปรังสี (radioisotope) ซึ่งมีการสลายตัว โดยปลดปล่อยรังสีอัลฟา รังสีบีตา หรือรังสีแกมมา ที่มีพลังงานของรังสี และครึ่งชีวิตของไอโซโทปที่เป็นค่าจำเพาะ

ในการอบนิวตรอน ปฏิกิริยาส่วนใหญ่ เกิดขึ้นระหว่างนิวเคลียสของธาตุ กับนิวตรอนที่มีพลังงานต่ำ หรือเทอร์มัลนิวตรอน (Thermal neutron) เรียกว่า ปฏิกิริยาการจับนิวตรอน (neutron capture gamma ray) ซึ่งนิวเคลียสจะดูดกลืนนิวตรอน แล้วปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา ใช้สัญลักษณ์ของปฏิกิริยาเป็น (n, γ) ตัวอย่างปฏิกิริยาระหว่างอูมิเนียมกับนิวตรอน ได้แก่ ปฏิกิริยา $Al-27(n, \gamma)Al-28$

เมื่อสารตัวอย่างและสารมาตรฐานที่รู้น้ำหนักถูกอบรังสีพร้อมกันแล้ววัดกัมมันตภาพรังสีของสารทั้งสองชนิด ปริมาณธาตุที่ต้องการวิเคราะห์สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.21)

$$\frac{\text{น้ำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักของธาตุในสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ปริมาณรังสีจากธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณรังสีจากธาตุในสารมาตรฐาน}} \quad (2.21)$$

เมื่อนิวตรอนถูกดูดกลืนโดยนิวเคลียสของธาตุอัตราการเกิดไอโซโทปรังสี (Activation rate:A) จะเป็นไปตามสมการ 2.22

$$A = \sigma\phi N \quad (2.22)$$

ขณะที่อานิวตรอนไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้น มีการสลายตัวด้วยคั้งนั้น อัตราการผลิตสุทธิของไอโซโทปรังสี (Production rate) จึงเป็นผลต่างของอัตราการเกิดกับอัตราการสลายตัวตามสมการที่ (2.23)

$$\text{Production rate} = \text{Activation rate} - \text{Decay rate} \quad (2.23)$$

หรือ

$$\frac{dN^*}{dt} = \sigma\phi N - \lambda N^* \quad (2.24)$$

เมื่อ N^* คือ จำนวนอะตอมของไอโซโทปรังสี ณ เวลาหนึ่ง
 λ คือ ค่าคงที่ในการสลายตัวของไอโซโทปรังสี
 N คือ จำนวนอะตอมของสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์
 ϕ คือ ความเข้ม หรือฟลักซ์ของนิวตรอน ($n/cm^2 \cdot sec$)
 σ คือ ภาคตัดขวางของการดูดกลืนนิวตรอน (Neutron absorption cross section)

ถ้าใช้เวลาในการอานิวตรอนด้วยเวลา t_i เมื่อ $t_i = 0$, $N^*(0) = 0$ ทำการอินทิเกรตสมการที่ (2.24) จะได้จำนวนอะตอมของไอโซโทปรังสีดังสมการ 2.25

$$N^*(t_i) = \frac{\sigma\phi N}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (2.25)$$

ดังนั้นเราจะได้

$$A(t_i) = \lambda N^*(t_i) = \sigma\phi N (1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (2.26)$$

ด้านซ้ายมือของสมการที่ (2.26) คือ กัมมันตภาพรังสี (Activity) ของไอโซโทปรังสีที่เวลา t_i ใดๆ ถ้าเวลาผ่านไป t_d ก่อนทำการวัดรังสี ค่ากัมมันตภาพรังสีจะลดลงตามกฎการสลายตัว และมีค่าเป็น

$$\begin{aligned}
 A(t_d) &= A(t_i)e^{-\lambda_d} \\
 A(t_i) &= \sigma\phi N(1 - e^{-\lambda_i})
 \end{aligned}
 \tag{2.27}$$

จากคำจำกัดความของ Avogadro' Number ธาตุมีน้ำหนัก W จะมีจำนวนอะตอมเท่ากับ

$$N = \frac{WN_{av}}{A_w}
 \tag{2.28}$$

เมื่อ	N	คือ	จำนวนอะตอมของธาตุ
	W	คือ	น้ำหนักของธาตุ
	N_{av}	คือ	Avogadro' number (6.02×10^{23} อะตอม/โมล)
	A_w	คือ	น้ำหนักอะตอมของธาตุ

ประสิทธิภาพสัมบูรณ์โฟโตพีค (Absolute Photopeak Efficiency: ε) ของหัววัดรังสีมีค่าเท่ากับ

$$\varepsilon = \frac{R}{A(t)I_r}
 \tag{2.29}$$

เมื่อ	R	คือ	อัตราการนับของรังสีแกมมาที่พลังงาน E
	$A(t)$	คือ	ค่ากัมมันตภาพของต้นกำเนิดรังสี
	I_r	คือ	ความเข้มสัมบูรณ์ของรังสีแกมมาที่พลังงาน E

จากสมการ 2.27, 2.28, 2.29 อัตราการนับของรังสีแกมมาที่พลังงาน E จะมีค่าเป็น

$$R = \varepsilon I_r \frac{WN_{av}}{A_w} \sigma\phi(1 - e^{-\lambda_i})e^{-\lambda_d}
 \tag{2.30}$$

2.4.3.3 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาว่าธาตุที่มีในสารตัวอย่างประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง โดยนำสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ไปอบนิวตรอน ไอโซโทปเสถียรในสารตัวอย่างจะดูดกลืนนิวตรอนกลายเป็นไอโซโทปรังสี แล้ววัดหาค่าพลังงานของรังสีที่ปล่อยออกมาและอายุครึ่งชีวิตด้วยระบบการนับวัดรังสีที่เหมาะสม จะสามารถหาชนิดของธาตุที่มีอยู่สารตัวอย่าง โดยการเปรียบเทียบ ค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่วัดได้กับค่าในฐานข้อมูลมาตรฐาน (Gamma Ray Catalogue) ก็จะสามารถหาชนิดของธาตุ ที่มีอยู่สารตัวอย่างได้

2.4.3.4 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)

การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง วิธีการที่นิยมใช้ ได้แก่วิธีการเปรียบเทียบ (Comparative Method) กับสารมาตรฐานซึ่งรู้ปริมาณที่แน่นอนของธาตุองค์ประกอบ โดยการนำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานไปอาบนิวตรอนพร้อมกันด้วยเวลา t โดยมีเงื่อนไขของสถานะเวลาและตำแหน่งที่เหมือนกันทุกอย่าง แล้วนำไปวัดหาปริมาณรังสีแกมมาที่ถูกลบย่อยออก

ถ้าให้ X และ S แทนสารตัวอย่างและสารมาตรฐานตามลำดับ จากสมการที่ (2.30) อัตรานับของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานจะมีค่าตามสมการ 2.31 กับ 2.32 ตามลำดับ

$$R_X = \epsilon I_r \frac{W_x N_{av}}{A_w} \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_{d1}} \quad (2.31)$$

$$R_S = \epsilon I_r \frac{W_s N_{av}}{A_w} \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_{d2}} \quad (2.32)$$

โดย t_{d1} และ t_{d2} เป็นเวลาที่ผ่านไปก่อนไอโซโทปรังสีของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานตามลำดับ จะถูกตรวจนับปริมาณรังสีแกมมา เมื่อหารสมการที่ (2.31) ด้วยสมการที่ (2.32) จะได้อัตราส่วนของธาตุในสารตัวอย่างเป็น

$$W_X = \frac{W_s R_x e^{-\lambda t_{d2}}}{R_s e^{-\lambda t_{d1}}} \quad (2.33)$$

ถ้า $t_{d2} - t_{d1} \ll$ อายุครึ่งชีวิตของไอโซโทปรังสีที่วัด

ดังนั้น

$$e^{-\lambda t_{d2}} \cong e^{-\lambda t_{d1}}$$

$$W_X = \frac{W_s R_x}{R_s} \quad (2.34)$$

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบ “Gent” Stacked Filter Unit (SFU) แบบ Low Volume Air Sample ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นในอากาศ โดยมีการเก็บฝุ่นได้สองขนาด คือ $PM_{2.5-10}$ และ $PM_{2.5}$
2. กระดาษกรอง Nuclepore ดังรูปที่ 3.1 สองขนาด คือ $8 \mu m$ และ $0.4 \mu m$
3. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 mg



รูปที่ 3.1 กระดาษกรอง Nuclepore

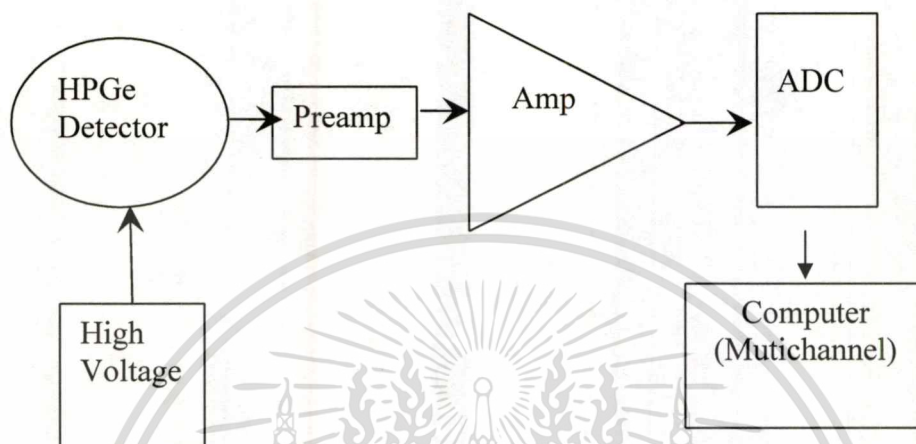
3.1.2 อุปกรณ์ในการวัดรังสี

ระบบตรวจวัดรังสีแกมมา (γ - ray detectors) เป็นระบบที่ใช้หัววัดชนิดสารกึ่งตัวนำ (semiconductor detector) ใช้ในการวัดรังสีแกมมา ทำจากเจอร์เมเนียมที่มีความบริสุทธิ์สูง (high purity germanium) ใช้วัดรังสีในช่วงพลังงานตั้งแต่ 3 keV ถึง 10 MeV โดยมีใน โตรเจนเหลวเป็นตัวหล่อเย็น ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

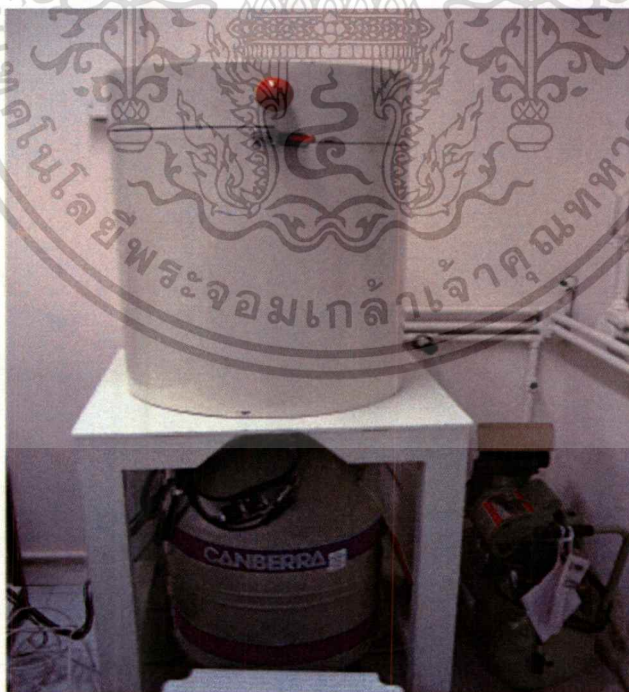
- 1 หัววัดรังสีแกมมา
- 2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าศักย์สูง (High Voltage Power Supply) ที่มีความต่างศักย์ 800 V ต่อเข้ากับระบบตรวจวัดรังสีแกมมา
- 3 ตัวขยายสัญญาณเบื้องต้น (Preamplifier: Preamp)
- 4 ตัวขยายสัญญาณอีกชั้นหนึ่ง (Amplifier: Amp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5 ตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล(Analog to Digital Converter : ADC)
- 6 เครื่องวัดสัญญาณแบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer : MCA) ปัจจุบันจะมีลักษณะเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปรวมกับแผ่นการ์ด โดยต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้งานวิเคราะห์รังสีสะดวก ง่าย และรวดเร็ว กว่าแต่ก่อน



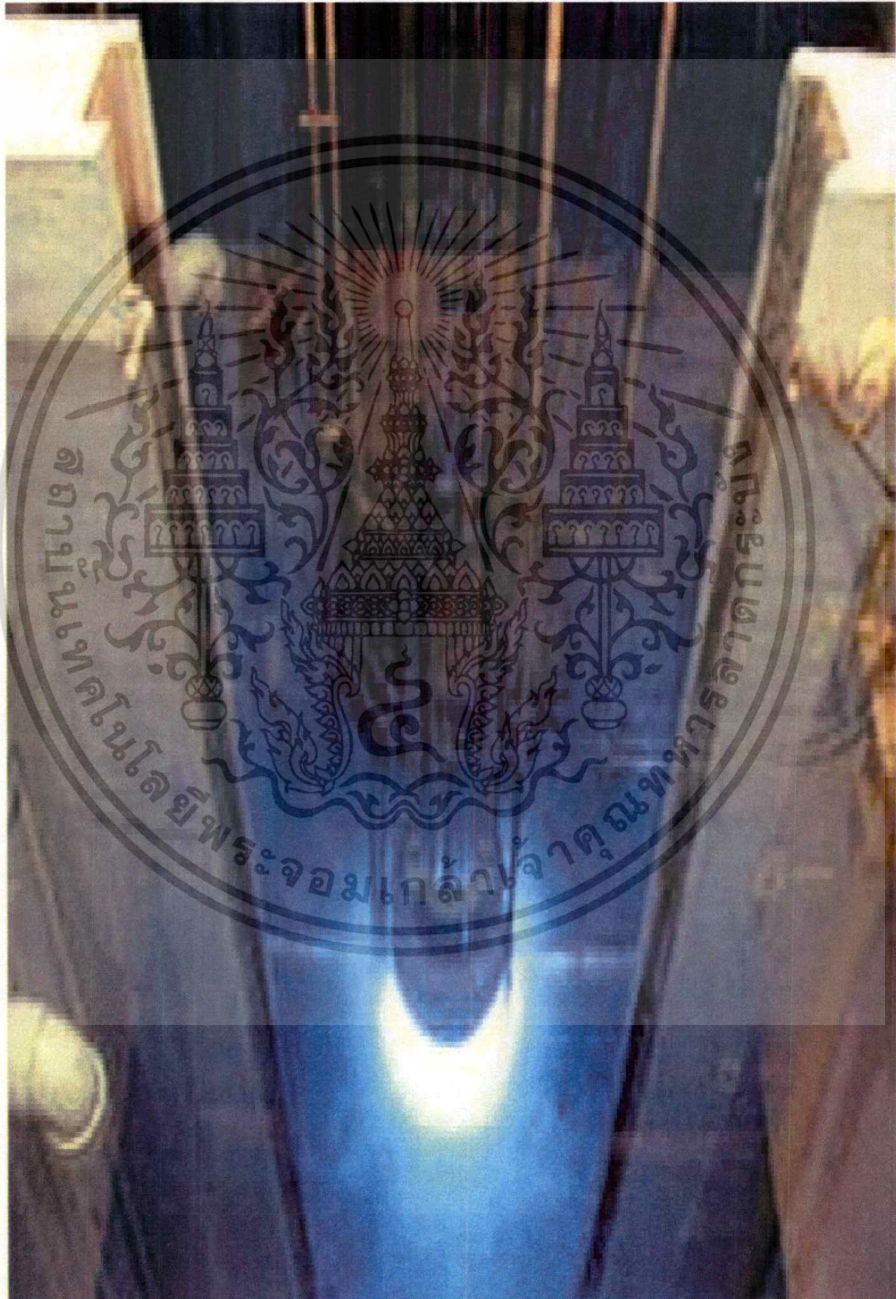
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องวัดรังสีแกมมา



รูปที่ 3.3 หัววัดรังสีแกมมาแบบ เจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7 Vial ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm สูง 1 cm เพื่อใช้บรรจุกระดาษกรองที่นำไปเก็บฝุ่นแล้วไปอบนิวตรอน และ เปลี่ยนถ่ายใส่ vial ตัวใหม่เพื่อนำไปวัดรังสี
- 8 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 1 μg
- 9 เครื่อง Smoke stain reflectometer สำหรับวัด Black carbon
- 10 ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ใช้สำหรับอบนิวตรอนในการทดลองนี้ได้จากการเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเพื่อการวิจัย ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กำลัง 2 MWขณะเดินเครื่อง

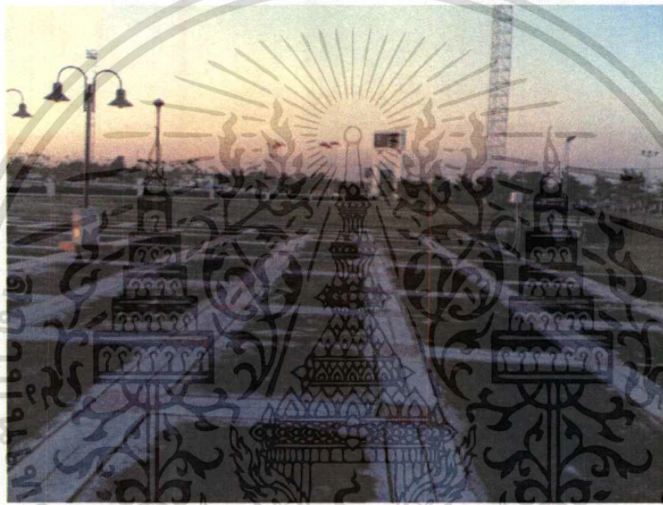


รูปที่ 3.4 แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การเลือกสถานที่ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ

ในการวิจัยนี้เป็นการเก็บอากาศสองแห่งที่ใกล้กับสนามบินสุวรรณภูมิดังรูปที่ 3.5 คือ บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ภายในสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นบริเวณที่น่าจะได้รับผลกระทบจากการจราจรทางอากาศมากที่สุด จำเป็นต้องใช้ที่โล่งไม่มีอาคารบดบังและควรมีไฟฟ้าเข้าถึงดังนั้นจึงได้เลือก บริเวณสนามฟุตบอลของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังดังรูปที่ 3.6 และ บริเวณกรมอุตุนิยมวิทยาภายในสนามบินสุวรรณภูมิ ดังรูปที่ 3.7 เป็นที่เก็บอากาศ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณฝุ่น เนื่องจากในตอนแรกมีเครื่องเก็บอากาศเพียงเครื่องเดียวจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังก่อน 1 เดือนจากนั้นจึงได้เริ่มเก็บอากาศบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ



รูปที่ 3.6 สนามฟุตบอลของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 3.7 บริเวณกรมอุตุนิยมวิทยาภายในสนามบินสุวรรณภูมิ

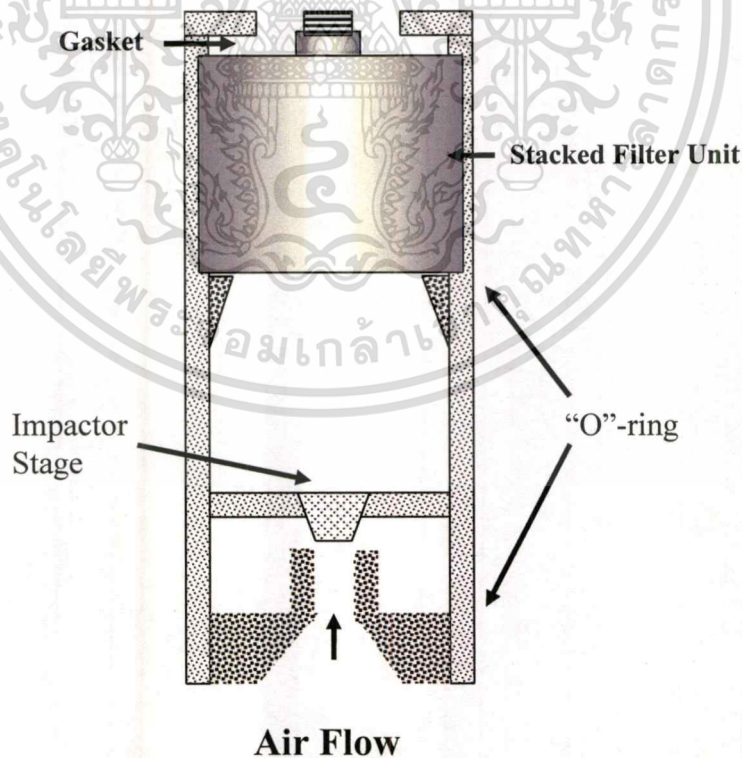
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเก็บอากาศ

การเก็บอากาศเป็นการเก็บอากาศโดยดูดอากาศผ่านกระดาษกรองสองขนาด คือ $8 \mu\text{m}$ และ $0.4 \mu\text{m}$ โดยกระดาษกรองขนาด $8 \mu\text{m}$ จะเก็บฝุ่นหยาบ ส่วนกระดาษกรองขนาด $0.4 \mu\text{m}$ จะเก็บฝุ่นละเอียด

วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองอากาศใช้หลักการ Virtual impactor ซึ่งสามารถแยกอนุภาคออกเป็นสองช่วง คือฝุ่นละเอียด (Fine particle) คือฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า $2.5 \mu\text{m}$ และฝุ่นหยาบ (Coarse particle) คือฝุ่นที่มีขนาดอยู่ในช่วง $2.5-10 \mu\text{m}$ โดยอาศัยคุณสมบัติความแตกต่าง ในด้านมวล ขนาด และแรงเฉื่อยของอนุภาคโดยใช้อัตราการไหลของอากาศที่ 18 ลิตรต่อนาที

อากาศที่อยู่โดยรอบ (Ambient air Flow) จะถูกดูดผ่านเข้าไปในเครื่องโดยผ่านการทำงานของปั๊มดูดอากาศ ฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนจะถูกแยกออกจากตัวอย่างอากาศโดยอาศัยความเฉื่อยของอนุภาคภายใน Inlet head ดังรูปที่ 3.8 จากนั้นฝุ่นละอองที่มีขนาด $2.5-10 \mu\text{m}$ จะติดอยู่ที่กระดาษกรองขนาด $8 \mu\text{m}$ และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า $2.5 \mu\text{m}$ จะติดอยู่ที่กระดาษกรอง $0.4 \mu\text{m}$ ตามกลไกของเครื่องมือซึ่งผ่านการตรวจสอบมาแล้ว [10]



รูปที่ 3.8 การแยกขนาดฝุ่นละอองโดย Inlet head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1 การเตรียมกระดาษกรองเพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นในอากาศ

1. กำหนดหมายเลขกระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างโดยหมายเลขกำหนดจากสถานที่เก็บตัวอย่าง, ขนาดตัวอย่าง, ปีที่เก็บ, เดือนที่เก็บ และ ครั้งที่เก็บตัวอย่าง เช่น เก็บตัวอย่างฝุ่นหยาบที่สุวรรณภูมิเดือนพฤศจิกายนปี 2006 ตัวแรกรหัสจะได้เป็น SC06111 เป็นต้น
2. นำกระดาษกรองที่เตรียมไว้ใส่ในตู้ดูดความชื้น (desiccators) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำการดูดความชื้นจากกระดาษกรองให้หมดทำให้ได้น้ำหนักกระดาษกรองที่ถูกต้อง
3. นำกระดาษกรองออกจากตู้ดูดความชื้น ไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียด 0.01 mg บันทึกพร้อมทั้งน้ำหนักของกระดาษกรองไว้

3.2.2.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นในอากาศโดยใช้เครื่องเก็บอากาศ Gent® Stacked Filter Unit

1. นำกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักแล้ว ไปประกอบเข้ากับกล่องเก็บอากาศโดยจะใส่กระดาษกรองขนาด 0.8 μm อยู่ด้านบน และ 0.4 μm อยู่ด้านล่างและนำกล่องเก็บอากาศไปประกอบเข้ากับเครื่องเก็บอากาศเครื่องจะเดินเครื่องเพื่อเก็บอากาศที่อัตราการไหลของอากาศ (Flow rate) 18 ลิตรต่ออนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยตั้งเวลาการเก็บอัตโนมัติเริ่มเก็บเวลา 9.00 น. และสิ้นสุดเวลา 9.00 น. ของอีกวัน โดยเก็บอาทิตย์ละสองครั้ง (ปกติคือ วันพุธ และ วันอาทิตย์)
2. นำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างแล้วไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น (desiccators) เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. นำกระดาษกรองออกจากตู้ดูดความชื้น (desiccators) ไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียด 0.01 mg บันทึกน้ำหนักของกระดาษกรองไว้เพื่อหาน้ำหนักฝุ่นโดยประมาณ

3.2.3 การวัดค่าปริมาณ Black Carbon (BC)

การตรวจสอบหาปริมาณ Black Carbon มีความสำคัญในการตรวจสอบหาคุณภาพอากาศ เนื่องจากปริมาณ Black Carbon เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในฝุ่นละอองอากาศขนาดเล็ก และมีแหล่งกำเนิด มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์ อยู่ในรูปของของแข็งขนาดเล็ก สีดำ หรือที่รู้จักกันดีคือ เขม่าควัน หรือ ควันดำนั่นเอง

การหาปริมาณ Black Carbon ในฝุ่นอากาศที่เก็บ สามารถกระทำได้โดยทำการวัดค่า % reflectance ของตัวอย่างฝุ่นอากาศบนกระดาษกรอง โดยใช้เครื่อง smoke stain reflectometer ซึ่ง

หลักการคือการวัดค่าสะท้อนจากการสะท้อนจากกระดาศที่มีฝุ่นละอองอากาศเกาะอยู่ จากนั้นจะนำไปคำนวณหาค่าปริมาณ Black Carbon โดยใช้สูตรตามสมการที่ (3.1)

$$BC = [\{1,000 \log(R_0/R) + 2.39398\}/45.7985]A/V \quad (3.1)$$

เมื่อ R_0 คือ reflectance จากกระดาศกรองเปล่า
 R คือ reflectance จากกระดาศกรองที่มีตัวอย่างอากาศ
 A คือ พื้นที่ของตัวอย่างที่ดูดซับบนกระดาศกรอง (cm^2)
 V คือ ปริมาณของอากาศที่เก็บ

3.2.4 การวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างฝุ่นในอากาศด้วยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน (NAA)

การวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชัน (Neutron Activation analysis) เป็นการวิเคราะห์ธาตุโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในนิวเคลียส (nuclear transformation) โดยการยิงอนุภาคต่างๆ เข้าไปในนิวเคลียส แต่ในการวิจัยครั้งนี้ใช้อนุภาคนิวตรอน จะเกิดอันตรกิริยารังสีต่างๆ (interaction) สารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจะมีคุณสมบัติพิเศษคือ อยู่ในสถานะไม่เสถียร จะสลายตัวให้รังสี หรืออนุภาคต่างๆ เช่น รังสีแกมมา แอลฟา หรือ เบต้า ออกมา ซึ่งเราเลือกที่จะวัดรังสีแกมมาที่ออกมา

3.2.4.1 การปรับเทียบพลังงาน

การปรับเทียบพลังงาน (Energy calibration) เนื่องจากภาคขยายสามารถที่จะปรับกำลังขยายได้ ทำให้สัญญาณขาออกที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไป แม้ว่าสัญญาณเข้าจะมีค่าคงที่ ผลที่เกิดขึ้นคือตำแหน่งของยอด (peak) บนจอภาพจะเปลี่ยนไป ดังนั้นในการใช้งานของระบบวัดรังสีแกมมา จึงจำเป็นต้องมีการปรับเทียบค่าพลังงาน ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของยอดของสเปกตรัมและค่าพลังงานของรังสีแกมมา ต้องทำการปรับเทียบก่อนทำการวัดเสมอ

โดยวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน ที่ทราบค่าพลังงานแน่นอน แล้วทำการปรับเทียบระหว่างตำแหน่งยอดและค่าพลังงาน การเลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีต้องให้ครอบคลุมค่าพลังงานที่ต้องการวัด

ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน เพื่อช่วยในการปรับเทียบพลังงานคือ โคบอลต์-60 (Cobalt; $^{60}_{27}\text{Co}$) แมงกานีส-54 (Manganese; $^{54}_{25}\text{Mn}$) และ โซเดียม-22 (Sodium ; $^{22}_{11}\text{Na}$) ซึ่งทั้งสามตัวนี้ให้สเปกตรัมของพลังงานที่มีตำแหน่งยอดอยู่ที่ 1173.23 keV และ 1332.52 keV สำหรับ Co-60 834.81 สำหรับ Mn-24 และ 1274.54 keV สำหรับ Na-22 ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ใช้ในการเปรียบเทียบพลังงาน

ที่มา	พลังงาน(keV)
Co-60	1173.23
	1332.52
Mn-54	834.81
Na-22	1274.54

3.2.4.2 การเตรียมสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน

1. เตรียม Vial ไว้สองชุด เขียนชื่อสารตัวอย่างและสารมาตรฐานที่จะใช้ไว้ที่ Vial ดังรูปที่ 3.9 เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
2. ทำการชั่งน้ำหนัก Vial ทั้งสองชุดพร้อมจذبันทีก
3. ตักสารมาตรฐานใส่ใน Vial ชุดที่ 1 ประมาณ 5 mg แล้วชั่งน้ำหนักพร้อมจذبันทีก
4. นำ Vial ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารมาตรฐานใส่ลงในภาชนะที่เหมาะสมเพื่อนำไปอบรังสีนิวตรอน



รูปที่ 3.9 Vial และ rabbit ขนาดต่างๆที่ใช้บรรจุ กระดาษกรองที่นำก่อนนำไปอบนิวตรอน

สารมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ได้แก่ Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and Other Constituents (Pacs), Trace Element in Marine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sediments (SDM), Sediments (SDN), Urban Particulate Matter(1648), Trace

Element in Coal (1632c), Major and Trace Elements in Coal Fly Ash (ECH), Trace

Elements in Soil (Soil), Bovine Liver (1577b)

3.2.4.3 การอำนวยการนิวตรอนและการวิเคราะห์แกมมาสเปกตรัม

ในการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจะทำการวิเคราะห์ความแรงรังสีของสารตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน โดยความแรงรังสีจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารตัวอย่างและ สารมาตรฐาน โดยจะทำการแบ่ง ธาตุออกเป็นสามกลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น (Short half – life) กลุ่มธาตุที่มีครึ่งชีวิตปานกลาง (Medium half-life) กลุ่มธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว (Long half-life)

ตารางที่ 3.2 ไอโซโทปและพลังงานของรังสีแกมมาที่พบในฝุ่นละอองตัวอย่าง

ธาตุ	ไอโซโทป	ค่าครึ่งชีวิต	พลังงานรังสีแกมมาที่ปล่อยออกมา (keV)
Al	²⁸ Al	2.24 min	1779
As	⁷⁶ As	26.3 h	559.1, 563, 657, 1216
Br	⁸² Br	35.3 h	618, 698, 776, 827
Ca	⁴⁹ Ca	8.7 min	3084
Cl	³⁸ Cl	37.3 min	1642, 2167
Fe	⁵⁹ Fe	44.5 d	1099,1293
K	⁴² K	12.36 h	1525
La	¹⁴⁰ La	40.23 h	329, 1596
Mg	²⁷ Mg	9.45 min	844, 1014
Mn	⁵⁶ Mn	2.58 min	847,1810
Na	²⁴ Na	15 h	1369, 2754
Sb	¹²⁴ Sb	60.2 d	1691
Sc	⁴⁶ Sc	83.8 d	889, 1120
Se	⁷⁵ Se	119.8 d	136.0, 264.7, 400.7
Th	²³³ Th	27 d	300, 312
Ti	⁵¹ Ti	5.8 min	320
V	⁵² V	3.76 min	1434
Zn	⁶⁵ Zn	243.8 d	1114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงเวลาในการอบรังสีนิวตรอนและเวลาในการวัดรังสีแกมมา

ไอโซโทปรังสี	เวลาในการอบรังสีนิวตรอน	เวลาในการสลายตัว	เวลาในการวัดรังสีแกมมา	ธาตุที่พบ
ค่าครึ่งชีวิตสั้น	1 นาที	5 นาที	5 นาที	Al, Br, Ca, Cl, Mg, Mn, Ti
ค่าครึ่งชีวิตปานกลาง	3 วัน	3 วัน	30 นาที	As, K, La, Na, Sb, Sm
ค่าครึ่งชีวิตยาว		14 วัน	60 นาที	Fe, Th, Sc, Se, Zn

1) การเลือกเงื่อนไขเวลาในการอบรังสี

การเลือกเวลาในการอบรังสีสารตัวอย่างนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุที่จะทำการวิเคราะห์ว่าเป็นธาตุที่จะก่อให้เกิดกัมมันตภาพรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น (Short half - life) ปานกลาง (Medium half - life) หรือ ยาว (Long half - life) ให้ได้กัมมันตภาพพอจะวัดได้อย่างถูกต้อง ถ้าใช้เวลาอบรังสีนาน ปริมาณของกัมมันตภาพก็จะได้มากขึ้น ถ้าใช้เวลาอบน้อย กัมมันตภาพรังสีจะได้น้อยลง ซึ่งโดยทั่วไปประมาณสามเท่าของค่าครึ่งชีวิตของธาตุดังตารางที่ 3.2 และ ไอโซโทปของธาตุที่พบแสดงในตารางที่ 3.3

2) การวิเคราะห์ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น

- นำ Vial ที่บรรจุกระดาษกรองและสารมาตรฐานแล้ว บรรจุลงกระบอกที่ทำจากโพตีเอทีลิน (Rabbit) อย่างละตัว
- ทำการอบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยซึ่งมีความเข้มนิวตรอน 10^{11} นิวตรอน ต่อ ตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 1 นาที โดยใช้ท่อลม
- เปลี่ยนถ่ายใส่ Vial ที่เตรียมไว้
- ทิ้งให้สลายตัว 5 นาทีเพื่อลดเปอร์เซ็นต์ dead time
- นำไปทำการวัดวัดรังสีแกมมาด้วยระบบตรวจวัดรังสีเป็นเวลา 5 นาที พร้อมจดบันทึก
- นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

3) การวิเคราะห์ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตปานกลาง

- นำ Vial ที่บรรจุกระดาษกรองและสารมาตรฐานแล้ว บรรจุลง กระบอกที่ทำจากโพตีเอทีลิน 27 ตัวโดยจะสลับแถวกันระหว่างสารตัวอย่าง และสารมาตรฐานดัง
- ทำการอบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยซึ่งมีความเข้มนิวตรอน 10^{11} นิวตรอน ต่อ ตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 3 วันเพื่อให้ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้นหมดไป

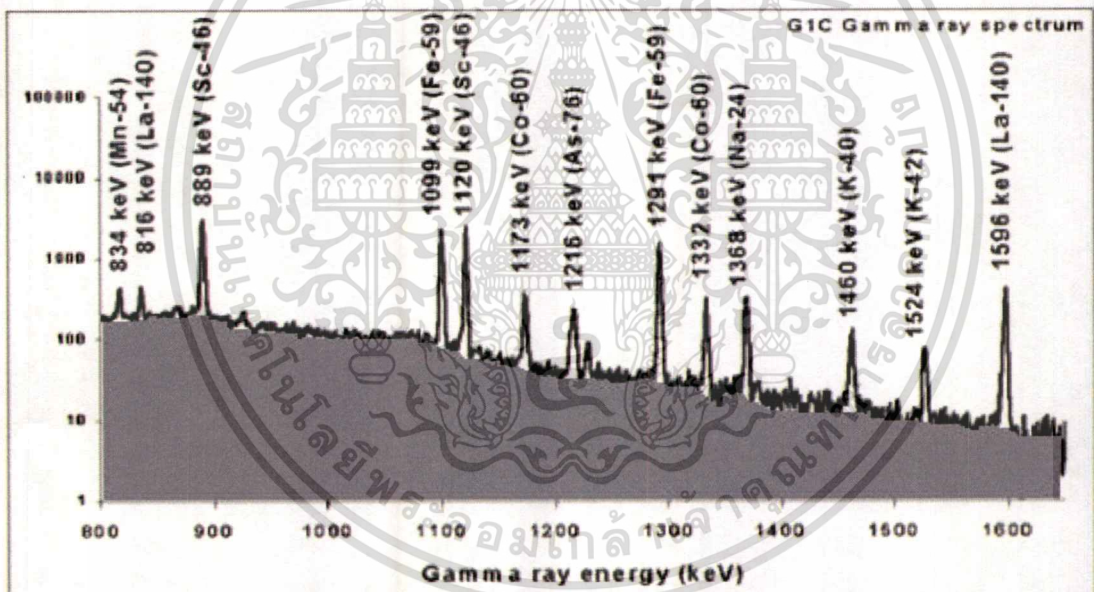
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3 เปลี่ยนถ่ายใส่ Vial ที่เตรียมไว้
- 4 วัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 30 นาที พร้อมจดบันทึก
- 5 นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

4) การวิเคราะห์ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว

1. หลังจากทำการวัดธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตปานกลางแล้วจะทิ้งตัวอย่างและ Standard ไว้ให้สลายตัว 7 วันเพื่อให้ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตปานกลางหมดไป
2. นำเข้าห้วัดทำการวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 60 นาที พร้อมจดบันทึก
3. นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

หลังจากทำการวัดรังสีทั้งหมดแล้วระบบวัดปริมาณรังสีจะทำการวิเคราะห์รังสีออกมาเป็นสเปกตรัมดังรูปที่ 3.10 และตารางที่ 3.2 ส่วนที่เป็นสีเทาจะแสดงส่วนของรังสีที่มีอยู่แล้ว Black ground



รูปที่ 3.10 สเปกตรัมของธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว และปานกลางที่ได้จากระบบวัดรังสีแกมมา

3.2.4.4 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง

การคำนวณหาปริมาณธาตุ Al ในตัวอย่างในฝุ่นหยาบบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 29 ตุลาคม 2549 โดยเทียบกับสารมาตรฐานคือ Pacs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การหาพื้นที่ใต้กราฟ

พื้นที่สุทธิ (Net area) ใต้กราฟคำนวณได้จากพื้นที่ทั้งหมด (Gross area) ลบพื้นที่ฐาน (Back ground area) ดังสมการที่ 3.2

$$A_n = A_g - A_b \quad (3.2)$$

โดยที่

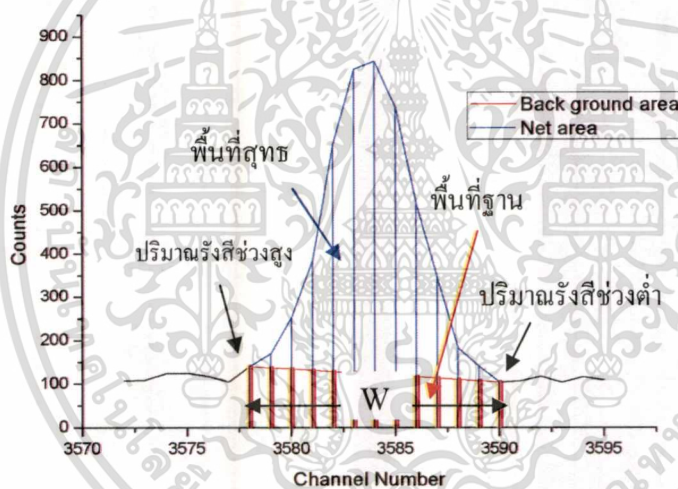
A_n คือ พื้นที่สุทธิ

A_g คือ พื้นที่ทั้งหมด

A_b คือ พื้นที่ฐาน

พื้นที่ทั้งหมดหาได้จากผลรวมของปริมาณรังสีในช่วงที่เลือกดังสมการที่ 3.3

$$A_g = \sum_{i=l}^h C_i \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.11 พื้นที่ฐานและพื้นที่สุทธิของสเปกตรัมรังสีแกมมา

โดยที่

C_i คือ ปริมาณรังสีที่ช่อง i

h คือ ช่องของปริมาณรังสีในช่วงสูงของฐาน

l คือ ช่องปริมาณรังสีในช่วงต่ำของฐาน

พื้นที่ฐานมีค่าเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูในช่วงที่เลือกดังสมการที่ 3.4

$$A_b = \frac{B_l + B_h}{2} \times W \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- C_i คือ ปริมาณรังสีที่ช่อง i
 B_h คือ ปริมาณรังสีในช่วงสูงของฐาน
 B_l คือ ปริมาณรังสีในช่วงต่ำของฐาน
 W คือ ความหนาของฐาน

เมื่อแทนค่าสมการที่ (3.2) และ (3.3) ลงในสมการจะได้พื้นที่สุทธิดังสมการที่ 3.5

$$A_n = \sum_{i=1}^h C_i - \left(\frac{B_l + B_h}{2} \times W \right) \quad (3.5)$$

2) การหาปริมาณรังสีเริ่มต้น

ปริมาณรังสีที่สามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟตามสมการที่ 3.6

$$A = \frac{A_n}{\text{Efficiency}} \quad (3.6)$$

ปริมาณรังสีหาได้ตามสมการที่ (3.7)

$$A = A_0 e^{-\lambda t_d} \quad (3.7)$$

แทนค่า A จากสมการที่ 3.7 ลงในสมการที่ 3.6 สามารถคำนวณหาปริมาณรังสีเริ่มต้นได้ตามสมการที่ 3.8

$$A_0 = \frac{A_n}{\text{Efficiency} \times e^{-\lambda t_d}} \quad (3.8)$$

ค่า λ สามารถหาได้จากค่าครึ่งชีวิตดังสมการที่ 3.9

$$\lambda = 0.693 / t_{1/2} \quad (3.9)$$

แทนค่าสมการที่ 3.9 ลงในสมการที่ 3.8 จะได้ปริมาณรังสีเริ่มต้นดังสมการที่ 3.10

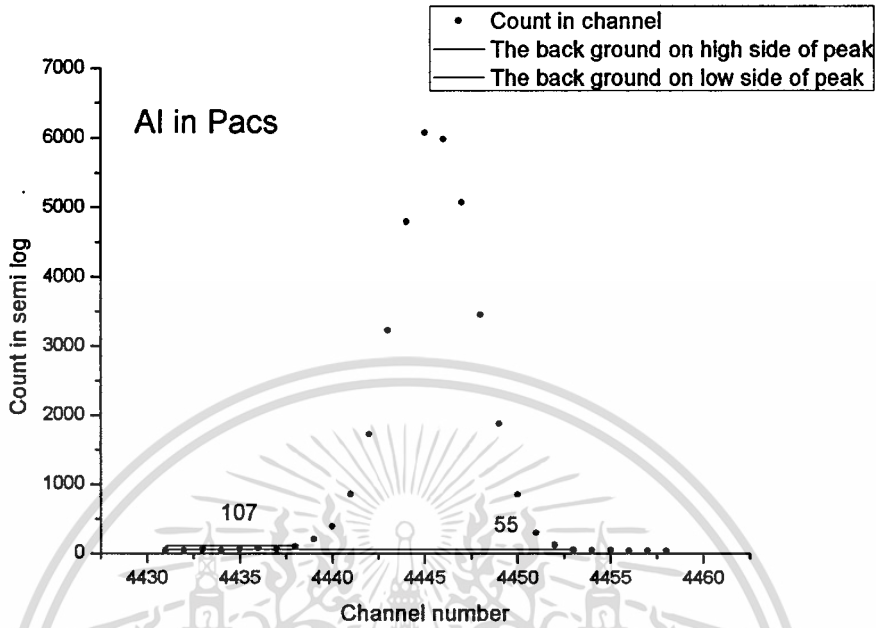
$$A_0 = \frac{A_n}{\text{Efficiency} \times e^{-(0.693/t_{1/2})t_d}} \quad (3.10)$$

โดยที่

- A_0 คือ ปริมาณรังสีเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- A คือ ปริมาณรังสีที่วัดได้
 $t_{1/2}$ คือ ค่าครึ่งชีวิตของแต่ละธาตุ
 t_d คือ เวลาที่ใช้ในการสลายตัว



รูปที่ 3.12 สเปกตรัมของ Al ในสารมาตรฐานมาตรฐาน pacs

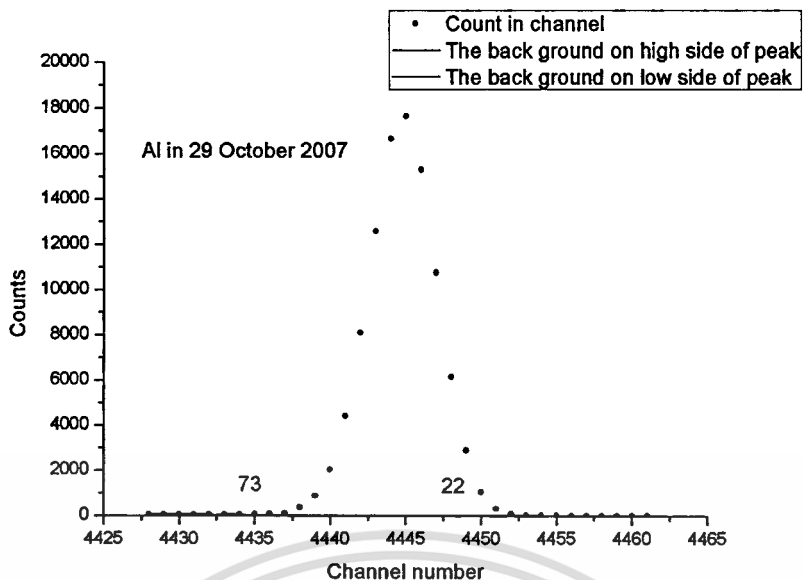
การคำนวณหาปริมาณรังสีของ Al ในสารมาตรฐาน pacs ที่มีสเปกตรัมดังรูปที่ 3.13 หาได้ โดยการแทนค่าข้อมูลในสมการที่ 3.5 จะค่าพื้นที่ใต้กราฟดังตามสมการ 3.11

$$A_n = \sum_{i=4438}^{4453} C_i - \left(\frac{55 + 58}{2} \times (4453 - 4437 + 1) \right) \quad (3.11)$$

Al มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 2.2406 นาทีและจากสมการที่ 3.11 จะได้ พื้นที่สุทธิของสเปกตรัมของ Al เท่ากับ $35155 - 960.5 = 34194.5$ เนื่องจาก pacs ได้ทิ้งให้สลายตัวเป็นเวลา 10.5 นาที แทนค่าทั้งหมดลงในสมการที่ 3.10 จะได้ค่าปริมาณรังสีเริ่มต้นดังสมการที่ 3.12

$$A_{0(\text{std})} = \frac{A_n}{\text{Efficiency} \times e^{-(0.693/2.2406) \times 10.5}} = \frac{880255.58}{\text{Efficiency}} \quad (3.12)$$

ค่าความเข้มข้นของ Al ในสารมาตรฐานมีค่าเท่ากับ



รูปที่ 3.13 สเปกตรัมของ AI จากสารตัวอย่างในฝุ่นหยาบบริเวณลาดกระบังวันที่ 29 ตุลาคม 2549

3) การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง

การคำนวณหาปริมาณรังสีของ AI จากสารตัวอย่างในฝุ่นหยาบบริเวณลาดกระบังวันที่ 29 ตุลาคม 2549 มีปริมาตรที่เก็บได้ 19 m^3 และมีสเปกตรัมดังรูปที่ 3.14 สามารถหาปริมาณ AI ได้โดยการแทนค่าข้อมูลในสมการที่ (3.5) จะได้ค่าพื้นที่ใต้กราฟดังตามสมการ (3.13)

$$A_n = \sum_{i=4435}^{4454} C_i - \left(\frac{98+114}{2} \times (4452 - 4437 + 1) \right) \quad (3.13)$$

AI มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 2.2406 นาทีและจากสมการที่ 3.13 จะได้ พื้นที่สุทธิของสเปกตรัมของ AI เท่ากับ $99626 - 950 = 98676$ เนื่องจากสารตัวอย่างได้ทิ้งให้สลายตัวเป็นเวลา 5 นาที แทนค่าทั้งหมดลงในสมการที่ (3.10) จะได้ค่าปริมาณรังสีเริ่มต้นดังสมการที่ 3.14

$$A_{0(s)} = \frac{A_n}{\text{Efficiency} \times e^{-(0.693/2.2406)5}} = \frac{458886.18}{\text{Efficiency}} \quad (3.14)$$

AI ใน pacs มีความเข้มข้น 64727 mg/Kg เราใช้ pacs 5.923 mg เราจะสามารถคำนวณปริมาณ AI ในสารมาตรฐานดังสมการ 3.15

$$A_{std} = \frac{64727 \times 5.932 \times 10^{-6}}{10^3} = 383.37 \mu\text{g} \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะสามารถหาปริมาณ AI ในสารมาตรฐานได้ดังสมการ

$$AI_s = \frac{AI_{std} \times A_{0(s)}}{A_{0(std)}} = \frac{383.37 \times 458886.18 / Efficiency}{880255.58 / Efficiency} = 199.85 \mu g \quad (3.16)$$

เราจะได้ความเข้มข้นของ AI เท่ากับปริมาณ AI_s หารด้วยปริมาตรที่เก็บตัวอย่างได้ดัง

สมการ 3.17

$$\text{Concentration AI} = 199.85/19 = 10.51 \mu g = 10510 \text{ ng} \quad (3.17)$$

โดยที่

- AI_s คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง
 AI_{std} คือ น้ำหนักของสารมาตรฐาน
 $A_{0(s)}$ คือ ปริมาณรังสีเริ่มต้นของสารตัวอย่าง
 $A_{0(std)}$ คือ ปริมาณรังสีเริ่มต้นของสารตัวอย่าง

4) การคำนวณค่าความผิดพลาด

ค่าความผิดพลาดสามารถคำนวณได้จาก การถดถอยที่สองของพื้นที่ทั้งหมดเริ่มต้นดัง

สมการที่ 3.18

$$Error = \sqrt{A_g} \quad (3.18)$$

ดังนั้นค่าความผิดพลาดของปริมาณ AI ในสารตัวอย่างดังสมการ 3.19

$$Error_s = \frac{\sqrt{A_{g(s)}}}{98676} \times 100 = \frac{\sqrt{99626}}{98676} \times 100 = \frac{315.64}{98676} \times 100 = 0.32\% \quad (3.19)$$

ดังนั้นค่าความผิดพลาดของปริมาณ AI ในสารมาตรฐานดังสมการ 3.20

$$Error_s = \frac{\sqrt{A_{g(s)}}}{98676} \times 100 = \frac{\sqrt{35155}}{34194.45} \times 100 = \frac{187.50}{34194.45} \times 100 = 0.54\% \quad (3.20)$$

จะได้ค่าปริมาณรังสีเริ่มต้นผิดพลาดของปริมาณ AI ในสารตัวอย่างเท่ากับ

$$A_{0(s)} Error_s = \frac{458886.18 \times 0.32}{100} = 1468.44$$

จะได้ค่าปริมาณรังสีเริ่มต้นผิดพลาดของปริมาณ AI ในสารมาตรฐานเท่ากับ

$$A_{0(std)} Error_s = \frac{880255.58 \times 0.54}{100} = 4753.38$$

ดังนั้นจะได้น้ำหนักที่ผิดพลาดของ A1 ในสารตัวอย่างเท่ากับ

$$383.37 \times \sqrt{\left(\frac{1468.436}{48886.18}\right)^2 + \left(\frac{4753.38}{880255.58}\right)^2} = 383.37 \times 0.0305 = 11.70$$

เมื่อหารด้วยปริมาตรที่ได้จะได้น้ำหนักที่ผิดพลาดเท่ากับ

$$\frac{11.70}{19} = 0.61 \mu\text{g}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เมื่อนำกระดาษกรองที่เก็บฝุ่นละอองอากาศไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุจากทั้งสองบริเวณ คือ สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาภายในสนามบินสุวรรณภูมิ และ สนามฟุตบอลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังจากการวิเคราะห์พบธาตุต่างๆ ดังนี้ Al, As, Br, Ca, Cl, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Sb, Sc, Se, Sm, Th, Ti, V และ Zn

4.1 ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ฝุ่นอากาศที่เก็บบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากการเก็บฝุ่นเป็นเวลา 4 เดือนเนื่องจากมีเครื่องเก็บอากาศเพียงเครื่องเดียวจึงต้องเก็บที่ ๒ บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผลการวิเคราะห์จะแสดงในตารางที่ 4.1–4.7 และแสดงในรูปที่ 4.1-4.20 โดยกำหนดสัญลักษณ์ต่อไปนี้สำหรับการนำเสนอข้อมูล

O2	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 16-30 ตุลาคม 2549
N1	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 1 - 15 พฤศจิกายน 2549
N2	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 16 - 30 พฤศจิกายน 2549
D1	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 1 - 15 ธันวาคม 2549
D2	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 16 - 30 ธันวาคม 2549
J1	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 1 - 15 มกราคม 2550
J2	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 16 - 30 มกราคม 2550
F1	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 1 - 15 กุมภาพันธ์ 2550
F2	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 16 - 30 กุมภาพันธ์ 2550
M1	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 1 - 15 มีนาคม 2550
M2	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 16 - 30 มีนาคม 2550
A1	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 1 - 15 เมษายน 2550
A2	คือ	ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุตั้งแต่วันที่ 16 - 30 เมษายน 2550

ค่าความผิดพลาดคำนวณโดยใช้โปรแกรม Gamma Vision ในกรณีที่ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ จะมองไม่เห็นแถบความผิดพลาดเนื่องจากจะมีขนาดเล็กกว่าจุดข้อมูล

4.1.1 ธาตุที่พบมากบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุที่พบมากบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง Al, Ca, K และ Na

Element Mouth	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm Error	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm Error	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm Error	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm Error
O2	16.3 \pm 0.1	62.6 \pm 0.1	21.7 \pm 0.2	11.8 \pm 0.1
N1	43.6 \pm 0.1	30.4 \pm 0.1	16.6 \pm 1.9	14.9 \pm 0.1
N2	7.90 \pm 0.04	31.7 \pm 0.1	2.46 \pm 0.40	8.67 \pm 0.37
D1	11.84 \pm 0.04	55.9 \pm 0.1	3.70 \pm 0.15	36.6 \pm 0.1
D2	22.62 \pm 0.03	16.3 \pm 0.1	1.73 \pm 0.13	3.38 \pm 0.01
J1	25.84 \pm 0.02	18.6 \pm 0.1	1.82 \pm 0.17	5.88 \pm 0.06
J2	9.96 \pm 0.01	10.99 \pm 0.01	0.49 \pm 0.07	2.38 \pm 0.05

4.1.2 ธาตุที่พบน้อยบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.2 ปริมาณธาตุ As, Br, Cl, และ Fe บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง

Element Mouth	As(ng/m^3) \pm Error	Br(ng/m^3) \pm Error	Cl(ng/m^3) \pm Error	Fe(ng/m^3) \pm Error
O2	41.9 \pm 0.5	10.7 \pm 0.1	579 \pm 1	166 \pm 1
N1	9.87 \pm 0.06	4.90 \pm 0.02	268.8 \pm 0.4	5552 \pm 234
N2	12.8 \pm 0.2	2.77 \pm 0.02	258 \pm 1	150 \pm 1
D1	51.5 \pm 0.5	4.43 \pm 0.02	490 \pm 1	54 \pm 1
D2	109.89 \pm 0.01	14.9 \pm 0.1	1296 \pm 1	276 \pm 26
J1	126 \pm 12	40.8 \pm 0.1	1479 \pm 1	588 \pm 48
J2	29.6 \pm 0.2	11.75 \pm 0.03	550.0 \pm 0.3	580 \pm 29

ตารางที่ 4.3 ปริมาณธาตุ La, Mg และ Mn บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Element Mouth	La(ng/m^3) \pm Error	Mg(ng/m^3) \pm Error	Mn(ng/m^3) \pm Error
O2	9.63 \pm 0.85	1873 \pm 5	181.8 \pm 0.2
N1	14.4 \pm 0.1	1359 \pm 3	89.1 \pm 0.1
N2	6.25 \pm 0.20	569 \pm 2	25.39 \pm 0.03
D1	29.9 \pm 0.6	955 \pm 2	48.15 \pm 0.04
D2	19.3 \pm 1.3	1037 \pm 3	111.5 \pm 0.2
J1	60.4 \pm 0.9	1270 \pm 10	92.4 \pm 0.2
J2	13.6 \pm 0.6	1079 \pm 7	35.3 \pm 0.1

ตารางที่ 4.4 ปริมาณธาตุ Sb, Sc, และ Se บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Element Mouth	Sb(ng/m^3) \pm Error	Sc(ng/m^3) \pm Error	Se(ng/m^3) \pm Error
O2	12.2 \pm 0.9	0.08 \pm 0.01	0.13 \pm 0.03
N1	4.57 \pm 0.22	0.30 \pm 0.01	0.88 \pm 0.37
N2	3.66 \pm 0.15	0.0600 \pm 0.0003	0.96 \pm 0.25
D1	10.1 \pm 0.2	0.0220 \pm 0.0001	0.741 \pm 0.004
D2	7.30 \pm 0.07	4.07 \pm 0.26	2.88 \pm 0.80
J1	19.6 \pm 0.2	1.83 \pm 0.13	1.68 \pm 0.69
J2	5.71 \pm 0.05	2.02 \pm 0.07	4.72 \pm 0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

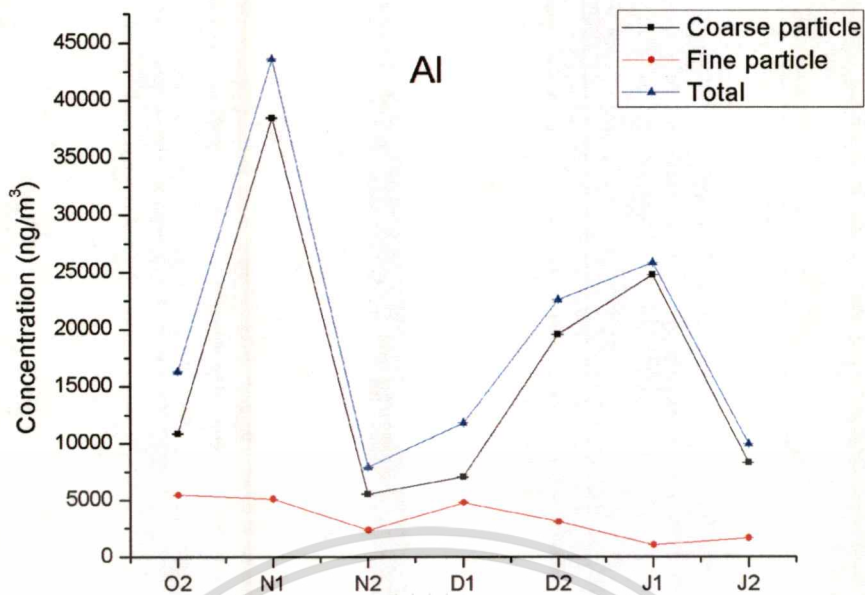
ตารางที่ 4.5 ปริมาณธาตุ Sm, Th, และTi บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Element Mouth	Sm(ng/m^3) \pm Error	Th(ng/m^3) \pm Error	Ti(ng/m^3) \pm Error
O2	0.31 \pm 0.04	4.04 \pm 0.46	283.9 \pm 0.3
N1	0.28 \pm 0.04	1.15 \pm 0.08	285.1 \pm 0.1
N2	0.10 \pm 0.02	0.83 \pm 0.01	110.6 \pm 0.3
D1	0.14 \pm 0.03	2.89 \pm 0.33	170.9 \pm 0.3
D2	0.20 \pm 0.05	0.53 \pm 0.06	588 \pm 2
J1	0.17 \pm 0.03	0.35 \pm 0.04	721 \pm 2
J2	0.13 \pm 0.02	0.14 \pm 0.02	452 \pm 2

ตารางที่ 4.6 ปริมาณธาตุ V และZn บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Element Mouth	V(ng/m^3) \pm Error	Zn(ng/m^3) \pm Error
O2	12.5 \pm 0.1	98.8 \pm 0.4
N1	11.8 \pm 0.1	28.0 \pm 0.1
N2	11.4 \pm 0.1	37.08 \pm 0.02
D1	7.06 \pm 0.04	3.46 \pm 0.01
D2	30.0 \pm 0.2	164 \pm 6
J1	37.0 \pm 0.3	93.4 \pm 3.9
J2	19.3 \pm 0.2	54.5 \pm 3.0

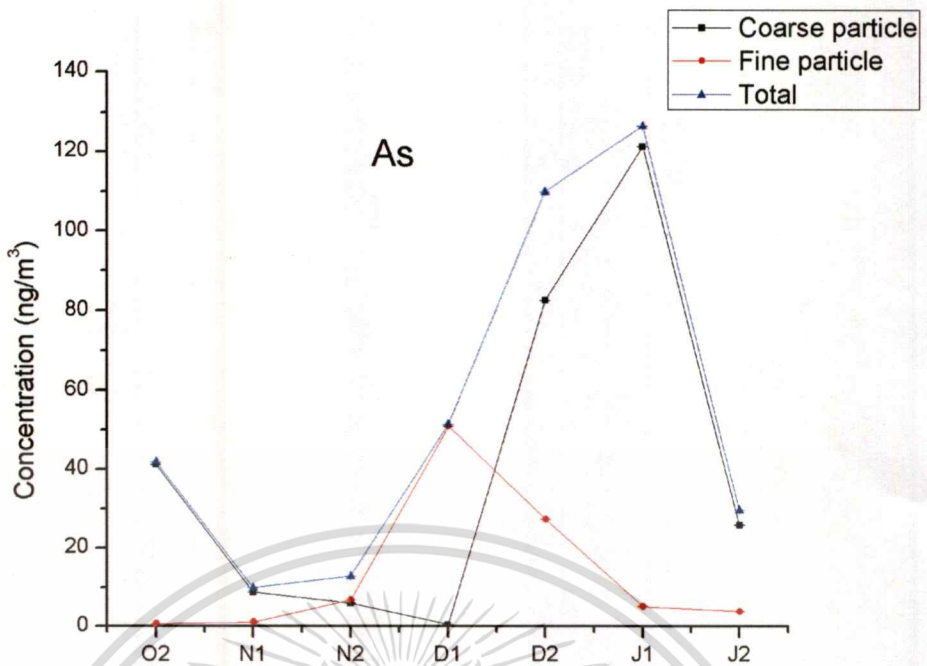
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ปริมาณธาตุ Aluminum ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

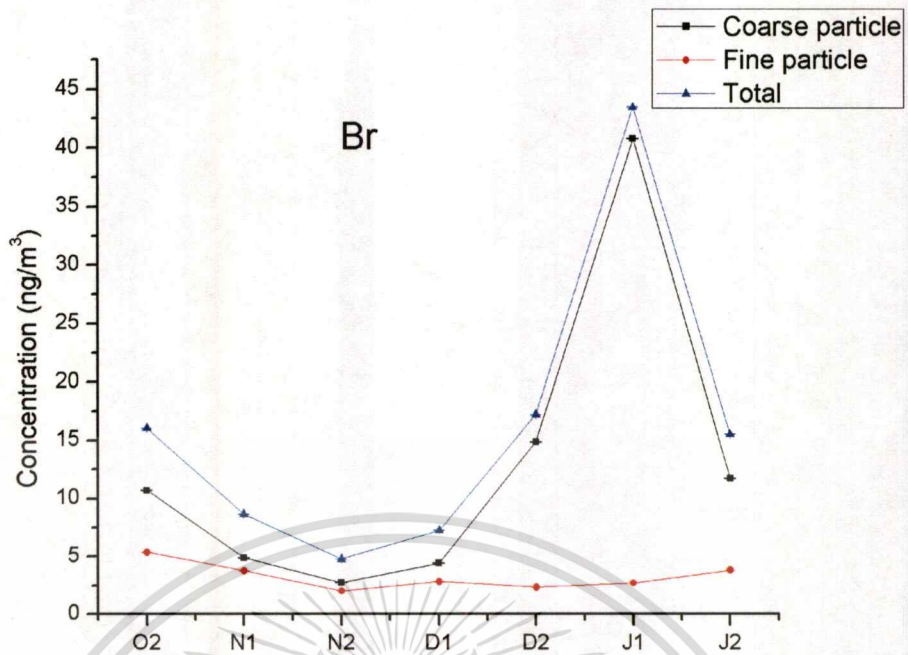
ธาตุ Al หรือ Aluminium (อลูมิเนียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะทรานซิชันที่มันวาว อ่อนดัดง่าย และมีน้ำหนักเบา ในธรรมชาติอะลูมิเนียมพบในรูปแร่ ออกไซด์เป็นหลัก ส่วนใหญ่จะพบในดิน [12]

แต่มีการใช้อลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การก่อสร้างอาคารที่ต้องการน้ำหนักเบา ความทนทาน และความแข็งแรง มีการนำอลูมิเนียมไปผลิตชิ้นส่วน โครงสร้างอากาศยานต่าง ๆ รวมทั้งใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งสำหรับจรวด เทอร์ไมต์ (termite) และทำดอกไม้ไฟ เนื่องจากอะลูมิเนียมสามารถออกซิไดซ์ด้วยพลังงานสูง จากผลการทดลองพบว่าในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน 2549 มีการเพิ่มขึ้นของอลูมิเนียมเนื่องจากมีรถบรรทุกดินผ่านบริเวณที่เก็บอากาศ แต่ช่วงปลายเดือนมีฝนตกจึงทำให้ปริมาณ Al ลดลงอย่างเห็นได้ชัดจากนั้นค่อยๆเพิ่มขึ้นเพราะความชื้นในอากาศลดลงทำให้มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.1



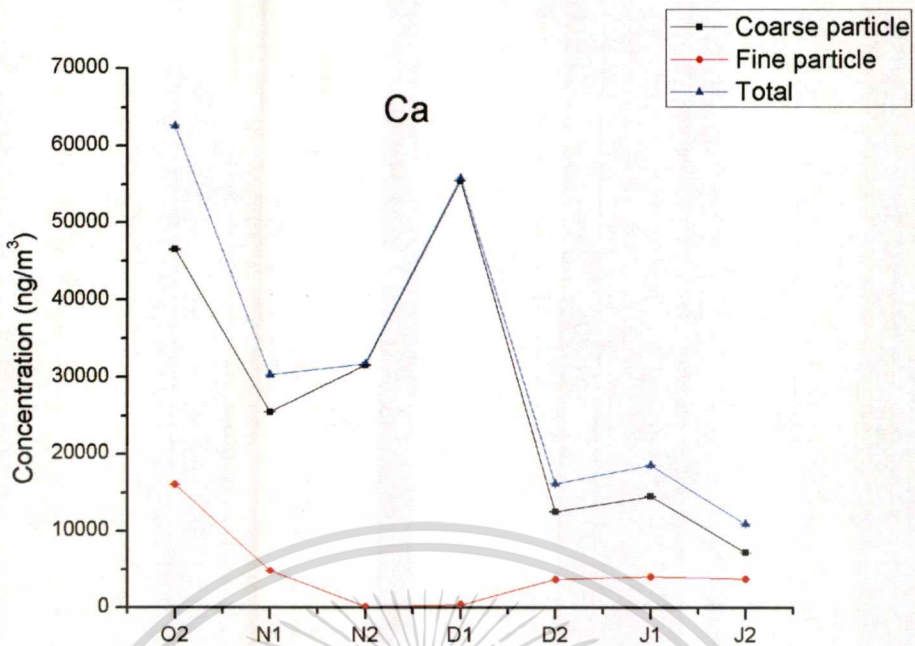
รูปที่ 4.2 ปริมาณธาตุ Arsenic ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ As หรือ Arsenic (อาร์เซนิก) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 33 อาร์เซนิก หรือ สารหนู เป็นธาตุอโลหะ มีอยู่ในธรรมชาติเป็นจำนวนน้อย อาจพบได้ในสายแร่เงิน ส่วนใหญ่อยู่ในสารประกอบเป็นแร่หลายชนิดกระจายอยู่ทั่วโลก ทั้งธาตุ และสารประกอบของสารหนูมีพิษมาก เมื่อเข้าไปในร่างกายทั้งโดยการกิน และการหายใจจะทำลายระบบทางเดินอาหาร และส่วนอื่นๆ ของร่างกาย และในที่สุดก็ทำให้ถึงแก่ความตาย จึงนิยมใช้เป็นยาเบื่อหนู ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ "สารหนู" ในภาษาไทย สารหนูยังใช้ในการทำทองบรอนซ์ และทำดอกไม้ไฟ นอกจากนี้ ในการทำแบตเตอรี่สะสมไฟฟ้า ถ้าผสมสารหนูเล็กน้อยในตะกั่ว และพลวงจะทำให้ได้โลหะผสมที่มีคุณภาพดีขึ้น[12]จากการทดลองพบว่า As มีการเพิ่มขึ้นในช่วงหลังจากปลายเดือนพฤศจิกายนซึ่งมีฝนตก เพราะความชื้นในอากาศลดลงทำให้มีการฟุ้งกระจายในอากาศมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.2



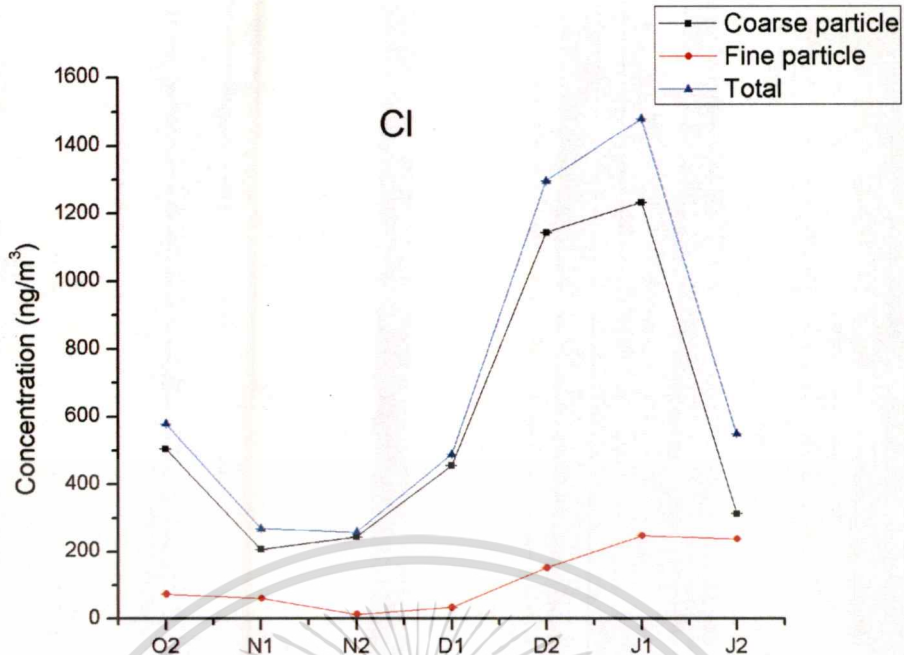
รูปที่ 4.3 ปริมาณธาตุ Bromine ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Br หรือ Bromine (โบรมีน) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 35 ในธรรมชาติ ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้สารอินทรีย์ เช่น เผาหญ้าแห้ง และฟางข้าว เป็นต้น โบรมีนจัดเป็นระเหยง่าย ณ อุณหภูมิห้อง มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมี ถ้าในทางอุตสาหกรรม ประมาณร้อยละ 95 ของ Br ที่ผลิตได้ทั้งหมด จะใช้ในการเตรียม ethylene bromide และ 1,2-dibromoethane (หรือ ethylene dibromide) เพื่อใช้เป็นสารเติมใส่น้ำมัน แก๊สโซลีน ทำให้แก๊สโซลีนมีค่าออกเทนสูงขึ้น รวมทั้งใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมสารเคมีทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ เช่น การย้อม และฟอกสี เป็นต้น ความเป็นพิษของโบรมีน ทั้งในรูปของของเหลว และไอระเหย จะทำให้เชื้อจุกอักเสบ ระคายเคืองเนื้อเยื่อมนุษย์ได้[12] จากการทดลองพบว่า Br มีการเพิ่มขึ้นในช่วงหลังจากปลายเดือน พฤศจิกายนซึ่งมีฝนตกเพราะความชื้นในอากาศลดลงทำให้มีการฟุ้งกระจายในอากาศมากขึ้นดัง แสดงในรูปที่ 4.3



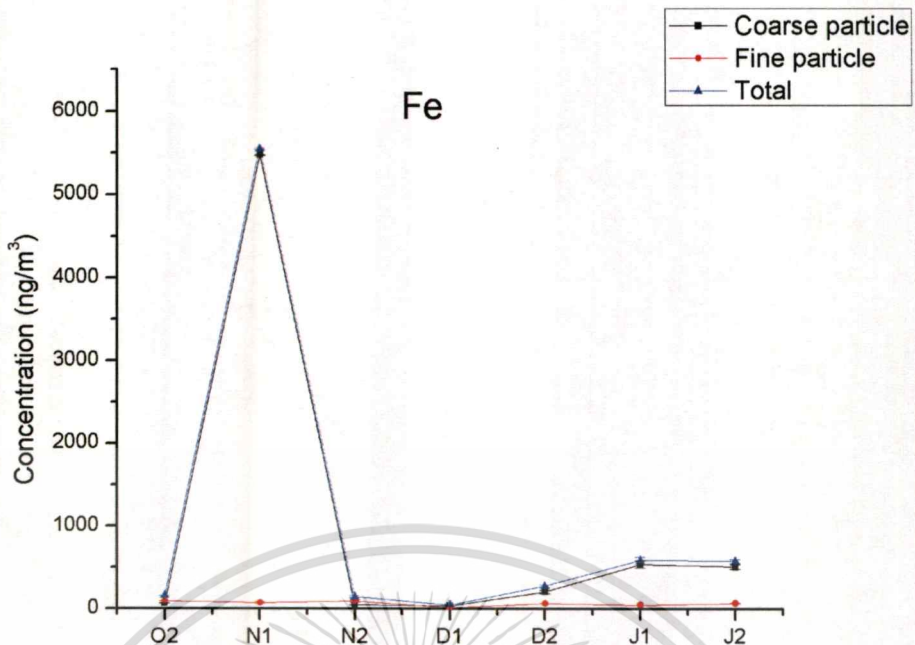
รูปที่ 4.4 ปริมาณธาตุ Calcium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Ca หรือ Calcium (แคลเซียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 20 แคลเซียมเป็นธาตุโลหะประเภทอัลคาไลอีนที่มีสีเทาอ่อน ในธรรมชาติแคลเซียมจัดอยู่ในกลุ่ม 50 ธาตุที่มีมากที่สุดบนเปลือกโลก ในทางอุตสาหกรรมจะใช้ในการก่อสร้าง เนื่องจากแคลเซียมเป็นส่วนประกอบหลักของซีเมนต์ และหินปูน[12] เนื่องจากการก่อสร้างอาคารที่พิกบริเวณใกล้เคียงที่เก็บฝุ่นทำให้ปริมาณ Ca สูงอย่างต่อเนื่อง และ ลดลงในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากมีฝนตกแล้วก็กลับเพิ่มขึ้นมาอีก แล้วลดลงเนื่องจากการก่อสร้างเสร็จลงดังแสดงในรูปที่ 4.4



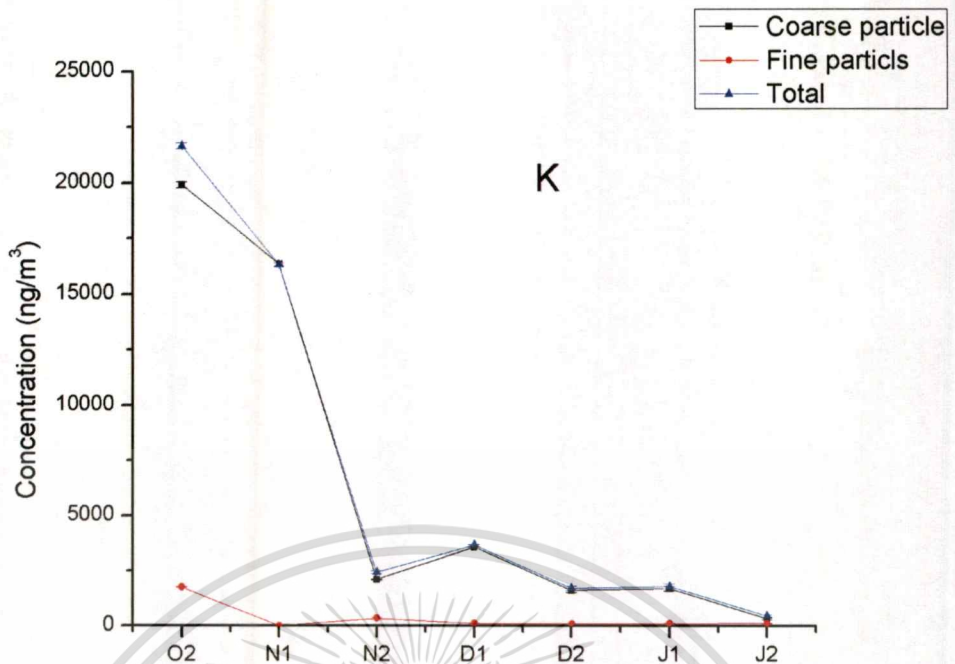
รูปที่ 4.5 ปริมาณธาตุ Chlorine ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Cl หรือ Chloride (คลอไรด์) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 17 เป็นองค์ประกอบหลักของเกลือทะเล และสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งมีอยู่มากในธรรมชาติ จะพบอยู่ในรูปของ คลอไรด์ไอออน (chloride ion) ในทางอุตสาหกรรม ธาตุคลอไรด์จะใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ทำยาฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทำสีผสมอาหาร ยาฆ่าแมลง สี ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม พลาสติก และเวชภัณฑ์ เป็นต้น[12] จากการทดลองพบว่า Cl มีการเพิ่มขึ้นในช่วงหลังจากปลายเดือนพฤศจิกายน ซึ่งมีฝนตกเพราะความชื้นในอากาศลดลงทำให้มีการฟุ้งกระจายในอากาศมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.5



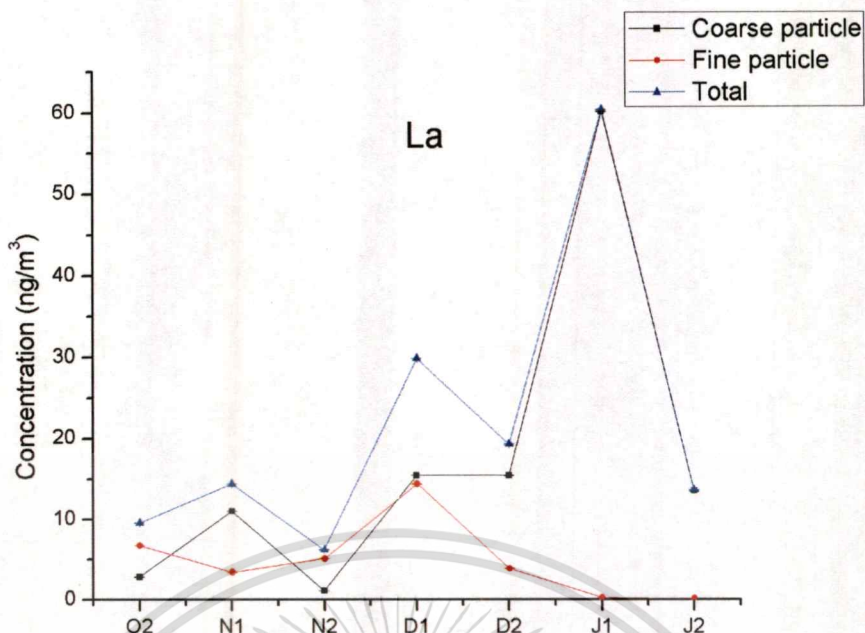
รูปที่ 4.6 ปริมาณธาตุ Iron ใน ฝุ่นละออย, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Fe หรือ Ferrum (เฟอร์รัม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 26 ในธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเหล็กออกไซด์ (laterite) หรือ เรียกว่าดินลูกรัง ซึ่งในดินบางแห่งมีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กสูง สังเกตได้จากสีสนิมเหล็ก สีน้ำตาลปนแดง หรือเหลืองปนแดง ในทางอุตสาหกรรมแร่เหล็กมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลอมมากที่สุด สามารถผลิต และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมายตั้งแต่ยานพาหนะ เครื่องจักร เครื่องใช้สอยต่างๆ รวมทั้งใช้เป็นส่วประกอบที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย[12] จากผลการทดลองพบว่าในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน 2549 มีการเพิ่มขึ้นของอนุภาคนีออนเนื่องจากมีรถบรรทุกดินผ่านบริเวณที่เก็บอากาศ แต่ช่วงปลายเดือนมีฝนตกจึงทำให้ปริมาณ Fe ลดลงอย่างเห็นได้ชัดจากนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพราะความชื้นในอากาศลดลงทำให้มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.6



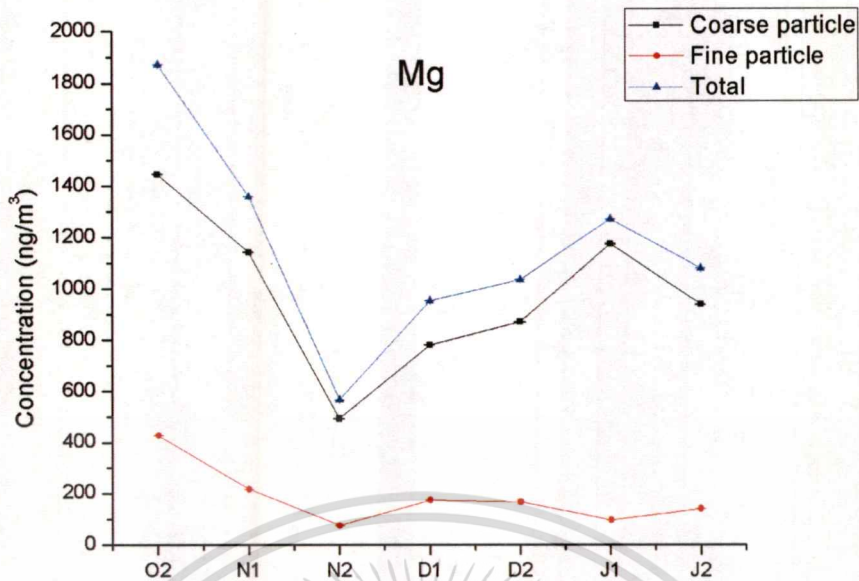
รูปที่ 4.7 ปริมาณธาตุ Potassium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ K หรือ Potassium (โพแทสเซียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 19 ในอากาศมักพบโพแทสเซียมจากการเผาไหม้สารอินทรีย์ เช่น เผาต้นพืชต่างๆ และเป็นองค์ประกอบหลักของดิน ถ้าในดินมีมากจะทำให้ดินเป็นกรด โพแทสเซียมมักเป็นสารประกอบร่วมกับธาตุอื่น เพราะไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก สามารถออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็วในอากาศ มีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับโซเดียม ในทางอุตสาหกรรมมักใช้โพแทสเซียมในการผลิตปุ๋ยเคมี[12] จากการทดลองพบว่าปริมาณ K ที่มากในช่วงแรกเกิดจากการเผา ภูเขาบริเวณข้างถนนมอเตอร์เวย์ เพื่อเตรียมที่ดินสำหรับสร้างหอพักนักศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4.7



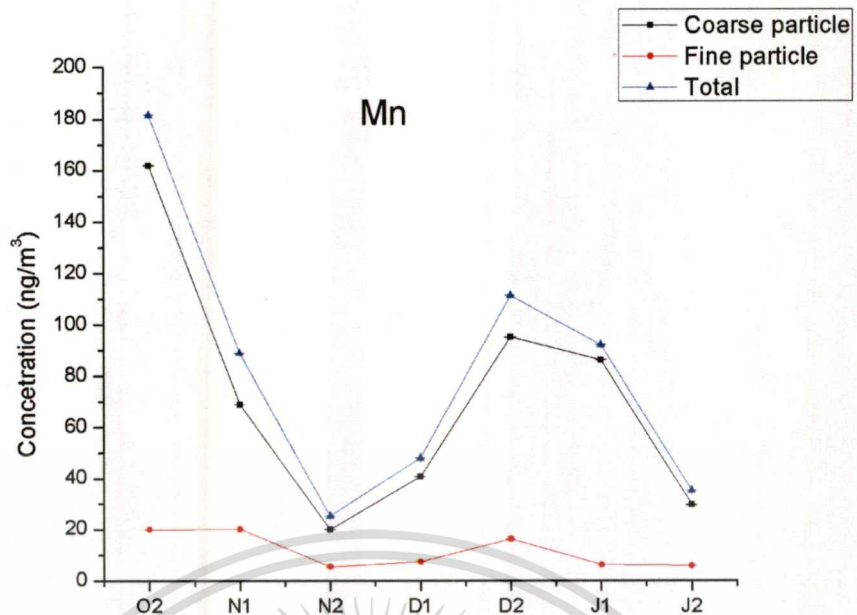
รูปที่ 4.8 ปริมาณธาตุ Lanthanum ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ La หรือ Lanthanum (แลนทานัม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 57 เป็นธาตุโลหะหนักทรานซิชันที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก มันสามารถทำปฏิกิริยาได้โดยตรงกับธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน, โบรอน, ซีลีเนียม, ซีลีคอน, ฟอสฟอรัส, กำมะถัน และธาตุฮาโลเจน ในธรรมชาติจะพบได้น้อยมาก เนื่องจากจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วในอากาศ ในทางอุตสาหกรรมมักนำแลนทานัมบริสุทธิ์เป็นสารเติมใส่น้ำมัน และแก๊สโซลีน[12]จากการทดลองพบว่าธาตุ La เป็นที่มีปริมาณน้อยการเพิ่มขึ้นของ La มาจากการจราจรที่มีอย่างต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 4.8



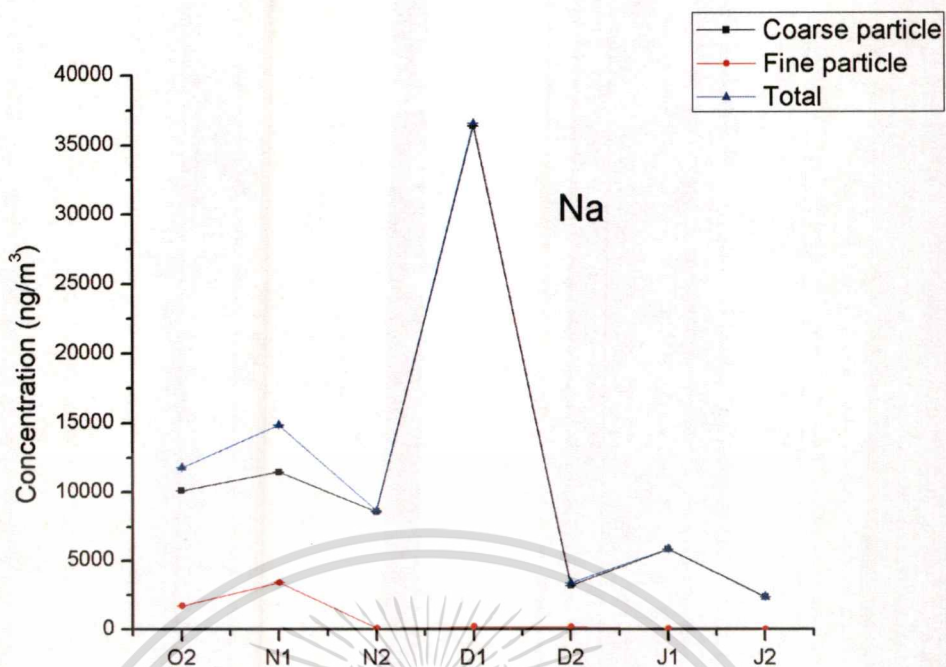
รูปที่ 4.9 ปริมาณธาตุ Magnesium ใน ฝุ่นละอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Mg หรือ Magnesium (แมกนีเซียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 12 แมกนีเซียมเป็นธาตุที่มีอยู่มากเป็นอันดับ 8 และเป็นส่วนประกอบของเปลือกโลกประมาณ 2% พบมากในดิน และเป็นธาตุที่ละลายในน้ำทะเล ในทางอุตสาหกรรมใช้ในงาน โครงสร้าง ซึ่งทั้งหมดใช้ในรูปของโลหะเจือ เช่น ทำกระชั้นส่วนรถยนต์ ภาชนะบรรจุของ เครื่องยนต์ และเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น รวมทั้งใช้เป็นองค์ประกอบของฟลูไฟ และหัวไม้ขีดไฟ[12] จากการทดลองพบว่าปริมาณ Mg ก่อนข้างคงที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วไม่ได้มาจากการจราจร แต่มีการลดลงในช่วงปลายเดือน พฤศจิกายน เนื่องจากมีฝนตกดังแสดงในรูปที่ 4.9



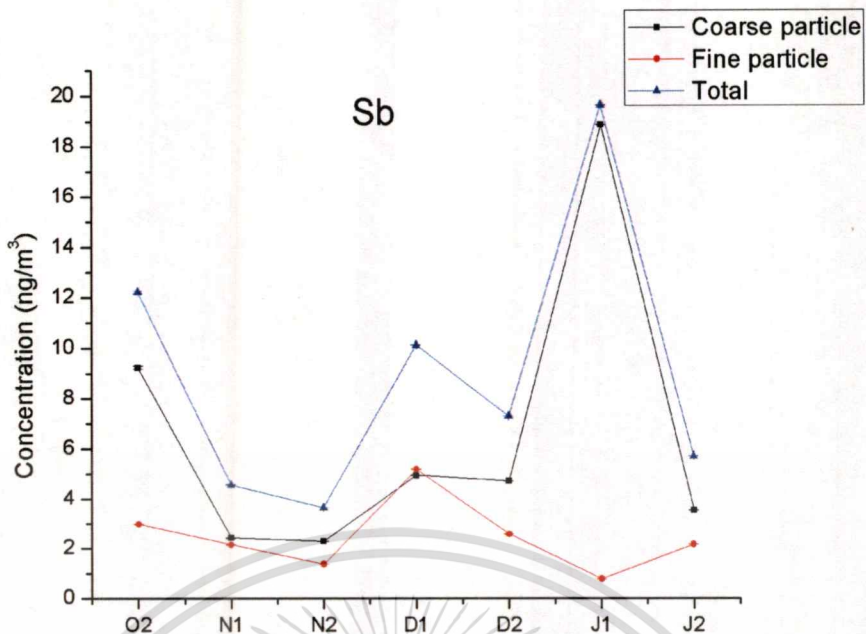
รูปที่ 4.10 ปริมาณธาตุ Manganese ใน ฝุ่นละอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Mn หรือ Manganese (แมงกานีส) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 25 เป็นโลหะทรานซิชัน ในธรรมชาติส่วนใหญ่มักพบอยู่ในรูปแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$) หรือ แมงกานีสออกไซด์ (MnO) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยที่อยู่ในดิน ในทางอุตสาหกรรมใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรกรรม ปุ๋ยเคมี เป็นตัวเร่งของปฏิกิริยา และจากการเผาไหม้ของน้ำมัน แมงกานีสส่วนใหญ่ใช้ในการควบคุมปริมาณกำมะถัน ในกระบวนการผลิตเหล็กกล้า โลหะเจือของแมงกานีสมีสมบัติแข็งแรง และสามารถป้องกันการขึ้นสนิมได้เป็นอย่างดี สารประกอบของแมงกานีสทั่วไป ส่วนใหญ่มักไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม[12]จากการทดลองพบว่า Mn มีปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการจรรยาของนักศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4.10



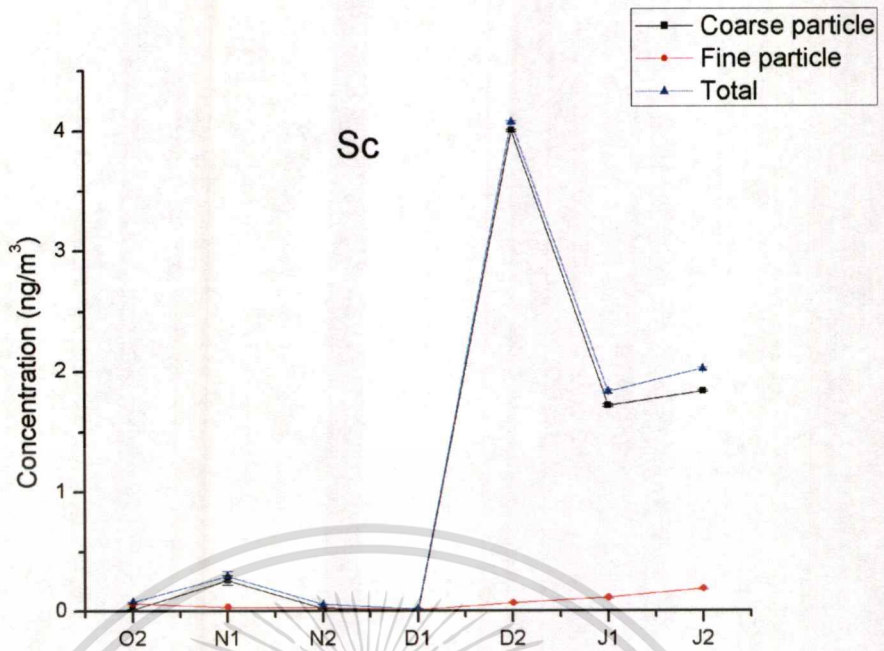
รูปที่ 4.11 ปริมาณธาตุ Sodium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Na หรือ Sodium (โซเดียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 11 เป็นโลหะอัลคาไลด์ ในธรรมชาติส่วนใหญ่มักพบอยู่ในรูปโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na^+) ในน้ำทะเล และพบอยู่ในดินเพียงเล็กน้อย จำเป็นสำหรับร่างกายจึงไม่เป็นพิษ แต่โซเดียมในรูปธาตุอิสระ เป็นพิษอย่างแรง กัดกร่อนเนื้อเยื่อ ทำปฏิกิริยากับน้ำ และออกซิเจนในอากาศอย่างรุนแรง ในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากโลหะนี้เป็นตัวนำความร้อน และไฟฟ้าที่ดีมาก จึงใช้เป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchange medium) เป็นตัวหล่อเย็นในปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เป็นตัวนำไฟฟ้า รวมทั้งใช้เติมใส่แก๊สโซลีน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนด้วย[12] จากการทดลองพบว่า Na มีการเพิ่มขึ้น อย่างกะทันหันในเดือน ธันวาคม ดังแสดงในรูปที่ 4.11



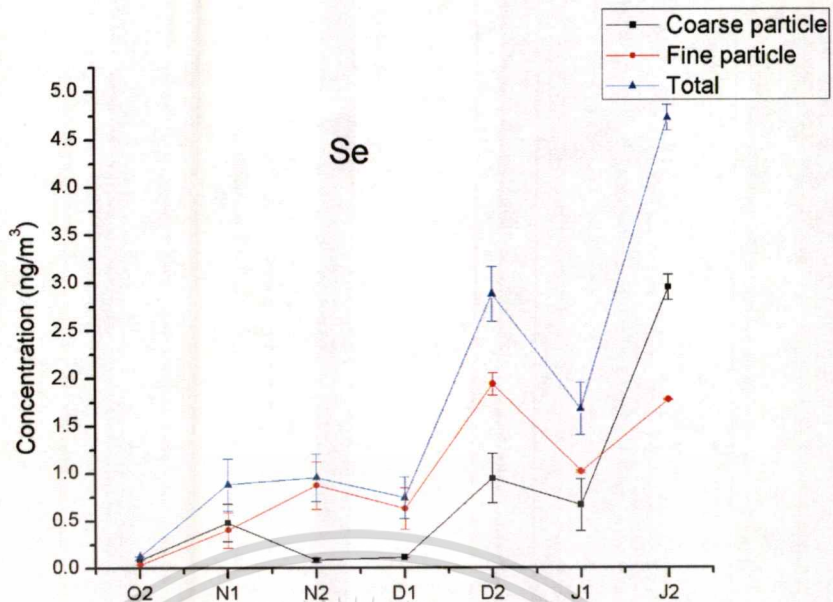
รูปที่ 4.12 ปริมาณธาตุ Antimony ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Sb หรือ Antimony (แอนติโมนี หรือพลวง) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 51 ในธรรมชาติมีกระจายอยู่ทั่วไปตามเปลือกโลก ในดินมีแอนติโมนีประมาณ 1 กรัมต่อตัน ที่พบในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบ เป็นโลหะอิสระก็มีบ้างแต่น้อยมาก แร่ที่มีแอนติโมนีเป็นองค์ประกอบมีมากกว่า 100 ชนิด แต่ที่สำคัญที่สุดได้แก่ แร่ Stibnite ซึ่งมี antimony trisulfide (Sb_2S_3) เป็นองค์ประกอบหลัก ในทางอุตสาหกรรมใช้เป็นสารกึ่งตัวนำ ใช้ผสมกับโลหะ เช่น ผสมกับตะกั่ว ทำให้ของผสมที่ได้มีสมบัติแข็ง และเหนียวขึ้น[12]จากการทดลองพบว่า Sb เป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นปัจจัยโดยตรงจากสภาพอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.12



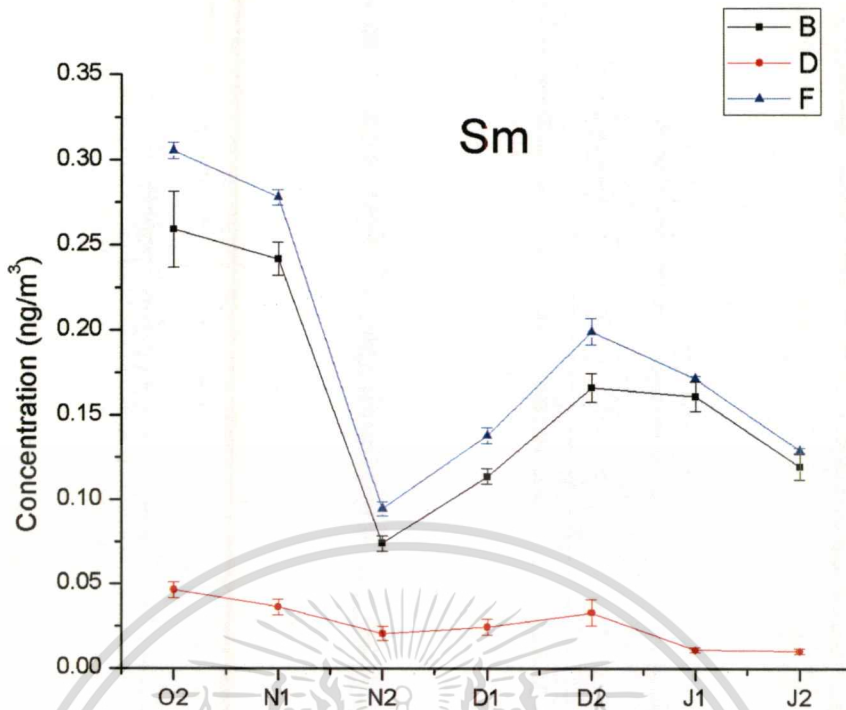
รูปที่ 4.13 ปริมาณธาตุ Scandium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Sc หรือ Scandium (สแกนเดียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 21 เป็นธาตุโลหะทรานซิชัน มีลักษณะสีขาวเงินอ่อนนุ่ม มักพบในแร่ตามธรรมชาติ[12] จากการทดลองพบว่า SC เป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นปัจจัยโดยตรงจากสภาพอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.13



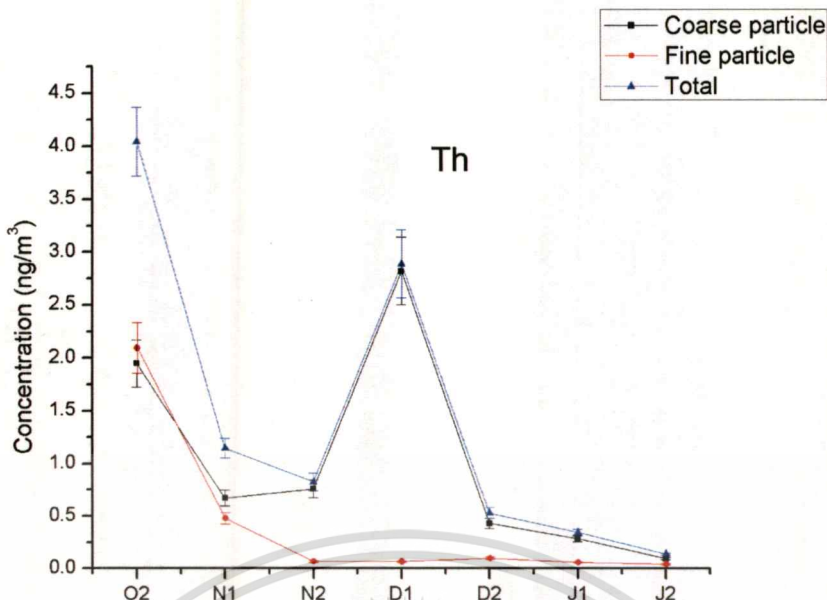
รูปที่ 4.14 ปริมาณธาตุ Selenium ใน ฝุ่นละออย, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Se หรือ Selenium (ซีลีเนียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 34 เป็นธาตุอโลหะที่มีพิษ ในธรรมชาติปรากฏอยู่หลายสถานภาพ ที่มีเสถียรภาพสูงจะมีลักษณะคล้ายโลหะ มีสีเทา มีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดี ซีลีเนียมมักพบมากในแร่ซัลไฟด์ ถ้าปริมาณซัลเฟอร์ในอากาศมีมาก ซีลีเนียมก็จะมีมากขึ้นด้วย ในทางอุตสาหกรรมใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว และเซรามิก โดยทำหน้าที่เป็นตัวขัดสี รวมทั้งอุตสาหกรรมเหล็กกล้า โดยใช้เติมในเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) เพื่อไล่แก๊ส และทำให้เหล็กปลอดสนิมมีสมบัติดีขึ้น[12] จากการทดลองพบว่า Se เป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นปัจจัยโดยตรงจากสภาพอากาศ และปัจจัยอื่นๆ จึงยากจะคาดเดา ดังแสดงในรูปที่ 4.14



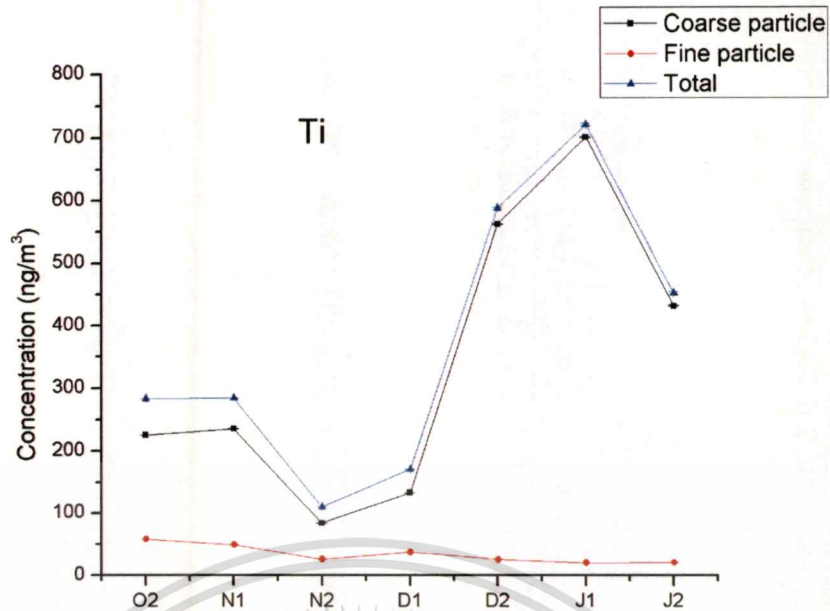
รูปที่ 4.15 ปริมาณธาตุ Samarium ใน ฝุ่นละอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Sm หรือ Samarium (ซาแมเรียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 62 เป็นธาตุโลหะหายาก ลักษณะเป็นสีเงินมันวาว ซาแมเรียมมีความเสถียรในอากาศ และติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ 150°C ในธรรมชาติมักพบในรูปสารประกอบ เช่น Samarium trisulfide (Sm_2S_3) ในทางอุตสาหกรรมใช้เป็นตัวเร่งสำหรับปฏิกิริยาบางประเภท นอกจากนี้แล้วซาแมเรียมเป็นธาตุที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์มากนัก[12]จากการทดลองพบว่าปริมาณ Sm ค่อนข้างคงที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วไม่ได้มาจากการจลาจร แต่มีการลดลงในช่วงปลายเดือน พฤศจิกายน เนื่องจากมีฝนตกดังแสดงรูปที่ 4.15



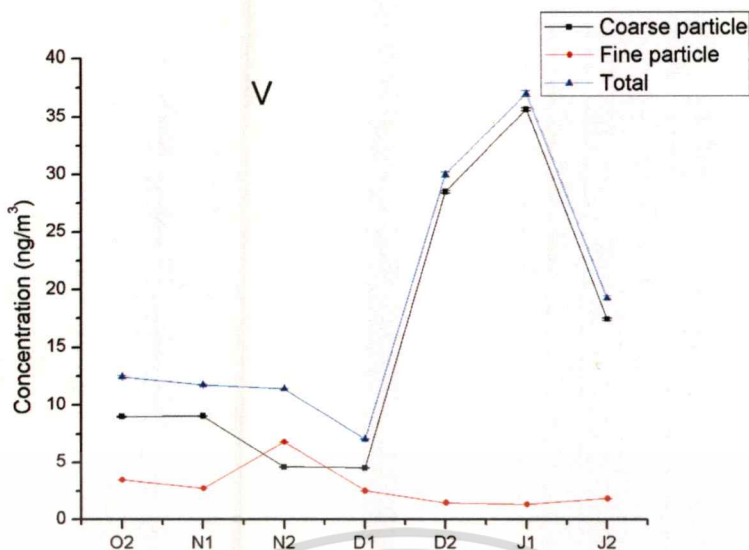
รูปที่ 4.16 ปริมาณธาตุ Thorium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Th หรือ Thorium (ทอเรียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 90 เป็นธาตุโลหะกัมมันตภาพรังสีที่พบในธรรมชาติ เมื่อบริสุทธิ์มีลักษณะสีเงิน จาวอ่อนนุ่ม เมื่อสัมผัสกับอากาศจะหมองเป็นสีน้ำตาล หรือสีดำ เพราะเกิดออกไซด์ คือ ทอเรียมออกไซด์ (Thorium oxide ThO_2) หรือทอเรีย (thoria) เป็นออกไซด์ที่มีจุดเดือดสูงที่สุด (3300°C) เมื่อถูกทำให้ร้อนในอากาศ โลหะทอเรียมจะติดไฟได้เอง เกิดเป็นแสงจ้าสีขาว มีอัตราการแผ่รังสีมากกว่ายูเรเนียม มักใช้ในการทำปฏิกรณ์นิวเคลียร์[12] จากการทดลองพบว่า Th เป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นปัจจัยโดยตรงจากสภาพอากาศ และปัจจัยอื่นๆ จึงยากจะคาดเดา ดังแสดงในรูปที่ 4.16



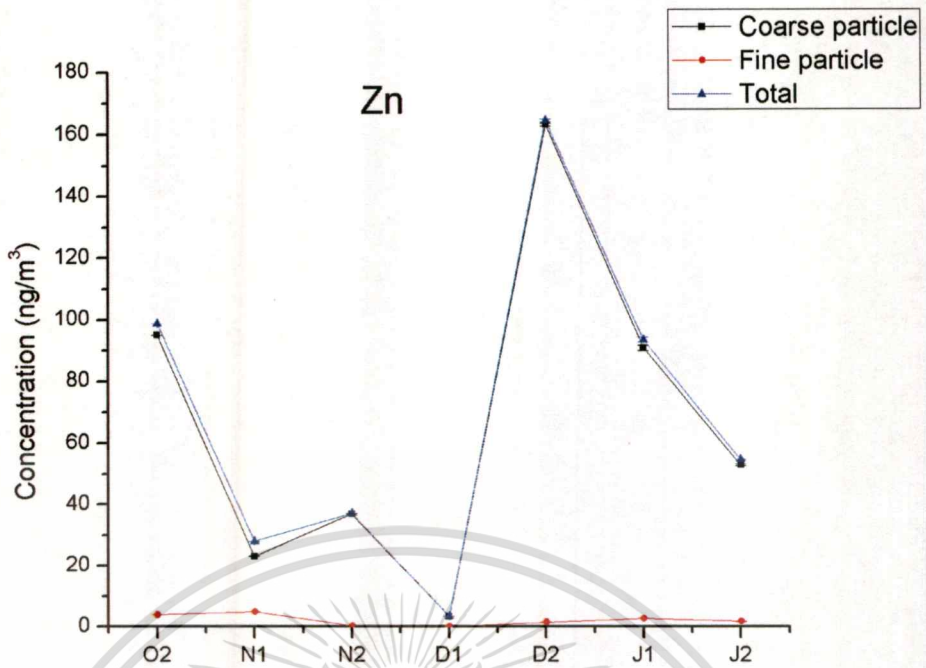
รูปที่ 4.17 ปริมาณธาตุ Titanium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Ti หรือ Titanium (ไทเทเนียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 22 เป็นโลหะทรานซิชันที่พบในธรรมชาติ มีน้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อนของคลอรีน และน้ำทะเล ในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้ในโรงงานผลิตเคมีภัณฑ์ เช่น โรงงานผลิตคลอรีน ความเป็นพิษของไทเทเนียมจัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ แต่ผงที่แห้งติดไฟได้ และสามารถเผาไหม้ได้ในบรรยากาศ [12]จากการทดลองพบว่า Ti เป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นปัจจัยโดยตรงจากสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.18 ปริมาณธาตุ Vanadium ใน ฝุ่นละเอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ V หรือ Vanadium (วานาเดียม) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 23 เป็นธาตุโลหะทรานซิชัน ในธรรมชาติวานาเดียมจะพบในรูปของสารประกอบของถ่านหิน ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิง และพบในกากของเสียอุตสาหกรรมในกลุ่มของน้ำมันที่ใช้แล้ว ในทางอุตสาหกรรมวานาเดียมมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมปิโตรเลียมมาก สามารถผลิต และแปรรูปเป็นผลผลิตต่างๆ ของน้ำมันเชื้อเพลิง ได้มากมาย รวมทั้งใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบินด้วย เนื่องจากทำให้น้ำมันมีค่าออกเทนสูงขึ้น[12]จากการทดลองพบว่า V มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งมาจากการจราจรทางอากาศที่เพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.18

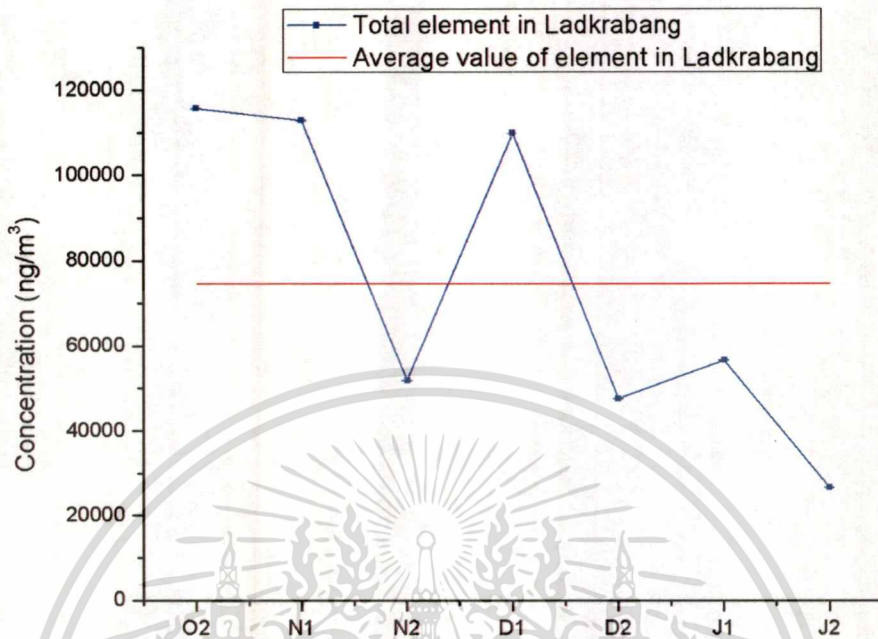


รูปที่ 4.19 ปริมาณธาตุ Zinc ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาตุ Zn หรือ Zinc (ซิงค์ หรือ สังกะสี) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม 30 เนื่องจากสังกะสีมีเลขออกซิเดชันได้เพียงค่าเดียวคือ +2 และขาดคุณสมบัติทั่วไปของธาตุทรานซิชัน ในปัจจุบันจึงไม่จัดสังกะสีเป็นโลหะทรานซิชัน แต่เรียกว่าเป็นธาตุหลังทรานซิชัน (post transition element) สังกะสีมักพบอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ แต่มีอยู่เพียงปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ในทางอุตสาหกรรมใช้เคลือบผิว (galvanizing) เหล็กกล้า เพื่อป้องกันการขึ้นสนิมของเหล็กกล้า ใช้เติมในยาง และสี เป็นต้น[12]จากการทดลองพบว่า Zn เป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นปัจจัยโดยตรงจากสภาพอากาศ และปัจจัยอื่นๆ จึงยากจะคาดเดา ดังแสดงในรูปที่ 4.19

4.2 ปริมาณธาตุรวมในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง



รูปที่ 4.20 ปริมาณธาตุรวม บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริมาณธาตุรวมบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นผลโดยตรงมาจากปริมาณธาตุที่พบมาก เช่น Al และ Ca ซึ่งมาจากดินและการก่อสร้างเป็นหลัก ดังนั้นปริมาณฝุ่นจึงมาจากการฟุ้งกระจายของดิน และการก่อสร้างในช่วงแรกมีปริมาณมาก เพราะมีการบรรทุกดินผ่านบริเวณเก็บอากาศ ประกอบกับมีการก่อสร้างอาคารที่พักในบริเวณใกล้ๆ แต่จะมีการลดลงในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากมีฝนตก และเริ่มน้อยลงอีก ในช่วงปลายเดือนธันวาคมที่มีการก่อสร้างเสร็จ และเป็นช่วงปีใหม่พอดี

4.3 ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ฝุ่นอากาศที่ สนามบินสุวรรณภูมิ

จากการเก็บฝุ่นเป็นเวลา 6 เดือนบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิซึ่งได้เริ่มเก็บหลังจากเก็บที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังตั้งแต่วันที่ 19 พฤศจิกายน 2549 -11 กุมภาพันธ์ 2550 ธาตุที่พบ จะแสดงตารางที่ 4.8-4.14 และในรูปที่ 4.21-4.40

4.3.1 ธาตุที่พบมากบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

ตารางที่ 4.8 ปริมาณธาตุ Al, Ca, K และ Na บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

Element Mouth	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm Error	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm Error	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm Error	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm Error
N2	1.0032 \pm 0.0002	1.41 \pm 0.02	0.88 \pm 0.05	0.60 \pm 0.01
D1	1.8556 \pm 0.0002	2.08 \pm 0.03	0.57 \pm 0.08	2.98 \pm 0.08
D2	10.074 \pm 0.002	7.87 \pm 0.02	1.81 \pm 0.10	1.00 \pm 0.02
J1	15.584 \pm 0.003	10.56 \pm 0.03	0.25 \pm 0.07	0.18 \pm 0.02
J2	7.481 \pm 0.002	6.14 \pm 0.01	0.22 \pm 0.06	0.09 \pm 0.01
F1	1.940 \pm 0.001	3.5719 \pm 0.0006	0.09 \pm 0.06	0.24 \pm 0.01
F2	22.8 \pm 0.4	1.71549 \pm 0.0004	0.13 \pm 0.06	0.56 \pm 0.01
M1	64.6 \pm 0.9	0.3867 \pm 0.0003	< 0.09	0.37 \pm 0.05
M2	61.6 \pm 0.9	0.4165 \pm 0.0003	< 0.09	0.14 \pm 0.002
A1	32.1 \pm 0.4	0.23 \pm 0.01	< 0.09	0.14 \pm 0.03
A2	61.6 \pm 1.1	0.34 \pm 0.01	< 0.09	< 0.09

4.3.2 ธาตุที่พบน้อยบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณธาตุ As, Br, และ Cl บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

Element Mouth	As(ng/m^3) \pm Error	Br(ng/m^3) \pm Error	Cl(ng/m^3) \pm Error
N2	18.74 \pm 0.01	3.45 \pm 0.01	530.3 \pm 0.3
D1	31.14 \pm 0.02	6.00 \pm 0.02	516.5 \pm 0.2
D2	12.62 \pm 0.01	24.96 \pm 0.02	1018 \pm 1
J1	7.51 \pm 0.05	21.15 \pm 0.03	978 \pm 1
J2	6.50 \pm 0.04	12.69 \pm 0.02	711.3 \pm 0.3
F1	5.73 \pm 0.03	3.24 \pm 0.01	576.4 \pm 0.3
F2	99.9 \pm 0.6	56.97 \pm 0.04	710 \pm 1
M1	155 \pm 1	117.6 \pm 0.1	524 \pm 1
M2	136 \pm 1	76.02 \pm 0.04	258 \pm 1
A1	141 \pm 1	122.9 \pm 0.2	314 \pm 3
A2	49.5 \pm 0.3	107.5 \pm 0.3	76.4 \pm 4.1

ตารางที่ 4.10 ปริมาณธาตุ Fe, La, และ Mg บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

Element Mouth	Fe(ng/m^3) \pm Error	La(ng/m^3) \pm Error	Mg(ng/m^3) \pm Error
N2	336 \pm 2	3.01 \pm 0.05	412 \pm 1
D1	275 \pm 4	4.64 \pm 0.28	497 \pm 1
D2	2182 \pm 10	9.61 \pm 0.18	878 \pm 1
J1	6292 \pm 18	0.98 \pm 0.01	511 \pm 1
J2	1470 \pm 12	0.92 \pm 0.01	566 \pm 1
F1	1929 \pm 12	0.260 \pm 0.004	193 \pm 1
F2	1711 \pm 9	0.070 \pm 0.004	299 \pm 1
M1	212 \pm 1	0.38 \pm 0.01	253.4 \pm 0.3
M2	297 \pm 2	0.66 \pm 0.01	287.8 \pm 0.3
A1	149 \pm 1	0.38 \pm 0.02	196 \pm 1
A2	160 \pm 1	0.92 \pm 0.02	269 \pm 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ปริมาณธาตุ Mn, Sb, และ Sc บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

Element Mouth	Mn(ng/m^3) \pm Error	Sb(ng/m^3) \pm Error	Sc(ng/m^3) \pm Error
N2	27.66 \pm 0.02	2.79 \pm 0.02	0.08 \pm 0.01
D1	36.46 \pm 0.03	2.77 \pm 0.02	0.83 \pm 0.27
D2	74.3 \pm 0.1	3.04 \pm 0.03	0.63 \pm 0.14
J1	90.3 \pm 0.1	2.12 \pm 0.02	1.32 \pm 0.33
J2	38.2 \pm 0.1	2.33 \pm 0.02	0.60 \pm 0.07
F1	9.72 \pm 0.01	0.26 \pm 0.01	0.30 \pm 0.04
F2	5.43 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01	0.10 \pm 0.01
M1	9.659 \pm 0.004	0.28 \pm 0.01	0.15 \pm 0.01
M2	7.785 \pm 0.003	0.41 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01
A1	5.15 \pm 0.01	0.43 \pm 0.06	0.11 \pm 0.01
A2	8.26 \pm 0.02	0.33 \pm 0.06	0.07 \pm 0.01

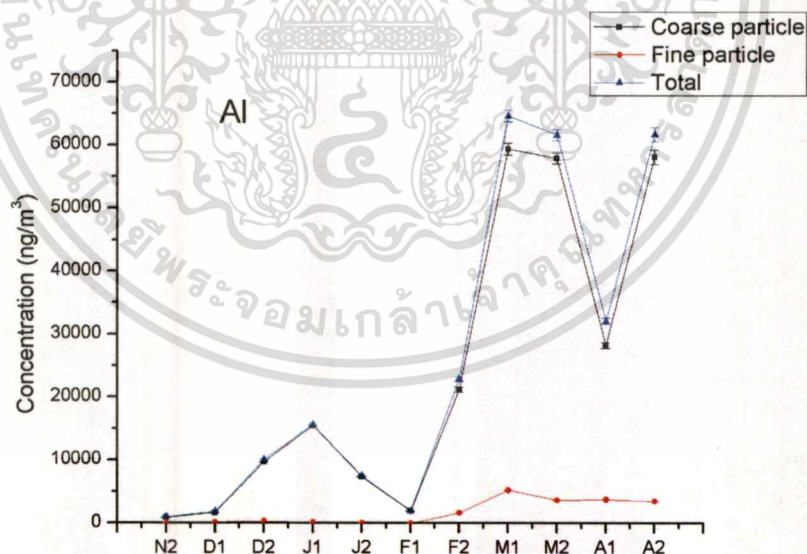
ตารางที่ 4.12 ปริมาณธาตุ Se, Sm, และ Th บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

Element Mouth	Se(ng/m^3) \pm Error	Sm(ng/m^3) \pm Error	Th(ng/m^3) \pm Error
N2	1.26 \pm 0.30	0.09 \pm 0.01	0.14 \pm 0.02
D1	1.79 \pm 0.50	0.104 \pm 0.01	0.16 \pm 0.04
D2	2.90 \pm 0.68	0.16 \pm 0.01	0.27 \pm 0.04
J1	2.15 \pm 0.46	0.036 \pm 0.003	0.18 \pm 0.05
J2	5.87 \pm 1.12	0.044 \pm 0.003	0.07 \pm 0.07
F1	2.57 \pm 0.62	0.012 \pm 0.002	0.02 \pm 0.01
F2	0.40 \pm 0.03	0.022 \pm 0.003	0.08 \pm 0.01
M1	0.06 \pm 0.03	0.042 \pm 0.004	0.15 \pm 0.02
M2	0.11 \pm 0.04	0.045 \pm 0.003	0.15 \pm 0.02
A1	0.13 \pm 0.05	0.017 \pm 0.003	0.09 \pm 0.02
A2	0.02 \pm 0.03	0.020 \pm 0.002	0.09 \pm 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ปริมาณธาตุ Ti, V, และ Zn บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

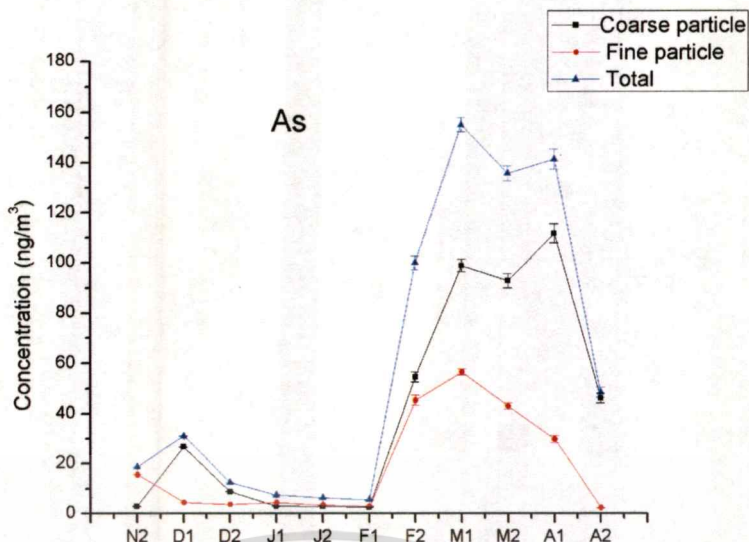
Element Mouth	Ti(ng/m^3) \pm Error	V(ng/m^3) \pm Error	Zn(ng/m^3) \pm Error
N2	77.1 \pm 0.1	11.801 \pm 0.002	1.04 \pm 0.07
D1	122.4 \pm 0.1	6.460 \pm 0.002	99.4 \pm 3.1
D2	466 \pm 1	19.09 \pm 0.01	174 \pm 4
J1	521 \pm 1	26.78 \pm 0.01	223 \pm 5
J2	179.5 \pm 0.3	8.212 \pm 0.004	4.23 \pm 2.09
F1	34.0 \pm 0.1	4.376 \pm 0.002	0.12 \pm 0.02
F2	18.0 \pm 0.1	29.0 \pm 0.1	5.03 \pm 0.06
M1	32.38 \pm 0.04	64.6 \pm 0.2	6.60 \pm 0.07
M2	47.1 \pm 0.1	62.3 \pm 0.2	7.05 \pm 0.09
A1	24.6 \pm 1.0	38.9 \pm 0.1	6.12 \pm 0.08
A2	35.9 \pm 1.3	42.9 \pm 0.2	5.39 \pm 0.08



รูปที่ 4.21 ปริมาณธาตุ Aluminum ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

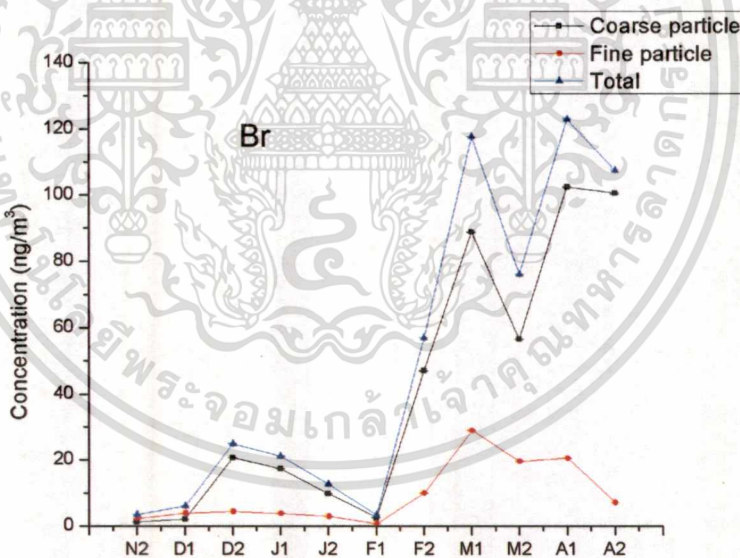
จากข้อมูลในหน้า 50 พบว่าปริมาณ Al ที่สุวรรณภูมิ ซึ่งพบมากในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลมาจากการจราจรที่มีมากขึ้นบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิดังแสดงในรูปที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ปริมาณธาตุ Arsenic ใน ฝุ่นละอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากข้อมูลในหน้า 51 พบว่าปริมาณ As ที่สุวรรณภูมิซึ่งพบมากในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลมาจากการจราจรที่มีมากขึ้นบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิดังแสดงในรูปที่ 4.22

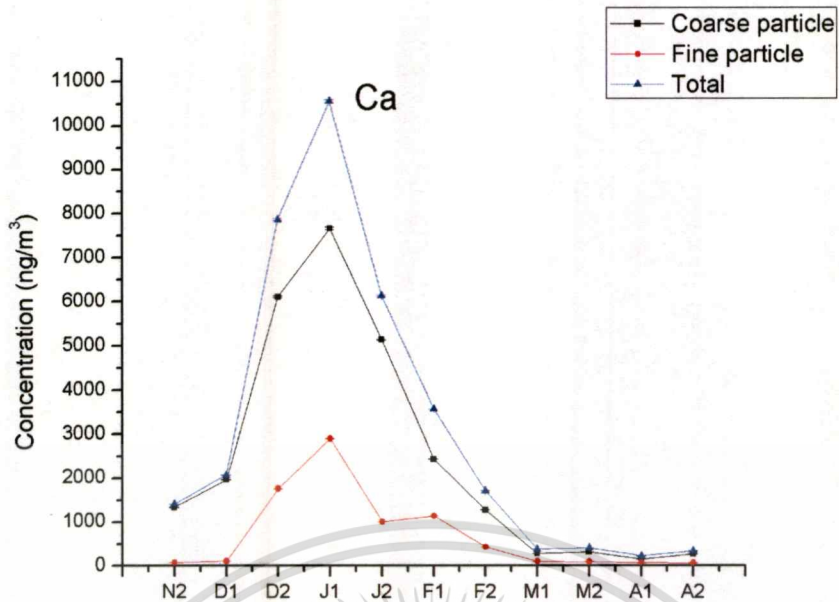


รูปที่ 4.23 ปริมาณธาตุ Bromine ใน ฝุ่นละอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากในหน้า 52 พบว่าปริมาณ Br ในสุวรรณภูมิซึ่งพบมากในดินและการเผาไหม้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลมาจากการจราจรที่มีมากขึ้นบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิดังแสดงในรูปที่

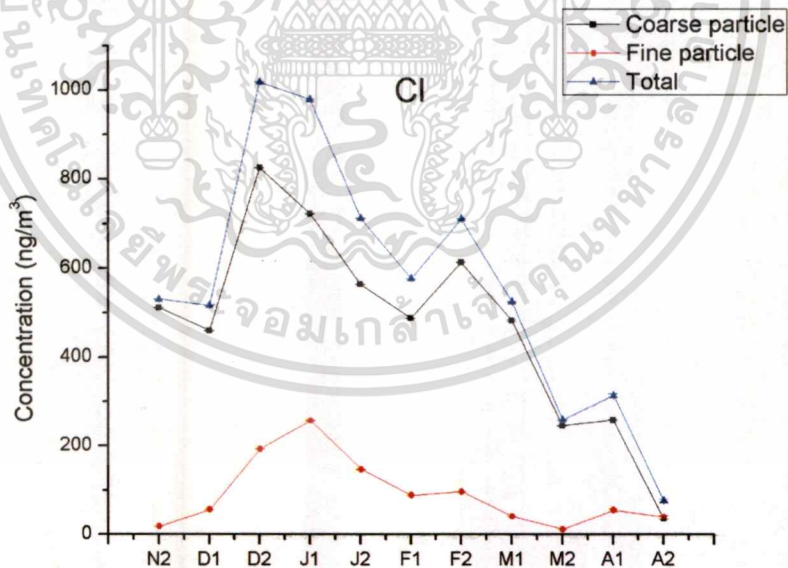
4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ปริมาณธาตุ Calcium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิ

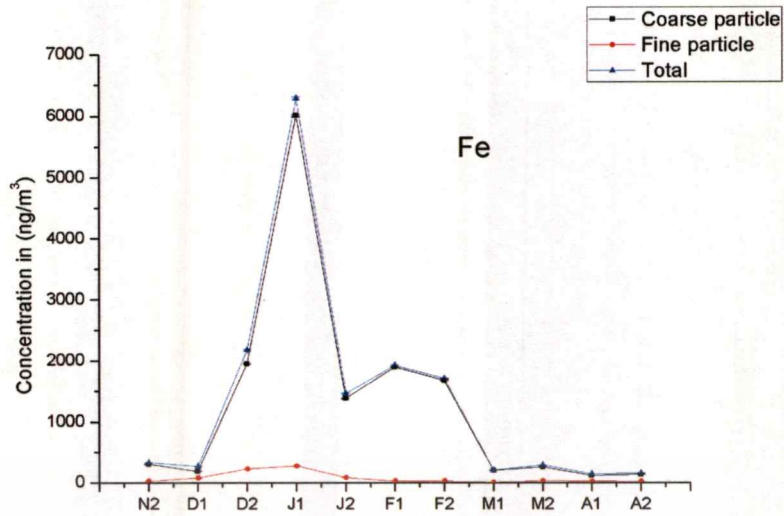
จากผลข้อมูลในหน้า 53 ว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Ca ในช่วงต้นเดือนตุลาคม 2549 ดังแสดงรูปที่ 4.24 มีการก่อสร้างบึงน้ำม้นบริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิห่างจากจุดเก็บอากาศประมาณ 700 m จึงทำให้มีการเพิ่มขึ้นของ Ca ระยะเวลาหนึ่ง



รูปที่ 4.25 ปริมาณธาตุ Chlorine ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิ

จากผลการทดลอง พบว่า Cl มีการลดลงอย่างต่อเนื่องภายหลังเดือนธันวาคม 2549 ดังแสดงในรูปที่ 4.25

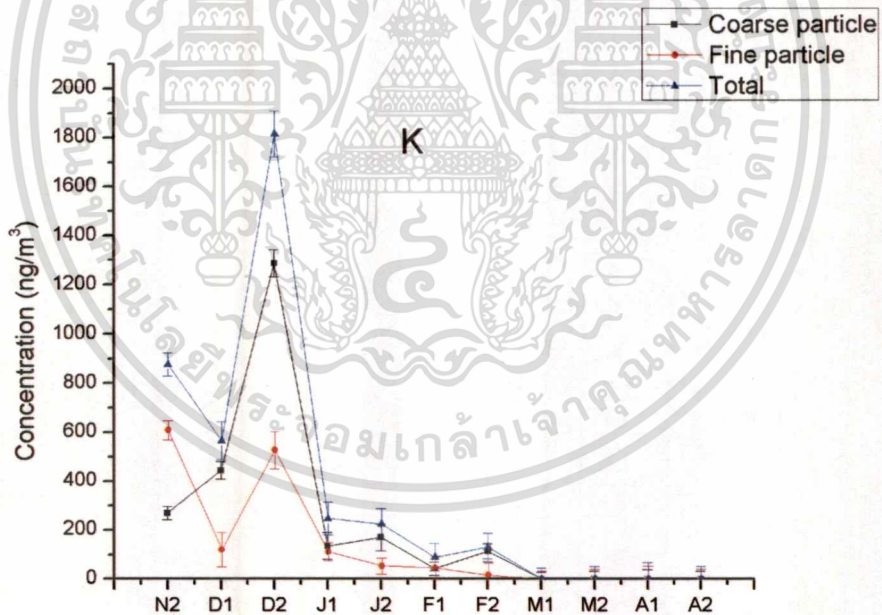
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ปริมาณธาตุ Iron ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม

บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากข้อมูลในหน้า 55 ทั้งสองบริเวณพบว่า Fe ในสนามบินสุวรรณภูมิจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันอาจเป็นผลมาจากแหล่งที่มาที่มีปริมาณ Fe มาก เช่น ดินลูกรังและไม่มีแนวโน้มลดลงแสดงในรูปที่ 4.26

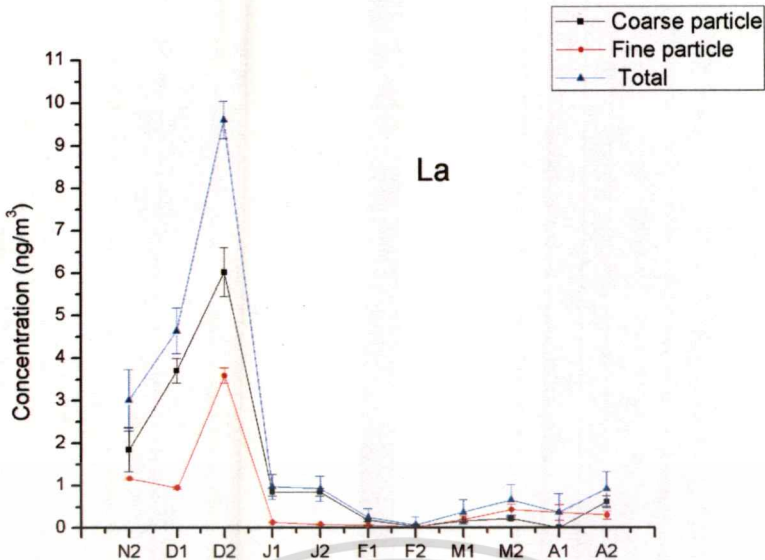


รูปที่ 4.27 ปริมาณธาตุ Potassium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม

บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

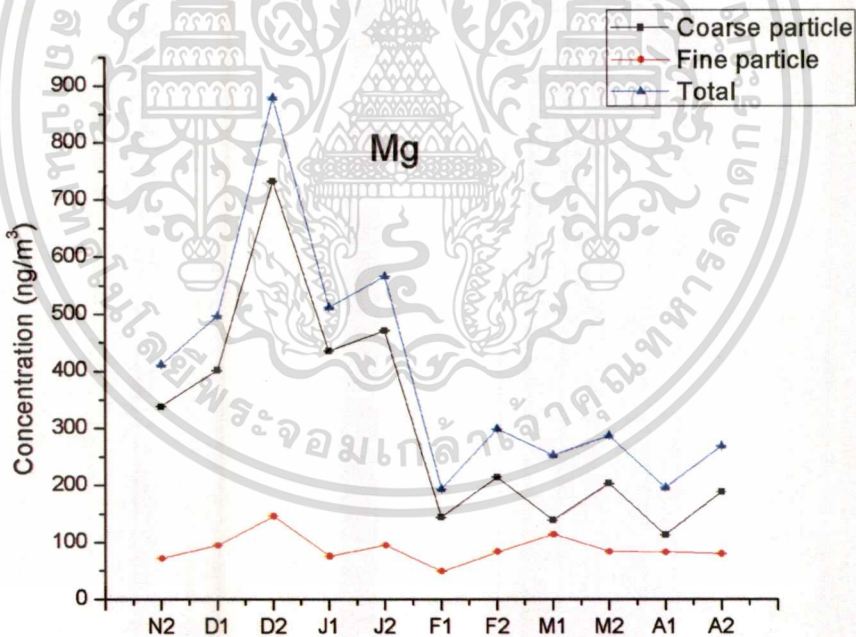
จากข้อมูลหน้า 56 พบว่ามีปริมาณ K ในสนามบินสุวรรณภูมิมากในช่วงปลายเดือน ธันวาคม 2549 เนื่องจากมีการซ่อมดับเพลิงบริเวณใกล้กับจุดที่ทำการเก็บอากาศภายในสนามบินอย่างต่อเนื่องและมีการลดลงในช่วงหลังเพราะมีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลม ดังแสดงในรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



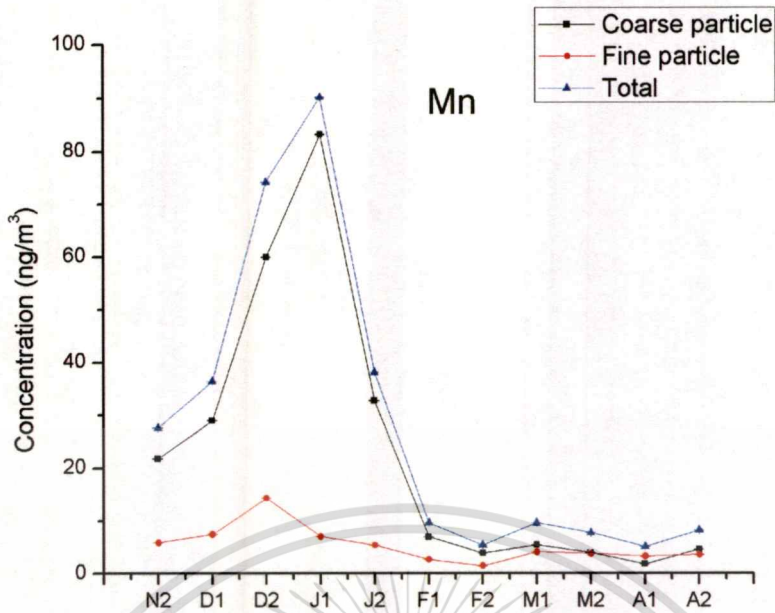
รูปที่ 4.28 ปริมาณธาตุ Lanthanum ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากข้อมูลหน้า 57 พบว่า La เป็นธาตุที่พบปริมาณน้อยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 4.28



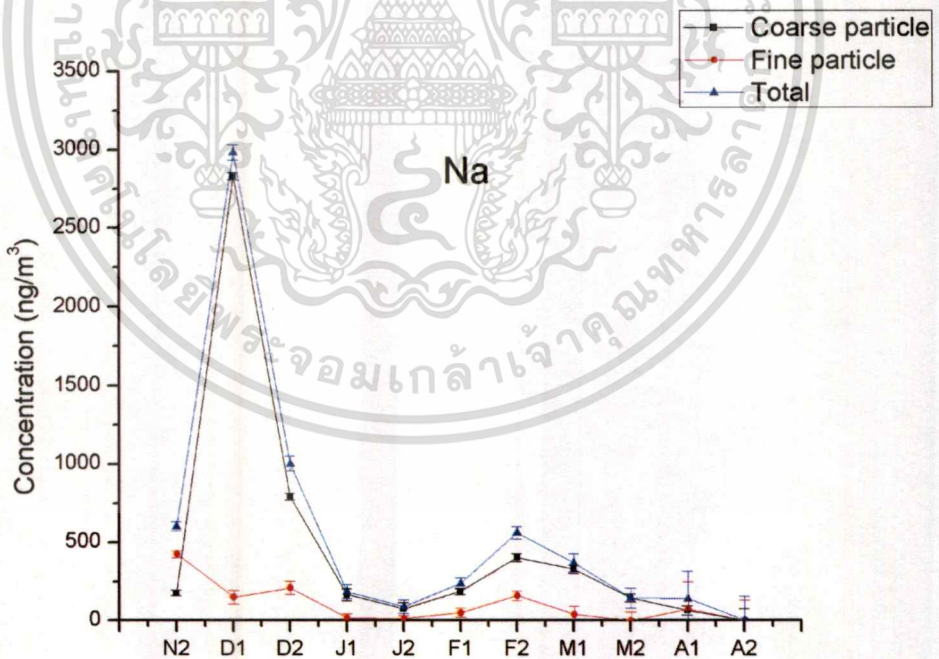
รูปที่ 4.29 ปริมาณธาตุ Magnesium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากการทดลอง พบว่า Mg มีการลดลงในเดือน กุมภาพันธ์ 2550 ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.30 ปริมาณธาตุ Manganese ใน ฝุ่นละออย, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบิณสูวรรณภูมิ

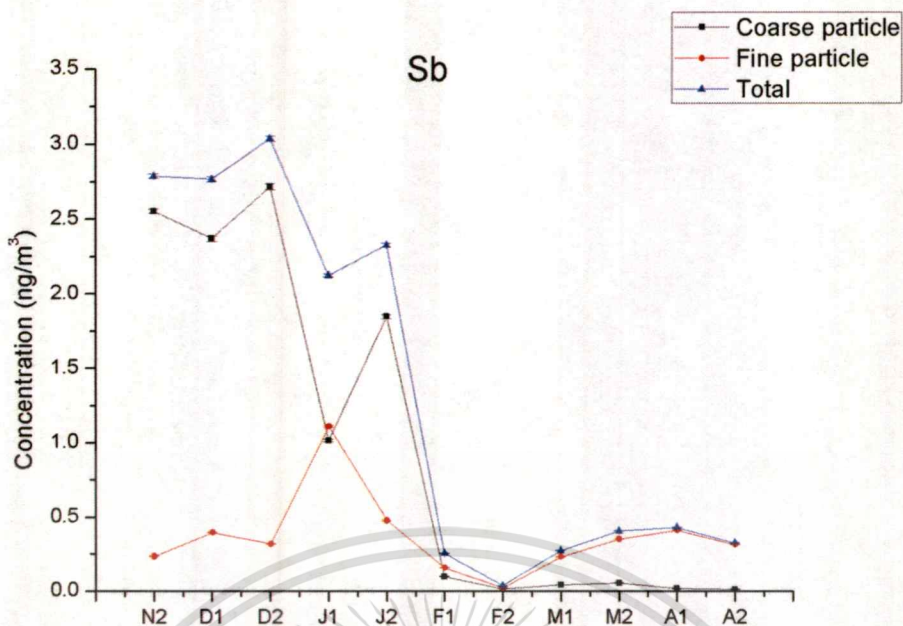
จากผลการทดลอง พบว่า Mn มีการเพิ่มขึ้น อย่างกะทันหันในเดือน ธันวาคม 2549 ดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.31 ปริมาณธาตุ Sodium ใน ฝุ่นละออย, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบิณสูวรรณภูมิ

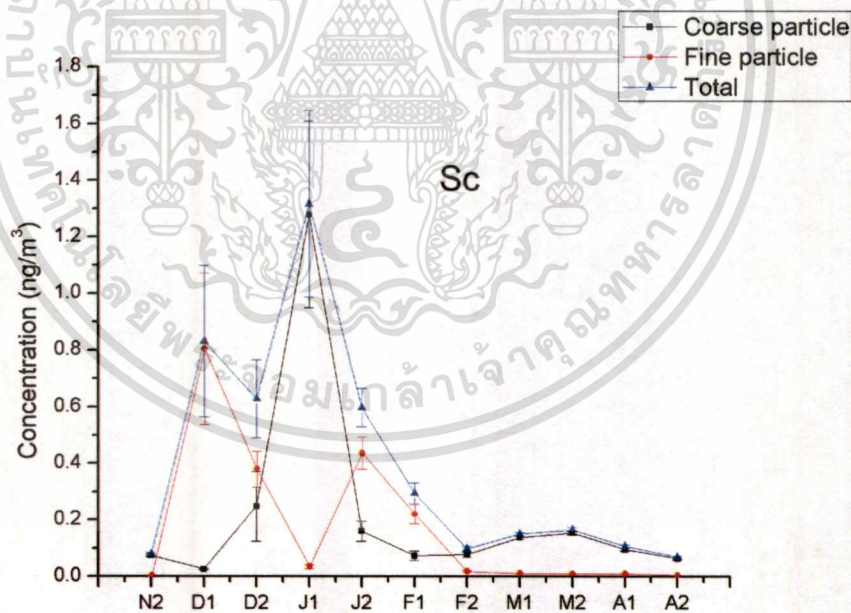
จากผลการทดลอง พบว่า Na มีการเพิ่มขึ้น อย่างกะทันหันในเดือน ธันวาคม 2549 ดังแสดงในรูปที่ 4.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



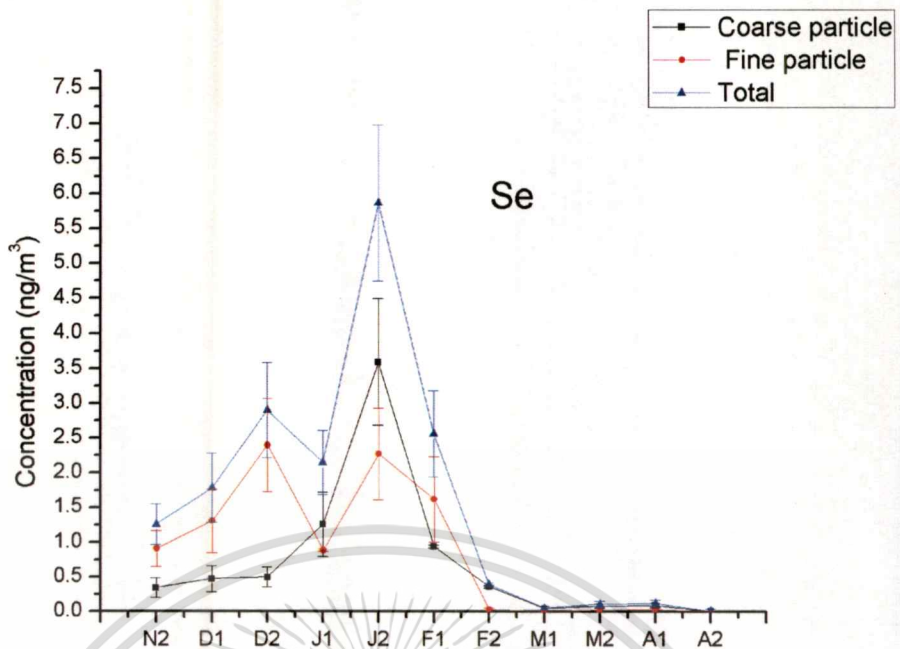
รูปที่ 4.32 ปริมาณธาตุ Antimony ใน ฝุ่นละอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากข้อมูลในหน้า 61 พบว่า Sb เป็นธาตุที่พบน้อยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงมีหลายปัจจัย ดังแสดงในรูปที่ 4.32



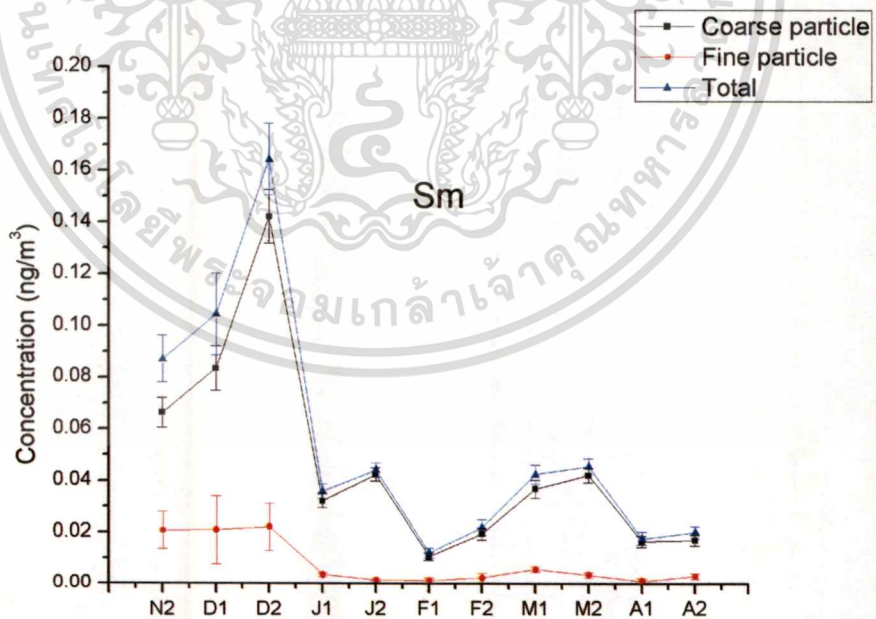
รูปที่ 4.33 ปริมาณธาตุ Scandium ใน ฝุ่นละอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากข้อมูลในหน้า 52 พบว่า Sc เป็นธาตุที่พบน้อยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงมีหลายปัจจัยดังแสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.34 ปริมาณธาตุ Selenium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

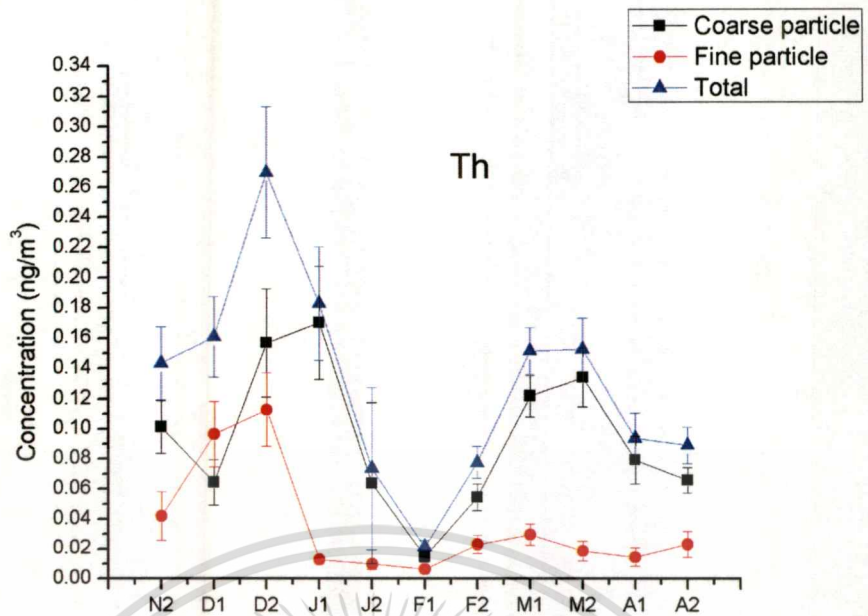
จากข้อมูลในหน้า 63 พบว่า Se เป็นธาตุที่พบน้อยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงมีหลายปัจจัยดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.35 ปริมาณธาตุ Samarium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

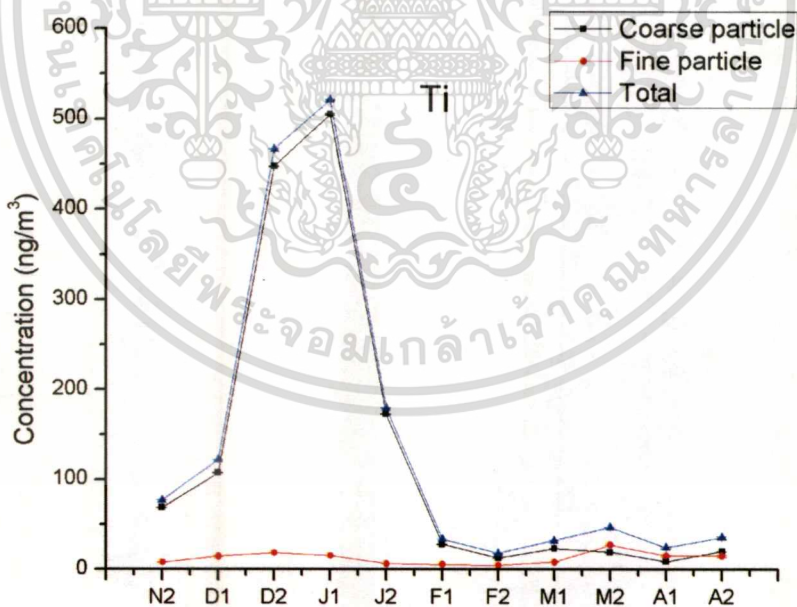
จากข้อมูลในหน้า 64 พบว่าปริมาณ Sm ก่อนข้างคังที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วไม่ได้มาจากการจราจรดังรูปที่ 4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



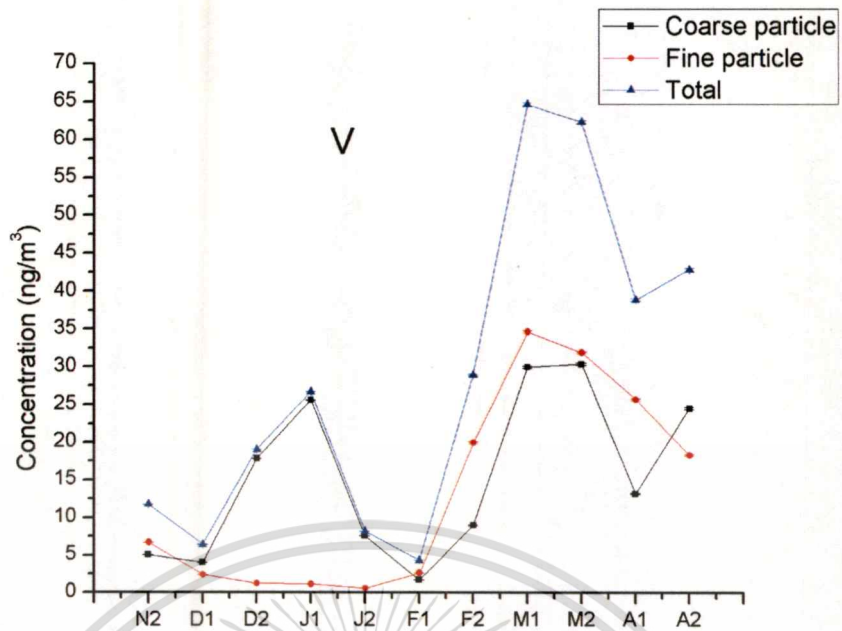
รูปที่ 4.36 ปริมาณธาตุ Thorium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากข้อมูลในหน้า 65 พบว่า Th เป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลง เป็นปัจจัยโดยตรงจากสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.36



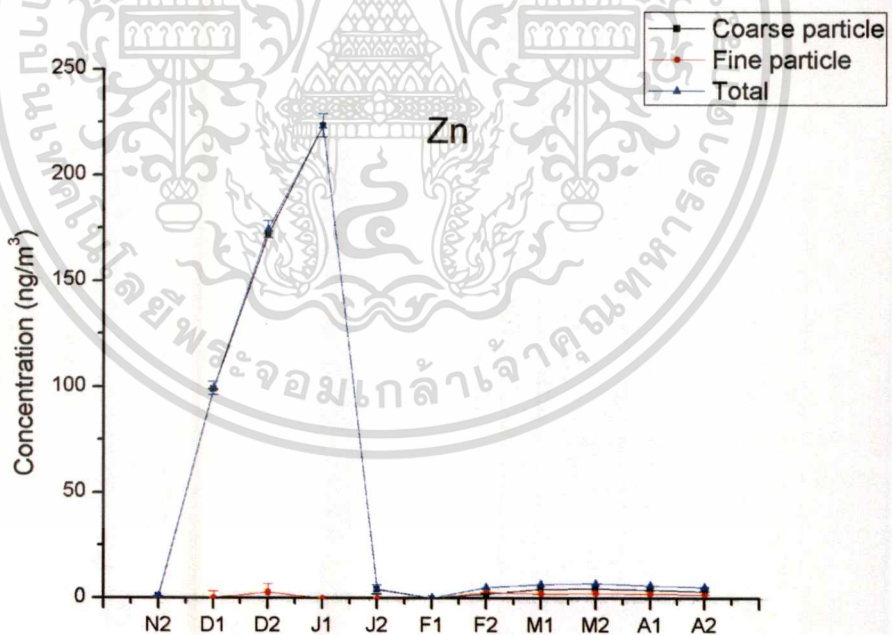
รูปที่ 4.37 ปริมาณธาตุ Titanium ใน ฝุ่นละออง, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากข้อมูลในหน้า 66 พบว่า Ti เป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลง เป็นปัจจัยโดยตรงจากสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.38 ปริมาณธาตุ Vanadium ใน ฝุ่นละเอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิ

จากข้อมูลในหน้า 67 พบว่า V มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งมาจากการจราจรทางอากาศที่เพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.38

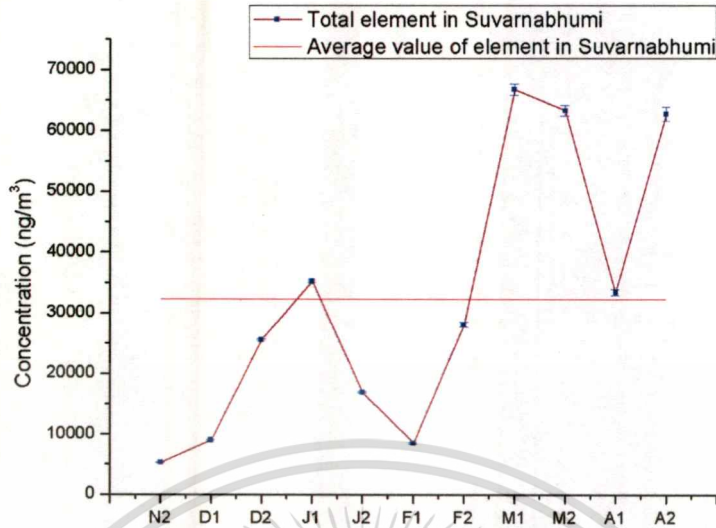


รูปที่ 4.39 ปริมาณธาตุ Zinc ใน ฝุ่นละเอียด, ฝุ่นหยาบ และฝุ่นรวม บริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิ

จากข้อมูลในหน้า 68 พบว่า Zn เป็นธาตุที่พบในปริมาณน้อยดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลง เป็นปัจจัยโดยตรงจากสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

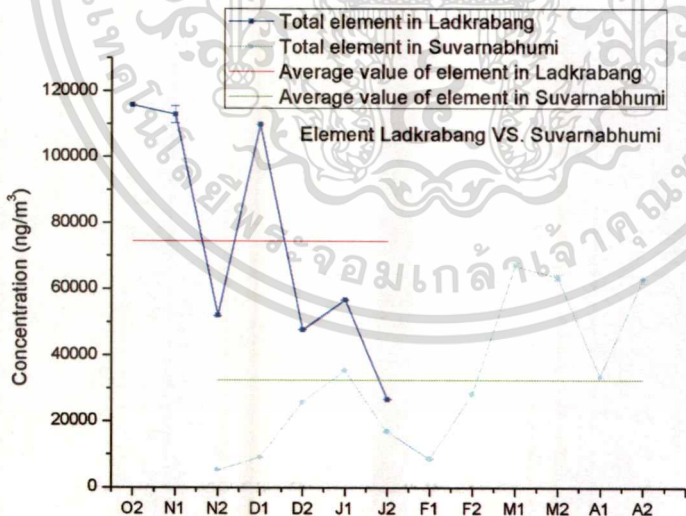
4.4 ปริมาณธาตุรวมในบริเวณสนามบิณสุวรรณภูมิ



รูปที่ 4.40 ปริมาณธาตุรวม บริเวณสนามบิณสุวรรณภูมิ

จากการทดลองพบว่าปริมาณธาตุที่พบบริเวณสนามบิณสุวรรณภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลโดยตรงมาจากการจราจรที่เพิ่มมากขึ้นทั้งทางบก และทางอากาศ

4.5 เปรียบเทียบปริมาณธาตุรวมในบริเวณสนามบิณสุวรรณภูมิกับบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



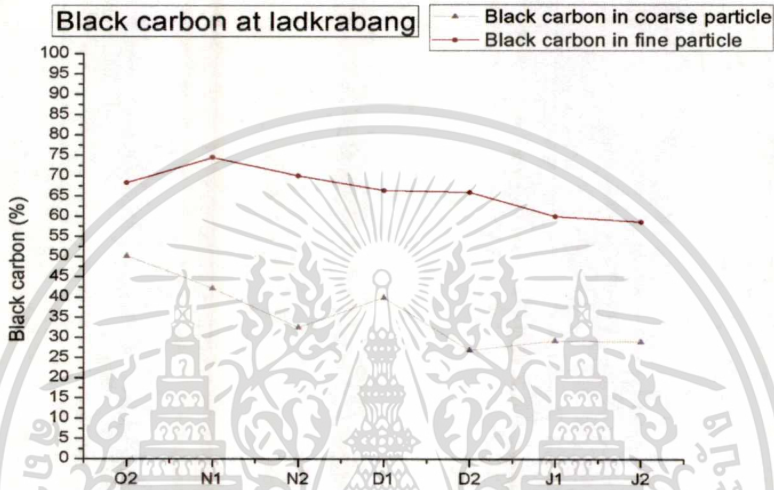
รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบปริมาณฝุ่นที่ลาดกระบังกับสุวรรณภูมิ

จากการเปรียบเทียบปริมาณธาตุรวมจากทั้งสองบริเวณ พบว่าในช่วงแรก ปริมาณธาตุที่ลาดกระบังมีปริมาณสูงกว่าที่สุวรรณภูมิมาก ๆ เนื่องจากรถชนดินไถล์ ๆ กับจุดเก็บตัวอย่างอากาศ แต่ไม่มีผลกับสุวรรณภูมิเลย ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณฝุ่นละอองมีผลโดยตรงมาจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้

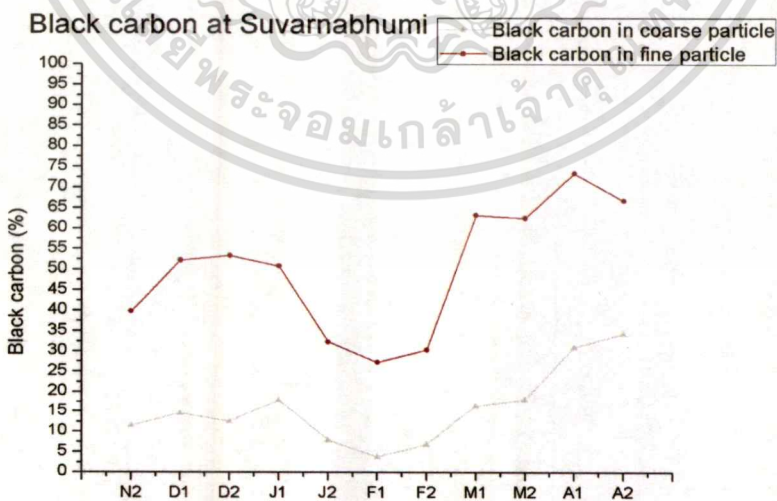
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าแหล่งกำเนิดที่อยู่ไกล แต่ในช่วงหลังจากปลายเดือนธันวาคมมีแนวโน้มของปริมาณฝุ่น
ใกล้เคียงกัน แสดงว่าใกล้ ๆ กับทั้งสองบริเวณไม่มีเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดฝุ่น ปริมาณฝุ่นจึงเป็น
ปริมาณจริงเนื่องจากฝุ่นในบรรยากาศ

4.6 การวิเคราะห์ Black carbon บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิและบริเวณสถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 4.42 ปริมาณ Black carbon ในฝุ่นหยาบและฝุ่นละเอียดบริเวณ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 4.43 ปริมาณ Black carbon ในฝุ่นหยาบและฝุ่นละเอียด
บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 ธาตุที่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชัน ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและสนามบินสุวรรณภูมิ

จากการวิจัยในครั้งนี้ เมื่อวิเคราะห์สารตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน ECH Soil7 SDM SDN 1632c 1648 และ Pace จะเห็นได้ว่าธาตุที่พบบริเวณสนามฟุตบอลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมี 19 ธาตุ คือ Al, As, Br, Ca, Cl, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Sb, Sc, Se, Sm, Th, Ti, V และ Zn แต่ธาตุที่มีผลต่อปริมาณฝุ่นละอองอากาศได้แก่

Al	อยู่ในช่วง	7.9 – 43.6	$\mu\text{g} / \text{m}^3$
Ca	อยู่ในช่วง	10.9 – 62.6	$\mu\text{g} / \text{m}^3$
Na	อยู่ในช่วง	2.4 – 14.9	$\mu\text{g} / \text{m}^3$
K	อยู่ในช่วง	0.5 – 21.7	$\mu\text{g} / \text{m}^3$

และธาตุที่พบบริเวณกรมอุตุนิยมวิทยาภายในสนามบินสุวรรณภูมิมีย 19 ธาตุ คือ Al, As, Br, Ca, Cl, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Sb, Sc, Se, Sm, Th, Ti, V และ Zn แต่ธาตุที่มีผลต่อปริมาณฝุ่นละอองอากาศได้แก่

Al	อยู่ในช่วง	1.9 – 64.6	$\mu\text{g} / \text{m}^3$
Ca	อยู่ในช่วง	0.22 – 7.8	$\mu\text{g} / \text{m}^3$
Na	อยู่ในช่วง	0.009 – 3	$\mu\text{g} / \text{m}^3$
K	อยู่ในช่วง	0.009 – 2	$\mu\text{g} / \text{m}^3$

5.2 ปริมาณธาตุรวมในฝุ่นละอองอากาศ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและสนามบินสุวรรณภูมิ

ปริมาณของฝุ่นละออง PM_{10} ในแต่ละบริเวณที่ทำการศึกษา จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากจุดตรวจวัดทั้งสองแห่ง คือ บริเวณสนามฟุตบอลภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในช่วงเดือน ตุลาคม ปี 2549 ถึง เดือนมกราคมปี 2550 และบริเวณสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาภายในสนามบินสุวรรณภูมิ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ปี 2549 ถึง เดือนเมษายน ปี 2550 มีความเข้มข้นของปริมาณธาตุรวมเฉลี่ยในบริเวณสนามฟุตบอลภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมากกว่า ความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของปริมาณธาตุรวมเฉลี่ยบริเวณจุดตรวจสภาพอากาศภายในสนามบินสุวรรณภูมิในช่วงเดือน ตุลาคม 2549 ถึงต้นเดือน ธันวาคม 2549 ทั้งนี้เนื่องมาจากภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังได้มีรถขนดินผ่านบริเวณที่เก็บตัวอย่างอากาศเนื่องจากการก่อสร้าง หมายความว่า การก่อสร้างมีผลให้ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศเพิ่มขึ้นเพราะมีการเพิ่มขึ้นของ Ca อย่างเด่นชัด จากผลการศึกษายืนยันได้ว่าฝุ่นที่พบบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบังเป็นฝุ่นที่มาจากดินเป็นส่วนมาก ซึ่งเกิดจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นจากการจราจร และจากการก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปริมาณฝุ่นไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงแน่นอน ขึ้นอยู่กับ การจราจร ช่วงเดือนที่มีการปิดเทอมหรือช่วงสอบปริมาณฝุ่นจะมีปริมาณน้อย ทิศทางของลม และ สภาพอากาศก็เป็นปัจจัยสำคัญในการพัดพาฝุ่นละอองด้วย ส่วนฝุ่นบริเวณกรมอุตุนิยมวิทยาก็เป็น ฝุ่นที่มาจากดินและการก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นปริมาณฝุ่นจึงมีการเปลี่ยนแปลง ไป ในทางเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการจราจรที่เพิ่มมากขึ้นบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

จากการทดลองพบว่าธาตุ Vanadium (V) ซึ่งมาจากน้ำมันเครื่องบินมีการเพิ่มขึ้นเป็น ส่วนมากแต่จะมีลดลงบ้างเป็นเพราะมีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมจึงสรุปได้ว่าการสัญจรทาง อากาศของเครื่องบินมีผลต่อปริมาณธาตุในฝุ่นละอองอากาศ

จากผลเฉลี่ยของธาตุรวมทั้งสองบริเวณพบว่าที่สถาบันมีปริมาณธาตุรวมในฝุ่นละอองเฉลี่ย เท่ากับ $74.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิมีปริมาณธาตุรวมในฝุ่นละอองเฉลี่ย แต่ปริมาณธาตุรวมทั้งสองบริเวณยังไม่ใช่ ปริมาณฝุ่นรวม ดังนั้นในช่วงที่ทำการศึกษาแสดงให้เห็น ว่าปริมาณฝุ่นรวมบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีค่าเกินกว่า มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษคือ ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ถือได้ว่าอากาศมีความเป็น มลพิษเนื่องจากฝุ่นละออง ส่วนบริเวณจุดตรวจสภาพอากาศภายในสนามบินสุวรรณภูมิยังคงมี แนวโน้มของสภาพยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นจะพบว่าเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยนิวตรอนแอคติเวชัน เป็น เทคนิคที่มีความไวสูง ผลที่ได้จึงมีความแม่นยำ เหมาะสำหรับการวิเคราะห์หาธาตุที่มีปริมาณน้อยๆ ซึ่งเป็นการยากที่จะใช้เทคนิคอื่นวิเคราะห์ แต่มีข้อจำกัดบางประการคือมีธาตุบางชนิดที่ไม่สามารถ วิเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้ เช่น H, B, Pb, S เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] กรมควบคุมมลพิษ กองการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. 2548
- [2] ดวงฤทัย บัวด้วง. 2542 . ผลของฝุ่นขนาดเล็กที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจที่มีผลต่อสมรรถภาพปอดของตำรวจจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] ดวงใจ ชูตะภูถ 2544. การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นส่วนประกอบที่อยู่ในดินเพาะปลูกโดยวิธีนิวตรอนแอคทีเวชัน
- [4] นพภาพร พานิช และคณะ. 2550 ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ศูนย์บริการวิชาการ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] ปราโมทย์ ไชยเวช 2533 ปิโตรเลียมเทคโนโลยี (PETROLEUM TECHNOLOGY) ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [6] ธวัช ชิตตระการ. 2541 . การตรวจและการวัดรังสี. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม การวิเคราะห์ทางเคมีรังสี ภาควิชาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [8] ศิริวรรณ แก้วงาม. 2543 : สัมฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] Hathairatana Garivait. 1999 .A study on air pollution by air borne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) in Bangkok urban atmosphere. Asian Institute of Technology School of Enviroment.
- [10] Philip K. Hopke, Ying Xie, Characterization of the Gen PM₁₀ Sample Department of Chemistry
- [11] R.W. Simpson. Lectures and Workshops in Air Pollution Division of Australian Environmental Studies, Griffith University
- [12]<http://th.wikipedia.org/wiki/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานสถานการณ์ประจำวันสถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ บริเวณสถานีตรวจวัดอากาศ
สถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สนามบินสุวรรณภูมิ

D/M/Y	Remark
19/11/49	ก่อนเก็บ 1 วันมีฝนตก
22/11/49	ก่อนเก็บ 1 วันมีฝนตก
26/11/49	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
29/11/49	กระดาศกรองเก็บฝุ่นละเอียคขาด
3/12/49	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
6/12/49	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
10/12/49	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
13/12/49	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
17/12/49	กระดาศกรองขาด
20/12/49	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
24/12/49	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
27/12/49	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
31/12/49	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
03/01/50	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
07/01/50	เริ่มมีการก่อสร้างบิมน้ำมัน ในบริเวณที่เก็บอากาศ
10/01/50	กระดาศกรองเก็บฝุ่นหยาบขาด
14/01/50	สายเครื่องเก็บอากาศขาด
17/01/50	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
21/01/50	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
24/01/50	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
07/02/50	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
11/02/50	เหตุการณั้ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D/M/Y	Remark
14/02/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
18/02/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
21/02/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
25/02/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
28/02/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
04/03/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
07/03/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
11/03/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
14/03/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
18/03/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
21/03/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
28/03/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
01/04/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
04/04/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
08/04/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
11/04/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
15/04/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
18/04/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
22/04/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
25/04/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานสถานการณ์ประจำวันสถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ บริเวณสนามกีฬา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

D/M/Y	Remark
25/10/49	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
29/10/49	มีรถชนคินผ่านและมีการก่อสร้างทางมอเตอร์เวย์
01/11/49	มีรถชนคินผ่านและมีการก่อสร้างทางมอเตอร์เวย์
05/11/49	มีรถชนคินผ่านและมีการก่อสร้างทางมอเตอร์เวย์
08/11/49	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
12/11/49	ก่อนเก็บ 1 วันมีฝนตก
19/11/49	ก่อนเก็บ 1 วันมีฝนตก
22/11/49	มีการเริ่มก่อสร้างอพาทเมนต์ใกล้จุดเก็บอากาศ
26/11/49	ก่อนเก็บ 1 วันมีฝนตก
29/11/49	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
3/12/49	เครื่องเก็บอากาศตกลงมาแตก
6/12/49	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
10/12/49	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
13/12/49	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
17/12/49	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
20/12/49	กระดาศกรองขาด
24/12/49	การก่อสร้างอพาทเมนต์หยุดไปโดยไม่มีสาเหตุ
27/12/49	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
31/12/49	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
03/01/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
07/01/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
10/01/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D/M/Y	Remark
14/01/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
17/01/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
21/01/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
24/01/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
07/02/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก
11/02/50	เหตุการณ์ปกติ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดออก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



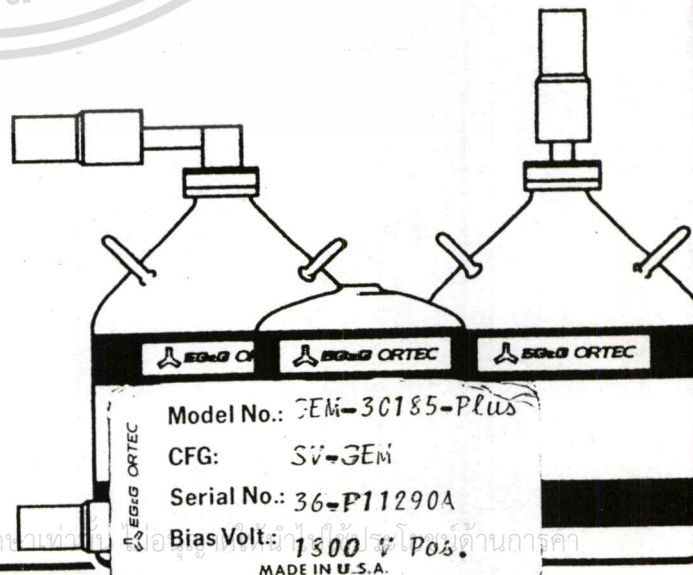
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Solid-State Photon Detector Operators Manual

GEM Plus Serie

High-Purity Germanium (HPC)
Coaxial Photon Detector System



QUALITY ASSURANCE DATA SHEET

GEM Plus Series

High-Purity Germanium (HPGe) Coaxial Photon Detector System

Model and Serial Numbers

Detector Model No. GEM-30185-PLUS
 Cryostat Configuration SV-GEM
 Dewar Model 30
 Preamplifier Model 232P
 Preamplifier S/N #273
 H. V. Filter Model 138
 H. V. Filter S/N #8821

Important Reference Data

Ship Date 11-18-96
 Serial No. 36-P11290A
 When calling Customer Service, always reference this Detector Serial No.

Cryogenic Information

Dewar Capacity 30L Static Holding Time 14 Days Detector Cool-Down Time 6 HRS.

Dimensions

Crystal Diameter	<u>59.0</u> mm	Absorbing Layers	
Crystal Length	<u>64.5</u> mm	Aluminum	<u>1.27</u> mm
End Cap to Crystal	<u>3</u> mm	Inactive Germanium	<u>700</u> mm
Total Active Volume	<u>—</u> cc		

High Voltage Bias

Recommended Operation Bias, POSITIVE \pm 1800 V

Performance Specifications*

	Warranted	Measured	Amplifier Time Constant
Resolution (FWHM) at 1.33 MeV, ⁶⁰ Co	<u>1.85</u> keV	<u>1.79</u> keV	<u>6</u> μ s
Peak-to-Compton Ratio, ⁶⁰ Co	<u>58</u>	<u>65.3</u>	<u>6</u> μ s
Relative Efficiency at 1.33 MeV, ⁶⁰ Co	<u>30</u> %	<u>35.8</u> %	<u>6</u> μ s
Peak Shape (FWTM/FWHM), ⁶⁰ Co	<u>1.90</u>	<u>1.82</u>	<u>6</u> μ s
Peak Shape (FWFM/FWHM), ⁶⁰ Co	<u>2.65</u>	<u>2.41</u>	<u>6</u> μ s
Resolution (FWHM) at 122 keV, ⁵⁷ Co	<u>875</u> eV	<u>710</u> eV	

Other _____

Data Certified By Glanagan Date 11-18-96

Measured at a nominal rate of 1000 counts/s unless otherwise specified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Research Council
Canada

Conseil national de recherches
Canada

Division of Chemistry

Division de chimie

Marine Analytical
Chemistry Standards
Program

Programme de standards
de chimie analytique
marine

Ottawa, Ontario
Canada
K1A 0R6

Tel. (613) 993-2359
FAX (613) 952-1275
Telex 053-3145

January, 1981
Revised February, 1987
Revised October, 1987

MESS-1

BCSS-1

PACS-1

Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and Other Constituents

The following two tables give those constituents for which certified values have been established. Certified values are based on the results of determinations by at least two independent methods of analysis. The uncertainties represent 95% tolerance limits for an individual subsample. That is, 95% of samples, 500 mg or greater, from any bottle would be expected to have concentrations within the specified range 95% of the time.

Trace Elements (mg/kg)

	MESS-1		BCSS-1		PACS-1	
	Value	±	Value	±	Value	±
Antimony (g,h,i,n)	0.73	± 0.08	0.59	± 0.06	171	± 14
Arsenic (b,h,i,n,p)	10.6	± 1.2	11.1	± 1.4	211	± 11
Beryllium (g,i)	1.9	± 0.2	1.3	± 0.3	—	—
Cadmium (g,i,m,q)	0.59	± 0.10	0.25	± 0.4	2.38	± 0.20
Chromium (m,n,p,q,x)	71	± 11	123	± 14	113	± 8
Cobalt (f,g,i,m,n,p,x)	10.8	± 1.9	11.4	± 2.1	17.5	± 1.1
Copper (f,g,i,m,n)	25.1	± 3.8	18.5	± 2.7	452	± 16
Lead (f,g,i,m,p,q,x)	34.0	± 6.1	22.7	± 3.4	404	± 20
Manganese (f,i,n,p,x)	513	± 25	229	± 15	470	± 12
Mercury (c,m,q)	0.171	± 0.014	0.129	± 0.012	4.57	± 0.16
Molybdenum (g,i,q)	—	—	—	—	12.3	± 0.9
Nickel (g,i,m,n,q)	29.5	± 2.7	55.3	± 3.6	44.1	± 2.0
Selenium (g,h,l,m)	0.34	± 0.06	0.43	± 0.06	1.09	± 0.11
Strontium (f,i,g)	—	—	—	—	277	± 11
Tin (g,h,i,q)	3.98	± 0.44	1.85	± 0.20	41.1	± 3.1
Vanadium (f,i,m,n)	72.4	± 5.3	93.4	± 4.9	127	± 5
Zinc (f,i,m,n,q,x)	191	± 17	119	± 12	824	± 22

Canada

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	MESS-1		BCSS-1		PACS-1	
C (e,r)	2.99	± 0.09	2.19	± 0.09	3.69	± 0.11
Na ₂ O (f,i,n,p)	2.50	± 0.15	2.72	± 0.21	4.40	± 0.11
MgO (d,f,i,p)	1.44	± 0.09	2.44	± 0.23	2.41	± 0.09
Al ₂ O ₃ (d,f,i,n,x)	11.03	± 0.38	11.83	± 0.41	12.23	± 0.22
SiO ₂ (f,x)	67.5	± 1.9	66.1	± 1.0	55.7	± 0.5
P ₂ O ₅ (i,x)	0.146	± 0.014	0.154	± 0.016	0.253	± 0.018
S (i,x,x)	0.72	± 0.05	0.36	± 0.05	1.32	± 0.08
Cl (n,v,x)	0.82	± 0.07	1.12	± 0.05	2.39	± 0.09
K ₂ O (f,n,x)	2.24	± 0.04	2.17	± 0.04	1.50	± 0.09
CaO (f,i,n,p,x)	0.674	± 0.064	0.760	± 0.074	2.92	± 0.13
TiO ₂ (d,f,i,n,p,x)	0.905	± 0.028	0.734	± 0.024	0.703	± 0.011
Fe ₂ O ₃ (d,f,i,n,p,x)	4.36	± 0.25	4.70	± 0.14	6.96	± 0.12

Coding

- b - Inductively coupled plasma mass spectrometry
- c - Cold vapour atomic absorption spectrometry
- d - DC plasma atomic emission spectrometry
- e - Coulometry
- f - Flame atomic absorption spectrometry
- g - Graphite furnace atomic absorption spectrometry
- h - Hydride generation atomic absorption spectrometry
- i - Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry
- l - Liquid chromatography
- m - Isotope dilution solid source mass spectrometry
- n - Instrumental neutron activation analysis
- p - Instrumental photonuclear activation analysis
- q - Isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry
- r - Infrared spectrometry
- v - Volumetric analysis
- x - X-Ray fluorescence spectrometry

Not all the methods listed above were applied to all three materials

These reference materials are primarily intended for use in the calibration of procedures and the development of methods used for the analysis of marine sediments and materials with similar matrices.

Preparation of material

MESS-1 and BCSS-1 were collected by MacLaren Plansearch Ltd., Dartmouth, N.S., from the Gulf of St. Lawrence (MESS-1 from the Miramichi River estuary and BCSS-1 from the Baie des Chaleurs). PACS-1 was collected by Dobrocky Seatech Ltd., Sidney, B.C. in the harbour of Esquimalt, B.C. They were freeze dried (Freeze-Dry Foods, Oakville, Ont.), screened to pass a No. 120 (125 μm) screen, blended and bottled by Chemistry Division staff using the facilities of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology in Ottawa. After bottling, the samples were radiation sterilized by Atomic Energy of Canada, Ltd., to minimize effects from biological activity.

Instructions for drying

Although initially free from moisture following the freeze drying, the materials, which contain sea salt, have picked up moisture during subsequent operations. They should be dried to a constant weight before use. Drying for several hours at 105°C has proved to be a relatively simple method to achieve a dry weight for most purposes. They should be kept well sealed and in a cool place.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Randomly selected bottles were used for the analytical determinations. Results from different bottles showed no significant differences compared to results from subsamples within bottles. Nor was there any correlation between values obtained and bottle sequence. Thus, it is assumed that all bottles of each of these materials have essentially the same composition. PACS-1 was extensively tested for homogeneity at the Department of Chemistry, University of Alberta, Edmonton, Alberta.

Information values

The following values are considered less reliable than those quoted above because they are not based on the results of at least two independent methods or there were insufficient analyses performed. These numbers are given for information only. Values are in mg/kg.

	MESS-1	BCSS-1	PACS-1
Cs (n,p)*	(4)	(4)	—
Ge (m)	(1.7)	(1.5)	—
Mo (m)	(2.2)	(1.9)	certified
Sr (f)	(89)	(96)	certified
Tl (m)	(0.7)	(0.6)	certified

For further information, a semiquantitative analysis report for MESS-1 and BCSS-1 is appended. These values were obtained by solid source mass spectroscopy from a single sample of each of the sediments and are probably within a factor of three of the true values. They are given as **guideline information only** and care should be exercised not to attribute more reliability to these numbers than they warrant.

MASS SPECTROGRAPHIC ANALYTICAL REPORT (Semiquantitative Analysis)

Impurity	Content (mg / kg)		Impurity	Content (mg / kg)	
	MESS-1	BCSS-1		MESS-1	BCSS-1
H ₂	—	—	Rh	—	—
Li	60	20	Pd	—	—
Be	—	—	Ag	—	—
B	—	—	Cd	0.5	—
C	—	—	In	—	—
N ₂	—	—	Sn	6	3
O ₂	—	—	Sb	0.7	1
F	—	—	Te	1	0.3
Na	2	2.6 %	I	40	100
Mg	0.7 %	1.5 %	Cs	3	4
Al	8 %	12 %	Ba	270	330
Si	30 %	40 %	La	30	33
P	700	900	Ce	60	70
S	0.7 %	0.8 %	Pr	10	7
Cl	0.5 %	1 %	Nd	40	30
K	3 %	3.5 %	Sm	8	9
Ca	1 %	0.9 %	Eu	1	2
Sc	20	20	Gd	8	11
Ti	0.7 %	0.5 %	Tb	1	2
V	100	110	Dy	8	14
Cr	60	90	Ho	2	3
Mn	900	250	Er	4	8
Fe	3 %	3.8 %	Tm	0.6	1
Co	14	18	Yb	6	7
Ni	50	70	Lu	—	—
Cu	30	25	Hf	20	10
Zn	200	140	Ta	2	1
Ga	20	23	W	3	0.9
Ge	3	3	Re	—	—
As	50	15	Os	—	—
Se	—	—	Ir	—	—
Br	200	210	Pt	—	—
Rb	100	80	Au	—	—
Sr	100	90	Hg	—	—
Y	35	50	Tl	0.9	0.6
Zr	500	350	Pb	40	28
Nb	20	14	Bi	0.5	0.1
Mo	4	3	Th	20	9
Ru	—	—	U	5	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

It is anticipated that as more data become available the established values may be updated and reliable numbers assigned to more elements. These updates will be sent to⁹⁹ all users of these reference materials.

Feedback and comments from users will be welcomed.

Acknowledgements

These materials were prepared following the advice of the NRCC Committee on Marine Analytical Chemistry (W. Waldichuk, Chairman). The guidance of the members is much appreciated.

These members of the staff of the Analytical Chemistry Section, Division of Chemistry, National Research Council of Canada, participated in the analyses: D.S. Russell, D. Beauchemin, S. Berman, V.J. Boyko, V.P. Clancy, A. Desaulniers, H.B. MacPherson, H. Marshall, J.W. McLaren, M. Miedma, A. Mykytiuk, P. Semeniuk, K.W.M. Siu, R. Sturgeon and S. Willie

The cooperation of the following is gratefully acknowledged:

- D. Loring and R. Rantala, Chemical Oceanography Division, Fisheries and Oceans Canada, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S.
- D. Buckley and R. Fitzgerald, Atlantic Geoscience Centre, Energy, Mines and Resources Canada, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S.
- R. Guevremont and W.D. Jamieson, Atlantic Research Laboratory, National Research Council, Halifax, N.S.
- G. Hall, Geological Survey of Canada, Ottawa, Ontario.
- C. Chiu, Air Pollution Technology Centre, Environment Canada, Ottawa, Ontario.
- R. Hancock, SLOWPOKE Reactor, University of Toronto, Toronto, Ontario.
- M. Chaudhry, W. Johnson and P. Ralph, Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Victoria, B.C.
- C. Smith, H. Steger, P. Westra and D. McIntosh, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ontario
- S. MacKnight, MacLaren Plansearch Ltd., Dartmouth, N.S.
- S. Landsberger, Department of Nuclear Engineering, University of Illinois, Urbana, Illinois.
- M. Yunker, Dobrocky Seatech Ltd., Sidney, B.C.
- M. Epstein, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland.
- B. Kvatochvil, Department of Chemistry, University of Alberta, Edmonton, Alberta.
- J. Van Loon and A. Paudyn, Department of Geology, University of Toronto, Toronto, Ontario.
- D. Boomer, Laboratory Services and Applied Research Branch, Ministry of the Environment, Toronto, Ontario.

Comments, information and inquiries should be addressed to:

Dr. Shier Berman,
Marine Analytical Chemistry Standards Program,
Division of Chemistry,
National Research Council,
Montreal Road,
Ottawa, Canada K1A 0R6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MARINE ENVIRONMENT LABORATORY
19. AV. DES CASTELLANS - MC 95000 MONACO

Tel : (33) 93 50 44 88
Telex: 47 93 76 ILMR
Fax: (33) 93 25 73 46

REFERENCE SHEET

SD-M-2/TM

Trace Elements

in

Marine Sediments

A. Description of the material

About 80 Kg of sediment were collected, freeze-dried, ground and passed through a 150 μm sieve, and then homogenized by mixing the entire quantity in a stainless steel rotating drum 10 days. Then, aliquots of about 30 g were packaged into acid cleaned glass bottles with plastic screw caps, and labelled SD-M-2/TM.

The homogeneity of the material for trace elements was checked by determining the concentration of some typical trace elements (Cu, Ni, Pb, Hg) in 10 samples taken randomly in the bulk of the powder. Determinations were performed by graphite furnace atomic absorption spectroscopy. A one-way variance analysis indicated that the material could be considered homogeneous (at least for a sample weight of about 0.300 g), with a probability of 95%.

The sample contains approximately 1.5% moisture, which was determined by drying aliquots to constant weight at 105-110°C.

B. Certification criteria

For the purpose of certification as a Reference Material, the median values were classified following slightly tighter criteria than those used in previous exercises.

1. For a given concentration range the relative uncertainty of the overall median (at a significance level of 0.05) does not exceed the following limits:

100	-	500 $\mu\text{g/g} \pm 20\%$
10	-	100 $\mu\text{g/g} \pm 30\%$
0.1	-	10 $\mu\text{g/g} - 50\% + 60\%$
	-	< 0.1 $\mu\text{g/g} - 50\% + 100\%$

- The overall median is based on data obtained by at least two different methods.
- The overall standard deviation is less than (a) 2.5 times or, (b) 3.5 times, the average standard deviation of the accepted laboratory means.
- The relative number of laboratory means rejected as outliers does not exceed: a) 20%, b) 50% and c) 0% (no outliers).

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data handling and statistical evaluation

The participants were requested to make at least three, preferably six separate determinations of each element and to report the results of all determinations as net values, i. e. after correcting for the blanks. Some laboratories, however, sent in the results of only one or two determinations.

The data provided by laboratories participating in the reported intercomparison were edited and processed by special statistical computer programme.

Certification value :

- the overall mean is calculated on the basis of at least ten laboratory means
- the overall mean is based on data obtained by at least two different analytical methods
- the relative number of laboratory means rejected as outliers does not exceed 30 %
- for a given concentration range the relative uncertainty of the overall mean (at a significance level $\alpha = 0.05$) does not exceed 30 %
- laboratory means are satisfactory for a coefficient of skewness test or a coefficient of kurtosis test (at a significance level $\alpha = 0.1$)

Information value :

- the overall mean is calculated on the basis of at least five laboratory means
- the relative number of laboratory means rejected as outliers does not exceed 50 %
- for a given concentration range the relative uncertainty of the overall mean (at a significance level $\alpha = 0.05$) does not exceed 50 %
- laboratory means are satisfactory for a coefficient of skewness test or a coefficient of kurtosis test (at a significance level $\alpha = 0.1$)

None recommended value :

The concentration values which cannot be classified into one of the above mentioned categories are regarded as meaningless until additional results are obtained for the element concerned.

References

More details about the intercomparison run is in :
 M. Kalinec, Š. Bartha, Š. Wirdzák: Report on Intercomparison ECH of the Determination of Trace Elements in Fly Coal Ash from Coal Fired Power Plants, Institute of Radioecology and Applied Nuclear Techniques, Komenského 9, P.O. Box A-41, 040 61 Kosice, Czechoslovakia, October 1984.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบสลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Certified values

Values of elements in fly coal ash "ECH"
Values can be certified with satisfactory degree of confidence

Major elements: Content, Wt. %

	Mean	S.E.	Confidence limit for sign. level $\alpha = 0.05$	No. of lab. means		Methods of determination
				a	b	
Al	14.6	0.3	14.1-15.1	17	13	10, 11, 14, 20, 21, 31, 41, 51, 71
*Ca	1.86	0.09	1.68-2.04	16	15	10, 12, 20, 21, 31, 34, 41, 71
Fe	5.57	0.09	5.40-5.74	29	28	10, 12, 20, 21, 31, 41, 51, 71
K	1.32	0.03	1.25-1.38	17	16	10, 11, 12, 20, 21, 31, 34, 41
Mg	0.79	0.02	0.74-0.83	13	10	10, 20, 21, 31, 41, 71
*Na	0.29	0.01	0.28-0.30	20	14	10, 11, 12, 20, 21, 31, 34, 41
*Si	25.0	0.2	24.7-25.3	12	9	14, 21, 31, 41, 51, 72
Ti	1.37	0.07	1.24-1.50	18	18	10, 11, 31, 41, 51

Trace elements: Content, $\mu\text{g/g}$ (ppm)

As	56.9	2.2	52.7-61.2	18	15	10, 11, 12, 20, 23, 41, 42, 61, 71
Ba	711	38	636-786	17	14	10, 11, 12, 21, 31, 32, 33, 41, 72
Ce	183.	5	174-193	11	10	10, 12, 31, 41
Co	49.8	1.4	47.1-52.5	21	18	10, 12, 20, 22, 31, 32, 33, 41, 51
Cr	183	5	174-193	20	17	10, 12, 21, 25, 31, 32, 33, 41, 51
Cu	157	7	144-171	18	15	21, 22, 25, 31, 32, 33, 41, 61, 81
La	84.4	2.3	79.9-88.9	14	11	10, 11, 12, 31, 61
Mn	381	12	358-404	21	18	10, 11, 20, 21, 25, 31, 32, 41
Fb	70.7	5.7	59.6-81.8	14	12	20, 21, 22, 25, 31, 32, 41
Rb	141	7	128-155	15	15	10, 12, 20, 21, 41, 42
Sc	29.2	1.2	26.8-31.6	15	12	10, 12, 31, 32, 61
Sr	401	18	366-436	15	14	10, 11, 12, 31, 32, 33, 34, 41, 61
Th	22.1	1.3	19.6-24.6	11	11	10, 12, 61
V	375	12	352-398	14	13	10, 11, 20, 31, 32, 33
Zr	361	35	291-430	10	10	10, 12, 31, 32, 41, 42, 51

* only information value

$$S.E. = (S.D.) / N^{1/2}$$

where: N = Number of accepted laboratory averages
S.D. = Standard deviation of the population of laboratory means

No. of lab. means: a - number of all laboratory means
b - number of accepted laboratory means

Certified values

Values of elements in fly coal ash "ECH"
 values can be certified with satisfactory degree of confidence

Major elements: Content, Wt. %

	Mean	S.E.	Confidence limit for sign. level $\alpha = 0.05$	No. of lab. means		Methods of determination
				a	b	
Al	14.6	0.3	14.1-15.1	17	13	10, 11, 14, 20, 21, 31, 41, 51, 71
*Ca	1.86	0.09	1.68-2.04	16	15	10, 12, 20, 21, 31, 34, 41, 71
Fe	5.57	0.09	5.40-5.74	29	28	10, 12, 20, 21, 31, 41, 51, 71
K	1.32	0.03	1.25-1.38	17	16	10, 11, 12, 20, 21, 31, 34, 41
Mg	0.79	0.02	0.74-0.83	13	10	10, 20, 21, 31, 41, 71
*Na	0.29	0.01	0.28-0.30	20	14	10, 11, 12, 20, 21, 31, 34
*Si	25.0	0.2	24.7-25.3	12	9	14, 21, 31, 41, 51, 72
Ti	1.37	0.07	1.24-1.50	18	18	10, 11, 31, 41, 51

Trace elements: Content, $\mu\text{g/g}$ (ppm)

As	56.9	2.2	52.7-61.2	18	15	10, 11, 12, 20, 23, 41, 42, 61, 71
Ba	711	38	636-786	17	14	10, 11, 12, 21, 31, 32, 33, 41, 72
Ce	183	5	174-193	11	10	10, 12, 31, 41
Co	49.8	1.4	47.1-52.5	21	18	10, 12, 20, 22, 31, 32, 33, 41, 51
Cr	183	5	174-193	20	17	10, 12, 21, 25, 31, 32, 33, 41, 51
Cu	157	7	144-171	18	15	21, 22, 25, 31, 32, 33, 41, 61, 81
La	84.4	2.3	79.9-88.9	14	11	10, 11, 12, 31, 61
Mn	381	12	358-404	21	18	10, 11, 20, 21, 25, 31, 32, 41
Pb	70.7	5.7	59.6-81.8	14	12	20, 21, 22, 25, 31, 32, 41
Rb	141	7	128-155	15	15	10, 12, 20, 21, 41, 42
Sc	29.2	1.2	26.8-31.6	15	12	10, 12, 31, 32, 61
Sr	401	18	366-436	15	14	10, 11, 12, 31, 32, 33, 34, 41, 61
Th	22.1	1.3	19.6-24.6	11	11	10, 12, 61
V	375	12	352-398	14	13	10, 11, 20, 31, 32, 33
Zr	361	35	291-430	10	10	10, 12, 31, 32, 41, 42, 51

* only information value

$$S.E. = (S.D.) / N^{1/2}$$

where: N = Number of accepted laboratory averages
 S.D. = Standard deviation of the population of laboratory means
 a = number of all laboratory means
 b = number of accepted laboratory means

List of participants in the Intercomparison

1. TAEA - Laboratory, Seibersdorf, AUSTRIA
2. Environment and Workplace Safety and Health,
W.M. Ward Technical Services Laboratory, Winnipeg, CANADA
3. Dravské ferozliatinárske závody, n.p., Istebné, CZECHOSLOVAKIA
4. Ústav pre výskum a využitie palív, Praha, CZECHOSLOVAKIA
5. Ústav jadrového výskumu, Řež u Prahy, CZECHOSLOVAKIA
6. Geologický prieskum, n.p., Spišská Nová Ves, CZECHOSLOVAKIA
7. Výskumný ústav energetický, Praha, CZECHOSLOVAKIA
8. Ústav radioekológie a využitia jadrovej techniky, Košice,
CZECHOSLOVAKIA
9. ČSAV, Ústav geológie a geotechniky, Praha, CZECHOSLOVAKIA
10. Katedra analytickej chémie, Prírodovedecká fakulta UK,
Bratislava, CZECHOSLOVAKIA
11. Palivový kombinát, 25 února, k.p., Vřesová, CZECHOSLOVAKIA
12. ÚVZU, k.p., Škoda Plzeň, Plzeň, CZECHOSLOVAKIA
13. Ústav jadrového výskumu, Řež u Prahy, CZECHOSLOVAKIA
14. Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für
Isotopen und Strahlenforschung, Leipzig, GDR
15. Leiter des Wissenschaftsbereiches, Angewandte Kernphysik,
Sektion Physik, Karl-Marx-Universität, Leipzig, GDR
16. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food,
Burnham-on-Crouch, Essex, ENGLAND
17. Severn-Trent Water Authority, Meadow Lane, Nottingham, ENGLAND
18. Yorkshire Water Authority, Leeds, Yorkshire, ENGLAND
19. Anglian Water, Lincoln Division, Boston, Lincolnshire, ENGLAND
20. Fachbereich Anorganische Chemie und Kernchemie, Technische
Hochschule Darmstadt, Darmstadt, FRG
21. Niedersächsisches Landesamt für Immissionsschutz,
Institut für Arbeitsmedizin, Hannover, FRG
22. GKSS Forschungszentrum Geesthacht, Institut für Physik,
Geesthacht, FRG
23. Department of Chemistry, Helsinki University of Technology,
Espoo, FINLAND
24. Technical Research Centre of Finland, Reactor Laboratory,
Espoo, FINLAND
25. Central Analytical Laboratory, Kuwait Institute for
Scientific Research, Safat, KUWAIT
26. Institute of Physics and Nuclear Techniques, Academy of
Mining and Metallurgy, Krakow, POLAND
27. Institute of Inorganic Chemistry and Metallurgy of Rare
Elements, Technical University of Wrocław, Wrocław, POLAND
28. Zakłady Pomiarowo - Badawcze Energetyki "Energopomiar" -
Zakład technologii zagospodarowania odpadów elektrycznych
Katowice, POLAND
29. Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, POLAND
30. Firat University, Faculty of Arts and Science, Chemistry
Department, Adana, Elazig, TURKEY
31. Cekmece Nuclear Research and Training Center, Istanbul,
TURKEY
32. Cekmece Nuclear Research and Training Center, Industrial
Application Department, Istanbul, TURKEY
33. Physics Institute, Latvian SSR Academy of Sciences,
Riga, USSR
34. Institute "Jozef Stefan", Ljubljana, YUGOSLAVIA

National Institute of Standards & Technology

Certificate of Analysis

Standard Reference Material 1577b

Bovine Liver

This Standard Reference Material (SRM) is intended primarily for use as a control material and in evaluating analytical methods for the determination of major, minor, and trace elements in animal tissue and other biological matrices.

Certified Values of Constituent Elements: The certified values for the constituent elements are given in Table 1. Certified values are based on results obtained by definitive methods of known accuracy; or alternatively, from results obtained by two or more independent analytical methods. Noncertified values are provided for information only in Table 2. Analytical methods used for the analysis of SRM 1577b, including certified and information values, are given in Table 3.

Notice and Warnings to Users

Expiration of Certification: This certification is invalid after 5 years from the date of purchase and shipment from NIST. Should any of the certified constituents change within a 5-year period purchasers will be notified by NIST.

Stability: The SRM should be kept in its original bottle and stored between 10-30 °C. It should not be exposed to intense sources of radiation. The bottle should be kept tightly closed and stored in a desiccator away from direct sunlight.

Use: A minimum sample of 250 mg of the dried material (see Instructions for Drying) should be used for any analytical determination to be related to the certified values of this Certificate.

Dissolution procedures should be designed to effect complete solution, but without losses of volatile elements, such as mercury. Dissolution for these determinations should be carried out in a closed system.

Statistical consultation was provided by S.B. Schiller of the Statistical Engineering Division.

The overall direction and coordination of the analyses leading to this certification were under the chairmanship of J.R. DeVoe, Chief of the Inorganic Analytical Research Division.

The technical and support aspects involved in the preparation, certification, and issuance of this Standard Reference Material were coordinated through the Standard Reference Materials Program by T.E. Gills.

Gaithersburg, MD 20899
August 27, 1991

William P. Reed, Chief
Standard Reference Materials Program

(over)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analytical Methods Used for the Analysis of SRM 1577a

<u>Method</u>	<u>Elements Determined</u>
ETAAS	Ag, Cd, As, Co
FES	Ca, Na, Sr
ICP	Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Zn, Sr
GFAAS	Cu, Mn, Rb, Zn
DCP	P
IC	Cl, S
IDTMS	K, Pb, Rb, S, Sr
IDSSMS	Cd, Cu, Mo, Se, Zn
INAA	Ci, Cu, Fe, Mn, Na, Rb, Sc, Zn, Al, Br, Co, K, V, Mg, Ag
RNAA	Ag, As, Cd, Cu, Hg, Mo, Se, Sb
POL	Fe
Color	P
Kjeldahl	N
CVAAS	Hg
FAAS	Ca, Mg

ETAAS: Electrothermal atomic absorption spectrometry
 FES: Flame atomic emission spectrometry
 ICP: Inductively coupled plasma emission spectrometry
 GFAAS: Graphite furnace atomic absorption spectrometry
 DCP: Direct current plasma emission spectrometry
 IC: Ion chromatography
 IDTMS: Isotope dilution thermal ionization mass spectrometry
 IDSSMS: Isotope dilution spark source mass spectrometry
 INAA: Instrumental neutron activation analysis
 RNAA: Radiochemical neutron activation analysis
 POL: Polarography
 Color: Spectrophotometry
 Kjeldahl: Titrimetry
 CVAAS: Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry
 FAAS: Flame Atomic Absorption Spectrometry

Analysts:

Analytical Chemistry Division, National Institute of Standards & Technology:

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. J.V. Bailey | 15. H.M. Kingston |
| 2. LL. Barnes | 16. W.F. Koch |
| 3. E.S. Beary | 17. G.M. Lambert |
| 4. C.G. Bhundell | 18. R.M. Lindstrom |
| 5. K.A. Brletic | 19. G.J. Lutz |
| 6. T.A. Butler | 20. L.A. Machlan |
| 7. E.R. Deardorff | 21. E.J. Maienthal |
| 8. M.S. Epstein | 22. T.J. Murphy |
| 9. J.W. Gramlich | 23. P.J. Paulsen |
| 10. R.R. Greenberg | 24. L.J. Powell |
| 11. S. Hanamura | 25. T.C. Rains |
| 12. S.H. Harrison | 26. T.A. Rush |
| 13. E.F. Heald | 27. R.L. Watters, Jr. |
| 14. W.R. Kelly | 28. R. Zeisler |

Analysts:

Gallorini and E. Orvini, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Centro di Radiochimica e Analisi per Attivazione
o l' Instituto di Chimica Generale dell'Universita, Pavia, Italy.

1. L. Kosta, A.R. Byrne, M. Dermelj, Institute "Josef Stefan", Ljubljana, Yugoslavia.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Certificate of Analysis

Standard Reference Material® 1632c

Trace Elements in Coal

(Bituminous)

This Standard Reference Material (SRM) is intended primarily for use in the evaluation of techniques employed in the analysis of coals and materials of a similar matrix. SRM 1632c consists of 50 g of bituminous coal ground to pass a 250 µm (60 mesh) sieve, homogenized, and bottled under an argon atmosphere.

Certified Values: The certified concentrations for 15 elements, expressed as mass fractions [1] on a dry basis, are provided in Table 1. The certified values for all elements, except sulfur, are based on two or more critically evaluated independent methods as described by Schiller and Eberhardt [2]. The certified value for sulfur is based on a single NIST primary method, isotope dilution thermal ionization mass spectrometry (ID-TIMS) [3]. A NIST certified value is a value for which NIST has the highest confidence in its accuracy in that all known or suspected sources of bias have been investigated or accounted for by NIST [4].

Reference Values: The reference values for 25 constituents, expressed as mass fractions on a dry basis, are provided in Table 2. The reference values for carbon and nitrogen are based on two independent methods. The reference value for ash content is based on results from 64 laboratories participating in an interlaboratory study done in conjunction with the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) Service Program for the Evaluation of Codes and Standards (CANSPECS) using ASTM methods [5,6]. The reference values for other constituents are values from a single NIST analytical method. Reference values are noncertified values that are the best estimate of the true value; however, the values do not meet NIST criteria for certification and are provided with associated uncertainties that may reflect only measurement precision and may not include all sources of uncertainty [4].

Information Values: Information values for 13 selected elements, volatile matter content [6,7], and gross calorific value are provided in Table 3 for information purposes only. These are noncertified values with no uncertainty assessed. Summary statistics reported by CANSPECS for SRM 1632c, which was included as an unknown in the CANSPECS 54 Coal and CANSPECS 54 Ash Round Robins, are provided in the addendum to this certificate to demonstrate user experience with this material using conventional methods and to better characterize the matrix. The ash used in the CANSPECS 54 Ash Round Robin was prepared from the coal used to produce SRM 1632c and ashed in accordance with ASTM D 6357-00 [8]. The CANSPECS interlaboratory results should NOT be used as substitutes for NIST values.

Expiration of Certification: The certification of SRM 1632c is valid, within the measurement uncertainties specified, until 01 May 2010 provided the SRM is handled in accordance with the instructions given in this certificate (see Instructions for Use). This certification is nullified if the SRM is contaminated or otherwise modified.

Maintenance of SRM Certification: NIST will monitor representative samples of this SRM over the period of its certification. If substantive changes occur that affect the certification before the expiration of this certificate, NIST will notify the purchaser. Return of the attached registration card will facilitate notification.

The technical and support aspects involved in the preparation, certification, and issuance of this SRM were coordinated through the NIST Standard Reference Materials Program by B.S. MacDonald.

Willie E. May, Chief
Analytical Chemistry Division

Nancy M. Trahey, Chief
Standard Reference Materials Program

Gaithersburg, MD 20899

Certificate Issue Date: 11 January 2001

SRM 1632c

Page 1 of 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coordination of the technical measurements leading to certification was performed by R.R. Greenberg of the Analytical Chemistry Division.

Statistical analyses leading to certified and reference values were performed by J.H. Yen of the NIST Statistical Engineering Division.

The coal for this SRM was donated by Consol Coal Sales, Inc., Pittsburgh, PA.

INSTRUCTIONS FOR USE

Sampling: The SRM should be thoroughly mixed by rotating the bottle before sampling. A minimum sample mass of 250 mg should be used for analytical determinations to be related to elemental concentration values provided. The calorific value and ash content were determined using a minimum sample mass of 1 g. The SRM should be stored in its original, tightly sealed bottle away from sunlight and intense sources of radiation.

Drying: In order to relate measurements to the certified and reference values that are expressed on a dry mass basis, users should determine a drying correction at the time of each analysis. The correction is determined by oven-drying a separate 1 g sample in a nitrogen atmosphere at $107\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ to a constant mass [6]. During drying at NIST, the mass loss of SRM 1632c samples was observed to stabilize between 77 minutes and 91 minutes. The average mass loss measured at NIST for SRM 1632c was 2.02 % ($1\text{ s} = 0.13\text{ }%$, $n = 12$). Oven drying at $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 2 hours in an air atmosphere and desiccator drying for 5 days over fresh magnesium perchlorate are also acceptable drying methods. No significant difference between these two methods was observed. Moisture content determined by vacuum drying for 2 hours at ambient temperatures was found to be lower than oven or desiccator drying by about 0.5 % to 1 % absolute.

A NIST study was also conducted to quantify the difference between drying in air and nitrogen atmospheres for SRM 1632c. For the same time and temperature conditions, the average mass loss for oven drying the SRM in an air atmosphere was 1.97 % ($1\text{ s} = 0.11\text{ }%$, $n = 12$).

SOURCE, PREPARATION, AND ANALYSIS¹

Source and Preparation of Material: The coal for this SRM was obtained from the Bailey Mine of the Consol Coal Company in southwestern Green County, PA. This mine produces bituminous coal obtained from the Pittsburgh seam which is considered to be one of the most extensively mined and economically important coal seams in the United States. The collection of the approximately 340 kg of washed coal was performed under the direction of L.W. Rosendale, Consol Coal Research and Development. The coal was air dried and subsequently pulverized to pass a 250 μm (60 mesh) sieve by a company under contract to NIST. At NIST, the entire lot was divided using the spinning rifle technique into two portions. One portion of the lot was sealed for long term storage in foil bags filled under an argon atmosphere. The remaining portion was further divided by the spinning rifle technique and bottled under an argon atmosphere. Several hundred bottles of the SRM 1632c lot were labeled SRM 1630a Trace Mercury in Coal and issued on 11 February 1999.

¹Certain commercial equipment, instruments, or materials are identified in this certificate in order to adequately specify the experimental procedure. Such identification does not imply recommendation or endorsement by the National Institute of Standards and Technology, nor does it imply that the materials or equipment identified are necessarily the best available for the purpose.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. Reference Values (Dry basis) for SRM 1632c

124

Major Constituents		Minor Constituents	
Elements	Mass Fraction (in %)	Elements	Mass Fraction (in %)
Carbon (Total)	77.45 = 0.25	Aluminum	0.915 = 0.0157
Nitrogen	1.54 = 0.06	Calcium	0.145 = 0.030
Silicon	1.654 = 0.034	Iron	0.735 = 0.011
		Magnesium	0.0384 = 0.0032
Trace Elements			
Elements	Mass Fraction (in mg/kg)	Elements	Mass Fraction (in mg/kg)
Arsenic	6.18 = 0.27	Hafnium	0.585 = 0.010
Boron	62 = 2	Lead	3.79 = 0.07
Bromine	18.7 = 0.4	Nickel	9.32 = 0.51
Cadmium	0.072 = 0.007	Samarium	1.078 = 0.028
Cerium	11.9 = 0.2	Scandium	2.905 = 0.036
Chromium	13.73 = 0.20	Titanium	517 = 32
Cobalt	0.594 = 0.010	Uranium	0.513 = 0.012
Copper	6.01 = 0.25	Vanadium	23.72 = 0.51
Europium	0.1238 = 0.0033		
Ash	7.16 = 0.05		

The uncertainty in the carbon, nitrogen, and ash content reference values is calculated as an expanded uncertainty, $U = k u_c \div B$. The quantity u_c is intended to represent, at the level of one standard deviation, the combined effect of within laboratory measurement uncertainty and between laboratory uncertainty [9]. The coverage factor, k , is determined from the Student's t -distribution with the appropriate associated degrees of freedom. The term, B , is a bias adjustment for the difference between methods, which is the maximum difference between the reference value and the method means [2].

The uncertainties for all other reference values are the expanded uncertainties calculated according to the ISO Guide [9].

Supplemental Information: The information values given in Table 3 are not certified and are given as additional information on the matrix. NOTE: Gross calorific value and volatile matter content [6,7] may decrease with time due to sample degradation.

Table 3. Information Values (Dry basis) for SRM 1632c

Elements	Mass Fraction (in mg/kg)	Elements	Mass Fraction (in mg/kg)
Beryllium	1.0	Silver	0.1
Barium	0.1	Tellurium	0.05
Bismuth	3	Thallium	0.4
Cadmium	5	Tin	1
Chromium	8	Yttrium	4
Cobalt	0.8	Zirconium	16
Copper	1		

Volatile Matter Content 36.0 %

Gross Calorific Value 32.10 MJ·kg⁻¹ (13 802 Btu₅₉·lb⁻¹)

SRM 1632c

Method	Element	Method
Aluminum		
Antimony		
Asenic		
Barium		
Beryllium		
Bismuth		
Boron		
Bromine		
Cadmium		
Calcium		
Calorific Value		
Carbon (Total)		
Cerium		
Cesium		
Chlorine		
Chromium		
Cobalt		
Copper		
Lead		
Lithium		
Magnesium		
INAA	Manganese	INAA, ICP-MS
ICP-MS, INAA	Mercury	ID-CV-ICP-MS, RNAA
INAA	Molybdenum	ASTM D 6357
ASTM D 3174, ASTM D 5142	Nickel	ASTM D 6357, ICP-MS
INAA, ID-ICP-MS	Niobium	ICP-MS ^{USGS}
ASTM D 6357, ICP-AES ^{USGS}	Nitrogen	ASTM D 3179, INAA
ICP-MS ^{USGS}	Potassium	ID-ICP-MS, INAA, PGAA
PGAA	Rubidium	ID-ICP-MS, INAA
INAA	Samarium	INAA
ICP-MS	Scandium	INAA
INAA	Selenium	ICP-MS, INAA
Commercial Coal Calorimeter	Silicon	WDXRF
ASTM D 3178, ICA	Silver	ICP-MS ^{USGS}
INAA	Sodium	INAA, FES
INAA	Strontium	ID-ICP-MS, INAA
ID-TIMS; PGAA, INAA	Sulfur	ID-TIMS
INAA	Tellurium	ICP-MS ^{USGS}
INAA, ICP-MS	Thallium	ICP-MS ^{USGS}
ASTM D 6357, ICP-MS	Thorium	ID-ICP-MS, INAA
INAA	Tin	ICP-MS ^{USGS}
ICP-MS ^{USGS}	Titanium	INAA
ICP-MS ^{USGS}	Uranium	ID-ICP-MS
INAA	Vanadium	INAA
PGAA, ASTM D 3178, IHA	Volatile Matter	ASTM D 3175, ASTM D 5142
INAA	Yttrium	ICP-AES ^{USGS}
ID-ICP-MS	Zinc	ICP-MS, INAA
ICP-AES ^{USGS}	Zirconium	ICP-AES ^{USGS}
INAA		

Methods:
 ASTM D 3178
 ASTM D 3179
 ASTM D 6357

IS
 CVAAS
 ES^{USGS}
 P-MS^{USGS}
 P-MS
 A
 CV-ICP-MS
 ICP-MS
 TIMS
 A
 A
 AA
 AA
 AA
 XRF

Standard Test Methods for Carbon and Hydrogen in the Analysis Sample of Coal and Coke
 Standard Test Methods for Nitrogen in the Analysis Sample of Coal and Coke
 Standard Test Methods for Determination of Trace Elements in Coal, Coke, Combustion Residues from Coal Utilization Processes by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission, Inductively Coupled Plasma Mass, and Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometries
 Flame emission spectrometry at NIST
 Flow injection cold vapor atomic absorption spectrometry at NIST
 Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry at United States Geological Survey (USGS)
 Inductively coupled plasma mass spectrometry at USGS
 Inductively coupled plasma mass spectrometry at NIST
 Instrumental carbon analyzer
 Isotope dilution cold vapor inductively coupled plasma mass spectrometry at NIST
 Isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry at NIST
 Isotope dilution thermal ionization mass spectrometry at NIST
 Instrumental hydrogen analyzer
 Instrumental nitrogen analyzer
 Instrumental neutron activation analysis at NIST
 Instrumental neutron activation analysis at NIST
 Prompt gamma activation analysis at NIST
 Radiochemical neutron activation analysis at NIST
 Wavelength dispersive X-ray fluorescence at NIST

11632c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Becker
 Buehler
 S. Epstein
 W.R. Kelly
 S.M. Lev
 R.M. Lindstrom
 S.E. Long
 E.A. Mackey
 J.L. Mann

A.F. Marlow
 M.S. Rearick
 J.R. Sieber
 G.C. Turk
 R.D. Vocke, Jr.
 L.J. Wood
 L.L. Yu
 R.L. Zeisler

Cooperating analyses were performed in the following laboratories:

J. Bullock, United States Geological Survey (USGS), Denver, CO
 R. Dorey, Tampa Electric Company, Tampa, FL
 D. Lawrenz, LECO Corporation, St. Joseph, MI
 L. Rosendale, Chairperson, ASTM D 6357 Task Group, Consol, Inc., Library, PA
 R. Webster and M. Perkins, Tampa Electric Company, Mulberry, FL
 H. Wisse, Texaco, Inc., South El Monte, CA

REFERENCES

- [1] Taylor, B.N., "Guide for the Use of the International System of Units (SI)," NIST Special Publication 811, 1995 Ed., (1995).
- [2] Schiller, S.B. and Eberhardt, K.R., "Combining Data from Independent Analysis Methods," *Spectrochemical Acta*, 46B No. 12, pp. 1607-1613, (1991).
- [3] Kelly, W.R., Paulsen, P.J., Murphy, K.E., Vocke, R.D., and Chen, L.-T. "Determination of Sulfur in Fossil Fuels by Isotope Dilution Thermal Ionization Mass Spectrometry," *Anal. Chem.*, 66, p. 2505, (1994).
- [4] May, W.E., Gills, T.E., Parris, R., Beck, II, C.M., Fassett, J.D., Gettings, R.J., Greenberg, R.D., Guenther, F.R., Kramer, G., MacDonald, B.S., and Wise, S.A., "Definitions of Terms and Modes Used at NIST for Value-Assignment of Reference Materials for Chemical Measurements," NIST Special Publication 260-136, (1999).
- [5] ASTM D 3174-93, "Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal," ASTM Book of Standards 05.05, West Conshohocken, PA.
- [6] ASTM D 5142-90, "Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures," ASTM Book of Standards 05.05, West Conshohocken, PA.
- [7] ASTM D 3175-89a (1997), "Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal," ASTM Book of Standards 05.06, West Conshohocken, PA.
- [8] ASTM D 6357-00, "Standard Test Methods for Determination of Trace Elements in Coal, Coke, and Combustion Residues from Coal Utilization Processes by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, and Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry," ASTM Book of Standards 05.06, West Conshohocken, PA.
- [9] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISBN 92-67-10188-9, 1st Ed. ISO, Geneva, Switzerland, (1993); see also Taylor, B.N. and Kuyatt, C.E., "Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results," NIST Technical Note 1297, U.S. Government Printing Office, Washington DC. (1994); available at <http://physics.nist.gov/Pubs/>.
- [10] Hahn, G.J. and Meeker, W.Q., "Statistical Intervals: A Guide for Practitioners." John Wiley & Sons, Inc., NY. (1991).

Users of this SRM should ensure that the certificate in their possession is current. This can be accomplished by contacting the SRM Program at: telephone (301) 975-5776; fax (301) 926-4751; e-mail srminfo@nist.gov; or via the Internet: <http://www.nist.gov/srm>.

SRM 1632c

Page 6 of 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

new

boy

Summary of Analysis Reported by CANSPÉCS
CANSPÉCS 54 Coal Sample NIST SRM 1632c

Parameter	Consensus Value	ASTM Method Referenced for Reproducibility and Repeatability	ASTM Reproducibility Standard Deviation	CANSPÉCS Reproducibility Standard Deviation	ASTM Repeatability Standard Deviation	CANSPÉCS Repeatability Standard Deviation	Number of Labs	Number of Methods
Moisture wt %	2.08	ASTM D 3173	0.11	0.13	0.07	0.06	79	22
Ash wt % db	7.16	ASTM D 3174	0.18	0.07	0.11	0.04	79	22
Volatiles wt % db	36.25	ASTM D 3175	0.35	0.87	0.18	0.19	65	17
HTT/db db	13802	ASTM D 5865	44	64	18	18	73	16
Carbon wt % db	77.68	ASTM D 5173	0.89	0.78	0.23	0.22	33	14
Hydrogen wt % db	5.09	ASTM D 5173	0.11	0.20	0.06	0.07	32	13
Nitrogen wt % db	1.54	ASTM D 5373	0.06	0.07	0.04	0.03	34	13
Sulfur wt % db	1.49	ASTM D 4239c	0.05	0.05	0.03	0.02	77	18
Pyritic Sulfur wt % db	0.54	ASTM D 2492	0.10	0.12	0.05	0.02	16	4
Sulfate Sulfur wt % db	0.09	ASTM D 2492	0.01	0.05	0.01	0.01	16	3
Chlorine pp/pe db	1127	ASTM D 4208	163	108	69	35	30	10
Fluorine pp/pe db	70	ASTM D 3761	5	15	5	2	12	6
Mercury pp/pe db	82	ASTM D 3684	11	13	7	8	15	8
Selenium pp/pe db	1.32	ASTM D 4606	0.18	0.11	0.13	0.09	10	7
Free Swelling Index (FSI)	7.0	ASTM D 720	0.7	0.4	0.4	0.2	31	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งให้ทางห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการดำเนินงานห้องปฏิบัติการที่ใช้ประโยชน์จากการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่จะนำไปใช้

Summary of Analysis Reported by CANSPECTS
CANSPECTS 54 NIST SRM 1632c Laboratory Ash

Parameter	Consensus Value (in ash)	ASTM Method Referenced for Reproducibility and Repeatability	ASTM Reproducibility Standard Deviation	CANSPECTS Reproducibility Standard Deviation	ASTM Repeatability Standard Deviation	CANSPECTS Repeatability Standard Deviation	Number of Labs	Number of Methods
Al ₂ O ₃ wt %	23.91	ASTM D 4126	1.03	0.74	0.29	0.24	34	11
Antimony mg/kg	6.0	ASTM D 6357	1.0	0.4	0.6	0.3	10	4
Arsenic mg/kg	78	ASTM D 6357	7	15	4	3	13	6
BaO wt %	0.060	ASTM D 4126	0.026	0.006	0.013	0.004	19	6
Beryllium mg/kg	14.5	ASTM D 6357	1.5	2.4	0.4	0.4	9	6
Chromium mg/kg	1.1	ASTM D 6357	0.2	0.3	0.07	0.06	9	6
CaO wt %	2.76	ASTM D 4126	0.15	0.10	0.07	0.06	9	6
Chromium mg/kg	189	ASTM D 6357	13	22	0.07	0.06	34	12
Cobalt mg/kg	41	ASTM D 6357	3	8	2	0.7	16	9
Copper mg/kg	82	ASTM D 6357	8	7	3	0.17	11	7
Fe ₂ O ₃ wt %	14.65	ASTM D 4126	0.53	0.50	0.10	0.03	14	8
K ₂ O wt %	1.75	ASTM D 4126	0.06	0.10	0.05	0.02	34	11
Lead mg/kg	46	ASTM D 6357	5	12	3	2	12	8
Manganese mg/kg	181	ASTM D 6357	13	12	7	3	15	8
MgO wt %	0.78	ASTM D 4126	0.07	0.03	0.04	0.02	32	11
Ni ₂ O ₃ wt %	0.56	ASTM D 4126	0.15	0.06	0.07	0.02	33	12
Nickel mg/kg	126	ASTM D 6357	9	31	6	4	13	8
P ₂ O ₅ wt %	0.466	ASTM D 4126	0.08	0.064	0.024	0.016	29	8
SiO ₂ wt %	49.47	ASTM D 4126	1.56	1.31	0.45	0.28	33	11
SrO wt %	2.73	ASTM D 4126	0.47	0.28	0.16	0.03	17	7
TiO ₂ wt %	0.099	ASTM D 4126	0.050	0.008	0.014	0.003	32	11
Vanadium mg/kg	1.09	ASTM D 4126	0.09	0.04	0.02	0.01	14	9
Zinc mg/kg	324	ASTM D 6357	25	30	15	5	20	20
Oxidizing Initial °C	161	ASTM D 1857	11	31	6	4	14	9
Oxidizing Spherical °C	1400	ASTM D 1857	20	9	11	4	20	20
Oxidizing Hemispherical °C	1435	ASTM D 1857	20	16	11	7	20	20
Oxidizing Fluid °C	1451	ASTM D 1857	20	11	11	6	20	20
Reducing Initial °C	1471	ASTM D 1857	20	16	11	5	20	20
Reducing Spherical °C	1193	ASTM D 1857	25	8	11	7	22	22
Reducing Hemispherical °C	1305	ASTM D 1857	20	43	11	6	22	22
Reducing Fluid °C	1338	ASTM D 1857	20	28	11	6	22	22
Reducing Spherical °C	1387	ASTM D 1857	30	27	11	7	22	22

SRM 1632c Addendum

National Institute of Standards & Technology

Certificate of Analysis

Standard Reference Material 1648 Urban Particulate Matter

This Standard Reference Material (SRM) is intended for use as a control material and in the evaluation of methods used in the analysis of atmospheric particulate matter and materials with a similar matrix. It consists of 2 grams of natural atmospheric particulate matter collected in an urban location. While not represented to be typical of the area in which it was collected, its use should typify the analytical problems of atmospheric samples obtained from industrialized urban areas.

The certified values for the constituent elements are shown in Table 1. Noncertified values are given for information only in Table 2. The analytical techniques used in the characterization of this SRM are shown in Table 3. The certified values are based on measurements of 6 to 30 samples by each of the analytical techniques indicated.

Notice and Warnings to Users: This material may contain a number of chemicals of unknown toxicities. Therefore, the utmost caution and care must be exercised in its use.

Expiration of Certification: This certification is valid for 5 years from date of purchase from NIST. Should any of the certified values change before the expiration of the certification, purchasers will be notified by NIST.

Stability: This material should be kept in its original bottle and stored at temperatures between 10-30 °C. It should not be exposed to intense sources of radiation, including ultraviolet lamps or sunlight. Ideally, the bottle should be kept in a desiccator in the recommended temperature range.

Use: A minimum of 100 mg of the dried material (See Drying Instructions) should be used for any analytical determination to be related to the certified values of this certificate.

Instructions for Drying: This material should be dried at 105 °C for 8 hours before use because the certified concentrations are reported on a "dry-weight" basis. Concentrations determined on undried samples must therefore be adjusted for the moisture content of the samples.

The original direction and coordination of the technical measurements leading to certification were performed under the chairmanship of J.K. Taylor.

The technical and support aspects involved in the preparation, current and previous certification, and issuance of this Standard Reference Material were coordinated through the Standard Reference Materials Program by T.E. Gills and W.P. Reed.

Gaithersburg, MD 20899
August 30, 1991
(Revision of Certificate dated 5-11-82)

William P. Reed, Chief
Standard Reference Materials Program

(over)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>Major Constituents</u>		<u>Minor Constituents</u>	
<u>Element</u>	<u>Content^a Wt. Percent</u>	<u>Element</u>	<u>Content^a Wt. Percent</u>
Aluminum ^b	3.42 ± 0.11	Lead	0.655 ± 0.008
Iron	3.91 ± 0.10	Sodium ^b	0.425 ± 0.002
Potassium ^b	1.05 ± 0.01	Zinc	0.476 ± 0.014

Trace Constituents

<u>Element</u>	<u>Content^a µg/g</u>	<u>Element</u>	<u>Content^a µg/g</u>
Arsenic	115 ± 10	Nickel	82 ± 3
Cadmium	75 ± 7	Selenium ^b	27 ± 1
Chromium	403 ± 12	Uranium	5.5 ± 0.1
Copper	609 ± 27	Vanadium ^b	140 ± 3

^aThe uncertainties of the certified values, except those noted, include errors associated with both measurement and material variability. They represent the 95 percent tolerance limits for individual subsamples, i.e., 95 percent of the subsamples from a single unit of this SRM would be expected to have a composition within the indicated range of values 95 percent of the time.

^bThese elements were recently certified as a part of the NIST update certification program. The value for each indicated constituent is the "best value" based on all measurement methods used and the associated uncertainty is expressed as the standard error considering variability within and between analytical methods.

Table 2. Noncertified Values for Constituent Elements

Note: The following values are not certified because they are not based on the results of either a reference method or two or more independent methods. These values are included for information only.

<u>Major Constituents</u>		<u>Minor Constituents</u>	
<u>Element</u>	<u>Content Wt. Percent</u>	<u>Element</u>	<u>Content Wt. Percent</u>
Sulfur	(5.0)	Chlorine	(0.45)
Magnesium	(0.8)	Titanium	(0.40)

<u>Trace Constituents</u>			
<u>Element</u>	<u>Content µg/g</u>	<u>Element</u>	<u>Content µg/g</u>
Antimony	(45)	Lanthanum	(42)
Barium	(737)	Rubidium	(52)
Bromine	(500)	Manganese	(860)
Cerium	(55)	Samarium	(4.4)
Cesium	(3)	Scandium	(7)
Cobalt	(18)	Silver	(6)
Europium	(0.8)	Thorium	(7.4)
Hafnium	(4.4)	Tungsten	(4.8)
Indium	(1.0)		
Iodine	(20)		

Homogeneity Assessment: Randomly selected bottles were used for the analytical measurements. Each analyst examined at least 6 bottles. No correlation was found between measured values and the bottling sequence. Also, the results of measurements of samples from different bottles were not significantly different than the measurements of replicate samples from single bottles. Accordingly, all bottles of this SRM have been assigned the same certified values of constituent elements.

Source and Preparation of Material: This SRM was prepared from urban particulate matter collected in the St. Louis, Missouri area in a baghouse specially designed for this purpose. The material was collected over a period in excess of 12 months and, therefore, is a time-integrated sample. The material was removed from the filter bags, combined in a single lot, screened through a fine-mesh sieve to remove extraneous materials and thoroughly blended in a V-blender. The material was then packaged into bottles sequentially numbered.



Supplemental Information

The values listed below are based on measurements made in a single laboratory and are given for information only. While there is no reason to suspect systematic bias in these numbers, no attempt was made to evaluate such bias attributable to either the method or the laboratory. The method used for each set of measurements is also listed. The uncertainties indicated are two times the standard deviation of the means.

<u>Constituent</u>	<u>Content Wt. Percent</u>
Nitrogen (NO ₃)	(1.07 ± 0.06)
Nitrogen (NH ₄)	(2.01 ± 0.08)
Sulfate	(15.42 ± 0.14)
SiO ₂	(26.8 ± 0.4)
Freon Soluble	(1.19 ± 0.47)

Methods Used:

- Nitrate - Extraction with water and measurement by ASTM Method D992.
- Ammonia - NaOH addition followed by steam distillation and titration.
- Sulfate - Extraction with water and measurement by ASTM D516.
- SiO₂ - Solution and measurement by ASTM Method E350.
- Freon Soluble - Extraction with Freon 113, using the Method described in "Standard Methods in Examination of Water and Waste Water," 14th Edition, P. 518, American Public Health Association, Washington, D.C.



Table 3. Methods and Analysis

Method	Elements Determined
Atomic Absorption Spectrometry	Cd, Cu, Fe, K, Mn, Na, Ni, Pb, Se, V, Zn
Isotope Dilution Thermal Ionization Mass Spectrometry	Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, U, Zn
Neutron Activation Analysis	Ag, Al, As, Ba, Br, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, I, In, K, La, Mg, Mn, Na, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Th, Ti, V, W, Zn
Polarography	Cd, Ni, Pb, Zn
Spectrophotometry	As, Cu, Fe
Photon Activation Analysis	I
Ion Chromatography	Cl, S
DC Plasma Atomic Emission Spectrometry	Al
Flame Emission Spectrometry	Mn, Na, Se

Analyses

Inorganic Analytical Research Division

Analysts:

Inorganic Analytical Chemistry Division

1. C.G. Blundell
2. R.W. Burke
3. T.A. Butler
4. E.R. Deardorff
5. B.I. Diamondstone
6. M.S. Epstein
7. M. Gallorini
8. E.L. Garner
9. J.W. Gramlich
10. R.R. Greenberg
11. L.A. Machlan
12. E.J. Maienthal
13. T.J. Murphy
14. L.P. Powell
15. T.C. Rains
16. T.A. Rush

