

การแพร่กระจายขนาดของฝุ่นละอองและพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบน
ฝุ่นละอองระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา

SIZE DISTRIBUTION OF PARTICULATE MATTER AND PARTICULATED
POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS DURING HAZE PERIOD IN
PHAYAO PROVINCE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-SC-M-016-023

การแพร่กระจายขนาดของฝุ่นละอองและพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

บนฝุ่นละอองระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา

SIZE DISTRIBUTION OF PARTICULATE MATTER AND PARTICULATED
POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS DURING HAZE PERIOD IN
PHAYAO PROVINCE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-SC-M-016-023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIZE DISTRIBUTION OF PARTICULATE MATTER AND PARTICULATED
POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS DURING HAZE PERIOD IN
PHAYAO PROVINCE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2017-SC-M-016-023



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

“การแพร่กระจายขนาดของฝุ่นละอองและพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนฝุ่น
ละออง ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา”

“SIZE DISTRIBUTION OF PARTICULATE MATTER AND PARTICULATED
POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS DURING HAZE PERIOD IN PHAYAO
PROVINCE”

ชื่อนักศึกษา

นางสาวจตุพร พูลทวี

รหัสประจำตัว

55651305

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมนุท ไชยรักษ์ ประธานกรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชัน อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวภาค สุขตระกูลเวช ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ ศุกร์ที่ 30 มิถุนายน พ.ศ.2560 เวลา 09.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุมภาควิชาเคมี อาคารจุฬารามณ์วิทยาลัย ชั้น 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุษณี ฐาปะรพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ ๒๗ เดือน ๖ ปี พ.ศ. ๒๕๖๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแพร่กระจายขนาดของฝุ่นละอองและพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนฝุ่นละอองระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจตุรพร พูลทวี
รหัสประจำตัว	55651305
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการแพร่กระจายขนาดของฝุ่นละอองในช่วงการเกิดปัญหาหมอกควันบริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาษกรองควอตซ์ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น ที่มีขนาดแตกต่างกัน คือ 9.0 – 5.8, 5.8 – 4.7, 4.7 – 3.3, 3.3 – 2.1, 2.1 – 1.1, 1.1 – 0.7, 0.7 – 0.4 และ < 0.4 ไมโครเมตร ที่อัตราการไหลประมาณ 28.3 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ระหว่างวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์, 24 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม, 11-16 มีนาคม, 17-23 มีนาคม และ 3-8 เมษายน 2557 ซึ่งอยู่ในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน และระหว่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 และ 17-22 มิถุนายน 2557 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ไม่มี การเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง จากนั้น ชั่งน้ำหนักและสกัด PAHs 16 ชนิดในตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยอะซิโตนไตริล แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS/SIM จากผลการศึกษาพบว่า ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนอยู่ในช่วง 132.81-215.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีการแพร่กระจายแบบ bimodal ส่วนในช่วงที่ไม่มี การเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้งมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนอยู่ในช่วง 5.33-10.75 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และไม่มีรูปแบบการกระจายขนาดของฝุ่นละอองที่แน่นอน พบความเข้มข้นของสาร 16-PAHs ที่ถูกดูดซับบนอนุภาคขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันมีค่าอยู่ระหว่าง 18.27-37.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีรูปแบบการกระจายตัวของสาร 16-PAHs เป็นแบบ bimodal มีพีคที่ความเข้มข้นสูงอยู่ในอนุภาคละเอียด 0.4-1.1 ไมครอน และพีคที่รองลงมาคืออนุภาคหยาบ 4.7-5.8 ไมครอน นอกจากนี้ ยังพบสาร PAHs ส่วนใหญ่มีวงอะโรมาติก 5-6 วงบนอนุภาคขนาดละเอียด โดยมีอัตราส่วนของสารก่อมะเร็งสูงกว่าสารไม่ก่อมะเร็ง สำหรับในช่วงที่ไม่มี การเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้งตรวจพบความเข้มข้นของ 16-PAHs ปริมาณน้อยมาก

คำสำคัญ : การแพร่กระจายขนาดของอนุภาค, สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนฝุ่นละออง, ช่วงการเกิดปัญหาหมอกควัน, อนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

Thesis Title	Size Distribution of Particulate Matter and Particulated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during Haze Period in Phayao Province
Student Name	Miss Jaturaporn Pooltawee
Student ID	55651305
Degree	Master of Science in Environmental Chemistry
Department	Chemistry
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

Abstract

This thesis studied size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons bound on particulate matter (p-PAHs) during haze periods at Science and Astronomy Learning Park in Phayao Province. The particle samples were collected on quartz fiber filters by an eight-stage Cascade Impactor with difference particle size fraction between 9.0 – 5.8, 5.8 – 4.7, 4.7 – 3.3, 3.3 – 2.1, 2.1 – 1.1, 1.1 – 0.7, 0.7 – 0.4 and < 0.4 μm particle diameter. The samples were taken at a flow rate of 28.3 l/min for 120 hours from February 18 to 23, February 24 to March 1, March 11 to 16, March 17 to 22 and April 3 to 8, 2014 during haze periods as well as from December 6 to 11, 2013 and from June 17 to 22, 2014 during non-burning periods. The samples were weighted and extracted by acetonitrile then analyzed by GC-MS/SIM for 16 PAHs. The experimental results showed that the concentrations of particle less than 10 microns were between 132.81-215.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ with bimodal size distribution during haze periods. While during non-burning periods, the concentrations of particle less than 10 microns were between 5.33-10.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ without uniform size distribution. During haze periods, the concentrations of 16-PAHs adsorbed on particles (p-PAHs) were 18.75-37.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ with bimodal size distribution having the major peak at particle size of 0.4-1.1 microns and the minor peak at particle size of 4.7-5.8 microns. It was found that most of PAHs with 5-6 aromatic rings bound on fine particles. The ratios of carcinogenic PAHs to non-carcinogenic PAHs were high. Only small amount of 16-PAHs adsorbed on particles (p-PAHs) were detected during non-burning periods.

Keywords: Size distribution of particulate matter, Polycyclic aromatic hydrocarbons, Haze periods, Particles less than 10 microns

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายๆ ท่านด้วยกัน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ เสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหาอันเป็นประโยชน์สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมทั้งช่วยตรวจสอบ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งให้คำปรึกษา ให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมนพูนท ไชยรักษ์ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เขิงขึ้น อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ผศ.ดร.เสาวภาค สุขตระกูลเวช อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องความถูกต้อง ความเป็นระเบียบเรียบร้อยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทุกๆ ท่าน เจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาเคมี และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ในการทำวิจัย และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนวิจัยในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยาที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการให้เข้าไปติดตั้งเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

และท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้ารวมทั้งพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจในการทำงานวิจัยมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวจตุรพร พูลทวี
กรกฎาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ฝุ่นละออง (Particulate Matter).....	3
2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีทั่วไปและแหล่งกำเนิด.....	5
2.1.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง.....	7
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละออง	8
2.1.4 ผลกระทบที่เกิดจากฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	9
2.1.5 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ	11
2.2 สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	12
2.2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ PAHs.....	14
2.2.2 การเกิดสาร PAHs.....	14
2.2.3 แหล่งกำเนิดสาร PAHs.....	16
2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของ PAHs	17
2.2.5 การสลายตัวสารประกอบ PAHs	20
2.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีและฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง	23
2.2.7 ฤทธิ์ในการเกิดมะเร็งของสาร PAHs.....	23
2.2.8 เมแทบอลิซึมของ PAHs ในร่างกาย.....	24
2.2.9 ผลกระทบของ PAHs ต่อสิ่งมีชีวิต	24
2.2.10 มาตรฐาน PAHs ในอากาศ.....	25
2.3 ปัญหาหมอกควันทางภาคเหนือ	25
2.3.1 ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM ₁₀) ในระหว่างเกิด ปัญหาหมอกควัน.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 สถิติการเกิดไฟฟ้า.....	27
2.3.3 ปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา	28
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	33
3.1.1 สารเคมี	33
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	33
3.2 พื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณจังหวัดพะเยา.....	34
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	35
3.3.1 เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง.....	36
3.3.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ.....	37
3.3.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ.....	37
3.3.4 การวิเคราะห์หาร้อยละกลับคืนของสารตัวอย่าง PAHs.....	38
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	40
4.1 ผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ.....	40
4.1.1 รูปแบบการกระจายตัวของขนาด และความเข้มข้นของฝุ่นละออง ในบรรยากาศ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน	40
4.1.2 รูปแบบการกระจายตัวของขนาด และความเข้มข้นของฝุ่นละออง ในช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง	44
4.2 ผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ที่จับกับอนุภาค ฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ	47
4.2.1 ชนิด ความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในระหว่างการ เกิดปัญหาหมอกควัน.....	47
4.2.2 ชนิด ความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง.....	58
4.2.3 สัดส่วนของสารประกอบ PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็ง และสารไม่ก่อมะเร็ง....	59
4.2.4 การประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากสารประกอบพอลิไซคลิก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ.....	60
4.3 การวิเคราะห์ทางสถิติของวิธีการทดลอง.....	61
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าคืนกลับของวิธีวิเคราะห์.....	61
4.3.2 ผลการทดสอบความเที่ยง.....	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับหน่วยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก การเตรียมกระดาษกรอง การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละออง และสาร PAHs.....	73
ภาคผนวก ข ตารางแสดงน้ำหนักของฝุ่นละออง อัตราการไหลของปั๊มเก็บอากาศ ข้อมูลตุนิยมวิทยา และข้อมูล Hotspot.....	80
ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐานสาร PAHs 16 ชนิด.....	122
ภาคผนวก ง ตารางแสดงผลความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่นขนาดต่าง ๆ.....	127
ประวัติผู้เขียน.....	144



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ธาตุที่มีอยู่บนเปลือกโลก	6
2.2 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	12
2.3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบ PAHs	14
2.4 แหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สำคัญ.....	16
2.5 สถิติการเกิดไฟป่าปี พ.ศ. 2554-2556.....	27
2.6 ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จังหวัดเชียงราย ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ เปรียบเทียบระหว่างปี 2556 และ 2557	29
2.7 ปริมาณจุดความร้อน จังหวัดเชียงราย ลำปาง พะเยา น่าน แพร่.....	29
2.8 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคที่เกิดจากผลกระทบจากสถานการณ์หมอกควันจังหวัด ลำปาง พะเยา แพร่ ในช่วงวันที่ 5 มกราคม ถึง 3 พฤษภาคม ปี 2557.....	30
3.1 วันเวลาในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันและช่วงเวลาที่ช่วงเวลาที่ไม่มี การเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง	37
3.2 สภาวะของการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบ PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS.....	39
4.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และจำนวน Hotspot ในระหว่างการเก็บตัวอย่าง	45
4.2 สาร PAHs 7 ชนิด ในฝุ่นละอองที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในปอด	60
4.3 ค่าการวิเคราะห์คืนกลับของวิธีวิเคราะห์	61
4.4 การทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์	62
ก-1 การคำนวณความเข้มข้นของตัวอย่าง Naphthalene ที่ Stage 0	78
ข-1.1 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างระหว่าง เก็บตัวอย่างวันที่ 18 -23 กุมภาพันธ์ 2557	81
ข-1.2 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557	81
ข-1.3 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557	82
ข-1.4 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557... ..	82
ข-1.5 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง วันที่ 3-8 เมษายน 2557.....	83
ข-1.6 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง วันที่ 6-11 ธันวาคม 2556	83
ข-1.7 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557	84
ข-2.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างวันที่ 18 -23 กุมภาพันธ์ 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรม อุตุนิยมวิทยา.....	85
ข-2.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา.....	87
ข-2.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรม อุตุนิยมวิทยา.....	89
ข-2.4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรม อุตุนิยมวิทยา.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้พิมพ์ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-2.5 ข้อมูลอุตุวิทยามิทยาระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรม อุตุวิทยามิทยา.....	93
ข-2.6 ข้อมูลอุตุวิทยามิทยาระหว่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรม อุตุวิทยามิทยา.....	95
ข-2.7 ข้อมูลอุตุวิทยามิทยาระหว่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรม อุตุวิทยามิทยา.....	98
ข-3.1 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และลำปางได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 18 -23 กุมภาพันธ์ 2557.....	99
ข-3.2 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และลำปางได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557.....	100
ข-3.3 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และลำปางได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557.....	101
ข-3.4 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และลำปางได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557.....	102
ข-3.5 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และลำปางได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557	103
ข-4.1 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้วืานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 18 - 23 กุมภาพันธ์ 2557.....	104
ข-4.2 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้วืานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557.....	106
ข-4.3 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้วืานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557.....	108
ข-4.4 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้วืานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557.....	110
ข-4.5 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้วืานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557.....	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อช้ข้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
ข-4.6	น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2557.....	114
ข-4.7	น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557.....	116
ข-5.1	ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยาระหว่างวันที่ 18 -23 กุมภาพันธ์ 2557	118
ข-5.2	ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยาระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557	118
ข-5.3	ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557.....	119
ข-5.4	ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557	119
ข-5.5	ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557.....	120
ข-5.6	ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา วันที่ 6-11 ธันวาคม 2556.....	120
ข-5.7	ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557.....	121
ง-1.1	พื้นที่ได้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556.....	128
ง-1.2	พื้นที่ได้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557	129
ง-1.3	พื้นที่ได้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557	130
ง-1.4	พื้นที่ได้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-1.5 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557	132
ง-1.6 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557	133
ง-1.7 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557	134
ง-2.1 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m^3) ในอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556.....	135
ง-2.2 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m^3) ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557	136
ง-2.3 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m^3) ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557	137
ง-2.4 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m^3) ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557	138
ง-2.5 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m^3) ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557.....	139
ง-2.6 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m^3) ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557.....	140
ง-2.7 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m^3) ในอนุภาคฝุ่นระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557	141

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-3 พื้นที่ได้กราฟของสารละลายมาตรฐานผสม PAHs 16 ชนิด.....	142
ง-4.1 พื้นที่ได้กราฟของสารมาตรฐาน PAHs	143
ง-4.2 ค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน PAHs	144
ง-5.1 พื้นที่ได้กราฟการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์สาร PAH.....	145
ง-5.2 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์สาร PAHs	146



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปร่างของอนุภาคฝุ่นต่าง ๆ	3
2.2 กลไกการเกิดอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ	5
2.3 การเข้าสู่ร่างกายของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ.....	10
2.4 โครงสร้างของสาร PAHs.....	13
2.5 การจัดเรียงตัวของสาร PAHs.....	15
2.6 กระบวนการสลายตัวต่าง ๆ ของสารประกอบ PAHs ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม	20
2.7 ลักษณะของอนุภาคและการดูดซับของ PAHs บนอนุภาค.....	21
2.8 กราฟอันดับพื้นที่ที่มีปัญหาฝุ่นละออง PM ₁₀ มากที่สุดถึงน้อยที่สุด ในปี 2555.....	26
2.9 สภาพภูมิประเทศจังหวัดพะเยา	28
2.10 กราฟแสดงสัดส่วนตำแหน่งจุดความร้อนจำแนกตามพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ จังหวัดเชียงราย ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ ในระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 30 เมษายน 2557.....	30
3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง ก) บริเวณหอดูดาว ข) จุดเก็บตัวอย่าง	34
3.2 พื้นที่เก็บตัวอย่าง ก) แผนที่เก็บตัวอย่าง ข) ลักษณะภูมิประเทศ	34
3.3 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย.....	35
4.1 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นละออง ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) วันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม 2557 (ค) วันที่ 11 -16 มีนาคม 2557 (ง) วันที่ 17 - 22 มีนาคม 2557 วันที่ 3 - 8 เมษายน 2557.....	41
4.1 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นละออง ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) วันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม 2557 (ค) วันที่ 11 -16 มีนาคม 2557 (ง) วันที่ 17 - 22 มีนาคม 2557 วันที่ 3 - 8 เมษายน 2557 (ต่อ).....	42
4.2 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นละอองระหว่าง เกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 (ข) วันที่ 17-22 มิถุนายน 2557.....	44
4.3 กราฟแสดงความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในระหว่างช่วงเกิดปัญหาหมอกควัน และช่วงเวลาช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุ ทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง.....	46
4.4 สภาพบรรยากาศบริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ จ.พะเยาในระหว่างช่วงเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) และช่วงเวลาที่ไม่มีการเผาไหม้เศษ วัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง (ข).....	47
4.5 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs และ เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ PAHs ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) วันที่ 24 กุมภาพันธ์ – 1 มีนาคม 2557 (ค) วันที่ 11 -16 มีนาคม 2557 (ง) วันที่ 17 - 22 มีนาคม 2557 (จ) วันที่ 3 - 8 เมษายน 2557	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัดฉีกอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs และเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ PAHs ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) วันที่ 24 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2557 (ค) วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (ง) วันที่ 17 - 22 มีนาคม 2557 (จ) วันที่ 3 - 8 เมษายน 2557 (ต่อ)....	49
4.6 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก	51
4.6 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก (ต่อ).....	52
4.7 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2557 (ก) 3 วง อะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก.....	53
4.8 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก	54
4.9 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก	55
4.9 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก(ต่อ).....	56
4.10 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 3-8 เมษายน 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก	57
4.11 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs และเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ PAHs ในวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556(ก) และในวันที่ 17 - 22 มิถุนายน 2557 (ข)	58
4.12 สัดส่วนของสาร PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งและไม่ใช่อะโรมาติก (ก) และสัดส่วนของสาร PAHs 3-6 วงอะโรมาติก (ข).....	59
ค-1 Naphthalene, Acenaphthalene, Acenaphthene, Fluorene	123
ค-2 Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene	124
ค-3 Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene	125
ค-4 Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene, Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อสู้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาหมอกควันปกคลุมพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน ต่อเนื่องมาเป็นเวลานานนับสิบปี เนื่องจากเกษตรกรรมเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง เพื่อเตรียมพื้นที่ในการเพาะปลูก นอกจากนี้ ยังมีการเผาป่าเพื่อหาเห็ดป่า การเผาขยะ และการเกิดไฟป่า ในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควันมักจะมีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) ส่งผลให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวป่วยเป็นโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น และส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจรวมทั้งการท่องเที่ยว นอกจากนี้ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กแล้ว การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวลที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ยังก่อให้เกิดสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ถึงแม้ว่ารัฐบาลจะมีการณรงค์ให้เลิกการเผาชีวมวลในที่โล่งแจ้ง แต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร

พะเยาเป็นจังหวัดหนึ่งทางภาคเหนือของประเทศไทยที่ประสบปัญหาหมอกควัน เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ทำอาชีพเกษตรกรรม และนิยมกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยวิธีการเผาในที่โล่งแจ้งในช่วงเวลาดังกล่าว เมื่อเกิดอินเวอร์ชันเนื่องจากอุณหภูมิ (temperature inversion) ประกอบกับลักษณะภูมิประเทศมีภูเขาล้อมรอบ มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ส่งผลให้มลพิษทางอากาศไม่สามารถแพร่กระจายออกไปได้ โดยทั่วไปหมอกควันและมลพิษทางอากาศจะลอยขึ้นไปในอากาศสูงได้ประมาณ 3-5 กิโลเมตร แต่เมื่อมีภูเขาสูงชันและพื้นที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ จึงทำให้มลพิษอากาศสะสมในบรรยากาศจนมีความเข้มข้นสูงเกินค่ามาตรฐานก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น เกิดอาการระคายเคืองทางตา และระบบทางเดินหายใจ อาจส่งผลกระทบต่อโรคระบบทางเดินหายใจ จากข้อมูลโรงพยาบาลพะเยาพบว่าผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพะเยา, 2556)

งานวิจัยนี้ศึกษาการแพร่กระจายและความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กต่างๆ และสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กต่างๆ ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่ไม่มีมีการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น (8-Stages Cascade Impactor) รวมทั้งประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งปอดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาค เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังปัญหาสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่เกิดปัญหาหมอกควัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายขนาดและความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.2.2 เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ (p-PAHs) ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา
- 1.2.3 เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ (p-PAHs) ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 เก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในบรรยากาศบริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา โดยเก็บตัวอย่างอากาศด้วย 8-Stages Cascade Impactor ที่มีขนาดแตกต่างกัน 8 ขนาด คือ 9.0-5.8, 5.8-4.7, 4.7-3.3, 3.3-2.1, 2.1-1.1, 1.1-0.7, 0.7-0.4 และ < 0.4 ไมครอน เป็นระยะเวลา 5 วัน ต่อตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนเมษายน 2557 ในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน และช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตกหนักที่สุดทางการเกษตรในที่โล่งแจ้งในเดือนธันวาคม 2556 และเดือนมิถุนายน 2557
- 1.3.2 ชั่งน้ำหนักและคำนวณความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในบรรยากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 25 °C ความดัน 1บรรยากาศ
- 1.3.3 ศึกษาการแพร่กระจายขนาดของอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ในบรรยากาศ
- 1.3.4 ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ (p-PAHs) ในบรรยากาศระหว่างที่เกิดปัญหาหมอกควัน และช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตกหนักที่สุดทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง โดยสกัด PAHs ด้วย Acetonitrile โดยใช้ Ultrasonicator จากนั้น วิเคราะห์ 16 PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS-SIM
- 1.3.5 ศึกษาแหล่งการแพร่กระจายของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ (p-PAHs)
- 1.3.6 ประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ (p-PAHs) ในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน และช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตกหนักที่สุดทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ข้อมูลการแพร่กระจายขนาดของอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ และสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ (p-PAHs) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันเพื่อนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และวางแผนป้องกันปัญหามลพิษทางอากาศในอนาคต
- 1.4.2 ได้ข้อมูลการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งปอดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควัน เพื่อใช้บ่งบอกแหล่งกำเนิดของมลพิษ



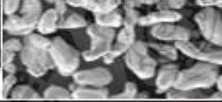
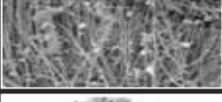


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝุ่นละออง (Particulate matter)

ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศ มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ซึ่งเป็นกลุ่มของโมเลกุล มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ไปจนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดใหญ่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองเป็นสารที่มีความหลากหลายทางกายภาพและองค์ประกอบ อาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลว ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมักจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น จะทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

ขนาดของอนุภาค หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่น กรณีที่เป็นอนุภาคทรงกลม แต่โดยทั่วไปอนุภาคฝุ่นมีรูปร่างหลายรูปแบบนอกจากทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้นอนุภาคที่ไม่ใช่ทรงกลมมักบอกขนาดในรูปเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (Equivalent diameter)

	Solid Sphere
	Hollow Sphere
	Solid Irregular
	Flake
	Fiber
	Condensation Floc
	Aggregate

รูปที่ 2.1 รูปร่างของอนุภาคฝุ่นต่างๆ

(ดัดแปลงจาก <http://www.epa.gov/eogapti1/bces/module3/diameter/diameter.htm>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝุ่นละอองสามารถแบ่งตามขนาดของอนุภาคออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. **ฝุ่นละอองรวม (Supercoarse particles)** ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ไมครอนขึ้นไป มีแหล่งกำเนิดจากการฟุ้งกระจายของดินและทรายที่พื้นผิวถนน และสถานที่ก่อสร้าง ฝุ่นละอองรวมที่มีขนาดใหญ่ถูกกำจัดออกโดยระบบทางเดินหายใจส่วนบน เช่น การถูกดัก หรือกรองไว้ภายในช่องจมูกและถูกขับออกมาจากระบบทางเดินหายใจโดยการไอหรือจาม นอกจากนี้ ฝุ่นละอองรวมทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทสำหรับความรู้สึกของร่างกาย เนื่องจากในฝุ่นมีสารพิษทำให้ตา จมูก คอ เกิดการระคายเคืองและอักเสบ ซึ่งฝุ่นละอองรวมจะตกลงสู่พื้นภายใน 2-3 นาที

2. **ฝุ่นหยาบ (Coarse particles)** เป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ถึง 10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองไอของทะเล จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ขยะ ของเสียจากเกษตรกรรม จากการระเบิดของภูเขาไฟ การขนส่งวัสดุฝุ่น จากกิจกรรมการรด ย่อยหิน การทำเหมืองแร่ หรือเป็นฝุ่นละอองปฐมภูมิที่ถูกปลดปล่อยสู่อากาศโดยตรงและไม่ถูกเปลี่ยนรูปโดยปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น จึงถูกจำแนกแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบได้ดี เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงน้อยขณะอยู่ในอากาศ ธาตุที่พบในฝุ่นหยาบนี้ ส่วนใหญ่เป็นซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียมในปริมาณสูง ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน สามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจตอนล่างได้

3. **ฝุ่นละเอียด (Fine particles)** เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.1-2.5 ไมครอน อยู่ในสภาพกึ่งระเหย ซึ่งประกอบด้วยฝุ่นละอองทุติยภูมิ มีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การเผาชีวมวลในที่โล่ง โดยเกิดขึ้นในอากาศเมื่อก๊าซต่างๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นในอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะก๊าซไปอยู่ในรูปของอนุภาค

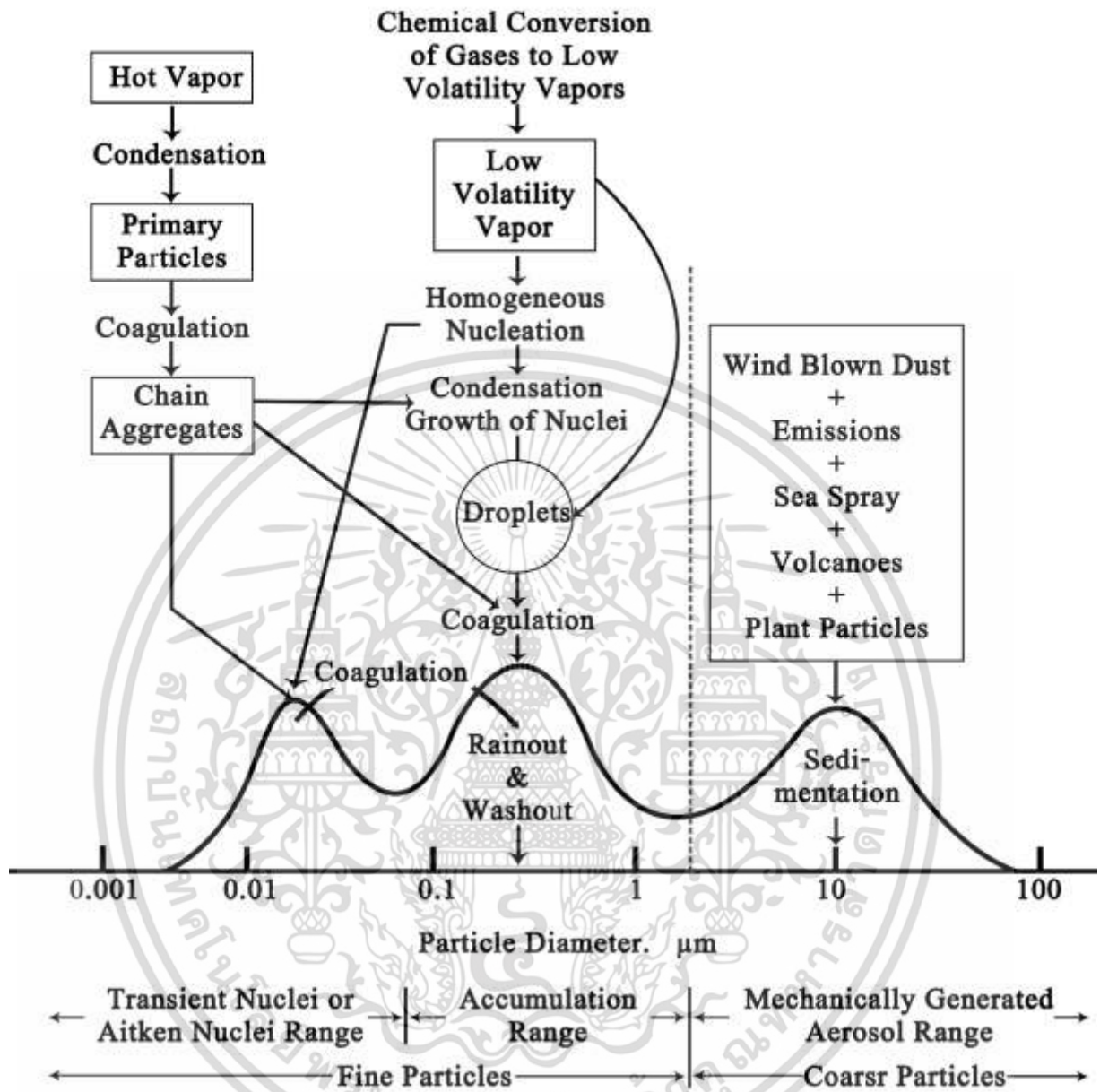
4. **ฝุ่นละเอียดมาก (Ultrafine particles)** อาจเกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การเผาไหม้ การผลิตโลหะจะเกิดอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี

กลไกการเกิดอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ในบรรยากาศ ประกอบด้วย 3 กระบวนการ (ดังแสดงในรูปที่ 2.2) ดังนี้

1) เกิดจากการควบแน่นของก๊าซหรือไอระเหยในสถานะที่มีอุณหภูมิสูงเกิดเป็นอนุภาคปฐมภูมิ และเกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคปฐมภูมิ ส่วนใหญ่เป็นอนุภาคฝุ่นละเอียดมากขนาด 0.1 ถึง 2.5 ไมครอน

2) เกิดจากอันตรกิริยา (interaction) ของก๊าซดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก (gas-particle) และดูดซึมลงบนผิวอนุภาค เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย หรือเกิดจากอนุภาคฝุ่นปฐมภูมิตัวกัน ส่วนใหญ่เป็นอนุภาคฝุ่นละเอียดขนาด 0.1-0.25 ไมครอน

3) เกิดจากกระบวนการทางกายภาพในธรรมชาติ เช่น ฝุ่นจากลม ละอองไอลจากทะเล ฝุ่นจากละอองเกสร และฝุ่นจากภูเขาไฟ ส่วนใหญ่จะเป็นอนุภาคฝุ่นหยาบมีขนาด 2.5-10 ไมครอน



รูปที่ 2.2 กลไกการเกิดอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ (ดัดแปลงจาก Wilson, 1996)

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีทั่วไปและแหล่งกำเนิด (นพภาพร และ คณະ, 2550; วงศ์พันธ์และคณະ, 2540)

1. ละอองฝุ่นจากพื้นผิวโลก ส่วนใหญ่แขวนลอยในบรรยากาศ ประกอบด้วยออกไซด์ของแคลเซียม อลูมิเนียม เหล็ก และโลหะอื่นๆ โดยสัดส่วนของธาตุเหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาของแต่ละพื้นที่ (ตารางที่ 2.1) และกระบวนการต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ธาตุที่มีอยู่บนเปลือกโลก

ธาตุ	% โดยน้ำหนัก	% โดยปริมาตร	% โดยจำนวนอะตอม
ออกซิเจน	46.6	93.8	60.5
ซิลิกอน	27.7	0.9	20.5
อลูมิเนียม	8.1	0.8	6.2
เหล็ก	5	0.5	1.9
แคลเซียม	3.6	1	1.9
โซเดียม	2.8	1.2	2.5
โพแทสเซียม	2.6	1.5	1.8
แมกนีเซียม	2.1	0.3	1.4
ธาตุอื่นๆ	1.5	-	3.3

ที่มา : <http://etcgeography.wordpress.com/>

2. ละอองไอจากทะเลและมหาสมุทร ประกอบด้วยอนุภาคเกลือทะเล เกิดจากการแตกตัวของฟองคลื่นบริเวณชายฝั่งและบริเวณที่มีกระแสน้ำ และคลื่นลมแรง

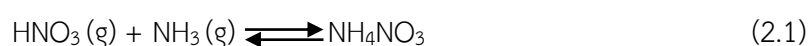
3. คาร์บอนอินทรีย์และธาตุคาร์บอน ในบรรยากาศโดยทั่วไปเกิดการเผาไหม้คือ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลและการเผาไหม้ของชีวมวล การเกิดละอองไอในบรรยากาศขึ้นอยู่กับสภาวะของการเผาไหม้ เช่น อุณหภูมิ ชนิดของเชื้อเพลิง เป็นต้น โดยทั่วไป ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดเขม่าดำมากกว่า และมีสัดส่วนของคาร์บอนอินทรีย์น้อยลง

3.1) คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbons, OC) ที่พบในฝุ่นละอองเป็นการรวมตัวกันของสารประกอบของคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม แหล่งกำเนิดของคาร์บอนอินทรีย์ เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ฝุ่นจากถนน และปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล

3.2) ธาตุคาร์บอน (Elemental carbons, EC) หรือ black carbons เป็นสารประกอบที่ใช้ติดตามตรวจสอบ (tracer) ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ต่างๆ ส่วนฝุ่นดินและฝุ่นจากทะเลมีคาร์บอนอินทรีย์ปริมาณเล็กน้อย

4. สารประกอบไนเตรต (Nitrate compounds) และ สารประกอบแอมโมเนียม (Ammonium compounds)

4.1) สารประกอบไนเตรต แอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3) เป็นส่วนประกอบของ ไนเตรต (NO_3^-) ที่พบมากที่สุดเนื่องจากผันกลับได้หรือปรับสมดุลเองได้ ระหว่างก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไฮโดรเจนไนเตรต (HNO_3) และอนุภาคของแอมโมเนียมไนเตรต ดังสมการ (2.1) และขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

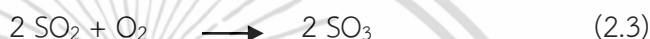


4.2) สารประกอบแอมโมเนียม ที่พบมากในอากาศมีอยู่ในรูปแอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรต ซึ่งแอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไบซัลเฟต เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกและแอมโมเนียที่ไม่สามารถผันกลับได้ แอมโมเนียในอากาศเป็นก๊าซปฐมภูมิพื้นฐาน (primary basic gas) มีแหล่งกำเนิดจากของเสียจากสัตว์ การปลดปล่อยจากดิน การแพร่ของก๊าซแอมโมเนียของปุ๋ยในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ฟลูออไรด์ (Fluoride) ที่พบมี 2 ชนิด คือ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) และซิลิกอนฟลูออไรด์ (SiF) ซึ่งทำความเสียหายต่อพืชและมีพิษต่อสัตว์ที่กินพืชเหล่านี้เป็นอาหาร แหล่งกำเนิดของสารประกอบฟลูออไรด์ ได้แก่ โรงงานถลุงอลูมิเนียม โรงงานเซรามิก การผลิตปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟต กระบวนการจัดการผิวโลหะและยางสังเคราะห์ฟลูออไรด์

6. สารประกอบซัลเฟต (Sulfate compounds) ในบรรยากาศมีทั้งในรูปที่เป็นอนุภาคปฐมภูมิและทุติยภูมิ สารประกอบซัลเฟตที่พบมากในฝุ่นละออง คือ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และกรดซัลฟิวริก สารประกอบนี้สามารถละลายน้ำได้ และส่วนใหญ่ถูกผลิตโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปเป็นซัลเฟตในฝุ่นละออง ออกไซด์ของซัลเฟอร์เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่านหินและน้ำมัน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และบางส่วนเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) และเมื่อถูกแสงอาทิตย์ SO₃ จะทำปฏิกิริยากับฝนหรือไอน้ำในเมฆกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) ดังสมการ (2.2-2.4)



7. แมงกานีส (Manganise) เป็นธาตุหนึ่งทีพบในโลกกระจายอยู่ทั่วไปในดิน ดินตะกอน หิน น้ำ และสิ่งมีชีวิต แหล่งกำเนิดที่สำคัญ คืออุตสาหกรรมเหล็กผสม เหล็กเหนียว และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเหล็ก การทำเหมือง ยาน้ำเชื้อรา การผลิตถ่านไฟฉาย แมงกานีสที่ผลิตมักอยู่ในรูปของแมงกานีสออกไซด์ (MnO₃) แมงกานีท์ (Mn₃O₄)

8. ตะกั่ว พบสารตะกั่วทั้งในอากาศดิน น้ำ พืช และเครื่องอุปโภคบริโภคในครัวเรือน ตะกั่วถูกใช้ในการทำแบตเตอรี่รถยนต์ เคลือบสายเคเบิลเชื่อมโลหะทำท่อโลหะผสม ทำฉากรังสีเอกซ์ ใช้ทำเป็นสีทาสถุและยาน้ำแมลงบางชนิด ตะกั่วเตตราเอทิล (tetraethyl lead, Pb(C₂H₅)₄) และตะกั่วเตตราเมทิล (tetramethyl lead, Pb(CH₃)₄) เป็น “สารกันน็อก” หรือสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์เวลาทำงาน

9. โครเมียม ถูกใช้มากในการชุบเคลือบโลหะเพื่อกันสนิมและให้เป็นเงางาม ใช้สีในโลหะผสมทั้งหลายโดยเฉพาะในเหล็กกล้า สารประกอบโครเมตถูกใช้ในอุตสาหกรรมพอกหนัง สารพวกไดโครเมตเป็นสารประกอบของสีย้อมวัสดุต่าง ๆ และผสมในน้ำกรดแบตเตอรี่

10. ทองแดง พบอยู่ทั่วไป ปกติผิวโลกจะมีทองแดงอยู่ประมาณ 45 ส่วนในล้านส่วน มีอยู่ในรูปออกไซด์ คาร์บอนเนต และซัลไฟด์ของสินแร่ทองแดงในธรรมชาติ ทองแดงถูกนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากทองแดงเป็นสารที่นำไฟฟ้าได้ดี เป็นตัวนำความร้อนได้ดี และมีราคาไม่แพง เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า โรงงานทำภาชนะหุงต้มและปรุงอาหาร โรงงานผลิตสี สีย้อมผ้า และทำหมึก อุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยเคมี อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ใช้ในกระบวนการผลิตยาฆ่าแมลง

2.1.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ (นพภาพร และแสงสันต์, 2544; ปาจารย์และวนิดา, 2548)

1. ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural particles) เกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่นละออง โดยไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น ดินทราย ละอองน้ำ เหมากวีนจากไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด เปลือกจากทะเล มหาสมุทร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made particles) ได้แก่

- ฝุ่นจากการคมนาคม เช่น รถบรรทุกหิน ดิน ทราาย ซีเมนต์ขณะแล่นจะมีฝุ่นตกบนถนนแล้วกระจายตัวอยู่ในอากาศ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์โดยเฉพาะที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลปล่อยเขม่าฝุ่น คาร์บอน ออกมา จักรยานยนต์ 2 จังหวะซึ่งระบายฝุ่นออกสู่อากาศในรูปของควันขาว

- การก่อสร้าง เช่น อาคาร สิ่งก่อสร้าง การปรับปรุงสาธารณูปโภค การก่อสร้างอาคารสูง การรื้อถอนทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

- อุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซีเมนต์ การโม่บด หรือย่อยหิน ฝุ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการเผาไหม้

- การเผาไหม้แบบเปิด เช่น การเผาของเสียจากเกษตรกรรม (หญ้า ฟาง) การเผาขยะ การเผาถ่าน แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้เหล่านี้มีปริมาณคาร์บอนที่เป็นทั้งคาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอินทรีย์ในปริมาณสูง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละออง (กัลยกร, 2549) มีดังต่อไปนี้

1. **ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind speed and Wind direction)** ความเร็วลมจะพัดพาฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดแพร่กระจายออกไป หรือลมพัดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองต่ำ ในขณะที่ทิศทางลมจะมีอิทธิพลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของฝุ่นละออง ซึ่งเป็นตัวกำหนดว่ามลสารจะถูกพัดพาไปทิศทางไหน เนื่องจากลมไม่ได้พัดพาไปในทิศทางเดียวกันตลอดเวลา และการพัดพาไปในทิศทางต่างๆ มักไม่คงที่ (วงศ์พันธ์และคณะ, 2543)

2. **ความปั่นป่วน (Turbulence)** หมายถึง ธรรมชาติการไหลของของไหลที่ไม่แน่นอน ไม่สามารถทำนายได้ เป็นการเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบในบรรยากาศ ซึ่งความปั่นป่วนของอากาศเกิดขึ้นเมื่อการไหลของอากาศมีการเคลื่อนที่แบบกระแสวนทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง มีความสำคัญต่อการแพร่กระจาย และการเจือจางของฝุ่นละออง โดยพบว่าเมื่อมีความปั่นป่วนของบรรยากาศลดลง ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดมีค่าสูงขึ้น แต่หากบรรยากาศมีความปั่นป่วนเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะมีค่าลดลง เนื่องจากมีการกระจายตัวมากขึ้น โดยลักษณะการปั่นป่วนของบรรยากาศเกิดจากสาเหตุหลัก 2 สาเหตุ คือ

- 2.1) ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal turbulence) เกิดจากผิวโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้พื้นผิวและอากาศที่อยู่ใกล้เคียงจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เกิดกระแสลมปั่นป่วนในบรรยากาศชั้นล่าง ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนพื้นดินและอากาศที่อยู่ใกล้ผิวโลกจะมีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากพื้นดินเกิดการแผ่รังสีความร้อนกลับสู่บรรยากาศ ทำให้อากาศหยุดนิ่งและความปั่นป่วนลดลง

- 2.2) ความปั่นป่วนทางกล (Mechanical turbulence) เกิดจากการเคลื่อนไหวยของอากาศผ่านผิวโลกที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร ต้นไม้ ภูเขา เป็นต้น ทำให้เกิดกระแสลมของอากาศ ซึ่งความปั่นป่วนมีผลมาจากกระแสลมที่มีขนาดต่างๆกัน ทำให้เกิดการผสมของอากาศ ทั้งในแนวราบและแนวดิ่งโดยความปั่นป่วนจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลม (นิตยา, 2533)

3. **อุณหภูมิ (Temperature)** อุณหภูมิจะลดลงตามระดับความสูง และความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีผลต่อการกระจายของฝุ่นละออง โดยในเวลากลางวันจะทำให้เกิดการปั่นป่วนของมวล

อากาศ เป็นผลให้การแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศแพร่กระจายได้ดี ส่วนเวลากลางคืน อุณหภูมิลดต่ำลงมาก ทำให้มวลอากาศนิ่งแพร่กระจายได้ไม่ดี (นพภาพรและแสงสันต์, 2544)

Thermal Inversion หรือ Temperature inversion เป็นสภาวะที่อากาศบริเวณใกล้พื้นดินมีอุณหภูมิต่ำ หรือมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศที่อยู่เบื้องสูง ทำให้อากาศบริเวณใกล้พื้นดินไม่สามารถลอยตัวสูงขึ้นต่อไป ทำให้อากาศไม่มีการเคลื่อนที่ หรือเคลื่อนที่ลดระดับลงสู่พื้นดิน โดยปกติอากาศที่อยู่ใกล้พื้นดินจะร้อนกว่าอากาศที่อยู่ในระดับสูงขึ้นไปตามลำดับ ทำให้อากาศที่อยู่ในระดับด้านล่างลอยตัวขึ้นสู่ระดับสูงเสมอ แต่เมื่ออากาศไม่สามารถกระจายตัวขึ้นสู่อากาศเบื้องบนได้ แต่กลับพุ่งกระจาย และสะสมปริมาณมากขึ้นในอากาศระดับพื้นดิน เป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายต่อคน สัตว์และพืชอย่างรุนแรง Thermal inversion มักเกิดในช่วงที่เวลาเย็น เช่น เวลาเช้าในฤดูหนาว และหากบริเวณพื้นที่ที่เกิดสภาวะนี้มีสภาพที่ปิดกั้น ไม่ให้อากาศกระจายตัวไปในทิศทางด้านข้างได้ เช่น บริเวณหุบเขามีกุ๊วล้อมรอบ หรือมีอาคาร สิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่กั้นกระจายของอากาศ จะยิ่งทำให้อันตรายที่เกิดจากสารมลพิษในหมอกทวีความรุนแรง (วนิดา, 2551)

4. สภาพภูมิประเทศ

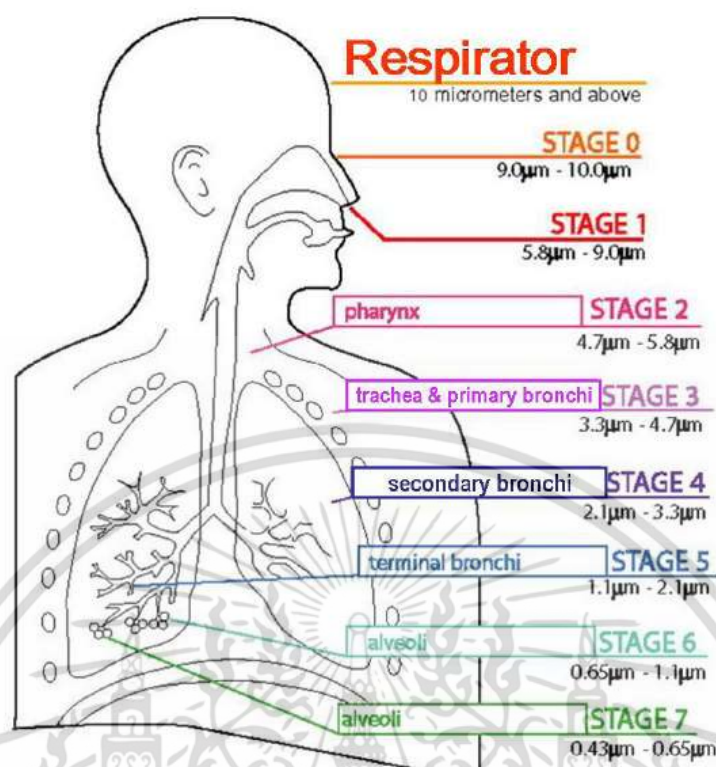
- พื้นที่ราบจะช่วยให้สารมลพิษที่ลอยตัวอยู่ในบรรยากาศพัดพาถ่ายเทได้ง่าย
- พื้นที่ที่มีภูเขาล้อมรอบหรือพื้นที่ที่เป็นแอ่งกระทะ ทำให้เกิดการสะสมของสารมลพิษในอากาศได้มากและทำให้เกิดสภาวะ “อินเวอร์ชันทางอุณหภูมิ (temperature inversion)” ได้ง่าย
- พื้นที่ที่เป็นหุบเขา ทำให้การไหลถ่ายเทของสารมลพิษในอากาศเป็นไปได้ยาก ทำให้มลพิษพุ่งกระจายได้น้อย (ชลธิดา, 2557)

2.1.4 ผลกระทบที่เกิดจากฝุ่นละอองในบรรยากาศ (ชลธิดา, 2557)

ฝุ่นละอองในบรรยากาศก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรง ได้แก่ ผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และทางอ้อม ได้แก่ ผลเสียต่อทรัพย์สิน ผลเสียต่อพืชและสัตว์ รวมทั้งสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

1. **ผลกระทบต่อสุขภาพ** ฝุ่นละอองขนาดเล็กสามารถก่อให้เกิดอันตรายอย่างรุนแรงต่อสุขภาพประชาชน เนื่องจากเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ จะทำลายอวัยวะของระบบทางเดินหายใจโดยตรง และยังทำให้เกิดการระคายเคืองตา ระคายคอ แขนงหน้าอก หายใจถี่ หลอดลมอักเสบ เกิดหอบหืด ถุงลมโป่งพอง และอาจเกิดโรคระบบทางเดินหายใจ โดยเส้นทางของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ทางเดินหายใจนั้นขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่างและความหนาแน่น รวมถึงลักษณะของลมหายใจร่วมด้วย (วนิดา, 2551) ระบบทางเดินหายใจแบ่งออกเป็น 2 ส่วน 1) ส่วนบน คือ ช่องจมูกและหลอดลม 2) ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง คือ ท่อปอด (bronchial tubes) และปอด ซึ่งฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน หรือที่เรียกว่าฝุ่นที่หายใจเข้าไป (respiration particulate matter, RPM) จะสามารถหลุดรอดจากการกรองของขนจมูกเข้าไปถึงปอดได้ ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน จะเข้าไปถึงถุงลมปอดได้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กเหล่านี้ทำให้เกิดการระคายเคืองและมีผลต่ออาการและโรคทางเดินหายใจ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โรคระบบทางเดินหายใจที่เกิดจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก ได้แก่ โรคหลอดลมปอดอุดกั้นเรื้อรัง (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (chronic bronchitis) โรคถุงลมโป่งพอง (emphysema) โรคปอดอักเสบ (interstitial lung disease) โรคหอบหืด (asthma)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเข้าสู่ร่างกายของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

(<http://www.newstareenvironmental.com/pdfs/New%20Star%20NVI%20manual.pdf>)

ปัญหาหมอกควันและฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดในภาคเหนือของประเทศไทย ทำให้คนที่อยู่ในที่โล่งนาน ๆ มีอาการแสบตา ตาแดง น้ำตาไหล คอแห้ง ระคายคอ หายใจติดขัด เหนื่อยง่าย และแน่นหน้าอก ผลศึกษาข้อมูลผู้ป่วยนอกในกลุ่มเสี่ยงเป็นโรคภูมิแพ้ โรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และโรคหอบหืด ที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในปี 2550 จากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าระดับค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีปริมาณเกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรขึ้นไป จะส่งผลให้จำนวนผู้ป่วยกลุ่มเสี่ยงที่ป่วยเป็นโรคหอบหืดและถุงลมโป่งพองสูงขึ้นถึง 3.5 เท่า ขณะที่ประชาชนทั่วไปจะมีอัตราเสี่ยงต่อการเสียชีวิตเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 0.25 เมื่อค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กเพิ่มขึ้นในทุก ๆ 10 ไมโครกรัม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้ดำเนินการวิจัยหาความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองกับอัตราการป่วยและเสียชีวิตของประชาชนในเชียงใหม่และลำพูน พบค่าเฉลี่ยรายวันของฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน ในเชียงใหม่สูงกว่ามาตรฐานของสหรัฐอเมริกาถึง 3-6 เท่า ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจในเชียงใหม่เพิ่มขึ้นทุกปี ฝุ่นขนาดเล็กจะทำให้หลอดเลือดหัวใจตีบตัน ซึ่งอาจสัมพันธ์กับการเสียชีวิตเพิ่มขึ้น เช่น ที่โรงพยาบาลสารภี เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่พบปริมาณฝุ่นละอองสูงในจังหวัดเชียงใหม่ (มณฑล, 2553) ข้อมูลของสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม รายงานว่า ฝุ่นควันหรือฝุ่นขนาดเล็กที่เกิดจากการเผาไหม้จะส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดอาการหรืออาจทำให้หลอดเลือดหัวใจอักเสบได้ ซึ่งฝุ่นควันที่เกิดจากการเผาไหม้ในบริเวณภาคเหนือ ก็ทำให้เกิดอาการได้เช่นเดียวกับฝุ่นควันจากท่อไอเสียรถยนต์ในกรุงเทพมหานคร และยังพบว่าหากเพิ่มปริมาณฝุ่นละอองทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะทำให้เพิ่มอัตราการตายทุกสาเหตุร้อยละ 4.5 เพิ่มอัตราการตายจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรคระบบทางเดินหายใจร้อยละ 9.8 เพิ่มอัตราการตายจากโรคหัวใจและหลอดเลือดร้อยละ 3.9 เพิ่มอัตราการตายในผู้สูงอายุที่มากกว่า 65 ปีถึงร้อยละ 5.4 โดยเฉพาะผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจมาก่อน เช่น ภูมิแพ้ หอบหืด ถุงลมโป่งพอง และโรคหัวใจ (สมเกียรติ, 2552) นอกจากนี้อันตรายของฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับประเภทและองค์ประกอบของฝุ่นละออง โดยทั่วไปแล้ว ฝุ่นละอองจะก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจเท่านั้น ยกเว้นฝุ่นละอองบางชนิดที่มีความเป็นพิษ เช่น ฝุ่นทรายซึ่งมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ และฝุ่นละอองของโลหะหนักต่างๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่อปอดและอาการทางตา นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดโรคหัวใจเพิ่มมากขึ้น โดยฝุ่นจะเข้าไปยังถุงลมในปอด เมื่อสิ่งแปลกปลอมเข้าไป ทำให้เม็ดเลือดขาว เข้าไปกำจัดสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้ และเกิดการอักเสบในหลอดเลือดได้ ก่อให้เกิดอันตรายต่อปอด เช่น การอักเสบของถุงลมปอด และบางรายอักเสบมากจนทำให้เกิดการหายใจลำบากจนถึงขั้นภาวะวิกฤตได้

2. การทำลายวัสดุสิ่งของ ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถทำอันตรายต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น การสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ ความสกปรกและเทอะของวัตถุ เป็นต้น

3. การทำลายพืช ใบของพืชจะถูกปกคลุมไปด้วยฝุ่นละอองและสารมลพิษทำให้สารมลพิษต่าง ๆ ในอากาศเข้าสู่ต้นพืช ทางใบด้วยกระบวนการหายใจของพืช ภายหลังจากได้รับมลพิษของต้นพืชจากมลพิษในอากาศ สารมลพิษบางชนิดอาจทำลายส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ใบ ลำต้น หรือดอก ตัวอย่างเช่น ไฮโดรคาร์บอน เช่น อีโทลีน ทำให้เกิดพิษที่ใบ ตาและดอกของพืช มีผลเสียคือความไม่สมดุลของอาหารในลำ ต้นของพืช ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้เกิดพิษเรื้อรังต่อพืช ด้วยการเปลี่ยนสีของเนื้อเยื่อใบของพืชจนกลายเป็นสีเหลือง หรือเกิดคลอโรซิส (chlorosis) เป็นการสูญเสียคลอโรฟิลล์หรือหยุดสร้างคลอโรฟิลล์ สารพวกออกซิแดนท์ (oxidant) จะไปทำให้ส่วนของใบแห้งเหี่ยว และทำให้เซลล์ใบยุบตัว ไนโตรเจนออกไซด์จะทำให้เกิดแผลที่ใบและทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน

4. การบดบังแสงสว่าง มีผลทำให้ลดการมองเห็นได้ในระยะไกลเกินกว่า 8 กิโลเมตร บดบังแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลก ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ การคมนาคมขนส่ง ทักษะนิภาพ โดยเฉพาะช่วงเวลา 2 เดือน คือ ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 เมื่อมองไปที่ขอบฟ้า จะเริ่มเห็นท้องฟ้ากรุงเทพมหานครเป็นชั้นสีน้ำตาล ตรงนั้นคือชั้นของฝุ่นละออง ก๊าซโอโซน และอากาศจะดีขึ้นช่วงกลางเดือนเมษายนไปแล้ว

2.1.5 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย US. EPA และ WHO ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ US. EPA และ WHO ได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate, TSP) และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กเป็น 2 ชนิด คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM_{2.5}) เนื่องจากมีการศึกษาวิจัย พบว่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ชนิดฝุ่นละออง	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐานประเทศไทย ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่ามาตรฐาน US. EPA ² ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่ามาตรฐาน WHO ³ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
TSP	24 ชม.	330	-	-
	1 ปี	100	-	-
PM ₁₀	24 ชม.	120	50	50
	1 ปี	50	60	20
PM _{2.5}	24 ชม.	60	35	25
	1 ปี	25	15	10

หมายเหตุ -ไม่ได้กำหนดมาตรฐาน

ที่มา :¹ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) เรื่องกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศโดยทั่วไป

²<http://www.epa.gov/air/criteria.html>

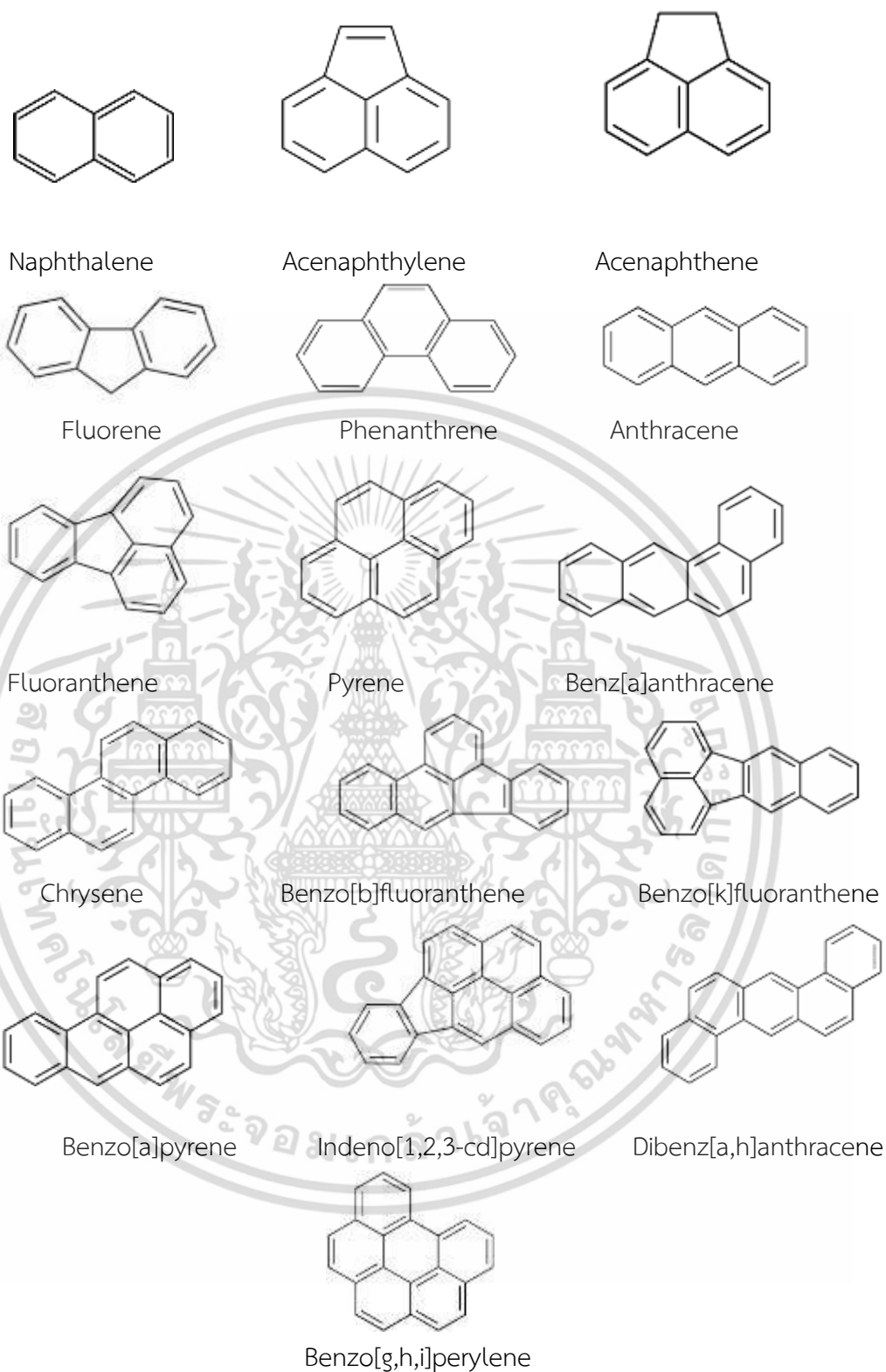
³WHO Air Quality Guideline Global Update 2005 (2006)

2.2 สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากวงเบนซีน 2 วงหรือมากกว่า จัดเรียงตัวแบบเชิงเส้น เชิงมุม หรือเกาะเป็นกลุ่ม ความแตกต่างของการจัดเรียงของแหวนทำให้เกิดสารประกอบมากกว่า 200 ชนิด ซึ่ง PAHs ส่วนใหญ่พบอยู่ในถ่านหิน น้ำมันดิบ มีส่วนน้อยที่ใช้ทำยา หรือทำสีย้อมผ้า พลาสติก และยาฆ่าแมลง โดยปริมาณความเข้มข้นของ PAHs จากยานพาหนะขึ้นอยู่กับ ชนิดของเครื่องยนต์ เชื้อเพลิง องค์กรประกอบในน้ำมัน และสถานะของการเดินระบบเครื่องยนต์ โดย PAHs เกือบทั้งหมดเกิดจากกิจกรรมมนุษย์ เช่น การเผาถ่านหิน น้ำมัน ไม้ กระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรม การเผาขยะ และแหล่งอื่น ๆ เช่น การทำอาหาร การสูบบุหรี่ PAHs สามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้โดยทางอาหารที่รับประทาน น้ำดื่ม และอากาศจากการหายใจ จากควันบุหรี่หรือการสัมผัสวัสดุที่มี PAHs อยู่ PAHs เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ โดยเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งผิวหนัง ปอด และระบบทางเดินหายใจ ส่งผลต่อการสืบพันธุ์ และสามารถส่งผลกระทบต่อระบบประสาทและระบบอื่น PAHs ในบรรยากาศอยู่ในสถานะก๊าซ และอนุภาคขึ้นอยู่กับความสามารถในการระเหย PAHs สามารถรวมกับอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน สามารถเข้าสู่ปอด เมื่อมนุษย์หายใจและก่อให้เกิดมะเร็งปอด (ปาจรีย์ และคณะ, 2556)

สารประกอบ PAHs 16 ชนิด ที่เป็นสารก่อมลพิษที่สำคัญกำหนดโดยหน่วยงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (The United State Environment Protection Agency, US. EPA) จัดให้อยู่ในกลุ่มของสารมลพิษที่ต้องกำจัดออกจากสิ่งแวดล้อมอย่างเร่งด่วน (Cerniglia, 1992) แสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสาร PAHs (US. EPA, 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ PAHs

สารประกอบ PAHs มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ มีจุดเดือดระหว่าง 150-350 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวระหว่าง 101-438 องศาเซลเซียส สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของสารประกอบ PAHs แสดงในตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลาย การระเหยเป็นไอของ PAHs แต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมี (Mackey และ Callcot, 1998) โดยความดันไอและความสามารถในการละลายน้ำจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น ส่วนใหญ่ PAHs มีความดันไอต่ำเมื่ออยู่ในอากาศ และ PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 3 วง จะอยู่ในวัฏภาคก๊าซ (Mustafa และคณะ, 1999) ส่วน PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 4 วง หรือมากกว่านั้น จะอยู่ในวัฏภาคอนุภาค (Kim และคณะ, 2002)

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

PAHs	จำนวนวงแหวน	จุดหลอมเหลว ^a (°C)	จุดเดือด ^a (°C)	ความสามารถในการละลาย ^a (mg/L)	Log k_{ow} ^b	ความดันไอ ^a (torr at 20 °C)
Naphthalene (NAP)	2	80	218	30	3.37	4.9×10^{-2}
Acenaphthylene (ACY)	3	92	265	3.93	4.07	2.9×10^{-2}
Acenaphthene (ACE)	3	96	96.2	3.47	3.98	2.0×10^{-2}
Fluorene (FLU)	3	116	293	1.98	4.18	1.3×10^{-2}
Phenanthrene (PHE)	3	100	340	1.29	4.45	6.9×10^{-4}
Anthracene (ANT)	3	216	342	0.07	4.45	1.9×10^{-7}
Fluoranthene (FLA)	4	11	375	0.26	5.33	6.0×10^{-6}
Pyrene (PYR)	4	156	393	0.14	5.32	6.9×10^{-7}
Benzo[a]anthracene (BaA)	4	158	400	0.014	5.61	5.0×10^{-7}
Chrysene (CHR)	4	255	448	0.002	5.16	6.3×10^{-7}
Benzo[b]fluoranthene (BbF)	5	167	-	1.2×10^{-3}	6.04	5.0×10^{-7}
Benzo[k]fluoranthene (BkF)	5	215	480	5.5×10^{-4}	6.06	5.0×10^{-7}
Benzo[a]pyrene (BaP)	5	179	310	3.8×10^{-3}	6.04	5.0×10^{-7}
Indeno[1,2,3-cd]pyrene (InP)	5	262	-	5.0×10^{-4}	5.97	1.0×10^{-10}
Dibenzo[a,h]anthracene (DbA)	6	273	550	2.6×10^{-4}	6.5	1.0×10^{-10}
Benzo[ghi]perylene (BgP)	6	163	550	0.062	7.66	1.0×10^{-10}

ที่มา: ^a ATSDR (1995); ^b Mabey และคณะ (1982)

2.2.2 การเกิดสาร PAHs (Bjorseth และ Ramdahl, 1985)

สาร PAHs เกิดจาก 2 กระบวนการ คือ

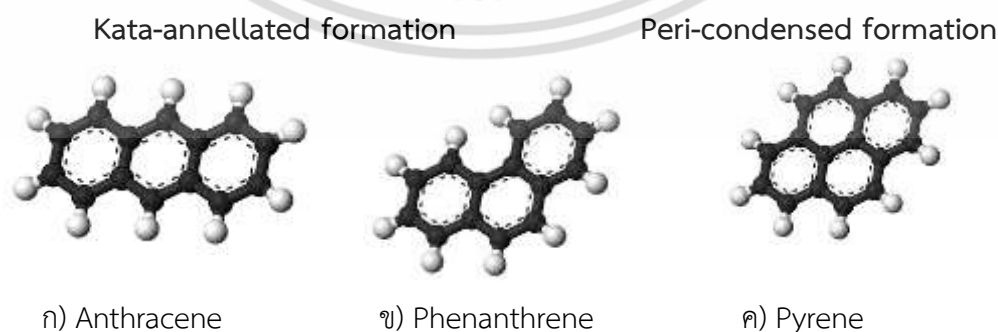
1) กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่ผันกลับไม่ได้ (irreversible reaction) ทำให้เกิดการสลายตัวขององค์ประกอบย่อยชนิดต่าง ๆ เริ่มต้นจากชีวมวลได้รับความร้อนช่วงแรกเฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) จะเกิดการสลายตัว ตามด้วยเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) กระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวลโดยทั่วไปเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน (endothermic reaction) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

reaction) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิระหว่าง 200 - 600 องศาเซลเซียส โดยจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กรดน้ำส้ม (acetic acid) เมทานอล (methanol) และน้ำมันดิบเบา (light tar) นอกจากนี้ การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้เกิด ก๊าซไฮโดรเจน และน้ำมันหนัก รวมถึง PAHs ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของสาร PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน อัตราการเผาไหม้ ชนิดและคุณลักษณะของชีวมวล

2) การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (incomplete combustion) เป็นการสลายตัวของชีวมวลโดยความร้อน ในสภาวะที่เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์โดยมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากผิวหน้าของวัสดุชีวมวลที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า เกิดปฏิกิริยา dehydration ได้ผลิตภัณฑ์ของถ่านคาร์บอน (char) และน้ำ ส่วนที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า จะเกิดปฏิกิริยา depolymerization ได้ผลิตภัณฑ์ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซไฮโดรเจน (H₂)

การเกิดสาร PAHs ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์และอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิสูง สารประกอบ PAHs จะประกอบด้วย unsubstituted parent PAHs เป็นส่วนใหญ่ เช่น กระบวนการเผาไหม้ของสารประกอบอินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้จากโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้จากเตาเผาขยะ เป็นต้น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ (<700 °C) จะประกอบด้วย parent PAHs และ alkyl-substituted PAHs ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป methyl derivatives ในเชื้อเพลิงฟอสซิลเกิดจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันเป็นระยะเวลาาน ที่อุณหภูมิต่ำ และความดันสูง ซึ่ง PAHs profile หรือ relative distribution ของสารประกอบ PAHs แต่ละชนิดอาจใช้บอกแหล่งกำเนิดของ PAHs ได้

PAHs อาจมีหลายไอโซเมอร์ เนื่องจากวงเบนซินสามารถจัดเรียงตัวในรูป kata-annellated formation หรือ peri-condensed formation โดย kata-annellated จะมี tertiary carbon atom อยู่ตรงกลางของ interlinked rings 2 วงที่สามารถจัดเรียงในทั้งรูป linearly annellated ได้แก่ Anthracene หรือ angularly formation ได้แก่ phenanthrene ส่วน peri-condensed formation จะมี tertiary carbon atom บางส่วนอยู่ตรงกลางของ interlinked rings 3 วง ได้แก่ Pyrene ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จากการที่ PAHs มีวงเบนซินหลายวงเป็นองค์ประกอบ ทำให้จำนวนไอโซเมอร์เพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล นอกจากนี้ แต่ละ parent PAHs อาจมี oxygenate, nitrated และ sulphonated analogues มาสร้างพันธะทำให้เกิดเป็น PAHs ต่างๆ มากมาย



รูปที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของสาร PAHs (Zander, 1983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 แหล่งกำเนิดสาร PAHs (วรรณช, 2552)

แหล่งกำเนิดสาร PAHs แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) แหล่งกำเนิดจากกระบวนการธรรมชาติ (Natural sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสาร PAHs ตามกระบวนการตามธรรมชาติ โดยไม่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น การเกิดไฟฟ้า การระเบิดของภูเขาไฟ การสังเคราะห์ด้วยแบคทีเรียบางชนิด หรือจากการย่อยสลาย triterpenoids หรือ steroids ในตะกอนดินที่ทับถมกัน สารตั้งต้นของ triterpenoids คือ กลุ่ม isoprenoids ตัวที่เรียกว่า squalene ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นแหล่งกำเนิดน้ำมันดิบ และมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบ (Egliton และคณะ, 1967) สาร PAHs ที่พบว่ามีแหล่งกำเนิดจาก triterpenoids ได้แก่ perylene

2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น แหล่งกำเนิดจากอาคารบ้านเรือนและที่อยู่อาศัย เกิดจากการประกอบอาหาร รวมทั้งการสูบบุหรี่, แหล่งกำเนิดจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ การเผาถ่านหินหรือโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล การเผาขยะ, แหล่งกำเนิดจากการคมนาคม เกิดจากการเผาไหม้จากรถยนต์ แหล่งกำเนิดจากเกษตรกรรม เกิดจากการเผาไหม้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่การเพาะปลูก ได้แก่ การเผาฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น ตัวอย่าง PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สำคัญ

แหล่งที่มา (Source)	PAHs predominant
การเผาไหม้จากยานที่พิกอศัย	Acenaphthylene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ในรูปฝุ่น	Fluoranthene, Phenanthrene, Pyrene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ในรูปก๊าซ	Phenanthrene, Anthracene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ในรูปฝุ่น และก๊าซ	Acenanthrene, Fluorene, Phenanthrene
ถ่านล้อย และถ่านหนัก	Phenanthrene
เตาเผาขยะเทศบาล	Benzo[g,h,i]perylene
เตาเผาขยะชุมชน	Fluoranthene, Benzo[a]fluoranthene, Benzo[g,h,i]perylene, Indeno[1,2,3-c,d]pyrene, Phenanthrene, Chrysene
เตาเผาขยะทางการแพทย์	Benzo[a]anthracene, Benzo[g,h,i]perylene
เตาเผาขยะแบบหมุน	Benzo[a]anthracene, Phenanthrene
การใช้แก๊สจากบ้านเรือน	Chrysene, Pyrene, Fluoranthene
ควันบุหรี่	Benzo[a]pyrene
น้ำมันดิบ (coal tar pitch)	Phenanthrene, Pyrene
การเผาไหม้ฟางข้าว	Indeno[1,2,3-c,d]pyrene, Benzo[a]pyrene, Dibenzo[a,h]anthracene

ที่มา: ATSDR, 1995 และ Keshtkar and Ashbaugh, 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ ได้แก่ Fluoranthene, Benzo[a]pyrene benzo[g,h,i]perylene นอกจากนี้ การขนถ่ายน้ำมัน การรั่วไหลจากเรือบรรทุกน้ำมัน ยังเป็นสาเหตุทำให้มีสาร PAHs ปนเปื้อนในแหล่งน้ำบริเวณนั้นมากกว่าปกติ (Simpson และคณะ, 1996) และอาจก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันในสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้นได้ง่าย PAHs จากกิจกรรมมนุษย์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามกระบวนการเกิดดังนี้

2.1) สาร PAHs ที่เกิดจากปิโตรเลียม คือ สาร PAHs ที่มีอยู่ในน้ำมันปิโตรเลียม หรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Hawsam และ Jones, 1998) โมเลกุลของสาร PAHs กลุ่มนี้ มีจำนวน 2-4 วงอะโรมาติก

2.2) สาร PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน และจากไฟไหม้ป่า (Page และคณะ, 1999: Yunker และคณะ, 2002) โมเลกุลที่พบมักเป็นโมเลกุลประเภท unsubstituted โดย มีจำนวน 3-5 วงอะโรมาติก

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของ PAHs

1) อุณหภูมิและฤดูกาล

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของ PAHs คือ อุณหภูมิ พบว่า PAHs มีปริมาณสูงเมื่ออุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ PAHs เปลี่ยนสถานะกลายเป็นก๊าซได้ดี

Smith และ Harrison (1996) ศึกษา PAHs ในบรรยากาศ 18 ชนิด โดยเก็บฝุ่น TSP และตัวอย่างก๊าซใน Birmingham ประเทศอังกฤษ โดยเก็บใน Birmingham University ซึ่งเป็นเขตเมือง และ Washhills House ซึ่งเป็นเขตชนบท โดยเก็บในฤดูหนาวและร้อน พบว่า pPAHs ในเขตเมืองมีความเข้มข้นมากกว่าในชนบทประมาณ 3.8 เท่า และ Total PAHs (PAHs ที่ปรากฏอยู่ในรูปฝุ่นและในรูปของก๊าซ) มีค่ามากกว่า 4.3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในฤดูร้อนและฤดูหนาวพบว่า pPAHs ในเขตเมืองในฤดูหนาวมีความเข้มข้นสูงกว่าฤดูร้อน 4.9 เท่า และ PAHs ที่อยู่ในรูปของก๊าซมีค่าสูงกว่า PAHs ในรูปของฝุ่น 5.5 เท่า

Kiss และคณะ (1998) ศึกษาการกระจายของสารประกอบ PAHs ในอนุภาคแอโรซอลขนาดต่างๆ ในบรรยากาศ เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วย 9 stage cascade impactor พบว่า สารประกอบ PAHs มีการกระจายตัวแปรผันตามขนาดของน้ำหนักโมเลกุล จำนวนวงอะโรมาติกและอุณหภูมิ เช่น ในช่วงฤดูหนาว เดือนมกราคม ค.ศ. 1996 ที่อุณหภูมิ -3 ถึง -5 องศาเซลเซียส มีการกระจายของสารประกอบ PAHs พบ Naphthalene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene ประมาณ 50% และ Pyrene พบ Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene และ Benzo[k]fluoranthene ประมาณ 60 % พบ Benzo[a]pyrene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, Dibenz[a,h]anthracene และ Benzo[g,h,i]perylene ประมาณ 70% ในช่วงฤดูฝนเดือนตุลาคม ค.ศ. 1995 อุณหภูมิ 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส มีการกระจายของสารประกอบ PAHs แบบ unimodal distribution สารประกอบ PAHs ที่มีโครงสร้างวงเบนซิน 2-3 วง พบในฝุ่นละอองทุกขนาดคัดแยก ในฤดูหนาว PAHs ที่มีโครงสร้างวงเบนซิน 3-6 วง พบในอนุภาคแอโรซอล ขนาด 0.25 -2.0 ไมครอน และในช่วงฤดูใบไม้ผลิ PAHs ที่มีโครงสร้างวงเบนซิน 4-6 วง พบในฝุ่นละอองขนาด 0.125-2.0 ไมครอน นอกจากนี้ ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ และฤดูหนาวมีความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs 3.1 และ 133.0 ng/m³ ตามลำดับ

Fang และคณะ (2004) ศึกษา pPAHs และ gPAHs ในไต้หวัน 2 แห่ง คือ บริเวณ Taichung Industrial Park (TIP) ซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และบริเวณ Tunghai University เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Campus (THU) ซึ่งเป็นชานเมือง โดยเก็บตัวอย่างฝุ่น TSP เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2002 และเดือนมีนาคม ค.ศ. 2003 วิเคราะห์หา PAHs ในอนุภาคฝุ่น นอกจากนี้ ยังวิเคราะห์หาปัจจัยทางอุตุวิทยาโดยใช้ Pearson correlation matrix ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยพบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 2 แห่ง กับอุณหภูมิแปรผกผันกัน พบว่า g-PAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (correlation coefficients) $R_{THU} = -0.459$ และ $R_{TIP} = -0.604$ ส่วน Total-PAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ $R_{THU} = -0.481$ และ $R_{TIP} = -0.607$ และพบมีความสัมพันธ์กับ g-PAHs สูงกว่าคือ $R_{THU} = -0.022$ และ $R_{TIP} = -0.216$

Guo และคณะ (2003) ศึกษาความเข้มข้น pPAHs 16 ชนิดในฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในฮ่องกง ในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน - มีนาคม) และฤดูร้อน (มิถุนายน - สิงหาคม) โดยเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น และพื้นที่รวม คือ มีทั้งย่านธุรกิจการค้า ที่อยู่อาศัย และเขตอุตสาหกรรม พบว่าทั้งพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น และพื้นที่รวม pPAHs ในช่วงฤดูหนาว มีค่าสูงกว่าในฤดูร้อนทั้งในฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 41.75 และ 54.72 ng/m^3 ตามลำดับ ฤดูร้อนมีค่าเท่ากับ 4.87 และ 5.82 ng/m^3 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่รวมในฤดูหนาวมีค่า pPAHs ใน $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 27.93 และ 38.63 ng/m^3 ตามลำดับ ฤดูร้อนมีค่าเท่ากับ 3.71 และ 4.67 ng/m^3 ตามลำดับ

Bae และคณะ (2002) ศึกษาการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs ในฝุ่นขนาด 0.1 ถึง 100 ไมครอน เมื่อมีการตกสะสมแบบแห้งในเกาหลีใต้ ในฤดูหนาวเดือนกุมภาพันธ์ และใบไม้ผลิเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2000 ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของ Total pPAHs อยู่ในช่วงระหว่าง 22.9 และ 410 ng/m^3 ส่วนในฤดูหนาวมี Total pPAHs ที่มีการตกสะสมแบบแห้งอยู่ในช่วง 10 และ 24 $\mu g m^{-2} day^{-1}$ และในฤดูใบไม้ผลิมี Total pPAHs ที่มีการตกสะสมแบบแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 4.1 และ 8.2 $\mu g m^{-2} day^{-1}$

Possazini และคณะ (2004) ตรวจวัด PAHs 20 ชนิดในบรรยากาศเมืองโรม ประเทศอิตาลีที่อยู่ในรูปของ PAHs ที่มีวงเบนซีนมากกว่า 4 วง จะอยู่ในรูปฝุ่น ส่วน PAHs ที่มีวงเบนซีน 2-3 วงมากกว่าร้อยละ 90 อยู่ในรูปก๊าซ และเมื่อนำร้อยละของ PAHs ที่อยู่ในรูปก๊าซแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกับกัน 3 ฤดู (ฤดูใบไม้ร่วง ฤดูหนาว และฤดูใบไม้ผลิ) พบว่า โดยส่วนใหญ่ Volatile-PAHs จะมีการกระจายตัวที่ไม่คงที่ในฤดูใบไม้ร่วง และฤดูใบไม้ผลิ พบว่า Pyrene อยู่ในก๊าซร้อยละ 50 ในฤดูหนาว และปรากฏในรูปก๊าซร้อยละ 80 ในฤดูใบไม้ผลิ แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของ PAHs ในบรรยากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง PAHs จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซได้มากขึ้น

2) ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงกับมวลของไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์จะไม่ทำให้ปริมาตรไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเปลี่ยนแปลง แต่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ความชื้นสัมพัทธ์จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในบรรยากาศเมื่อแสงมากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความชื้นในบรรยากาศหรือความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงทำให้น้ำที่อนุภาค PAHs เกาะอยู่มากขึ้นเพราะมีปริมาณน้ำในบรรยากาศมาก ความชื้นสัมพัทธ์จึงเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา photodegradation คือ เมื่อแสงมีความเข้มมากทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูง อัตราการสลายตัวของ PAHs ขึ้นกับน้ำในฝุ่นละออง

Kamens และคณะ (1998) ศึกษาผลกระทบจากค่าความชื้นในอากาศมีผลต่อ gas/particle partition ของสาร Semi-volatile organic compounds (SOCs) ที่แตกต่างกันของผิวสารอินทรีย์ (organic layer) ของ wood soot, diesel soot และ secondary aerosols ทำการศึกษาใน outdoor เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

environment chamber โดยศึกษาหาค่า partitioning coefficient (K_p) ของสาร SOCs ที่แตกต่างกันโดยการวัดใน Outdoor teflon film chamber และนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่า K_p ที่คำนวณได้จากทฤษฎีกับค่า activity coefficient และความดันไอ โดยใช้การประเมินค่า SOC activity coefficient จากปริมาณของน้ำในชั้นของสารอินทรีย์ที่ต่างกันในอนุภาคฝุ่นที่อยู่ในบรรยากาศ ได้คำนวณค่า activity coefficient ของน้ำในสารอินทรีย์ที่เกาะอยู่กับอนุภาคฝุ่น และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ พบว่าค่า SOC activity coefficient ของอนุภาคฝุ่นในเขม่าไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ไม่ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) แต่สำหรับอนุภาคเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ (wood soot particles) ในส่วนของสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic compounds) หรือไม่ละลายน้ำมีแนวโน้มในการดูดซับกับสารอินทรีย์ใน wood soot particles ได้ดี เช่น alkanes และ PAHs พบว่าค่า SOC activity coefficient จะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ (RH) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับพวก wood soot particles SOCs ที่มีความเป็นขี้ว เช่น n-alkanoic acids และหมู่แทนที่ของ phenol ใน wood soot particles พบว่า SOC activity coefficient มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อค่า RH เพิ่มขึ้น ยกเว้นพวก wood smoke particles เป็นสารประกอบที่มีขี้ว พบว่าค่า SOC activity coefficient มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบกับ SOCs ที่ไม่มีขี้ว สรุปได้ว่า ความชื้นในอากาศมีผลต่อการแบ่งแยกชั้นระหว่าง PAHs ในรูปของก๊าซและในรูปของฝุ่นในส่วนของสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำของแอโรซอลที่มีขี้ว

3) ความเร็วและทิศทางลม

ความเร็วของลมมีผลต่อความเข้มข้นของ PAHs โดยเมื่อความเร็วลมสูง จะทำให้ PAHs เกิดการกระจายตัวได้ดี ความเข้มข้นจะลดต่ำลง แต่ถ้าความเร็วลมต่ำ จะทำให้ความเข้มข้นมลพิษสูง Chaloulakou และคณะ (2003) ตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในเมือง Athens ประเทศกรีซ พบว่าฝุ่น PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ $PM_{10-2.5}$ มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมและอุณหภูมิ โดย PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ $PM_{10-2.5}$ มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความเร็วมมีค่า R (correlation coefficient) เท่ากับ -0.43, -0.54 และ -0.19 ตามลำดับ และจากการศึกษาพบว่าฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่าสูงกว่า $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ความเร็วลมมีค่าต่ำกว่า 2.0 m/s

4) แสง

PAHs สามารถเกิดปฏิกิริยา photodegradation ด้วยแสง ซึ่งเกิดจาก 2 กระบวนการคือ กระบวนการ photolysis โดยตรง จากแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 290 nm และกระบวนการ photolysis ทางอ้อมโดย oxidizing agent เช่น OH, O_3 และ NO_3 ในอากาศ โดยทั่วไปแล้ว photolysis ทางอ้อม หรือ photooxidation เป็นกระบวนการที่สำคัญกว่ากระบวนการ photolysis โดยตรง และ PAHs แต่ละชนิดที่ดูดซับบนเขม่าที่เกิดปฏิกิริยากับ NO_x พบว่ามีค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวตั้งแต่ 3.7-30 วัน และพบว่าการสลายตัวของ PAHs จะช้าเมื่อความเข้มของแสงน้อย (IPCS, 1998) จากงานวิจัยของ Kamens และคณะ (1985) ทำการศึกษาหาค่าอัตราการสลายตัวของ PAHs ที่มีมวลโมเลกุลมากกว่า 228 กรัมต่อโมลของอนุภาคควันจากการเผาไหม้ของไม้กับก๊าซโอโซน (O_3) หรือกับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในสภาวะที่มีแสงแดดและในสภาวะที่ไม่มีแสงแดด ผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ในบรรยากาศในอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของไม้ในสภาวะที่ไม่มีแสงแดด จะมีค่าคงที่ แต่จะสลายตัวได้อย่างรวดเร็วในสภาวะที่มีแสงแดด

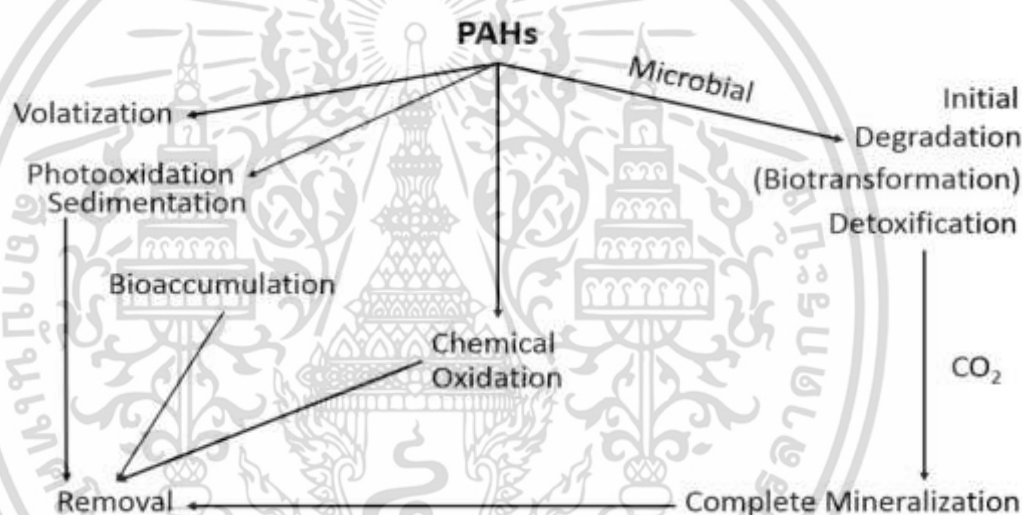
5) ความกดอากาศ

เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความกดอากาศและสาร PAHs การศึกษาของ Fang และคณะ (2004) ศึกษา p-PAHs ในไต้หวัน โดยเก็บตัวอย่างฝุ่น TSP เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 48 ชั่วโมง และวิเคราะห์หาสาร PAHs ในฝุ่นพร้อมวิเคราะห์ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาโดย Pearson correlation matrix พบว่าไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างสาร PAHs และความกดอากาศ

2.2.5 การสลายตัวสารประกอบ PAHs

เมื่อสาร PAHs ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ อนุภาคเหล่านี้จะเข้าสู่กระบวนการหลายกระบวนการ ความเข้มข้นของ PAHs จะขึ้นอยู่กับชนิดของ PAHs แต่ละตัวในการจับกับอนุภาคสารอินทรีย์ และปฏิกิริยาเคมี รวมถึงความคงตัวของสารนั้น (Pankow, 1991; Yamasaki และคณะ, 1982) การเปลี่ยนแปลงระหว่างก๊าซและอนุภาคของ PAHs จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนพาร์ทิชัน (partitioning ratio) ซึ่งสามารถแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้น PAHs ในรูปอนุภาคกับความเข้มข้น PAHs ในรูปก๊าซ โดยทั่วไปแล้ว PAHs ที่อุณหภูมิปกติ มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง ค่าความดันไอต่ำ ค่าละลายน้ำได้น้อยมากและการสลายตัวในสิ่งแวดล้อมได้แตกต่างกัน ซึ่งกระบวนการสลายตัวของ PAHs มีทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กระบวนการสลายตัวต่าง ๆ ของสารประกอบ PAHs ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม (Cemiglia และ Heitkamp, 1989)

1) การสลายตัวทางกายภาพ

1.1) การสลายตัวโดยแสง กลไกการสลายตัวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และปริมาณความเข้มข้นของแสง (Reyes และคณะ, 1998; Wamer และคณะ, 2004) รวมถึงการใช้รังสีต่าง ๆ เช่น รังสีแกมมา (Melcher และคณะ, 2002)

1.2) การระเหยกลายเป็นไอ สาร PAHs ที่ปนเปื้อนในน้ำและอยู่ที่ผิวน้ำจะมีอัตราการระเหยสูงกว่าสาร PAHs ที่อยู่ที่ผิวดิน จากการศึกษาพบว่าสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น Naphthalene จะมีอัตราการระเหยได้สูงกว่าสารประกอบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Ashok และ Saxena, 1995)

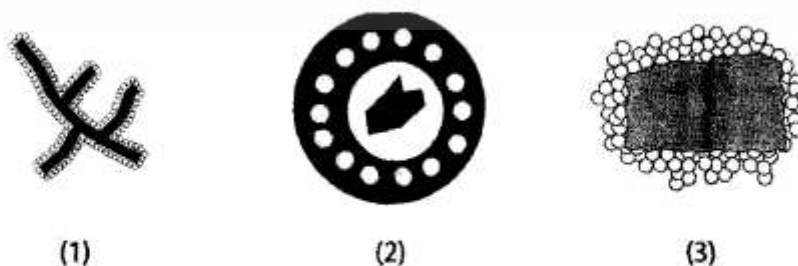
1.3) การสะสมในสิ่งมีชีวิต สำหรับสิ่งมีชีวิตบนบก ได้แก่ พืช สัตว์ สามารถสะสม Anthracene และเกิดความเป็นพิษได้ เช่น ยับยั้งการงอกของเมล็ดแดงกว่า (Mitchell และคณะ, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1988) Acenanthrene มีความเป็นพิษต่อไส้เดือนดินมาก ในขณะที่ Fluoranthene และ Naphthalene ไม่ก่อให้เกิดพิษ (Neuhauser และคณะ, 1985) สาร PAHs บางชนิดมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เช่น Pyrene มีความเป็นพิษต่อหอยสองฝา ปลา แพลงตอน (El-Din และคณะ, 2001) ส่วนสาร PAHs สามารถสะสมในพืชได้ เป็นสารประเภท lipophilic สารประกอบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะมีความเป็นไปได้สูงที่จะหายจากดินเข้าสู่พืชได้ (Jones และคณะ, 1989; Jones, 1991; Wild และ Jones, 1992)

1.4) การตกตะกอนและถูกดูดซับในอนุภาคของดิน เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ จึงถูกดูดซับติดกับอนุภาคของดินหรือตะกอนได้อย่างแน่นหนาในปริมาณมาก ซึ่งแสดงได้โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับโดยดิน (Soil adsorption coefficient; K_{oc}) ถ้า K_{oc} น้อย ก็หมายความว่าสารประกอบ PAHs นั้นละลายน้ำได้ดี สารประกอบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะถูกเกาะติดแน่นเป็นเวลานานกว่าสารประกอบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Chin และคณะ, 1997) หากมีการปนเปื้อนเป็นเวลานาน ดินจะสามารถดูดซับสารปนเปื้อนนั่นไว้ โดยการดูดซึมและแทรกอยู่ระหว่างชั้นน้ำตามช่องว่างภายในอนุภาคดิน ทำให้สารปนเปื้อนถูกชะละลายออกมาได้น้อย ถ้าหากสารปนเปื้อนจับกับอนุภาคดินโดยอาศัยพันธะทางเคมี จะทำให้สารถูกชะออกมาได้ยากยิ่งขึ้น ทำให้สารอยู่ในรูป bound residue ซึ่งจุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตในดินนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่าในรูปแบบอื่น (Verstraete และ Devliegher, 1996)

1.5) การรวมตัวของอนุภาคในบรรยากาศ การกระจายตัวของ PAHs ในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแตกต่างกันตามกระบวนการที่เกิดไม่ว่าจะเป็นกระบวนการควบแน่นหรือการดูดซับ ทำให้พบ PAHs ใน 2 สถานะคือ สถานะก๊าซ (gPAHs) และสถานะที่จับกับอนุภาคแขวนลอย (particle-bound PAHs หรือ pPAHs) จากการศึกษาของ Chetwittayachan และคณะ (2002) พบว่าสาร PAHs จะอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส และอยู่ในรูปที่ยึดเกาะกับอนุภาคของซีลล์ลอยที่อุณหภูมิต่ำกว่า จากการศึกษาโครงสร้างแบบชั้น (shell structure) สาร PAHs จะเกาะอยู่บนอนุภาคที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก จากนั้นสาร PAHs จะถูกปกคลุมด้วยสารกลุ่มระเหยง่ายชนิดอื่นอีกชั้นหนึ่ง นอกจากนี้ Venkataraman และคณะ (1999) ศึกษาความสัมพันธ์ของสาร PAHs ที่พบในเขตเมือง โดยได้จำแนกลักษณะของอนุภาคเป็น 3 ลักษณะ (ในรูปที่ 2.7) คือ

- 1) สาร PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคละเอียดมากที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอน ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน
- 2) สาร PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคละเอียดหรืออาจดูดซับบนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.1-2.0 ไมครอน ที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารประกอบในกลุ่มระเหยได้ง่าย
- 3) สาร PAHs ที่เข้าไปเกาะติดกับอนุภาคหยาบที่มีขนาดระหว่าง 2-10 ไมครอน



รูปที่ 2.7 ลักษณะของอนุภาคและการดูดซับของ PAHs บนอนุภาค (Chetwittayachan และคณะ, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs ในบรรยากาศระหว่างรูปแบบของการถูกกำจัดออกทางกายภาพ เช่น การตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้ง จากงานวิจัยของ Baek และคณะ (1991) พบว่าการกระจายตัวของ PAHs มากที่สุดในอนุภาคฝุ่นขนาดที่มี 0.4 และ 1.1 ไมครอน นอกจากนี้ พบว่าอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 3.0-5.0 ไมครอน สามารถถูกกำจัดจากบรรยากาศ ด้วยการตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้ง โดยส่วนใหญ่อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน มักเกาะกลุ่มกับอนุภาคขนาดเล็กหรืออนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้อนุภาคฝุ่นมีขนาดใหญ่ขึ้น การเพิ่มขนาดของอนุภาคฝุ่นปกติใช้เวลาเป็นวันถึงสัปดาห์ หลังจากนั้นจะเกิดการสะสมแบบเปียกและแบบแห้งในบรรยากาศ ส่วนอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 0.1-0.3 ไมครอน มีระยะเวลาคงตัวในบรรยากาศได้หลายวันหรือนานกว่านั้น ทำให้สามารถแพร่กระจายตัวได้ในระยะทางไกล ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ โดยทั่วไปการตกสะสมแบบแห้งคงตัวในบรรยากาศได้นานกว่าการตกสะสมแบบเปียก จากการศึกษา Bjorseth และ Olufsen (1983) พบว่า PAHs ในรูปของอนุภาคฝุ่นเกิดการกระจายตัวจากประเทศอังกฤษไปยังประเทศนอร์เวย์ และประเทศสวีเดน

2) การบำบัดทางเคมี

2.1) การใช้สารเคมี อนุพันธ์ของสารเคมีที่มีสมบัติเกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH) จะสามารถแตกสลายสารประกอบ PAHs ได้ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (Nadarajah และคณะ, 2002)

2.2) การใช้ก๊าซโอโซน โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง จึงนำมาใช้แตกโมเลกุลสารประกอบอินทรีย์ได้ พบว่าประสิทธิภาพยังไม่ดีนัก ลดได้เฉพาะสารประกอบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แต่ให้ผลดีกว่าหากใช้ร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ (Nam และ Kukor, 2000)

3) การบำบัดทางชีวภาพ

การบำบัดทางชีวภาพ เป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดความเป็นพิษของสารประกอบ PAHs และกากของเสียอันตรายอื่นๆ โดยการย่อยสลายสารพิษด้วยจุลินทรีย์ เพื่อต้องการให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารเคมีอันตรายหรือสารประกอบ PAHs ซึ่ง PAHs บางชนิดสามารถถูกย่อยได้อย่างสมบูรณ์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ในการเจริญของจุลินทรีย์ เรียกว่า mineralization หรือสารประกอบ PAHs บางชนิด อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบางส่วนเพื่อไปเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กลง และมีความเป็นพิษลดลง เรียกว่า biotransformation สารมัธยันต์ (intermediate) ซึ่งกระบวนการข้างต้นนี้ อาจเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ชนิดเดียว หรือโดยกลุ่มจุลินทรีย์ (Gibson และ Subramanian, 1984)

วิธีการบำบัดทางชีวภาพจำเป็นต้องทราบโครงสร้างโมเลกุลและสมบัติทางเคมีของสารที่ต้องการบำบัดเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้น และประเมินศักยภาพของการบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพ เนื่องจากสารประกอบ PAHs แต่ละชนิดมีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่จำเพาะแตกต่างกัน โดยจำนวนและการเรียงตัวของวงแหวนเบนซีนมีผลต่อการคงตัว การละลายและการระเหยของสารนี้ในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งมีผลต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (Trrjo และ Quintero, 2000) วิธีนี้เป็นวิธีที่สำคัญในการกำจัดหรือลดความเป็นพิษ เพราะเป็นวิธีที่ประหยัด ช่วยสลายสารพิษนี้ได้รวดเร็วกว่าการสลายเองโดยธรรมชาติ

2.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีและฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง

สาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็งมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของ PAHs พบว่าการก่อมะเร็งของ PAHs ในโมเลกุลจะต้องมีวงแหวนเบนซีนหรือฟิวแรน (Furan) อย่างน้อย 5 วงติดกัน สารที่มีวงแหวนเบนซีนน้อยกว่า 5 วง แต่มีหมู่ธาตุอื่นมาแทนที่ไฮโดรเจนในวงแหวนนั้น ก่อให้เกิดมะเร็งได้เช่นกัน Fluorene ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง แต่สารอนุพันธ์ของ Fluorene ที่เป็น acetylamino fluorine เป็นสารก่อมะเร็งอย่างแรงจึงถูกห้ามใช้ในการเป็นสารฆ่าแมลง ตำแหน่งของวงเบนซีนมีความสำคัญกับฤทธิ์ของ PAHs เช่น สาร Dibenzo[a,h]anthracene สามารถก่อมะเร็งได้ดีมาก แต่สารไอโซเมอร์ของมันซึ่งมีวงแหวนเบนซีนมาเกาะที่ตำแหน่ง c แทนที่จะเป็นตำแหน่ง a คือสาร Dibenzo[a,c]anthracene นั้นจะสามารถก่อมะเร็งได้เล็กน้อยเท่านั้น การแทนที่ด้วยหมู่ต่าง ๆ ที่ตำแหน่งเฉพาะบนวงแหวนเบนซีนก็จะเสริมความเป็นพิษของ PAHs ได้ เช่น สาร anthracene-9, 10-dimethylanthracene ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง แต่อนุพันธ์ เช่น 9,10 dimethyl-1,2-benzanthracene (DMBA) กับ 1,2,3,4-tetramethylphenanthrene สามารถทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองได้ จากการศึกษาความแตกต่างทางโครงสร้างเคมีและคุณสมบัติทางชีวภาพแสดงให้เห็นว่าสาร PAHs ที่ก่อมะเร็งควรมี Phenanthrene nucleus ในโมเลกุลด้วย ส่วนไฮโดรเจนใน nucleus จะถูกแทนที่ด้วยหมู่ต่าง ๆ เช่น หมู่เมทิล จำนวนอย่างน้อย 3 ใน 4 ตำแหน่งของตำแหน่งที่ 1, 2, 3 และ 4

2.2.7 ฤทธิ์ในการเกิดมะเร็งของ PAHs

PAHs มีความเป็นพิษที่เป็นลักษณะแฝงอยู่ในโมเลกุล ความเป็นพิษจะเกิดและเพิ่มมากขึ้นโดยปฏิกิริยาทางเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ 2 ขั้นตอน คือ

1) ปฏิกิริยาเอนไซม์ P-450 cytochrome ที่ทำให้เกิด oxidation และ hydroxylation ได้สารตัวกลางซึ่งเป็น epoxides และ phenols ซึ่งเป็นสารพิษและสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรง ปฏิกิริยาดังกล่าวมักเกิดในบริเวณที่เรียกว่า Bay region ในโครงสร้างโมเลกุลของกลุ่ม PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 3-5 วง ได้แก่ anthracene, phenanthrene, chrysene, benzopyrene การที่ PAHs ถูกเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ epoxide เป็นกลไกของการเกิดมะเร็ง เพราะสารตัวกลางนี้มีความว่องไวมากทางชีวเคมีซึ่งสามารถรวมตัวแบบพันธะโควาเลนต์ได้ดีกับสารพวกดีเอ็นเอ ได้อนุพันธ์ออกซิไดส์ของ PAHs ซึ่งอาจถูกเติมด้วยหมู่เมทิลต่อไปกลายเป็นอนุพันธ์ methoxy ก็ได้ ในกรณีที่ยังไม่ถูกเติมสารหมู่ใด สารอีพอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับไนโตรเจน-เบส (N-Base) ของดีเอ็นเอ เกิด PAH-DNA adducts ทำให้เซลล์มีการแปลรหัสทางพันธุกรรมผิดปกติไป และเกิดการกลายพันธุ์ได้

2) ปฏิกิริยา conjugation การทำลายพิษ epoxides และ phenols ดังกล่าว ทำปฏิกิริยากับสารอื่น เช่น glucuronide, sulfate, glutathione ได้สาร conjugates ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ และถูกชะพาออกไปทางน้ำดี อุจจาระ และปัสสาวะ การที่ PAHs ถูกเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ epoxide เป็นกลไกของการเกิดมะเร็ง เพราะสารนี้ว่องไวมาก สามารถรวมตัวแบบพันธะโควาเลนต์ได้ดีกับสารพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิก (Chiang และคณะ, 1999; Warshawsky, 1999)

จากการศึกษาทางสัตว์ทดลองและระบาดวิทยา สาร PAHs ที่ทำให้เกิดมะเร็งย่อมมีอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ IARC จัดเป็นสาร Human carcinogens group 1 จากการสำรวจพบว่าในสารพิษร้ายแรงทั้ง 275 ชนิด ที่มีพิษร้ายแรงมากที่สุด 20 อันดับ มีสารในกลุ่ม PAHs เป็นสารพิษที่ติดอันดับที่ 8, 9, 10 และที่ 17 (Gery และคณะ, 1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพในการเกิดมะเร็งของประชาชน รัฐบาลควรจะต้องติดตามการเฝ้าระวังป้องกันและควบคุม PAHs ในสิ่งแวดล้อมอยู่เสมอ

PAHs เข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดย

1. ทางการหายใจ เช่น จากการทำอาหาร การเผาขยะ จากการสูบบุหรี่ คาร์บอนจากการเผาไม้ ไอเสียจากยานพาหนะ จากถนนแอสฟัลต์ หรือ คาร์บอนจากการเผาทางการเกษตร
2. ทางดูดซึมทางผิวหนัง เช่น การสัมผัสกับสาร PAHs
3. ทางการรับประทาน ได้แก่ กินของย่าง หรือ ไหม้ การปนเปื้อนในธัญญาหาร ขนมปัง ผักผลไม้ เนื่องจากการทำอาหาร

2.2.8 เมแทบอลิซึมของ PAHs ในร่างกาย

สาร PAHs ที่ผ่านเข้าสู่ร่างกายได้โดยทางรับประทานพบว่าบางส่วนของ PAHs ที่ไม่ถูกเมแทบอลิซึมจะถูกจับไว้โดยไขมันในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ถ้าผ่านเข้าไปในร่างกายจะเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นสารที่มีขั้วมากขึ้น นั่นคือวงเบนซีนของ PAHs จะถูกเติมด้วยหมู่ OH ตับเป็นอวัยวะที่สลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงโมเลกุล PAHs ได้มากที่สุด สารตัวกลางที่ได้เป็นอนุพันธ์อีพอกไซด์ (epoxide) ของ PAHs ปฏิกิริยาเติมหมู่ OH อาศัยการเร่งของเอนไซม์จากไมโครโซม Mixed function oxidase (MFO) หรือ cytochrome P450 enzymes (Donnelly และคณะ, 1990) เนื่องจาก PAHs เป็นสารไม่มีขั้ว จึงละลายในไขมันและน้ำมันได้ดี ฉะนั้นจึงสะสมในไขมันของร่างกายได้นานและถูกขับออกจากร่างกายได้ยาก นอกจากถูกเมแทบอลิซึมและถูกทำลายโดยกระบวนการทำลายพิษของร่างกาย สาร PAHs ในเนื้อเยื่อไขมันจะไม่ทำให้เกิดพิษแก่ร่างกายจนกว่าจะเข้าไปสู่เซลล์ PAHs นี้ อาจสะสมได้ในชั้นเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยชั้นของฟอสโฟลิปิด (Upham และคณะ, 1998; Yu และคณะ 1999) สารก่อมะเร็ง PAHs จะผ่านวิถี metabolic activation และเกิดสารตัวกลางในรูป epoxides ซึ่งเกี่ยวข้องกับ K-region ของโครงสร้างวงเบนซีนของไฮโดรคาร์บอน จากการศึกษาพบว่า K-region epoxides มีความสามารถในการก่อมะเร็งเพียงเล็กน้อยในสัตว์ทดลอง ปัจจุบันยอมรับว่าการเปลี่ยน PAHs เป็น dihydrodiol epoxides เป็นวิถีในการเกิด ultimate carcinogen เป็น ultimate mutagen และเป็นเมแทบอลิซึมของ Benzo[a]pyrene ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง พบว่าเมแทบอลิซึมของ PAHs คล้ายกับ Benzo[a]pyrene คือเป็น ultimate carcinogen ของสารเหล่านี้ (Buerczynski และคณะ, 1999)

2.2.9 ผลกระทบของ PAHs ต่อสิ่งมีชีวิต

หนูที่ได้รับอาหารที่มี PAHs ในระหว่างตั้งครรภ์ทำให้คลอดลำบากและลูกที่เกิดมามีโอกาสไม่สมบูรณ์ และมีน้ำหนักตัวน้อย การศึกษาในสัตว์พบว่า PAHs เป็นอันตรายกับผิวหนัง ของเหลวในร่างกาย และความสามารถในการต้านทานโรคน้อยลง หลังจากได้รับ PAHs ทั้งในระยะยาวและระยะสั้น จากการศึกษากับมนุษย์มีข้อมูลในการได้รับ PAHs จากการหายใจ สัมผัสของมนุษย์ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้ จากการศึกษาหนูที่ได้รับ Benzo[a]pyrene 308 ppm ในอาหารเป็นเวลา 10 วัน ทำให้มีปัญหากับการหายใจ ส่วนหนูที่ได้รับ Benzo[a]pyrene 923 ppm ในอาหารเป็นเวลา 1 เดือนจะมีปัญหากับการดำรงชีวิตและเลือด

The Department of Health and Human Services (DHHS) ทำการศึกษา PAHs กับผลของการเกิดมะเร็ง พบว่าคนที่หายใจหรือสัมผัส PAHs เป็นเวลานานจะทำให้เกิดโรคมะเร็ง จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ในห้องทดลองโดยเมื่อสัตว์หายใจเอาอากาศที่ปนเปื้อน PAHs จะเกิดมะเร็งที่ปอด เมื่อกินอาหารที่มี PAHs ปนเปื้อน จะเกิดมะเร็งที่กระเพาะ หรือเกิดมะเร็งผิวหนังเมื่อสัมผัสกับ PAHs ซึ่ง Benzo[a]pyrene เป็น PAHs ที่พบว่าเป็นสาเหตุของมะเร็งในปอดและผิวหนัง การทดลองในห้องทดลองกับสัตว์พบว่า PAHs ชนิดอื่น ๆ ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง จากการสกัดควันบุหรี่ที่มี PAHs อยู่ พบว่าเป็นสาเหตุทำให้ปอดเกิดเนื้องอกในสัตว์ทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าระบบอวัยวะของคน คือ ปอด ตับ ผิวหนัง และไต จะเป็นอันตรายอันตรายเมื่อได้รับ PAHs นอกจากนี้ยังตรวจพบ PAHs หลายชนิดในเลือดและปัสสาวะ

2.2.10 มาตรฐาน PAHs ในอากาศ

ไม่มีมาตรฐานของ PAHs ภายในอาคาร แต่สำหรับอาคารสำนักงานกำหนดให้มีค่า PAHs ไม่เกิน 0.004 ppm The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) มาตรฐานของ PAHs ในอากาศไม่เกิน 0.2 mg/m³ ในเวลา 8 ชั่วโมง

The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) กำหนดค่า PAHs ในสถานที่ทำงานไม่เกิน 0.1 mg/m³ ในการทำงาน 10 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 40 ชั่วโมง

2.3 ปัญหาหมอกควันทางภาคเหนือ

ปัญหาหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชน ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะผู้ที่ภูมิคุ้มกันต่ำ เช่น ผู้สูงอายุ เด็กเล็ก และผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจ รวมทั้งทำให้เสียหายต่ออาคารบ้านเรือน เกิดความเดือดร้อนรำคาญ บดบังทัศนวิสัย และเป็นอุปสรรคต่อการคมนาคมและขนส่ง การทำลายทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศป่าไม้ รวมทั้งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวที่เป็นเศรษฐกิจสำคัญ ซึ่งความรุนแรงของปัญหา โดยทั่วไปจะพบปัญหาหมอกควันในช่วงหน้าแล้ง (ธันวาคม – เมษายน) ของทุกปีที่มีสภาวะอากาศที่แห้งและนิ่ง ทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นแขวนลอยในบรรยากาศได้นาน นอกจากนี้ ยังพบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเพิ่มขึ้น เนื่องจากความแห้งแล้งที่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของไฟป่า ประกอบกับในช่วงเวลาดังกล่าวเกษตรกรจะทำการเผาเศษวัสดุ เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเกษตร ในช่วงฤดูฝน สำหรับปีที่มีฝนตกน้อยหรือเกิดภาวะแห้งแล้งจะทำให้การชะล้างหมอกควันหรือฝุ่นที่แขวนลอยในอากาศเป็นไปได้น้อย ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2550 ภาคเหนือตอนบนประสบปัญหาหมอกควันที่รุนแรงมาก พบว่าระดับหมอกควันและฝุ่นละอองขนาดเล็กสูงต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 3-4 สัปดาห์ ปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อธุรกิจการท่องเที่ยวและบริการ รวมถึงการจราจรทั้งทางบกและทางอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีผลต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่โดยตรง (วิจารณ์, 2552)

2.3.1 ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน

จากการติดตามตรวจสอบปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) โดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในปี 2554 – 2556 พบว่าหลายสถานีใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ประกอบด้วยจังหวัดเชียงราย พะเยา ลำปาง แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูน น่าน และแพร่ พบว่า ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนของทุกปี จะมีการเผาในที่โล่งจำนวนมาก ทั้งการเผาในพื้นที่ป่า การเผาเศษวัสดุเหลือจากการเกษตรในพื้นที่เกษตร และการเผาขยะมูลฝอยและเศษใบไม้กิ่งไม้ ในพื้นที่ชุมชน รวมทั้งผลกระทบจากการเผาในพื้นที่ประเทศเพื่อนบ้าน ในกลุ่มภูมิภาคกลุ่มน้ำโขง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่หวังกำไรใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ในปี 2555 จุดตรวจวัดที่พบปริมาณฝุ่นละออง PM_{10} สูงกว่าค่ามาตรฐานจำนวน 26 สถานี จากทั้งหมด 60 สถานีตรวจวัด (คิดเป็นร้อยละ 43) ค่าเฉลี่ยรายปี มีค่าตั้งแต่ 13–107 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สูงสุดที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุด มีค่าตั้งแต่ 28 - 479 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สูงสุดที่ ตำบลเวียงพางคำ อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย จากการจัดอันดับพื้นที่ที่มีปัญหาฝุ่นละออง PM_{10} พบว่าพื้นที่ที่มีสถานการณ์รุนแรงมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ 1) ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี 2) ตำบลเวียงพางคำ อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย 3) ตำบลหัวเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 4) ริมถนนสันติภาพ เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพฯ และ 5) ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ใน 10 อันดับแรก ประกอบด้วยกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนบน ได้แก่ จังหวัดลำปาง พะเยา เชียงราย ลำพูน และกรุงเทพมหานครบางพื้นที่ ได้แก่ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี บริเวณริมถนนพระราม 6 เขตราชเทวี และริมถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร พบว่าปัญหาฝุ่นละออง PM_{10} ที่เกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 2.8 กราฟอันดับพื้นที่ที่มีปัญหาฝุ่นละออง PM_{10} มากที่สุดถึงน้อยที่สุดในปี 2555 (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

ในภาคเหนือตอนบนส่วนใหญ่เกิดจากปัญหาหมอกควันจากการเผาในที่โล่งในพื้นที่เกษตรและพื้นที่ป่าและการเกิดไฟป่า ซึ่งพบในช่วงตั้งแต่เดือนธันวาคม – เดือนเมษายนของทุกปี เป็นปัญหาที่มีความสำคัญระดับชาติ จึงจำเป็นต้องบูรณาการทุกภาคส่วน โดยเฉพาะหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องต้องให้ความร่วมมือและสนับสนุนในการป้องกันและควบคุมไฟป่า รวมทั้งการเผาในที่โล่งเพื่อการแก้ไขปัญหาหมอกควันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและทันต่อเหตุการณ์ โดยเฉพาะในพื้นที่ 8 จังหวัดในภาคเหนือตอนบน จึงต้องมีมาตรการในการป้องกันและแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืนและให้ผู้มีส่วนได้เสียในพื้นที่เข้ามามีส่วนร่วม จากการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละออง PM_{10} ตั้งแต่ปี 2545 – 2555 ในภาพรวมทั้งประเทศ พบว่าค่าเฉลี่ยรายปี และค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดของแต่ละปี มีปริมาณลดลงเล็กน้อยค่อนข้างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล สำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยในพื้นที่ภาคเหนือ และจังหวัดสระบุรี มีปริมาณคงตัว ซึ่งแตกต่างจากแนวโน้มเฉลี่ยของทั้งประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

2.3.2 สถิติการเกิดไฟป่า

สถิติการเกิดไฟป่าในประเทศไทยปี 2554-2556 กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช ได้รายงานจำนวนพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ทางภาคเหนือ พบว่าในปี 2554 มีพื้นที่ที่ถูกไฟป่า 8,137 ไร่ ปี 2555 มีพื้นที่ 21,397 ไร่ และปี 2556 มีพื้นที่ 31,641 ไร่ ซึ่งพื้นที่ที่ถูกไฟป่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี จังหวัดที่มีพื้นที่ที่ถูกไฟป่ามากที่สุด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และลำปาง เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สถิติการเกิดไฟป่าปี 2554 – 2556

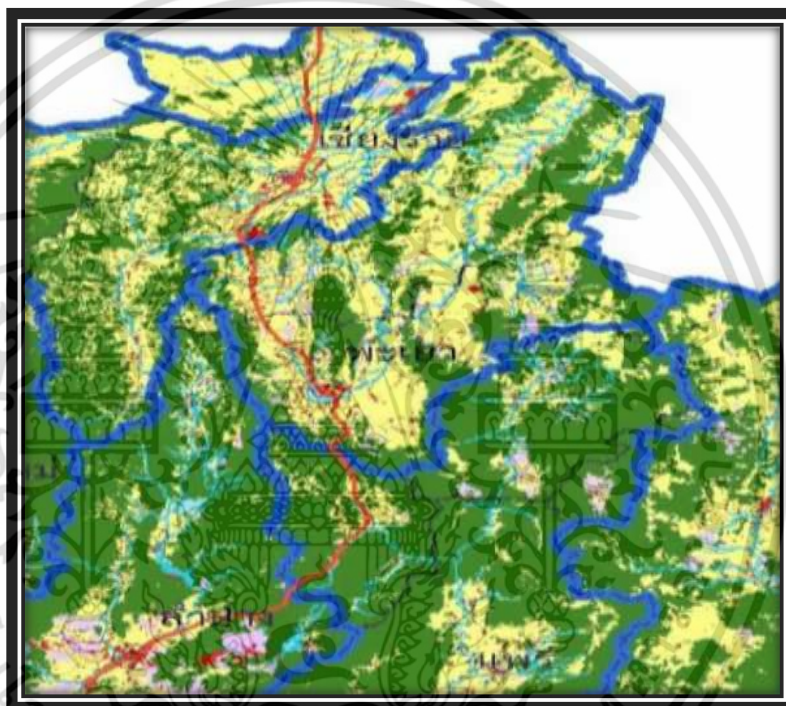
จังหวัด	ปี 2554		ปี 2555		ปี 2556	
	ดับไฟป่า (ครั้ง)	พื้นที่ถูกไฟไหม้ (ไร่)	ดับไฟป่า (ครั้ง)	พื้นที่ถูกไฟไหม้ (ไร่)	ดับไฟป่า (ครั้ง)	พื้นที่ถูกไฟไหม้ (ไร่)
1 เชียงใหม่	448	2,796	865	6,264	1,361	14,541
2 แม่ฮ่องสอน	176	820	413	2,499	508	2,955
3 ลำปาง	131	669	242	1,463	310	1,994
4 ลำพูน	162	943	219	1,557	166	1,449
5 เชียงราย	31	85	181	922	98	690
6 พะเยา	39	165	76	317	38	194
7 แพร่	42	227	158	1,470	147	1,011
8 น่าน	2	8	29	311	123	1,260
9 พิชญ์โลก	50	479	97	781	107	1,070
10 กำแพงเพชร	27	317	43	881	59	976
11 เพชรบูรณ์	19	169	68	690	73	853
12 อุตรดิตถ์	25	169	48	336	53	316
13 สุโขทัย	8	74	13	92	9	78
14 ตาก	90	774	149	1,202	95	1,131
15 นครสวรรค์	-	-	18	412	33	391
16 อุทัยธานี	16	442	67	2,201	94	2,733
ภาคเหนือ	1,266	8,137	2,686	21,397	3,274	31,641

ที่มา: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา

จังหวัดพะเยา มีพื้นที่ 6,335.06 ตารางกิโลเมตร หรือ 3,959,412 ไร่ ภูมิประเทศโดยทั่วไป ล้อมรอบไปด้วยเทือกเขาทั้งด้านตะวันออก ด้านตะวันตก ด้านใต้ และตอนกลางของจังหวัด มีเนื้อที่ภูเขาสูงและสูงมากที่สุด ประมาณร้อยละ 47 ของพื้นที่จังหวัด มีพื้นที่เนินเขาผสมที่ราบประมาณร้อยละ 35 และมีที่ราบลุ่มน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 18 ระดับความสูงของพื้นที่จังหวัดพะเยา มีความสูงระหว่าง 300 - 1,550 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีพื้นที่ติดต่อกับจังหวัดอื่น ๆ คือ ทิศเหนือ ติดต่อกับอำเภอพาน อำเภอป่าแดด และอำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย ทิศใต้ ติดต่อกับอำเภองาว จังหวัดลำปาง และอำเภอสอง จังหวัดแพร่ ทิศตะวันออก ติดต่อกับอำเภอสองแคว อำเภอท่าวังผา อำเภอเมืองน่าน อำเภอบ้านหลวง จังหวัดน่าน ทิศตะวันตก ติดต่อกับอำเภองาว อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง (สำนักงานจังหวัดพะเยา, 2560) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สภาพภูมิประเทศจังหวัดพะเยา (<http://www.tescogis.com>)

ปัญหาการเกิดหมอกควันและไฟป่าในจังหวัดพะเยาในปี 2555-2556 มีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมงเกินค่ามาตรฐานจำนวน 25 วัน และ 17 วัน ตามลำดับ โดยปี 2555 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 278.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2555 (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) จากสถานการณ์ดังกล่าว จังหวัดพะเยาได้ป้องกันและแก้ไขปัญหามอกควันและไฟป่าโดยออกประกาศจังหวัดเรื่องมาตรการการป้องกันและแก้ไขปัญหามาตรการการป้องกันและแก้ไขปัญหามาตรการการรงดเผา 80 วันอันตราย ตั้งแต่วันที่ 10 กุมภาพันธ์ - 30 เมษายน 2557

สรุปสถานการณ์คุณภาพอากาศ (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2558)

1) **สถานการณ์คุณภาพอากาศ** จังหวัดเชียงราย ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ ในปี 2557 จากการติดตามสถานการณ์คุณภาพอากาศจังหวัดลำปาง แพร่ พะเยา พบปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุด เท่ากับ 337 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รายละเอียดดังตารางที่ 2.6 และเมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจำนวนวันที่ฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานในปี 2557 พบว่าส่วนใหญ่มีจำนวนวันที่ฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปี 2556

2) สถานการณ์การเผา จังหวัดเชียงราย ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ ระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 30 เมษายน ของปี 2556 และ 2557 จากการเปรียบเทียบข้อมูลจุดความร้อนรายจังหวัดในพื้นที่ จังหวัดเชียงราย ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ พบจำนวนจุดความร้อนในพื้นที่ จังหวัดพะเยาและลำปาง เพิ่มขึ้นจากช่วงเวลาเดียวกันในปี 2557 ซึ่งจำนวนจุดความร้อนส่วนใหญ่พบในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ (41%) รองลงมาคือ พื้นที่ป่าอนุรักษ์ (33%) และพื้นที่การเกษตร (26%) ตามลำดับ (รูปที่ 2.10) ส่วนจังหวัดอื่นมีแนวโน้มลดลง รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.7

3) สถานการณ์ การเฝ้าระวังผลกระทบต่อด้านการแพทย์และสาธารณสุขจากปัญหาหมอกควัน ผลการติดตามตรวจสอบจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพะเยา ได้รวบรวมข้อมูลจากระบบการเฝ้าระวังผลกระทบต่อด้านสุขภาพจากปัญหาหมอกควัน โดยติดตาม 4 กลุ่มโรค ดังนี้ กลุ่มโรคตาอักเสบ, กลุ่มโรคหัวใจและหลอดเลือดทุกชนิด กลุ่มโรคทางเดินหายใจทุกชนิด และกลุ่มโรคผิวหนัง ในช่วงวันที่ 5 มกราคม ถึง 3 พฤษภาคม ปี 2557 ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.6 ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จังหวัดเชียงราย ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ เปรียบเทียบระหว่างปี 2556 และ 2557

ที่	สถานี	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด (ณ เวลา 9.00 น.)			จำนวนวันที่เกินมาตรฐาน (วัน)		
		2556	2557	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง	2556	2557	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง
1	เชียงราย	308	253	ลดลง	29	21	ลดลง
2	ลำปาง	337	229	ลดลง	30	37	เพิ่มขึ้น
3	น่าน	264	159	ลดลง	21	22	เพิ่มขึ้น
4	พะเยา	208	298	เพิ่มขึ้น	16	22	เพิ่มขึ้น
5	แพร่	225	184	ลดลง	27	23	ลดลง

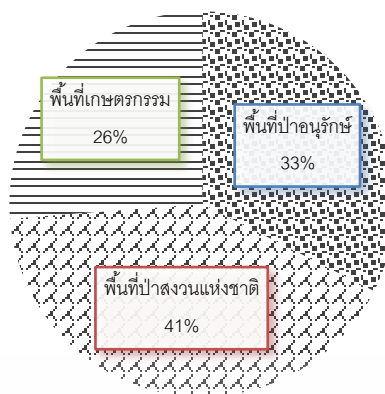
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยาแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2557

ตารางที่ 2.7 ปริมาณจุดความร้อน จังหวัดเชียงราย ลำปาง พะเยา น่าน แพร่

ประเภทป่า	พื้นที่ป่าอนุรักษ์		พื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ		พื้นที่เกษตรกรรม		จำนวน Hotspot ทั้งหมด	
	2556	2557	2556	2557	2556	2557	2556	2557
จังหวัด	2556	2557	2556	2557	2556	2557	2556	2557
เชียงราย	291	256	781	480	160	82	1,231	818
น่าน	564	515	1,342	896	117	126	2,023	1,537
ลำปาง	261	298	464	601	104	165	829	1,064
พะเยา	169	234	21	41	99	137	289	412
แพร่	38	48	406	400	94	86	538	534

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยาแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงสัดส่วนตำแหน่งจุดความร้อนจำแนกตามพื้นที่ถูกไฟไหม้ จังหวัดเชียงราย ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ ในระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 30 เมษายน 2557 (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2557)

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคที่เกิดจากผลกระทบจากสถานการณ์หมอกควัน จังหวัดลำปาง พะเยา แพร่ ในช่วงวันที่ 5 มกราคม ถึง 3 พฤษภาคม ปี 2557

จังหวัด/ กลุ่มโรค	กลุ่มโรคตา อักเสบ (ราย)	กลุ่มโรคหัวใจและ หลอดเลือดทุก ชนิด (ราย)	กลุ่มโรคทางเดิน หายใจทุกชนิด (ราย)	กลุ่มโรคผิวหนัง (ราย)
เชียงราย	6,095	91,038	80,155	7,033
น่าน	3,015	4,301	27,006	2,308
ลำปาง	4,993	87,781	62,225	5,325
พะเยา	4,397	36,778	43,881	3,605
แพร่	1,670	43,223	21,416	2,305

ที่มา: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2557

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ana และคณะ (2011) ศึกษาความเข้มข้นของ 10 PAHs และ 2 อนุพันธ์ของไฮดรอกซิล PAHs เป็นเวลา 1 ปี ในย่านชานเมืองของกรุงมาดริด ประเทศสเปน โดยศึกษาปัจจัยทางเคมีอื่น เช่น ไนโตรเจนออกไซด์, ซัลเฟอร์ออกไซด์ ฯลฯ ร่วมด้วย จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของ PAHs แตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม ขึ้นอยู่กับทิศทางลม และความเร็วในระดับที่เกินกว่าที่คาดไว้ ความเข้มข้นของ 2 ไฮดรอกซิล พีแนนทรินอยู่ในช่วง 12-200 pg/m³ และ 1 ไฮดรอกซิลไพรีนอยู่ในช่วง 3-60 pg/m³ รูปแบบความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับของพีแนนทรินและไพรีน ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและความดันบรรยากาศ นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์แบบผกผันกับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของโอโซน และความเข้มข้นของรังสียูวี การเปลี่ยนแปลงทั้งใน PAHs และ OH-PAHs เป็นไปตามฤดูกาลอย่างชัดเจนโดยเพิ่มขึ้นในเดือนที่หนาวเย็นและลดลงในเดือนที่อากาศอบอุ่น

Anas และคณะ (2013) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง (PM₁₀) กับพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ศึกษาจาก 2 แหล่ง คือ ในกลางหุบเขากัวลาลัมเปอร์ และ Petaling Jaya เอกสารนี้ (อุตสาหกรรม, PJ) และอีกที่หนึ่งนอกหุบเขา Bangi โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นและการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายของสาร PAHs ในฝุ่นละออง (PM_{10}) และแหล่งที่มาของการเกิดโดยวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและวิเคราะห์อัตราส่วน นอกจากนี้ ยังมีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสกับอากาศ BaP_{eq} เก็บตัวอย่าง PM_{10} บนกระดาษใยแก้วกรองโดยใช้เครื่องเก็บอากาศปริมาตรสูง (HVS) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ระหว่าง กันยายน 2010 และ มิถุนายน 2011 จากนั้นสกัดกระดาษกรองที่มี PM_{10} โดยใช้ไดคลอโรมีเทน-เมทานอล (3: 1) และวิเคราะห์ 16 US. EPA PAHs โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (GC-MS) การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยใช้ปัจจัยความเป็นพิษ และอายุ การใช้ความเสี่ยงของมะเร็งที่เพิ่มขึ้น (ILCR) ประเมินความเสี่ยงสำหรับกลุ่มอายุที่เฉพาะเจาะจง ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ตลอดฤดูกาลสำหรับ KL, PJ และ BG ตั้งแต่ 1.33 - 2.97 ng/m^3 , 2.24 - 4.84 ng/m^3 และ 1.64 - 3.45 ng/m^3 ตามลำดับ มากกว่า 80% ของสาร PAHs ทั้งหมดประกอบด้วย วงเบนซีน 5 วง และ 6 วง ได้แก่ benzo[a]pyrene (BaP), indeno[1,2,3-cd]pyrene (IcP), benzo[b]fluoranthene (BbF), benzo[k]fluoranthene (BkF) และ benzo[g,h,i]perylene (BgP) การพบ Benzo[g,h,i]perylene (BGP) ที่มีความเข้มข้นสูงเป็นตัวบ่งชี้แหล่งที่มาจากการจราจร จากผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของ PAHs ส่วนใหญ่เกิดจากการจราจร

Jiabao และคณะ (2013) ศึกษาความสัมพันธ์ของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองที่พื้นที่ชานเมืองและในเมืองหนานจิง ในแต่ละฤดูกาลตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2009 ถึงเดือนกรกฎาคม 2010 ที่พื้นที่ชานเมืองและเมือง มีความเข้มข้นของพีเอเอชทั้งหมด (T-PAHs) อยู่ในช่วงของ 30.76-102.26 ng/m^3 และ 25.92-90.80 ng/m^3 ตามลำดับ โดยศึกษาการกระจายตัวและแหล่งที่มาของสาร PAHs และอิทธิพลอุตุนิยมวิทยา: 1) ความเข้มข้นของสาร PAHs ทั้งสองพื้นที่มีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่อื่น ๆ พบว่า PAHs เกิดจากการขนส่งและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในท้องถิ่น 2) พื้นที่ทั้ง 2 แห่ง พบ PAHs ในฤดูหนาว > ฤดูใบไม้ผลิ > ฤดูใบไม้ร่วง > ฤดูร้อน 3) แหล่งกำเนิด PAHs พบจากไอเสียรถยนต์ (72.93-87.24%) มากที่สุด ในทุกฤดูกาลพบการเผาไหม้ถ่านหินและการผลิต coke (coal /coke) (10.02-18.63%) ในทุกฤดูร้อนเนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดต่ำของ PAHs coal /coke ภายใต้อุณหภูมิสูง สำหรับฤดูใบไม้ร่วงมีการเผาไหม้ชีวมวล (10.58%) 4) ความสัมพันธ์ PAHs กับอุตุนิยมวิทยา พบอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับ PAHs มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของทั้งสองมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกและเชิงลบระหว่างความเข้มข้นของสาร PAHs และความเร็วลมในแต่ละฤดูกาลถุกนำมาวิเคราะห์ร่วมกับมวลอากาศเพื่อที่จะประเมินผลกระทบของการขนส่งทางอากาศ ในภูมิภาค ผลการศึกษาพบว่ามลพิษทางอากาศจาก ENE-S และ NNW-NE ถูกพัดพาจากแหล่งกำเนิดไปยังพื้นที่การศึกษาและมีบทบาทสำคัญในการสะสมของสาร PAHs ในฤดูใบไม้ผลิและฤดูหนาวตามลำดับ ในขณะที่อากาศที่สะอาดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้มีส่วนร่วมในการลดความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงฤดูร้อน

Pengchai และคณะ (2009) ศึกษาฝุ่น PM_{10} และสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น PM_{10} ในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ทำการศึกษาในเดือนมิถุนายน 2548 ถึง มิถุนายน 2549 โดยเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง ทุก 3 วัน เปรียบเทียบผลในแต่ละฤดู พบว่า ฝุ่น PM_{10} สูงสุดอยู่ในช่วง 140 - 180 $\mu g/m^3$ PM_{10} ที่พบสูงสุดในช่วงฤดูหนาวในเดือนมีนาคม 2545 ถึงมีนาคม 2549 ซึ่งเกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศ ที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้ที่ 120 $\mu g/m^3$ PM_{10} ทำการศึกษาสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น PM_{10} พบ Benzo[a]pyrene ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Suag (2013) ศึกษาความเข้มข้นพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) และรูปแบบต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมหลังจากเกิดไฟป่า โดยศึกษา 16 PAHs ที่กำหนดโดย US. EPA ในเปลือกสน, ขยะ และ ดิน ที่เก็บ ในเดือนที่ 1, 3, 5 และ 7 หลังจากไฟไหม้ป่าใน Pohang ประเทศเกาหลีใต้ ในการสู่มตัวอย่างครั้งแรกสามารถวัด 16 PAHs ได้ ดังนี้ เปลือกสน พบ 5,920 ng/g, ขยะ 1,540 ng/g และดิน 133 ng/g หลังจากนั้นมีความเข้มข้นลดลงของ PAHs โดยพบระดับต่ำสุดของ PAHs ที่ได้จากตัวอย่าง คือ เปลือกสน 124 ng/g, ขยะ 75 ng/g และ ดิน 26 ng/g PAHs โดยพบ PAHs ที่มีวงเบนซีน 2-4 วง การสลายตัวของ PAHs เกิดจากฝนที่ตกหนัก และการสลายตัวในฤดูร้อน

Phootiwut และ Junyapoon (2012) ศึกษาขนาดของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ และ PAHs ที่ถูกดูดซับบนอนุภาคฝุ่นที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ดังนี้ 9.0–5.8, 5.8–4.7, 4.7–3.3, 3.3–2.1, 2.1–1.1, 1.1–0.7, 0.7–0.4 และ < 0.4 μm ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดลำปาง เก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง 8 stage cascade impactor นำตัวอย่างที่เก็บได้ในแต่ละชั้นมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละออง หลังจากนั้นนำกระดาษกรองไปตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปย่อยด้วย acetonitrile และวิเคราะห์หา 16 PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS นอกจากนี้ ยังศึกษากันจากการเผาฟางข้าวในท้องนา โดยแบ่งขนาดของอนุภาคเป็น 3 ขนาด คือ อนุภาคละเอียดมาก (<0.4 μm), อนุภาคละเอียด (0.4–2.1 μm), และ อนุภาคหยาบ (>2.1–10 μm) ผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้น PM₁₀ เฉลี่ยในช่วงเกิดปัญหาหมอกควันมีค่าสูงกว่าถึง 3.5 เท่า ของช่วงบรรยากาศปกติ การเผาฟางข้าวเป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาหมอกควัน ฝุ่นละอองขนาดเล็กมีความสัมพันธ์ต่อการกระจายตัวของ PAHs ในช่วงเกิดปัญหาหมอกควันการกระจายของ PAHs เป็น แบบ bimodal และการเผาฟางเป็นแบบ unimodal โดย PAHs 5-6 วงอะโรมาติก พบมากในฝุ่นละอองที่เกิดในช่วงปัญหาหมอกควัน ปัญหาหมอกควัน ส่วนเผาฟางข้าวพบ PAHs 3-4 วงอะโรมาติกมาก อัตราส่วนของสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็ง พบในช่วงเกิดปัญหาหมอกควันมากกว่าการเผาฟางข้าว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. Acetonitrile (HPLC grade) 99.5%, บริษัท Fisher Science, ประเทศเยอรมนี
2. Dichloromethane (HPLC grade) 99.5%, บริษัท Fisher Science, ประเทศเยอรมนี
3. Hexane (HPLC grade) 99.5%, บริษัท Lab Scan, ประเทศไทย
4. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 16 Mix Calibration Standard in Acetonitrile, บริษัท Supelco, ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. Helium gas 99.999%, บริษัท Praxair, ประเทศไทย
6. Nitrogen 99.999%, บริษัท Praxair, ประเทศไทย

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น (8 Stage non-viable cascade impactor), บริษัท TISCH Environmental, ประเทศสหรัฐอเมริกา
 2. เครื่อง Calibrator, รุ่น Defender™ 520 Series, บริษัท TISCH Environmental, ประเทศสหรัฐอเมริกา
 3. เครื่อง Gas Chromatograph, รุ่น 6830 N และ Mass Spectrophotometer รุ่น 5973N, บริษัท Agilent Technologies, ประเทศสหรัฐอเมริกา
 4. GC capillary column HP 5 ขนาด 30 m x 0.25 mm I.D. x 0.25 μ m (film thickness), บริษัท J&W Scientific, ประเทศญี่ปุ่น
 5. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง, รุ่น TC – 254, บริษัท Denever Instrument Company, ประเทศเยอรมนี
 6. เครื่องชั่งละเอียด 5 ตำแหน่ง, รุ่น Sartorius BA 210, บริษัท Scientific Promotion, ประเทศฝรั่งเศส
 7. เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Vacuum Evaporatory), รุ่น N-N Series, บริษัท Tokyo Rikakikai, ประเทศญี่ปุ่น
 8. ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desiccator auto dry box), รุ่น CM-3, บริษัท Samplatec Crop, ประเทศเยอรมนี
 9. เครื่อง Ultrasonicator
 10. Bound Elute C-18, 500 mg 3 ml, บริษัท DIKMA, ประเทศสหรัฐอเมริกา
 11. กระจาดกรองใยหิน (Quartz fiber filter) ขนาด 81 มิลลิเมตร, บริษัท Toyo Roshi Kaisha, ประเทศญี่ปุ่น
 12. กระจาดกรองชนิดไนลอน ขนาด 0.45 ไมครอน, บริษัท ANPL Scientific Instrument, ประเทศจีน
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. คีมคีบปากแบน (Forcep) เคลือบด้วย Teflon
14. ถุงมือไวนิล ไม่มีแป้ง (Vinyl non powdered gloves)
15. ชามระเหย
16. เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.2 พื้นที่เก็บตัวอย่าง บริเวณจังหวัดพะเยา

พื้นที่การเก็บตัวอย่าง อยู่บริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ตั้งอยู่ที่ ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19 องศา 10 ลิปดา 1.9ฟิลิปดาเหนือ และ ลองจิจูด 99 องศา 53 ลิปดา 47.8 ฟิลิปดา ตะวันออก (รูปที่ 3.1) (<https://www.google.co.th/maps/place>)



รูปที่ 3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง ก) บริเวณหอดูดาว ข) จุดเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้เครื่อง 8 Stage Cascade Impactor ประกอบด้วยชั้นอนุภาคนิยม 8 ชั้น ได้แก่ stage 0, stage 1, stage 2, stage 3, stage 4, stage 5, stage 6, stage 7 และชั้นล่างสุด stage F ซึ่งเป็น Back up โดยในแต่ละชั้นจะมีขนาดในการคัดแยกฝุ่นละออง ดังนี้ คือ 9.0–5.8, 5.8–4.7, 4.7–3.3, 3.3–2.1, 2.1–1.1, 1.1–0.7, 0.7–0.4 และ < 0.4 ไมครอน ตามลำดับ มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำความสะอาดเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง 8 stage Cascade Impactor (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก1)

2. วางกระดาษกรอง Quartz fiber filter ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 81 มิลลิเมตร ที่ผ่านการอบไล่สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามวิธีของ US.EPA (1999a) และซังน้ำหนักเริ่มต้น (รายละเอียดการเตรียมกระดาษกรองด้วยวิธีมาตรฐานดังแสดงในภาคผนวก ก-2) บนแผ่นเพลสวากลม ในแต่ละชั้นจะมี O-ring เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

3. ต่อชุด Impactor ในแต่ละชั้น เริ่มตั้งแต่ stage F ตามด้วย stage 7 จนถึงหัวเก็บตัวอย่าง Inlet โดยแต่ละชั้นจะมี O-ring เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ จากนั้นใช้สปริงทั้ง 3 ยึดเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นในแต่ละชั้นเอาไว้

4. ต่ออุปกรณ์ 8 Stage Cascade Impactor เข้ากับปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ สอบเทียบอัตราการไหลด้วย Calibrator Defender 520 ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที จำนวน 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

5. บันทึกอุณหภูมิและความดันบรรยากาศก่อนเก็บตัวอย่างอากาศ

6. เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้ 8 Stage Cascade Impactor ในบรรยากาศบริเวณหอดูดาว วิทยาลัยการศึกษารัฐวีนัซเซีย อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา มีช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง 120 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

7. สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย จดบันทึกอุณหภูมิ และความดันบรรยากาศหลังเก็บตัวอย่าง

8. สวมถุงมือไนลิตชนิดไม่มีแป้ง และใช้คีมคีบปากแบนคีบกระดาษกรองออกจากเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น ใส่ใน plate พลาสติก แล้วหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นเก็บใส่ในถุงพลาสติกปิดถุงให้แน่นสนิทแล้ว เก็บใส่ในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส และนำกลับไปวิเคราะห์ตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการ

9. เก็บตัวอย่าง Field blank โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 1 – 8 แต่ไม่ต้องเก็บตัวอย่างอากาศ

10. เก็บตัวอย่างอากาศในช่วงที่ไม่มีการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้งระหว่างวันที่ 6 ธันวาคม 2556 เวลา 10:00 น. ถึง วันที่ 11 ธันวาคม 2556 เวลา 10:00 น. และ ระหว่างวันที่ 17 มิถุนายน 2557 เวลา 10:00 น. ถึง วันที่ 22 มิถุนายน 2557 เวลา 10:00 น. โดยทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างอากาศในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน

ตารางที่ 3.1 วันเวลาในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันและช่วงเวลาที่ช่วงเวลาที่ไม่มีภาวะฝนตกหรือการเกษตรในที่โล่งแจ้ง

เริ่มเก็บตัวอย่าง		สิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง		ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)	สภาพบรรยากาศ
วันที่	เวลา	วันที่	เวลา		
6 ธ.ค. 56	10:00 น.	11 ธ.ค. 56	10:00 น.	120	ไม่มีภาวะฝนตกหรือการเกษตรในที่โล่งแจ้ง
18 ก.พ. 57	10:00 น.	23 ก.พ. 57	10:00 น.	120	ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน
24 ก.พ. 57	10:00 น.	1 มี.ค. 57	10:00 น.	120	ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน
11 มี.ค. 57	10:00 น.	16 มี.ค. 57	10:00 น.	120	ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน
17 มี.ค. 57	10:00 น.	22 มี.ค. 57	10:00 น.	120	ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน
3 เม.ย. 57	10:00 น.	8 เม.ย. 57	10:00 น.	120	ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน
17 มี.ย. 57	10:00 น.	22 มี.ย. 57	10:00 น.	120	ไม่มีภาวะฝนตกหรือการเกษตรในที่โล่งแจ้ง

3.3.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ

1. นำกระดาศกรองที่มีฝุ่นละอองที่ได้จากข้อ 3.3.1 ไปอบในตู้อบความชื้น ที่ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า $50\% \pm 5\%$ อุณหภูมิระหว่าง 15 -30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)
2. ชั่งน้ำหนักกระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่ง 5 ตำแหน่ง
3. คำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาด (รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก-3) และนำไปวิเคราะห์สารประกอบ PAHs ต่อไป (ในกรณีที่ไม่ได้วิเคราะห์สารประกอบ PAHs ในทันที ให้เก็บตัวอย่างกระดาศกรองใส่ plate พลาสติก แล้วหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์แล้วเก็บในตู้เย็นที่ควบคุมอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส)

3.3.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ

สกัดตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาศกรองที่ได้จากข้อ 3.3.2 โดยประยุกต์วิธีของ The Compendium Method TO-13A (US. EPA, 1999b; มงคลและคณะ, 2550) มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดกระดาศกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละขนาดคัดแยก ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในขวดแก้วสีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Acetonitrile ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชา ปิดฝาให้สนิทแล้วพันฝาด้วย paraffin film
3. สกัดโดยการเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonicator ที่มีกำลังเขย่า 154 Hz เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง Ultrasonicator โดยเติมน้ำแข็งเพื่อป้องกันการระเหยของสาร PAHs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรองชนิดไนลอน (nylon) ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน ใส่ในขวดแก้วสีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
5. สกัดกระดาษกรองซ้ำโดยใช้สารละลาย Acetonitrile ปริมาตร 15 มิลลิลิตร โดยสกัดตามข้อ 3- 4
6. นำสารละลายที่กรองได้จากข้อ 4 และ 5 มาใส่รวมกัน ในขวดก้นกลม นำไประเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องหมุนระเหยความดันต่ำ 100 มิลลิบาร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาตรประมาณ 1 มิลลิลิตร
7. ใช้หลอดหยดดูดสารละลายจากขวดก้นกลมที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตรสีชา ขนาด 1 มิลลิลิตร จากนั้นกลั่นสารละลายตัวอย่างที่ตกค้างในขวดก้นกลมด้วย Acetonitrile
8. ปรับปริมาตรสารละลายที่ได้ ให้มีปริมาตรเท่ากับ 1 มิลลิลิตร โดยใช้ Acetonitrile
9. Clean-up สารละลายที่สกัดได้ โดยใช้ C18 cartridge ขนาด 3 มิลลิลิตร และมีน้ำหนัก 500 มิลลิกรัม ก่อนการใช้ C18 cartridge ต้องปรับสภาพด้วยสารละลายผสม Hexane กับ Dichloromethane อัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
10. ใช้หลอดหยดดูดสารละลายตัวอย่างในข้อ 8 ลงใน C18 cartridge กลั่นสารละลายตัวอย่างที่ตกค้างในขวดสีชาด้วย Acetonitrile
11. ชะสารละลายตัวอย่างโดยใช้ 20% Dichloromethane ใน Hexane ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลดปริมาตรลงเหลือ 1 มิลลิลิตร ด้วยการพ่นก๊าซไนโตรเจน
12. วิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS/SIM Mode โดยการเทียบกับสารละลายมาตรฐานผสม PAHs 16 ชนิด (รายละเอียดการเตรียมสารละลายมาตรฐานในภาคผนวก ก-4) โดยใช้สภาวะดังแสดงในตารางที่ 3.2
13. คำนวณการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก-5)
14. คำนวณการประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน

3.3.4 การวิเคราะห์หาร้อยละกลับคืนและความเที่ยงในการสกัดสารตัวอย่าง PAHs

1. นำกระดาษกรองเปล่าที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่น มาเติมสารละลายมาตรฐานผสม 16-PAHs ที่ทราบความเข้มข้นเท่ากับ 0.20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ไว้ใน plate ที่ปิดฝา แล้วหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที
2. ตัดกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละขนาดคัดแยก ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในขวดแก้วสีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลาย Acetonitrile ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชาปิดฝาให้สนิทแล้วพันฝาด้วย paraffin film
4. สกัดโดยการเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonicator ที่มีกำลังเขย่า 154 Hz เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง Ultrasonicator โดยเติมน้ำแข็งเพื่อป้องกันการระเหยของสาร PAHs
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4 -12 ในหัวข้อ 3.3.3
6. คำนวณหาวิเคราะห์หาร้อยละกลับคืนและความเที่ยงในการสกัดสารตัวอย่าง PAHs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สภาวะของการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS

พารามิเตอร์	สภาวะที่ใช้
Gas Chromatograph	6890 N (Agilent Technologies, USA)
Carrier gas	Helium, Flow rate 1 ml/min
Column	HP 5 ขนาด 30 m x 0.25 mm I.D. x 0.25 μ m (film thickness) capillary column (J&W Scientific, USA)
Injector temperature	290 $^{\circ}$ C
Initial column temperature	80 $^{\circ}$ C
Temperature program ramp rate	Oven temperature 80 $^{\circ}$ C (initial temperature), holding at 80 $^{\circ}$ C for 2 mins, then increased from 80 $^{\circ}$ C to 150 $^{\circ}$ C at 20 $^{\circ}$ C /min, holding at 150 $^{\circ}$ C to 285 $^{\circ}$ C at 5 $^{\circ}$ C/min, then increased from 285 $^{\circ}$ C to 300 $^{\circ}$ C at 3 $^{\circ}$ C /min and hold at 300 $^{\circ}$ C for 7 mins
Injector mode	Splitless
Injection volume	1 μ l
Purge flow split vent	60 ml/min for 1 min
Final temperature	300 $^{\circ}$ C
Final hold time	10 mins
Detector	Mass Spectrometer 5973 N (Agilent Technologies, USA)
MS mode	EI mode (SIM mode)
MS detector temperature	300 $^{\circ}$ C
Mass range / scan speed	30 – 500 amu/sec.
Transfer line temperature	300 $^{\circ}$ C
Filament/ multiplier delay	6 mins

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

4.1 ผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

การศึกษารูปแบบการกระจายตัวของขนาดและความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน โดยเก็บตัวอย่าง 5 ครั้ง ในระหว่าง วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557, วันที่ 24 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2557, วันที่ 11-16 มีนาคม 2557, วันที่ 17-22 มีนาคม 2557 และ วันที่ 3-8 เมษายน 2557 และในช่วงเวลาที่ไม่มีการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง วันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 และ วันที่ 17-22 มิถุนายน 2557 บริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ตั้งอยู่ที่ ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19 องศา 10 ลิปดา 1.9ฟิลิปดาเหนือ และ ลองจิจูด 99 องศา 53 ลิปดา 47.8 ฟิลิปดา ตะวันออก โดยมีการเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบ 8 ชั้น (8 Stage Cascade Impactor) โดยแบ่งฝุ่นออกเป็น 3 ขนาด คือ ฝุ่นละเอียดมากขนาด <math> < 0.4 </math> ไมครอน, ฝุ่นละเอียดขนาด 0.4-2.1 ไมครอน และฝุ่นหยาบ 2.1-9.0 ไมครอน ได้ผลการศึกษาดังนี้

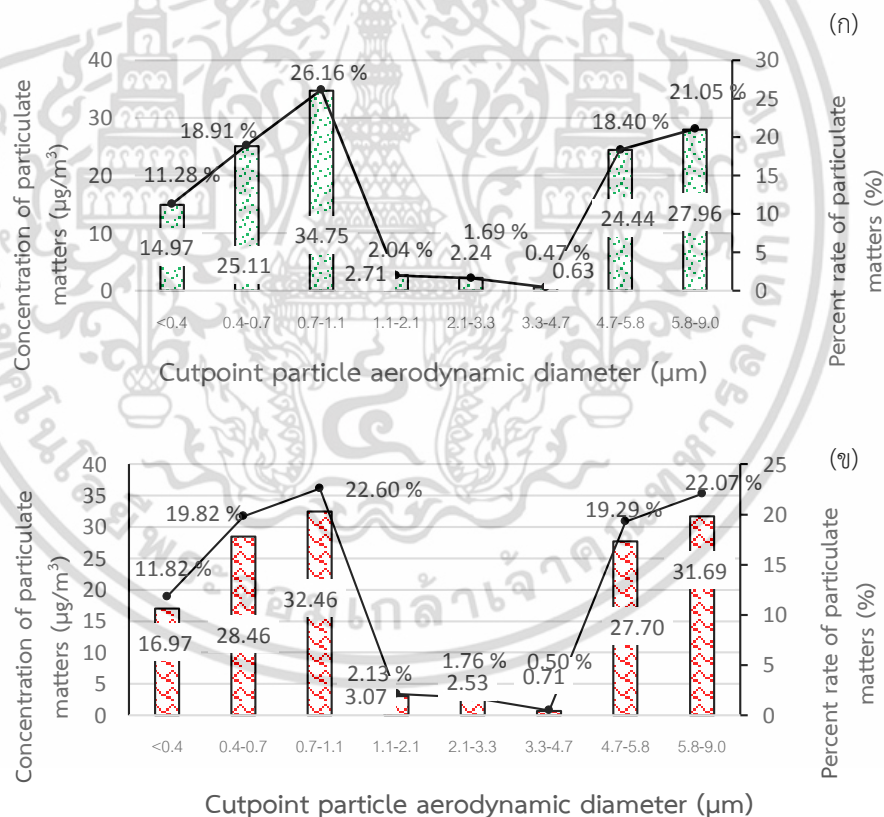
4.1.1 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดและความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน

การศึกษารูปแบบการกระจายตัวของขนาดและความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน โดยเก็บตัวอย่างอากาศ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 28.31 ± 0.027 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.1 ภาคผนวก ข) ในช่วงการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 24.26 ± 0.98 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย $62.60 \pm 4.43\%$ และความดันบรรยากาศเฉลี่ย $1,012.92 \pm 0.30$ มิลลิบาร์ มีความเร็วลมเฉลี่ย 2.56 ± 2.30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นลมเบาบาง และทิศทางลมส่วนใหญ่มาจากทางทิศเหนือ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-2.1 ภาคผนวก ข) โดยมีจำนวนจุด Hotspot 13 จุด (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-3.1, ภาคผนวก ข) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองสูงที่สุด อยู่ในช่วง 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 34.75 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 26.16% รองลงมาอยู่ในช่วง 5.8-9.0 ไมโครเมตร (Stage 0) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 27.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 21.05% ความเข้มข้นฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) โดยความเข้มข้นเท่ากับ 0.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 0.47% และมีความเข้มข้นฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 132.81 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษที่กำหนดไว้ไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1(g) (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-4.1 ภาคผนวก ข)

ในครั้งที่ 2 เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2557 ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 28.36 ± 0.039 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.2 ภาคผนวก ข) เป็นช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควัน

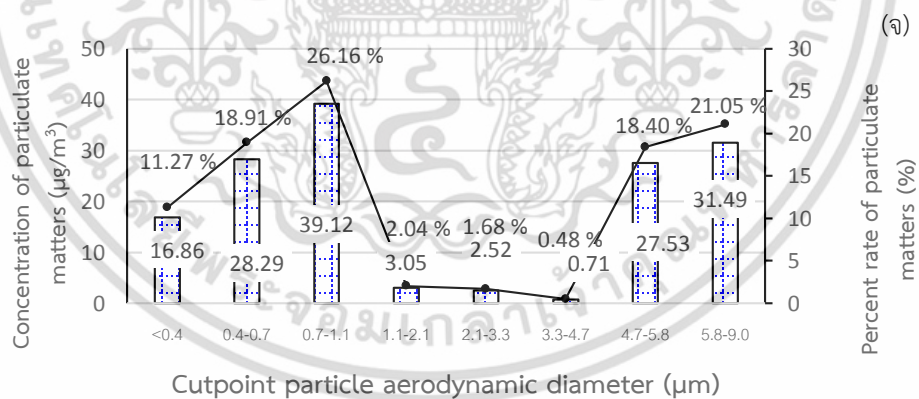
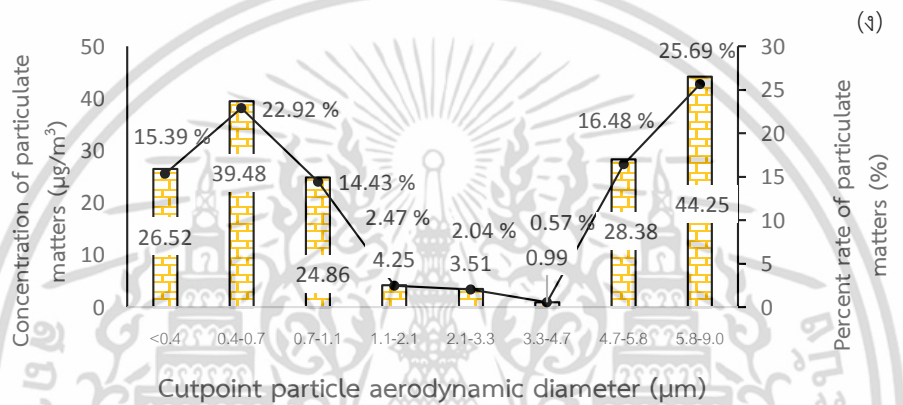
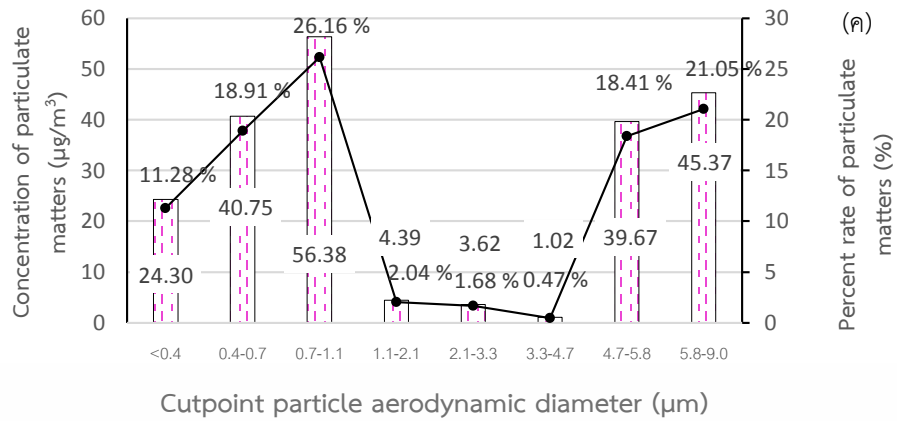
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอาทิตย์ที่ 2 ต่อเนื่องกัน โดยมีจำนวนจุด Hotspot 15 จุด ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-3.2 ภาคผนวก ข) และในจังหวัดรอบ ๆ เช่น เชียงราย, น่าน, แพร่ และลำปาง มีแหล่ง Hotspot เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการแพร่กระจายของมลพิษจากจังหวัดรอบด้าน โดยเฉพาะจังหวัด เชียงราย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-2.2 ภาคผนวก ข) โดยพบว่าฝุ่นละออง สูงที่สุด อยู่ในช่วง 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 32.46 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร คิดเป็น 22.60% รองลงมาอยู่ในช่วง 5.8-9.0 ไมโครเมตร (Stage 0) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 31.69 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 22.07% ฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) โดยความเข้มข้นเท่ากับ 0.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 0.50% โดยมีความเข้มข้น ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เท่ากับ 143.58 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข) (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-4.2 ภาคผนวก ข) โดยในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างอากาศมีอุณหภูมิ เฉลี่ย 24.02 ± 0.26 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย $65.13 \pm 2.85\%$ และความดันบรรยากาศเฉลี่ย 1011.75 ± 0.20 มิลลิบาร์ มีความเร็วลมเฉลี่ย 0.74 ± 1.72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นลมสงบนิ่ง ทิศทางลม ส่วนใหญ่พัดมาจากทิศเหนือ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-2.2 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.1 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นละออง ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) วันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม 2557 (ค) วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (ง) วันที่ 17-22 มีนาคม 2557 วันที่ 3-8 เมษายน 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นละออง ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) วันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม 2557 (ค) วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (ง) วันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (จ) วันที่ 3-8 เมษายน 2557 (ต่อ)

ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557 ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 27.83 ± 0.042 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.3 ภาคผนวก ข) โดยพบว่าฝุ่นละอองสูงที่สุด อยู่ในช่วง 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) โดยความเข้มข้นเท่ากับ 56.38 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น 26.16% รองลงมาอยู่ในช่วง 5.8-9.0 ไมโครเมตร (Stage 0) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 45.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 21.05% และน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) ความเข้มข้นเท่ากับ 1.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 0.47% ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเฉลี่ย เท่ากับ 215.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ค) (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-4.3 ภาคผนวก ข) ในการเก็บตัวอย่างในครั้งนี้ มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนสูงสุดเนื่องจากมี Hotspot สูงสุดในจังหวัดพะเยาทั้งหมด 79 จุด และจังหวัดโดยรอบก็มีอัตราการเกิดจุด Hotspot เพิ่มขึ้นจากครั้งก่อน (รายละเอียดแสดง ในตารางที่ ข-3.3 ภาคผนวก ข) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.61±1.09 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 58.85±3.93% และความดันบรรยากาศเฉลี่ย 1,010.56±0.16 มิลลิบาร์ มีความเร็วลมเฉลี่ย 1.46±1.94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นลมเบาบาง ทิศทางลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศเหนือ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-2.3 ภาคผนวก ข)

ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 ระหว่างวันที่ 17- 22 มีนาคม 2557 ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 28.26±0.043 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.4 ภาคผนวก ข) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.32±0.88 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 59.04±2.37% และความดันบรรยากาศเฉลี่ย 1,008.71±0.28 มิลลิบาร์ มีความเร็วลมเฉลี่ย 2.04±2.85 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นลมเบาบาง ทิศทางลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศเหนือ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-2.4 ภาคผนวก ข) พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงสุด อยู่ในช่วง 5.8-9.0 ไมโครเมตร (Stage 0) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 44.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 25.69% รองลงมาอยู่ในช่วง 0.4-0.7 ไมโครเมตร (Stage 6) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 39.48 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 22.92% และฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.99 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 0.57% โดยมีความเข้มข้นฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเท่ากับ 172.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.1(ง) (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-4.4 ภาคผนวก ข) โดยมีจำนวนจุด Hotspot เฉลี่ย 58 จุด ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-3.4 ภาคผนวก ข)

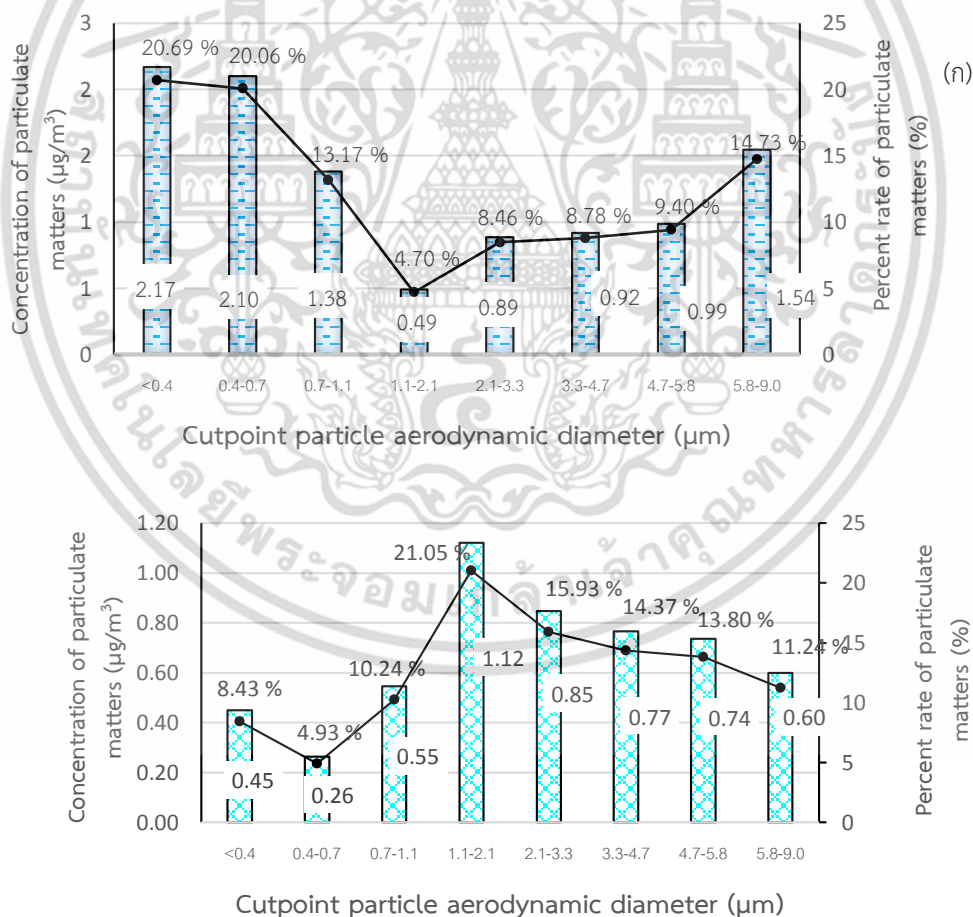
ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 5 ระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557 ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 28.32±0.037 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.5 ภาคผนวก ข) มีโดยมีจำนวนจุด Hotspot 18 จุด ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-3.5 ภาคผนวก ข) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 26.60±0.62 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 65.63±3.25% และความดันบรรยากาศเฉลี่ย 1,009.29±3.25 มิลลิบาร์ มีความเร็วลมเฉลี่ย 3.32±0.93 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นลมเบาบาง ทิศทางลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศเหนือ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-2.5 ภาคผนวก ข) พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงสุด อยู่ในช่วง 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 39.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 26.16% รองลงมาอยู่ในช่วง 5.8-9.0 ไมโครเมตร (Stage 0) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 31.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 21.05% และฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 0.48% โดยมีความเข้มข้นฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 149.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.1(จ) (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-4.5 ภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน พบว่าการกระจายตัวเป็นแบบ bimodal โดยพบพีคที่สูงสุดอยู่ในช่วง 0.7-1.1 ไมครอน ในอนุภาคฝุ่นละเอียด และพบพีคที่สูงรองลงมาที่ฝุ่นขนาด 5.8-9.0 ไมครอน ในอนุภาคฝุ่นหยาบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สวรรค์ (2552) โดยฝุ่นละเอียดขนาดตั้งแต่ 0.4-2.1 ไมครอน เกิดจากการรวมตัวกันของฝุ่นละเอียดมาก ส่วนฝุ่นหยาบเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของชีวมวล ไร่เก่า และจากการรวมตัวกันฝุ่นละเอียด

4.1.2 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดและความเข้มข้นของฝุ่นละอองช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง

ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง เก็บตัวอย่าง 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงก่อนเกิดปัญหาหมอกควัน (วันที่ 6-11 ธันวาคม 2556) และหลังเกิดปัญหาหมอกควัน (วันที่ 17-22 มิถุนายน 2557) มีอัตราการไหลเฉลี่ย 27.83 ± 0.042 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.6 ภาคผนวก ข) และ 28.33 ± 0.019 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.7 ภาคผนวก ข) มีรูปแบบการกระจายตัวของขนาดและความเข้มข้นของฝุ่นละอองดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4.6 และ ข-4.7 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.2 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นละอองระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 (ข) วันที่ 17-22 มิถุนายน 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และจำนวน Hotspot ในระหว่างการเก็บตัวอย่าง

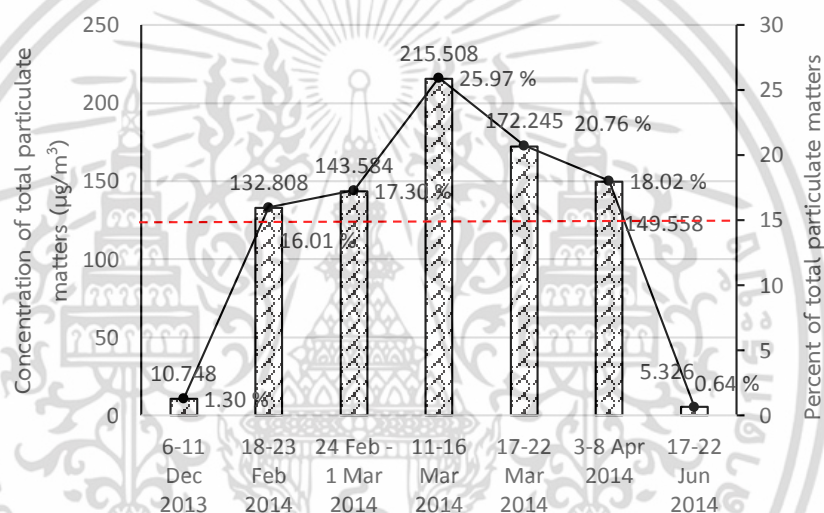
วันที่เก็บตัวอย่าง	อุตุนิยมวิทยา*					จำนวน Hotspots**				
	อุณหภูมิ (°C)	ความกดอากาศ (mbar)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลมเฉลี่ย (km/h) (ลมเบาบาง)	ทิศทางลม/ความถี่	พมเยา	เขียงราย	น่าน	แพร่	ลำปาง
18-23 ก.พ. 2556	24.26±0.98	1012.92±0.30	62.60±4.43	2.56±2.30 (ลมเบาบาง)	N/33, SSE/4, S/3, SW/2, ESE/2, SSW/1, W/1	13	20	36	23	50
24 ก.พ. - 1 มี.ค. 2557	24.02±0.26	1011.75±0.20	65.13±2.85	0.74±1.72 (ลมสงบ)	N/43, E/1, S/1, W/1, SSW/1, WSW/1	15	15	42	23	56
11-16 มี.ค. 2557	27.61±1.09	1010.65±0.16	58.85±3.93	1.46±1.94 (ลมเบาบาง)	N/38, SSW/3, SE/2, S/2, SSE/1, SW/1, ENE/1	79	120	102	54	183
17-22 มี.ค. 2557	27.32±0.88	1008.71±0.28	59.04±2.37	2.04±2.85 (ลมเบาบาง)	N/37, S/3, E/2, SE/1, SSW/1, NW/1, ENE/1, ESE/1, WNW/1	58	140	275	44	119
3-8 เม.ย. 2557	26.60±0.62	1009±0.36	65.63±3.25	3.32±0.93 (ลมเบาบาง)	N/26, S/5, SE/4, SSE/3, SSW/2, NNE/2, W/2, E/1, WSW/1, ESE/1, WNW/1	18	65	94	23	21
ช่วงที่ไม่มีการเผาเศษวัสดุ										
ทางการเกษตร 6-11 ธ.ค. 2556	21.03±3.71	1012.47±2.09	80.69±16.01	0.46±1.66 (ลมสงบ)	N, ESE/3, WNW/3, SSW/4	nd	nd	nd	nd	nd
17-22 มี.ย. 2557	27.95±0.77	1004±0.37	75.83±3.25	6.02±2.30 (ลมอ่อน)	N/18, SE/9, ESE/5, SSE/5, S/5, SSW/4, E/2,	nd	nd	nd	nd	nd

หมายเหตุ: * ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเก็บข้อมูลทุก 3 ชั่วโมง 01.00 น.- 22.00 น. บันทึกข้อมูลโดยกรมอุตุนิยมวิทยา

ความเร็วลม : <1 km/h = ลมสงบ, ความเร็วลม : 1-5 km/h = ลมเบาบาง, ความเร็วลม : 6-11 km/h = ลมอ่อน

** จำนวนรวมจุด Hotspot คำนวณจากจุด Hotspot ทั้งหมด โดย Aqua satellite ที่เวลา 01.30 น., 10.30 น. และ 22.30 น. (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2560)

ซึ่งในวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 มีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 10.48 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4.6 ภาคผนวก ข) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 21.03±3.71 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 80.69±16.10% และความดันบรรยากาศเฉลี่ย 1,012.47±2.09 มิลลิบาร์ (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-2.6 ภาคผนวก ข) และ วันที่ 17-22 มิถุนายน 2557 มีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เท่ากับ 5.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4.7 ภาคผนวก ข) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.95±0.77 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75.83±3.71% และความดันบรรยากาศเฉลี่ย 1,004.28±0.37 มิลลิบาร์ (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-2.7 ภาคผนวก ข) รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ของทั้ง 2 ครั้ง มีรูปแบบการกระจายตัวที่ไม่แน่นอน อาจเนื่องจากฤดูกาลที่แตกต่างกัน ซึ่งมีการกระจายตัวที่แตกต่างกันจากช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควัน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากมีแหล่งกำเนิดและสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในระหว่างช่วงเกิดปัญหาหมอกควัน และช่วงเวลาช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง

จากรูปที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควันมีค่าสูงกว่าในช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง 10-20 เท่า โดยค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในช่วงเกิดปัญหาหมอกควันมีค่าเกินมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษที่ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยในการมองเห็นดังแสดงในรูปที่ 4.4



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 สภาพบรรยากาศบริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ จ.พะเยาในระหว่างช่วงเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) และช่วงเวลาที่ไม่มีหมอกควันแต่มีเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง (ข)

4.2 ผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ที่จับกับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ

การศึกษารูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ที่จับกับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ (p-PAHs) ในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน และช่วงเวลาที่ไม่มีหมอกควันแต่มีเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง วิเคราะห์ชนิดของ PAHs โดยเทียบกับ Retention time ของสารละลายมาตรฐานผสม 16 PAHs และ Mass Spectrum ของ Library และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PAHs จากการคำนวณเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานผสม 16 PAHs (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค) ได้ผลการศึกษาดังนี้

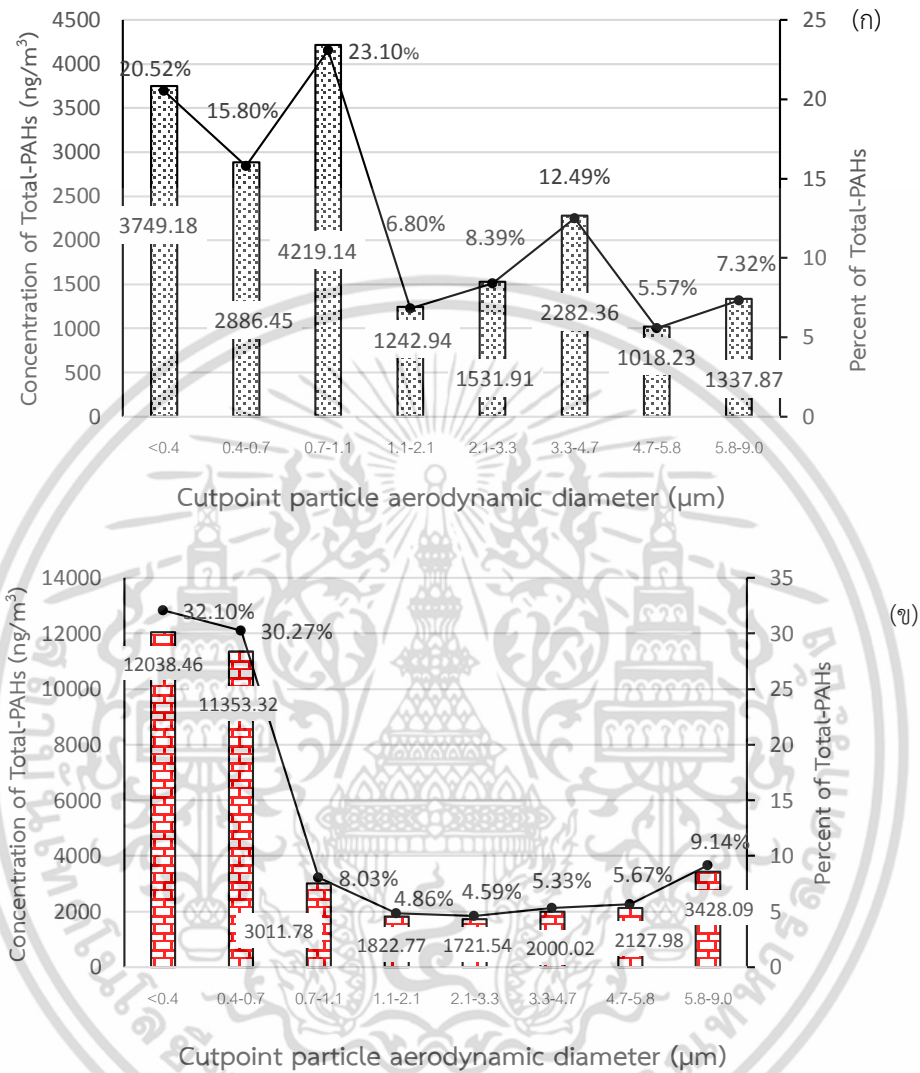
4.2.1 ชนิด ความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควัน

จากผลการวิเคราะห์สาร PAHs 16 ชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันระหว่างวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs สูงสุดเท่ากับ 4,219.14 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 23.10% รองลงมาคือในช่วงขนาด <0.4 ไมโครเมตร (Stage 7) มีความเข้มข้น 3,749.18 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 20.52% และฝุ่นละอองขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (Stage 1) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 1,018.23 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 5.57% มีความเข้มข้น Total-PAHs ของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เท่ากับ 18,268.08 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ส่วนใหญ่พบ PAHs ในอนุภาคฝุ่นละเอียดมากและอนุภาคฝุ่นละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 4.5(ก) (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-5.1 ภาคผนวก ข)

ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ – 1 มีนาคม 2557 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ แตกต่างกับครั้งแรก โดยพบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด <0.4 ไมโครเมตร (Stage 7) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 12,038.46 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 32.10% รองลงมาคือในช่วงขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (Stage 5) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs เท่ากับ 11,353.32 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 30.27% และฝุ่นละอองขนาด 2.1-3.3 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 1,721.54 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 4.59% โดยมีความเข้มข้น Total-PAHs ของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเท่ากับ

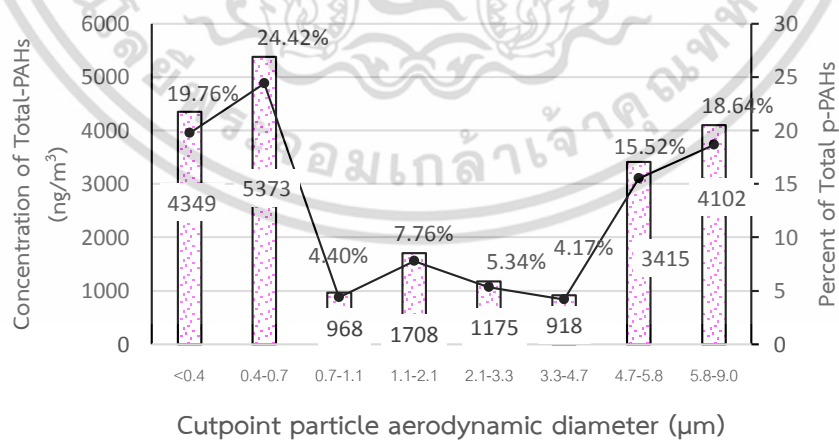
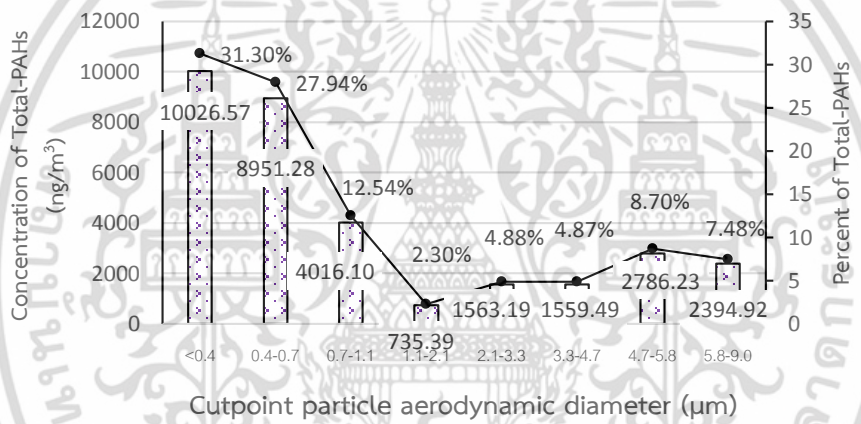
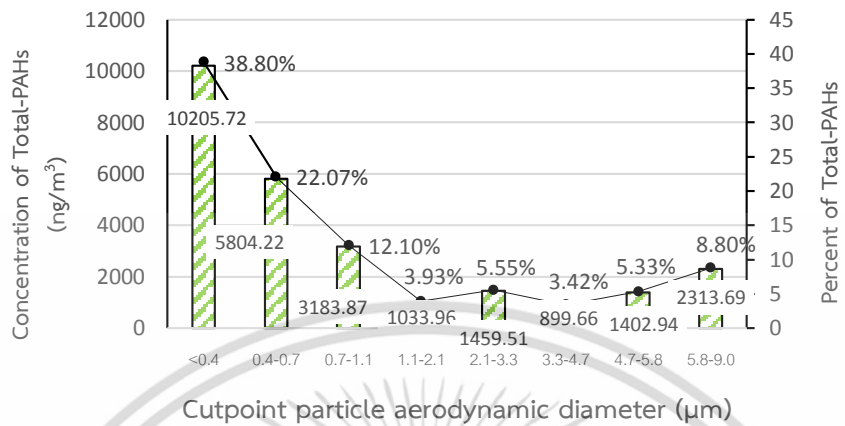
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37,503.96 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.5(ข)
 (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-5.2 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.5 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs และ เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ PAHs ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) วันที่ 24 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2557 (ค) วันที่ 11 -16 มีนาคม 2557 (ง) วันที่ 17 - 22 มีนาคม 2557 (จ) วันที่ 3 - 8 เมษายน 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 4.5 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs และ เปอร์เซนต์ของสารประกอบ PAHs ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) วันที่ 24 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2557 (ค) วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (ง) วันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (จ) วันที่ 3-8 เมษายน 2557 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ระหว่างวันที่ 11 -16 มีนาคม 2557 พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด <0.4 ไมโครเมตร (Stage 7) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 10,205.72 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 38.80% รองลงมาคือในช่วงขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (Stage 6) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs 5,804.22 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 22.07% และฝุ่นละอองขนาด 1.1-2.1 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 1,033.96 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 3.93% และมีความเข้มข้น Total-PAHs ของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเท่ากับ 26,303.57 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.5(ค) (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-5.3 ภาคผนวก ข)

ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 ระหว่างวันที่ 17 - 22 มีนาคม 2557 พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด <0.4 ไมโครเมตร (Stage 7) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 10,026.57 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 31.30% รองลงมาคือในช่วงขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (Stage 6) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs 8,951.28 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 27.94% และฝุ่นละอองขนาด 1.1-2.1 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 735.39 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 2.30% และมีความเข้มข้น Total-PAHs ของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเท่ากับ 32,033.18 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.5(ง) (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-5.4 ภาคผนวก ข)

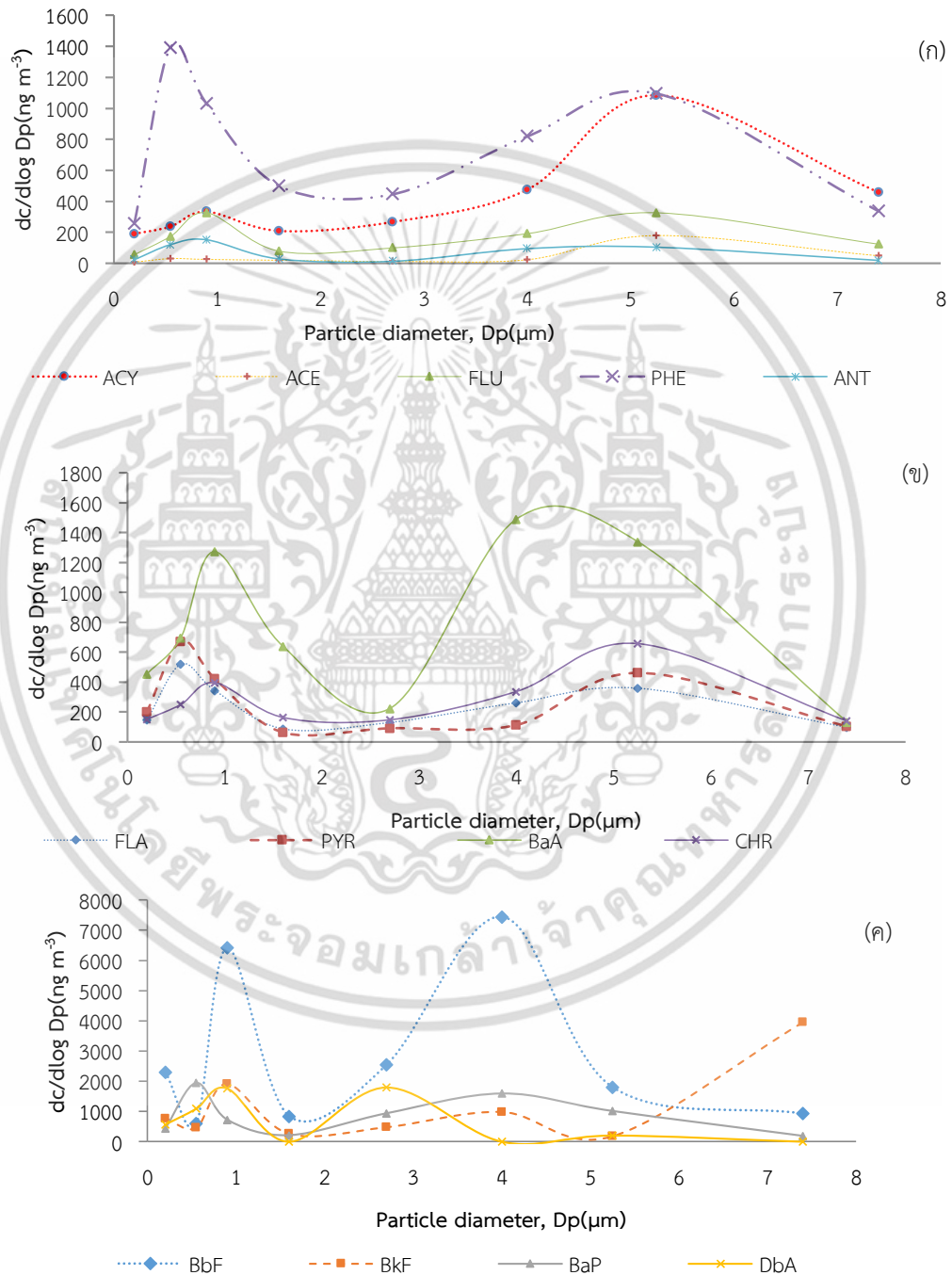
ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 5 ในช่วงเกิดปัญหาหมอกควัน ระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557 (รูปที่ 4.5 จ) พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (Stage 6) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 5,373.31 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 24.42% รองลงมาคือในช่วงขนาด <0.4 ไมโครเมตร (Stage 7) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs 4,349.20 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 19.76% และฝุ่นละอองขนาด 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 918.19 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 4.17% โดยมีความเข้มข้น Total-PAHs ของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเท่ากับ 22,008.10 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่อฝุ่นละอองมีขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 4.5(จ) (รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ ข-5.5 ภาคผนวก ข)

จากผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวและความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนพบว่า 16-PAHs ถูกดูดซับบนอนุภาคฝุ่นละอองมากและอนุภาคฝุ่นละอองเนื่องจากสาร PAHs เป็นสารกึ่งระเหยที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ PAHs สถานะกึ่งถูกควบแน่นหรือดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (Particle-bound PAHs, pPAHs) โดยสาร PAHs จะอยู่ในสถานะใดขึ้นกับความดันไอของสาร PAHs จำนวนอนุภาคหรือพื้นที่ผิวของอนุภาค ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและความคงตัวของสาร PAHs นั้น (Eiguren-Fernandez et al., 2004; Miguel et al., 1998) ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs สอดคล้องกับงานวิจัยของสุวรรณค์ (2552) ที่วิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวที่เกิดจากการเผาฟางข้าว อาจเป็นไปได้ว่ามลพิษที่เกิดขึ้นในช่วงนี้มาจากการเผาฟางข้าว

การกระจายตัวของสารประกอบ PAHs 16 ชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ สามารถแบ่งกลุ่มตามจำนวนวงอะโรมาติกออกเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) สารประกอบ PAHs 3 วงอะโรมาติก ได้แก่ Acenaphthylene (ACY), Acenaphthene (ACE), Fluorene (FLU), Phenanthrene (PHE) และ Anthracene (ANT) 2) สารประกอบ PAHs 4 วงอะโรมาติก ได้แก่ Fluoranthene (FLA), Pyrene (PYR), Benzo[a]anthracene

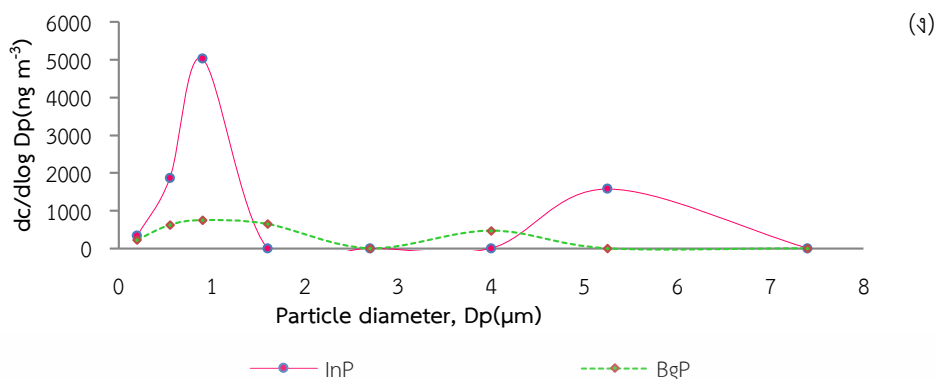
ไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(BaA) และ Chrysene (CHR) 3) สารประกอบ PAHs 5 วงอะโรมาติก ได้แก่ Benzo[b]fluoranthene (BbF), Benzo[k]fluoranthene (BkF), Benzo[a]pyrene (BaP) และ Dibenzo[a,h]anthracene (DbA) 3) สารประกอบ PAHs 5 วงอะโรมาติก ได้แก่ Benzo[ghi]perylene (BgP) และ Indeno[1,2,3-cd]pyrene (InP)



รูปที่ 4.6 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

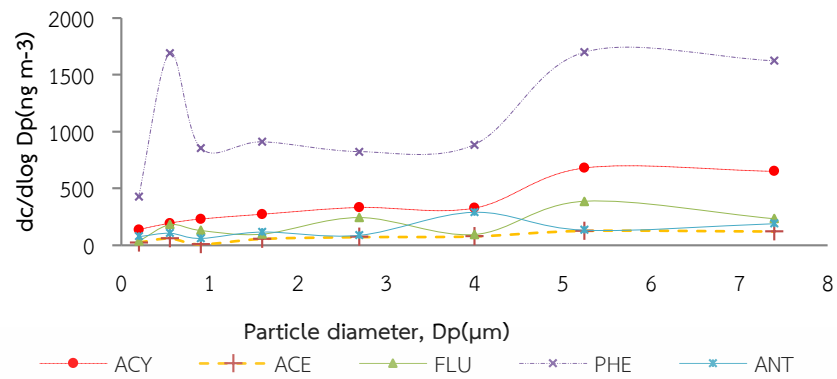


รูปที่ 4.6 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก (ต่อ)

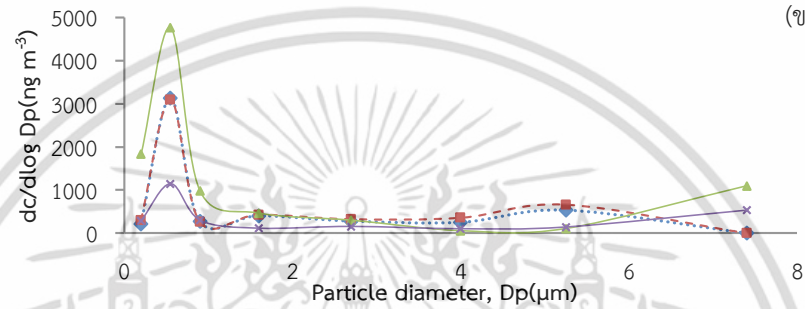
จากรูปที่ 4.6 การกระจายตัวของสาร PAHs 3-4 วงอะโรมาติก เป็นแบบ bimodal โดยการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.6 ก) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.6 ข) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 3.3-4.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.6 ค) และการกระจายตัวของสาร PAHs 6 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.6 ง) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุวรรณค์ (2552)

จากรูปที่ 4.7 การกระจายตัวของสาร PAHs 3-4 วงอะโรมาติก โดยการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.7 ก) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.7 ข) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.7 ค) และการกระจายตัวของสาร PAHs 6 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.7 ง) ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าสารประกอบ PAHs ที่มีโครงสร้าง 4-6 วงอะโรมาติก มีความเข้มข้นสูง มากกว่า 3 วงอะโรมาติก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Norramit และคณะ (2005) ที่ตรวจพบในฝุ่นละอองมากถึง 91.7% ของสารประกอบ PAHs ทั้งหมดที่ทำการศึกษา

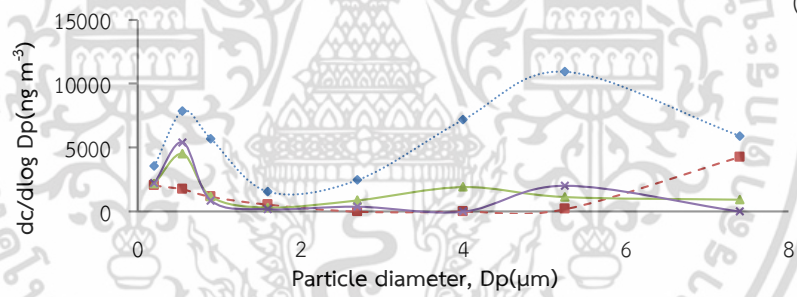
(ก)



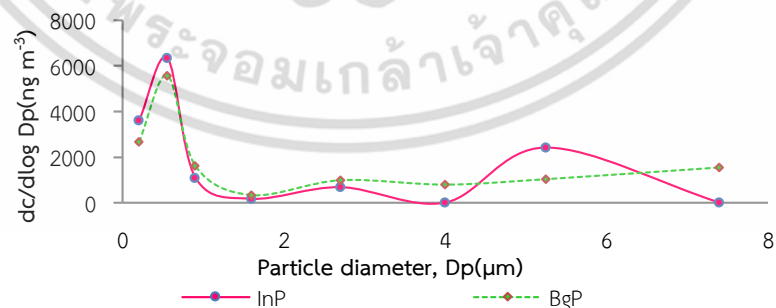
(ข)



(ค)

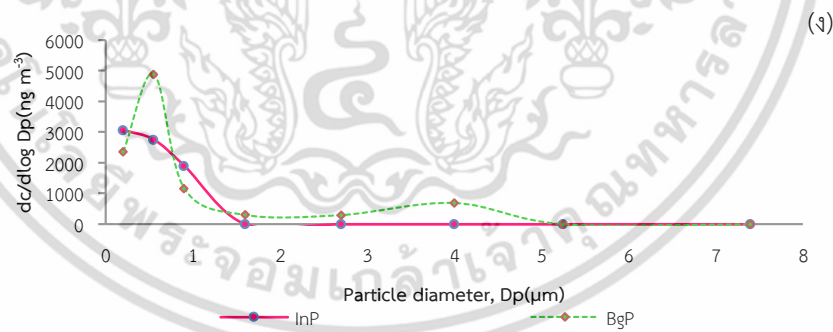
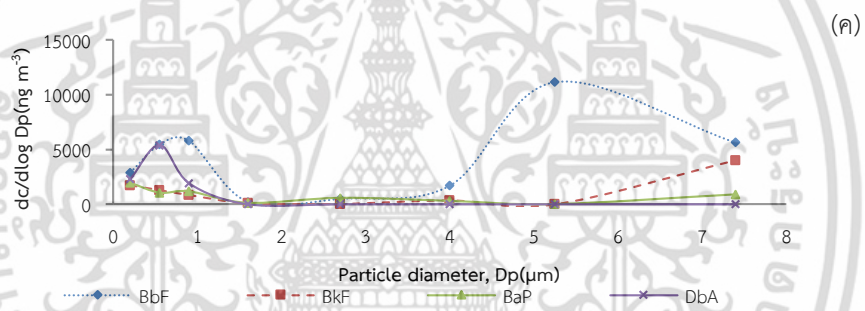
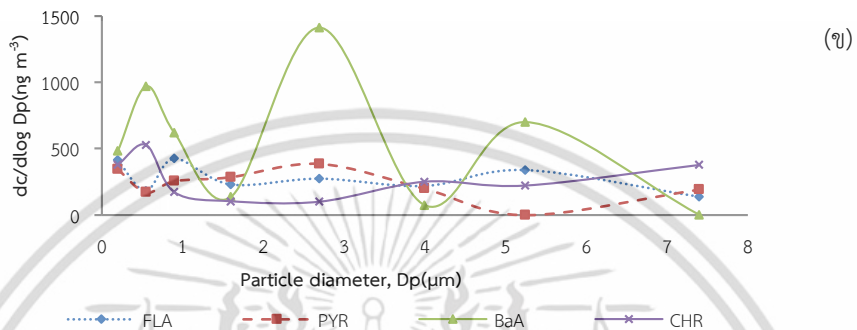
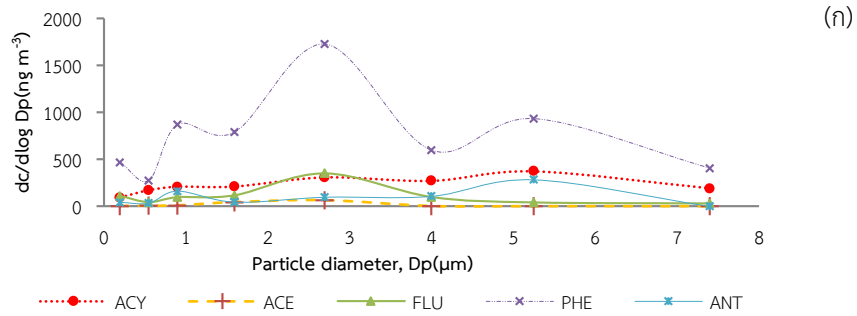


(ง)



รูปที่ 4.7 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

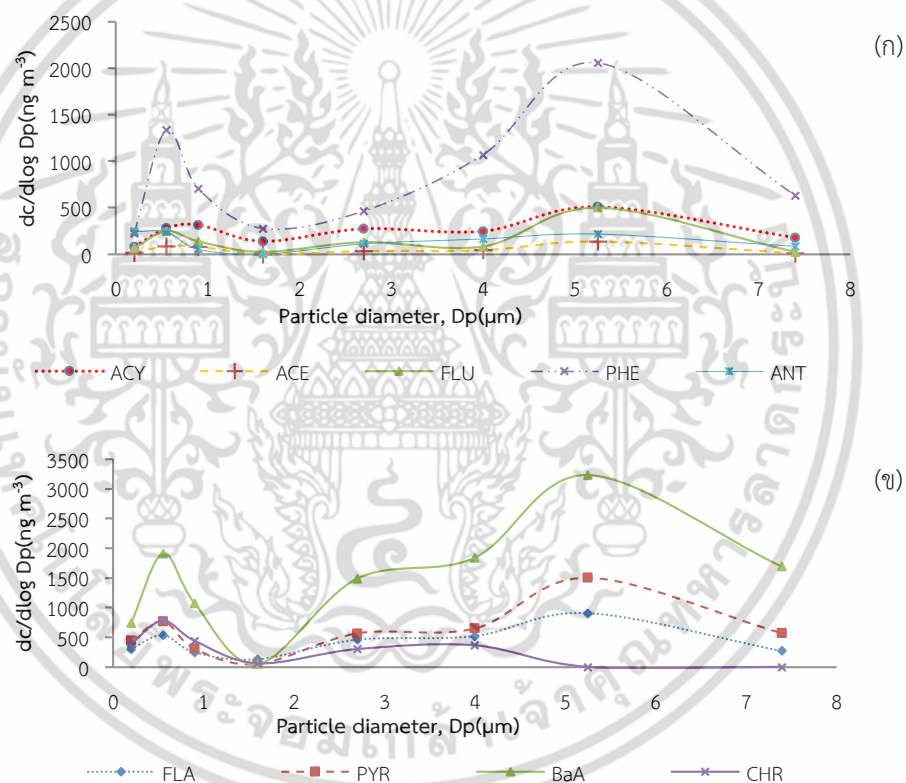
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

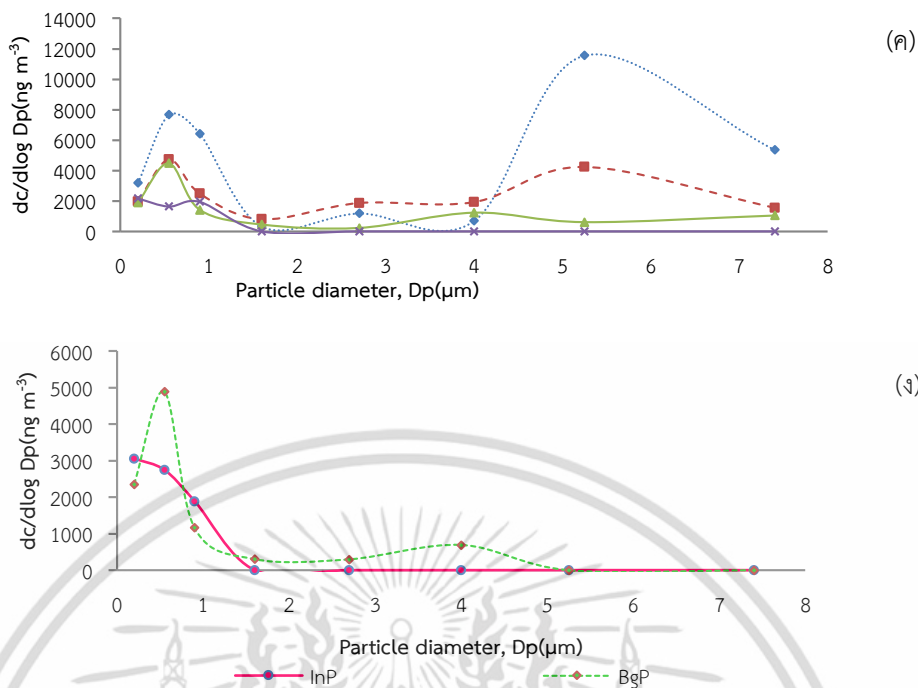
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 และรูปที่ 4.9 วันที่ 17-22 มีนาคม 2557 การกระจายตัวของสาร PAHs 3-4 วงอะโรมาติก เป็นแบบ bimodal โดยการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 2.1-3.3 และ 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 และ 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.8 ก และ 4.9 ก) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 2.1-3.3 และ 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.8 ข และ 4.9 ข) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร ซึ่งการกระจายตัวของ 5 วงอะโรมาติกเหมือนกัน และการกระจายตัวของสาร PAHs 6 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด <0.4 ไมโครเมตร ซึ่งการกระจายตัวของ 5 และ 6 วงอะโรมาติกมีความคล้ายคลึงกันในรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.9 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

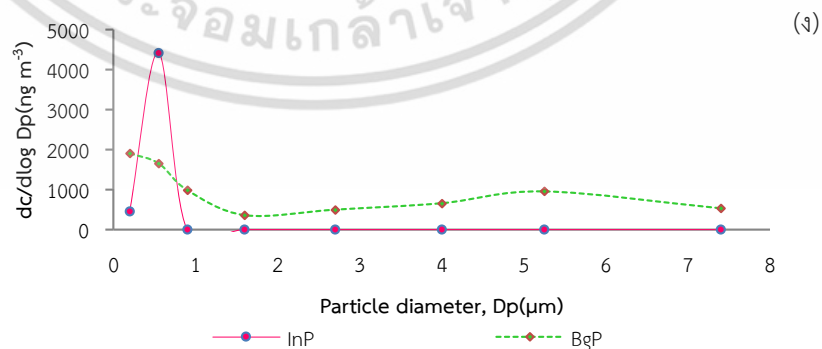
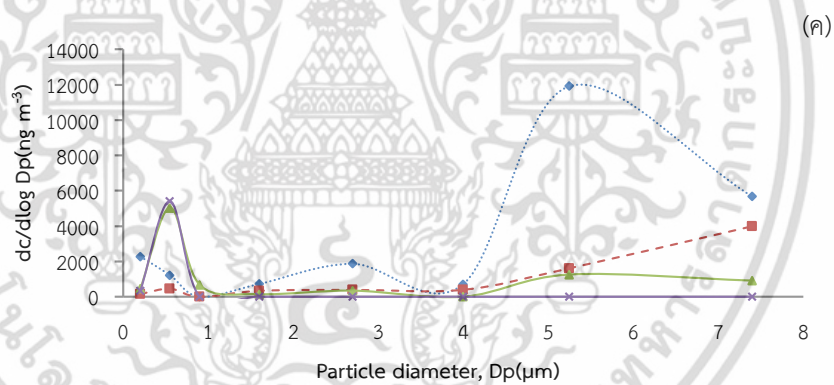
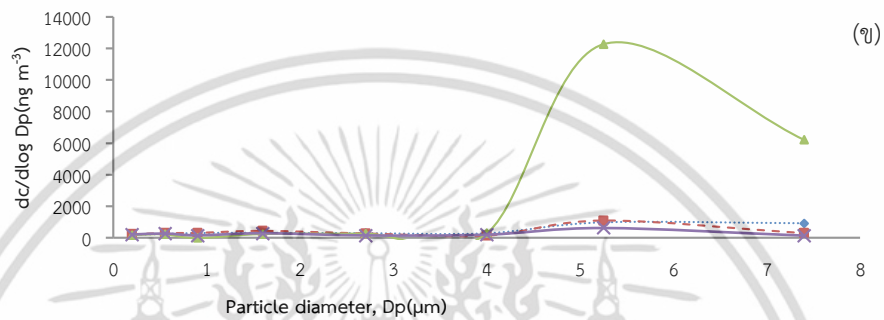
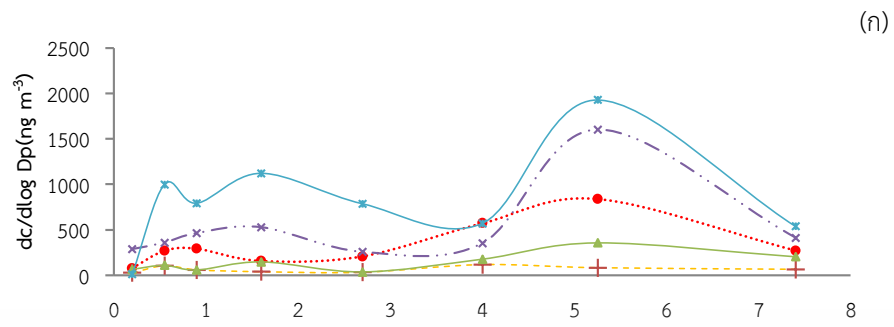
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก (ต่อ)

จากรูปที่ 4.10 การกระจายตัวของสาร PAHs 3-4 วงอะโรมาติก เป็นแบบ bimodal โดยการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 1.1-2.1 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.10 ก) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 1.1-2.1 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.10 ข) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.10 ค) และการกระจายตัวของสาร PAHs 6 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.10 ง)

จากผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวแบบ bimodal โดยมีพีคอยู่ในช่วงอนุภาคละเอียดและอนุภาคหยาบ พบสาร PAHs 5-6 วงอะโรมาติกมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าสาร PAHs 3-4 วงอะโรมาติก โดยสาร PAHs 5-6 วงอะโรมาติกพบในฝุ่นขนาดเล็กมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ เนื่องจาก Kelvin effect ที่พบว่า PAHs 3-4 วงอะโรมาติก ที่มีความสามารถในการกลายเป็นไอสูง (high volatility) จะถูกยับยั้งการดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก (Hien และคณะ, 2007; Keshtkar และ Ashbaugh, 2007; Allen และคณะ, 1996)

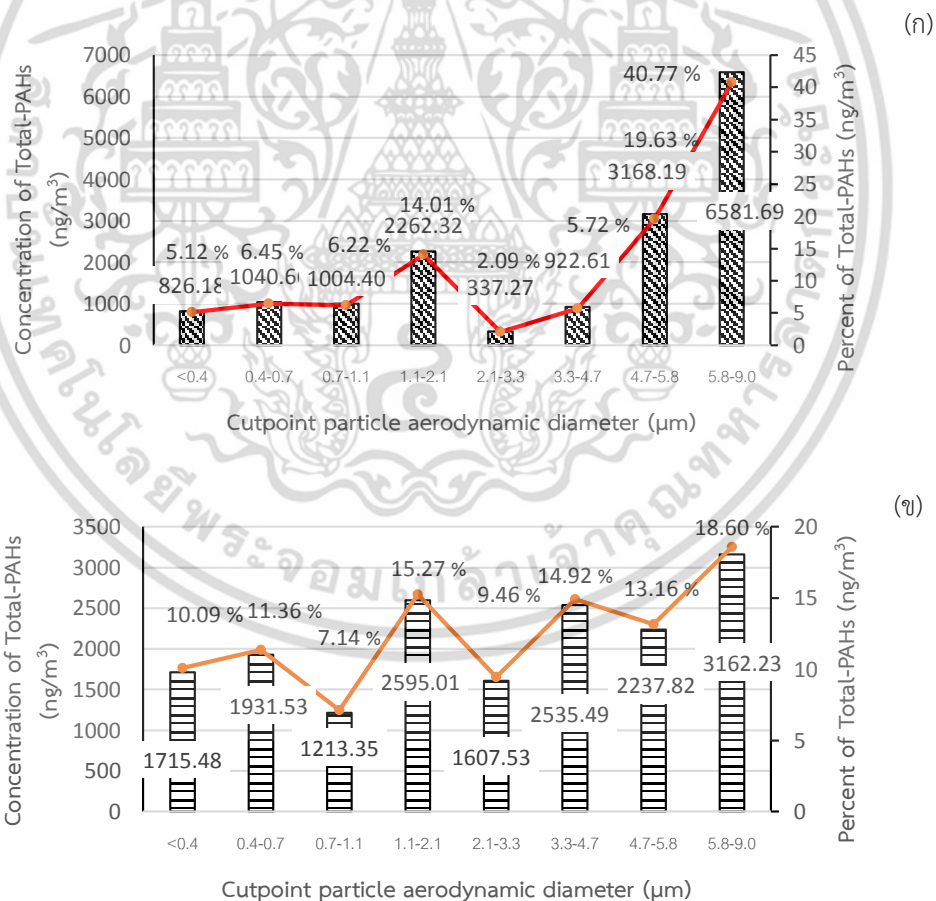


รูปที่ 4.10 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 3-8 เมษายน 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ชนิดและปริมาณของสาร PAHs ในช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง

จากผลการวิเคราะห์สาร PAHs 16 ชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ในวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด 5.8-9.0 ไมโครเมตร (Stage 0) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 6,581.69 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 40.77% และฝุ่นละอองขนาด 2.1-3.3 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 337.27 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 2.09% และมีความเข้มข้นของ Total-PAHs รวมเท่ากับ 16,143.32 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ดังรูปที่ 4.11(ก) (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-5.6 ภาคผนวก ข) และในวันที่ 17 - 22 มิถุนายน 2557 พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด 5.8-9.0 ไมโครเมตร (Stage 0) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 3,162.23 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 18.60% และฝุ่นละอองขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 1,213.35 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 7.14% และมีความเข้มข้นของ Total-PAHs รวมเท่ากับ 16,998.45 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ดังรูปที่ 4.11(ข) (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-5.7 ภาคผนวก ข)

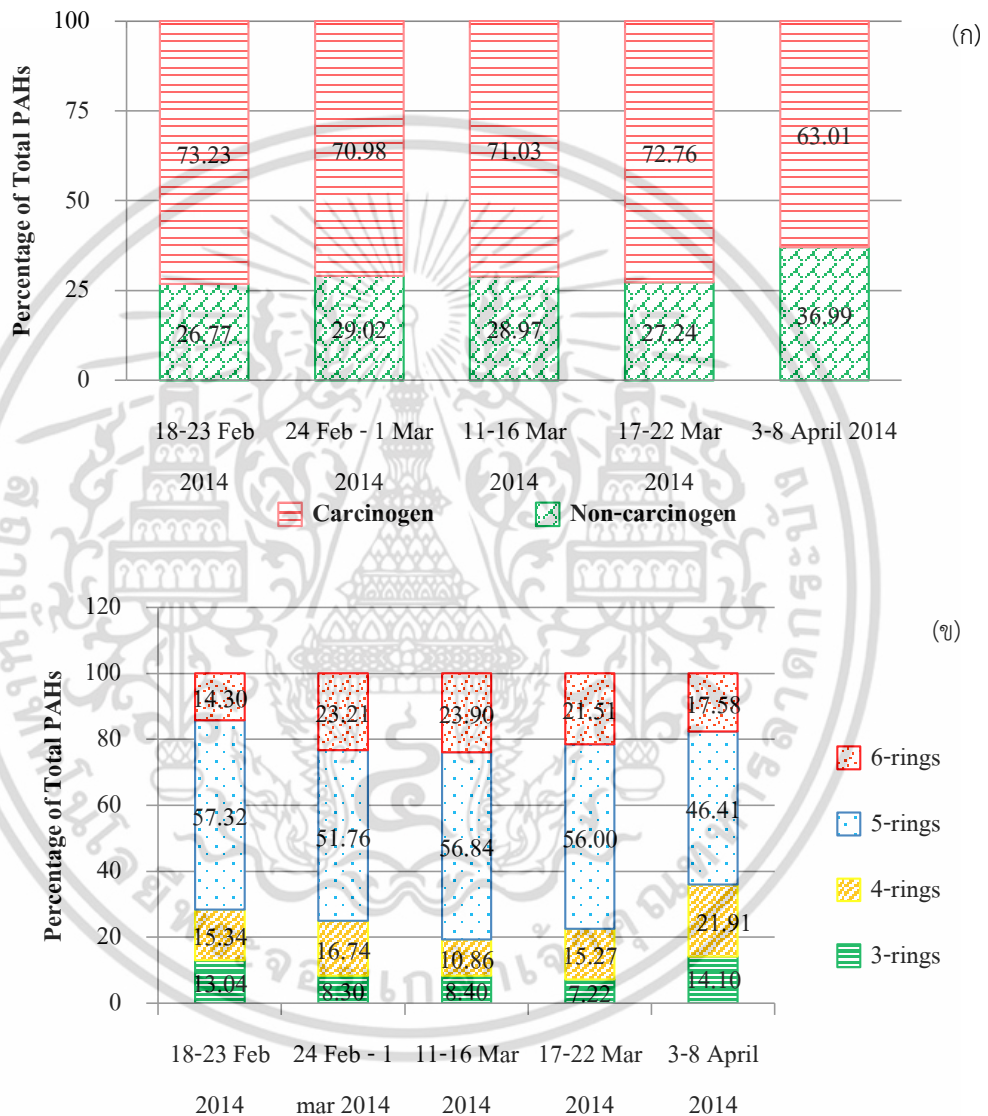


รูปที่ 4.11 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค, ความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs และเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ PAHs ในวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556(ก) และ ในวันที่ 17 - 22 มิถุนายน 2557 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 สัดส่วนของสารประกอบ PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็ง และสารไม่ก่อมะเร็ง

IARC (2010) แบ่งสารประกอบ PAHs 16 ชนิด ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สาร PAHs ที่น่าจะเป็นก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่ก่อมะเร็ง โดย US. EPA (1986) ได้กำหนดสาร PAHs ในกลุ่มที่ 2B (Probably carcinogenic to humans) ได้แก่ และ Benzo[a]anthracene, Chrysene Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Dibenzo[a,h]anthracene และ Indeno[1,2,3-cd]pyrene และสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene Anthracene Fluoranthene, Pyrene และ Benzo[ghi]perylene



รูปที่ 4.12 สัดส่วนของสาร PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งและไม่ใช้สารก่อมะเร็ง (ก) และสัดส่วนของสาร PAHs 3-6 วงอะโรมาติก (ข)

จากผลการศึกษาสาร PAHs ในระหว่างช่วงการเกิดปัญหาหมอกควัน พบสารก่อมะเร็ง และไม่ใช้สารก่อมะเร็ง ดังนี้ 1) เก็บตัวอย่างในวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ พบสัดส่วนสารก่อมะเร็ง และไม่ใช้สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 73.23 และ 26.77 % ตามลำดับ 2) เก็บตัวอย่างในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2557 พบสัดส่วนสารก่อมะเร็ง และไม่ใช้สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 70.98 และ 29.02 % ตามลำดับ 3) เก็บตัวอย่างไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวันที่ 11-16 มีนาคม 2557 พบสัดส่วนสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 71.03 และ 28.97 % ตามลำดับ 4) เก็บตัวอย่างในวันที่ 17-22 มีนาคม พบสัดส่วนสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 72.76 และ 27.24 % ตามลำดับ 5) เก็บตัวอย่างในวันที่ 3-8 เมษายน 2557 พบสัดส่วนสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 63.01 และ 36.99 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12(ก) ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.12(ข) ที่พบ PAHs 5-6 วงอะโรมาติก ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งมากกว่า PAHs 3-4 วงอะโรมาติก (WHO/IPCS, 1998) นอกจากนี้ ยังพบ PAHs 5-6 วงอะโรมาติกในฝุ่นอนุภาคละเอียดมากกว่าฝุ่นอนุภาคหยาบ จึงทำให้สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ดีกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดโรคมะเร็งปอด เนื่องจาก PAHs 5-6 วงอะโรมาติกมีความดันไอต่ำ จึงพบอยู่ในรูปอนุภาค (p-PAHs) มากกว่า PAHs 3-4 วงอะโรมาติก ส่วนในช่วงเวลาที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากมีปริมาณน้อยมาก

4.2.4 การประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ

จากผลการศึกษาการประเมินค่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งในปอดของ WHO/IPCS (1998) กำหนดโดยใช้ PAHs 7 ชนิด ได้แก่ Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, Dibenz[a,h]anthracene พบว่าตัวอย่างอากาศในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน มีค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเกินค่ามาตรฐานของ WHO/IPCS (1998) เมื่อเทียบกับในช่วงเวลาที่ไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้งซึ่งจะพบสารประกอบ PAHs ที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง มีค่าไม่เกินมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สาร PAHs 7 ชนิด ในฝุ่นละอองที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในปอด

PAHs	ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงที่มีปัญหาหมอกควัน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงไม่มีการเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง		WHO/IPCS 1998 Unit risk ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	18-23 ก.พ. 2556	24 ก.พ. - 1 มี.ค. 2557	11-มี.ค. 2557	17-22 มี.ค. 2557	3-8 เม.ย. 2557	6-11 ธ.ค. 2556	17-22 มิ.ย. 2557	
	(BaA)	1.29×10^{-3}	2.87×10^{-3}	1.04×10^{-3}	2.33×10^{-3}	2.65×10^{-3}	n.d.	
(CHR)	0.44×10^{-3}	0.71×10^{-3}	0.57×10^{-3}	0.65×10^{-3}	0.45×10^{-3}	6.03×10^{-7}	3.18×10^{-5}	8.7×10^{-4}
(BbF)	5.01×10^{-3}	9.29×10^{-3}	6.74×10^{-3}	7.54×10^{-3}	4.52×10^{-3}	6.06×10^{-4}	4.39×10^{-4}	1.0×10^{-3}
(BkF)	2.04×10^{-3}	2.86×10^{-3}	2.39×10^{-3}	4.38×10^{-3}	1.36×10^{-3}	1.42×10^{-4}	1.15×10^{-4}	2.8×10^{-4}
(BaP)	1.49×10^{-3}	3.46×10^{-3}	2.02×10^{-3}	3.10×10^{-3}	2.02×10^{-3}	2.76×10^{-4}	2.68×10^{-5}	8.7×10^{-3}
(InP)	1.78×10^{-3}	4.32×10^{-3}	2.88×10^{-3}	3.23×10^{-3}	1.34×10^{-3}	1.41×10^{-4}	n.d.	1.1×10^{-3}
(DbA)	1.33×10^{-3}	3.11×10^{-3}	3.06×10^{-3}	2.08×10^{-3}	1.52×10^{-3}	1.27×10^{-4}	n.d.	1.8×10^{-2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การหายใจเอาฝุ่นละอองขนาดเล็กในระหว่างที่เกิดปัญหาหมอกควันมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในปอด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการสัมผัส อายุ และสุขภาพของผู้ที่ได้รับผลกระทบ

4.3 การวิเคราะห์ทางสถิติของวิธีการทดลอง

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าคืนกลับของวิธีวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ค่าคืนกลับของวิธีวิเคราะห์ พบว่าสารละลาย PAHs 16 ชนิด อยู่ในช่วง 85.09-99.78 % ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ง-4.2 ภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4.3 ค่าการวิเคราะห์คืนกลับของวิธีวิเคราะห์

ลำดับ	สารประกอบ PAHs	Recovery (%)
1	Naphthalene (NAP)	91.33±4.97
2	Acenaphthylene (ACY)	89.82±2.38
3	Acenaphthene (ACE)	88.56±5.81
4	Fluorene (FLU)	92.81±3.84
5	Phenanthrene (PHE)	93.35±3.66
6	Anthracene (ANT)	85.09±2.27
7	Fluoranthene (FLA)	87.46±2.70
8	Pyrene (PYR)	90.70±0.61
9	Benzo(a)anthracene (BaA)	98.22±0.37
10	Chrysene (CHR)	88.94±1.48
11	Benzo[b]fluoranthene (BbF)	95.40±1.39
12	Benzo[k]fluoranthene (BkF)	94.68±0.26
13	Benzo[a]pyrene (BaP)	97.64±0.83
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene (InP)	99.78±0.05
15	Dibenzo[a,h]anthracene (DbA)	97.13±0.59
16	Benzo[ghi]perylene (BgP)	98.99±0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดสอบความเที่ยง

จากการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน PAHs ผสม 16 ชนิด โดยเตรียมสารละลายมาตรฐาน PAHs มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด โดยขวดที่ 1 วิเคราะห์ด้วย GC-MS จำนวน 3 ครั้ง ขวดที่ 2 และ 3 วิเคราะห์อย่างละ 1 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 มีค่าความเที่ยงของการวัดอยู่ในช่วง 0.48-10.12% และค่าความเที่ยงของการเตรียมสารละลายมาตรฐานอยู่ในช่วง 3.12-16.81% (รายละเอียดในตารางที่ ง-5.2 ภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4.4 การทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ลำดับ	สารประกอบ PAHs	ความเที่ยงของการวัด (%RSD) ^a	ความเที่ยงของการเตรียมสารละลายมาตรฐาน(%RSD) ^b
1	Naphthalene (NAP)	3.27	8.10
2	Acenaphthylene (ACY)	5.13	7.57
3	Acenaphthene (ACE)	0.48	3.21
4	Fluorene (FLU)	2.33	7.20
5	Phenanthrene (PHE)	5.26	15.21
6	Anthracene (ANT)	4.39	8.87
7	Fluoranthene (FLA)	1.77	5.78
8	Pyrene (PYR)	7.26	9.59
9	Benzo(a)anthracene (BaA)	6.25	6.18
10	Chrysene (CHR)	1.39	5.37
11	Benzo[b]fluoranthene (BbF)	6.92	12.47
12	Benzo[k]fluoranthene (BkF)	6.55	16.81
13	Benzo[a]pyrene (BaP)	10.12	9.92
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene (InP)	3.67	4.35
15	Dibenzo[a,h]anthracene (DbA)	9.69	13.81
16	Benzo[ghi]perylene (BgP)	7.17	15.30

หมายเหตุ: ^aเตรียมสารละลายมาตรฐาน 1 ขวด โดยการฉีดสารในขวดซ้ำ 3 ครั้ง

^bเตรียมสารละลายมาตรฐาน 3 ขวด โดยการฉีดสารในแต่ละขวด 1 ครั้ง

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ และ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน โดยเก็บตัวอย่างอากาศด้วย 8-Stage Cascade Impactor ที่มีขนาดแตกต่างกัน 8 ขนาด คือ 9.0-5.8, 5.8-4.7, 4.7-3.3, 3.3-2.1, 2.1-1.1, 1.1-0.7, 0.7-0.4 และ <0.4 ไมครอน ที่อัตราการไหลประมาณ 28.3 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ระหว่างวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์, 24 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม, 11-16 มีนาคม, 17-23 มีนาคม และ 3-8 เมษายน 2557 ซึ่งอยู่ในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน และระหว่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 และ 17-22 มิถุนายน 2557 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ไม่มีการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง จากนั้น ชั่งน้ำหนักและสกัด PAHs ด้วย Acetonitrile โดยใช้ Ultrasonicator แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS/SIM จากผลการศึกษาพบว่า ในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน อยู่ในช่วง 132.81-215.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานฝุ่นละอองที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษไว้ที่ไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เป็นแบบ bimodal โดยมีพีคสูงที่สุดในช่วงขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร และพีครองลงมาอยู่ในช่วงขนาด 5.8-9.0 ไมโครเมตร ส่วนในช่วงที่ไม่มีการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่ 10.75 และ 5.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควันประมาณ 10-20 เท่า และไม่มีรูปแบบการแพร่กระจายที่แน่นอน

จากผลการวิเคราะห์ 16-PAHs ที่ถูกดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ พบว่าในระหว่างที่เกิดปัญหาหมอกควันมีความเข้มข้นของสาร 16-PAHs ที่ถูกดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนอยู่ระหว่าง 18.27-37.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบความเข้มข้นของ 16-PAHs สูงที่สุดที่อนุภาคละเอียดมากในช่วงขนาด <0.4 ไมครอนและอนุภาคละเอียดขนาด 0.4-1.1 ไมครอน และมีรูปแบบการกระจายขนาดของ 16-PAHs เป็นแบบ bimodal มีพีคที่สูงสุดที่อนุภาคละเอียดขนาด 0.4-1.1 ไมครอน พีคที่รองลงมาคืออนุภาคหยาบขนาด 4.7-5.8 ไมครอน ซึ่งมีรูปแบบคล้ายคลึงกันในแต่ละช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ในระหว่างที่เกิดปัญหาหมอกควัน โดยอัตราส่วนของ PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งสูงกว่าสาร PAHs ที่ไม่ก่อมะเร็ง จากการแบ่ง 16-PAHs ตามจำนวนวงอะโรมาติกเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) สารประกอบ PAHs 3 วงอะโรมาติก ได้แก่ Acenaphthylene (ACY), Acenaphthene (ACE), Fluorene (FLU), Phenanthrene (PHE) และ Anthracene (ANT) 2) สารประกอบ PAHs 4 วงอะโรมาติก ได้แก่ Fluoranthene (FLA), Pyrene (PYR), Benzo[a]anthracene (BaA) และ Chrysene (CHR) 3) สารประกอบ PAHs 5 วงอะโรมาติก ได้แก่ Benzo[b]fluoranthene (BbF), Benzo[k]fluoranthene (BkF), Benzo[a]pyrene (BaP) และ Dibenzo[a,h]anthracene (DbA) 4) สารประกอบ PAHs 6 วงอะโรมาติก ได้แก่ Benzo[ghi]perylene (BgP) และ Indeno[1,2,3-cd]pyrene (InP) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs 5-6 วงอะโรมาติกซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งมีความเข้มข้นสูงที่สุด และมีแนวโน้มถูกดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กตามจำนวนวงอะโรมาติกที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น สาร PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งสามารถแทรกซึมเข้าไปในระบบทางเดินหายใจตอนล่างได้ ส่งผลให้มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งปอดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเปรียบเทียบการแพร่กระจายของฝุ่นละอองและสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นในฤดูกาลต่าง ๆ

5.2.2 ควรศึกษาการแพร่กระจายของฝุ่นละอองและสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ได้แก่ การเผาขานอ้อย การเผาซังข้าวโพด เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กัลยากร ตั้งอุไรวรรณ. 2549. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในจังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2543. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
- กรมควบคุมมลพิษ. 2555. รายงานสถานการณ์มลพิษประเทศไทยปี 2555. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
- กรมควบคุมมลพิษ. 2556. รายงานสถานการณ์มลพิษประเทศไทยปี 2556. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
- กรมควบคุมมลพิษ. 2557. ข่าวสารอากาศและเสียง ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนเมษายน – มิถุนายน พ.ศ. 2557. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
- กรมควบคุมมลพิษ. 2557. รายงานสถานการณ์มลพิษประเทศไทยปี 2557. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
- กรมควบคุมมลพิษ. 2558. สถานการณ์มลพิษประเทศไทยปี 2558. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
- กรมป่าไม้. 2558. แผนการปฏิบัติป้องกันและแก้ไขปัญหาหมอกควันภาคเหนือ 2558. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
- จิตรลดา มุประสิทธิ์. 2553. องค์ประกอบและสัดส่วนของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ใน PM₁₀ จากแหล่งปลดปล่อยต่างประเภทในจังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ชลธิดา เชิญขุนทด. 2557. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน กับปัจจัยด้านภูมิอากาศ บริเวณพื้นที่ 7 จังหวัดภาคเหนือ. ฝ่ายวิชาการ ส่วนควบคุมไฟฟ้า. สำนักงานป้องกัน ปรามปราม และควบคุมไฟฟ้า. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. กรุงเทพฯ
- ทิพวรรณ ประภามณฑล และคณะ. 2553. มลพิษหมอกควันกับสุขภาพของคนในภาคเหนือตอนบน. ศูนย์วิจัยด้านมลภาวะอนามัยสิ่งแวดล้อม. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ทิพวรรณ ประภามณฑล และคณะ. 2554. สาเหตุการเกิดฝุ่นและภาวะหมอกควันในชุมชน และข้อมูลฝุ่นพีเอ็ม 10. ศูนย์วิจัยด้านมลภาวะอนามัยสิ่งแวดล้อม. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นภาพพร พานิช และคณะ. 2550. ตำราบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ

นภาพพร พานิช และ แสงสันภูต์ พานิช. 2544. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ โดยทั่วไป Available :
[Online].http://infofile.pcd.go.th/law/2_51_air.pdf?CFID=1399571&CFTOKEN=92673250.2574.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ร่าง). เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน ในบรรยากาศ โดยทั่วไป Available: [Online].
http://www.aqnis.pcd.go.th/activity_event/PM2/mainactivity01.htm. 2552.

ปาจริย์ ทองสนิท และวนิดา จินตศาสตร์. 2548. โครงการ องค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนของแหล่งกำเนิดฝุ่น PM₁₀ ในเขตเมืองพิษณุโลก. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปาจริย์ ทองสนิท และคณะ. 2556. โครงการ สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่น PM₁₀ ในช่วงเกิดปัญหาหมอกควันของจังหวัดเชียงใหม่. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยนเรศวร

ฝ่ายวิชาการส่วนควบคุมไฟป่า. 2557. สรุปสถานการณ์ไฟป่าและหมอกควัน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557. สำนักงานป้องกันปราบปราม และควบคุมไฟป่า. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช

มงคล รายนาค และคณะ. 2550. โครงการวิเคราะห์เพื่อหามลพิษทางอากาศในอนุภาคฝุ่นในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน. รายงานฉบับสมบูรณ์. สกว.

วนิดา จินตศาสตร์. 2551. มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วารสารณ์ ฉุยฉาย. 2554. การแพร่กระจายและความเป็นพิษต่อพืชของโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. ปีที่5. ฉบับที่ 1

วิจารณ์ สิมาฉายา. 2554. มลพิษจากหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ: ปัญหาและแนวทาง. เอกสารสัมมนา “วิกฤตโลกร้อน มลพิษหมอกควัน มหันตภัยใกล้ตัว”. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ

วรณัฐ ตีละมัน. 2552. การกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา และตะกอนอ่าววับละมู จังหวัดพังงา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วงพันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ. 2540. มลภาวะทางอากาศ. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศูนย์ปฏิบัติการตอบโต้ภาวะฉุกเฉินทางด้านสาธารณสุขและภัยพิบัติ. 2556. การเตรียมความพร้อมตอบโต้ภาวะฉุกเฉินการแพทย์และสาธารณสุข กรณีปัญหาหมอกควันและไฟป่า ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพะเยา
- ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. 2558. โครงการศึกษาสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในบรรยากาศอันเนื่องมาจากปัญหาหมอกควันและผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
- สำนักงานสถิติจังหวัดพะเยา. 2557. รายงานวิเคราะห์สถานการณ์จังหวัดพะเยา. สำนักทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดพะเยา. พะเยา
- สมเกียรติ ศิริรัตน์พุกษ์. 2552. สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมโรค
- ศุภิณญา ธารรัตน์สุวรรณ. 2557. ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาหมอกควันและหมอกควันข้ามแดน. บทความวิชาการ. สำนักวิชาการ. สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา. กรุงเทพฯ
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1995. "Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons." US department of Health and Human Services, Public Health Services. Available: [Online]. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>
- Allen, J.O., Dookeran, N.M., Smith, K.A., Sarofim, A.F., Taghizadeh, K. and Lafleur, A., 1996. "Measurement of polycyclic aromatic hydrocarbon associated with size-segregated atmospheric aerosols in Massachusetts." *Environmental Science and Technology* 30, 1023-1031.
- Ashok, B.T., and S. Saxena. 1995. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons – A review . *J. Sci. Ind . Res.* 54: 442–451.
- Bae, S.Y., Yi, S.M. and Kim, Y.P. 2002 "Temporal and spatial variation of the particle size distribution of PAHs and their dry deposition flux in Korea." *Atmospheric Environment*. 36: 5491-5500.
- Baek, S.O., Field R.A. and Goldstone, M.E. 1991. "A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Sources fate and behavior." *Water, Air and Soil Pollution*. 60: 279-300.
- Behymer, T., and Hites, R. 1988. "Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on fly ash." *Environmental Science and Technology*. 2: 1311-1319

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bjorseth, A. and Olufsen, BS. 1983. Long-range transfer of polycyclic aromatic hydrocarbons. In: Bjorseth, A. ed. Handbook of PAH. Marcel Dekker, Inc. New York., 507.
- Bjorseth, A. and Ramdahl, T. 1985. Handbook of polycyclic Aromatic Hydrocarbons: volume 2 Bjorseth, A and Ramdahl, T. ed. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Spyrellis, N., Demokritou, P. and Koutrakis, P. 2003. "Measurement of PM 10 and PM 2.5 particle concentration in Athens." Atmospheric Environment. 39: 649-660.
- Chetwittayachan, T., Shimazaki, D. and Yamamoto, K. 2002. "A comparison of temporal variation of particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (p-PAHs) concentration in different urban environments: Tokyo, Japan, and Bangkok, Thailand." Atmospheric Environment. 36: 2027-2037
- Cerniglia CE, Heitkamp MA. 1989. Microbial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the aquatic environment. In: Varanasi U (ed) Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. CRC, Boca Raton, Fla, pp 41-68
- Donnelly KC, Thomas JC, Anderson CS, Brown KW. 1990. The influence of application rate on the bacterial mutagenicity of soil amended with municipal sewage sludge. Environmental Pollution 68(1-2):147-159.
- Eglinton, G. and Hamilton, R.J. (1967). Leaf epicuticular waxes. Science, 156, 1322-1335
- Fang, G.C., Yuh-shen, W., Fu, P., Yang, I-L. and Chen, M-H. 2004. "Polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of suburban and industrial regions of central Taiwan" Chemosphere. 54:443-452
- Gibson DT & Subramanian V (1984) Microbial degradation of aromatic hydrocarbons. *Microbial Degradation of Organic Compounds* (GibsonDT, ed), p. 181. Marcel Dekker Inc., New York.
- Guo, H., Lee, S.C., Ho K.F., Wang, X.M. and Zou, S.C. 2003. "Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban air of Hong Kong," Atmosphere Environment: 37: 5307-5317
- Howsam, M. and Jones, K. C.: 1998, *The Handbook of Environmental Chemistry - PAHs and Related Compounds*, Neilson, A. H. (ed.), Springer-Verlag, Berlin, 3, I. p. 137.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Agency for the Research on Cancer (IARC), 1984. "Evaluation of the evaluation of the risk of chemicals to human. "Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. Vol 32.

IPCS, 1998. "International Program on Chemical safety selected Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons." Environmental Health Criteria 202. World Health Organization, Geneva.

Kamens, R.M., Bell D.A., Perry J.M. Goddman R.G., Dietrich, A. and Tejada, S. 1985.

"Airborne Mutagenic Transformations of Dilute Wood Smoke System: Analysis of Selected HPLC Fractions from Wood Smoke Particle Extracts." Environmental Science & Technology. 19: 63-70.

Kamens, R.M, Fulcher., J.N. and Zhishi G., 1986. "Effects of temperature on wood soot: PAH Decay in atmospheres with sunlight and low NO_x." Atmospheric Environment 20: 1579-1587.

Kamens, R.M., Guo, Z., James, N.F. and Bell, D.A. 1988. "Influence of Humidity, Sunlight, and Temperature on the daytime Decay of Polyaromatic Hydrocarbons on Atmospheric Soot Particle." Environmental Science & Technology. 22: 103-108

Kamens, R.M., Karam, H., Gun, J., Perry, J. and Stockburger, L. 1989. "The Behavior of Oxygenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Atmospheric Soot Particles." Environmental Science & Technology. 23: 801-805.

Kamens, R.M. and Jang, M. 1998, "A Thermodynamic Approach for Modeling Partitioning of Semivolatile Organic Compounds on Atmospheric Particulate Matter, Humidity Effect." Environmental Science & Technology. 32: 1237-1243.

Keshtkar, H. and Ashbaugh, L.L. 2007. "Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon Particulate emission factors from agricultural burning." Atmospheric Environment. 41: 2729-2739.

Kim, Y.J., Park, S.S. and Kang, C.H. 2002. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbon in Seoul, Korea. *Atmos. Environ.* 36: 2917-2924

Kiss, G., Varga, Z., T.T., Rohrbacher, G. and Hlavay, J. 1998. "Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons on atmospheric aerosol particle of different sizes." Atmospheric Research. 46: 253-261.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mabey, W.R., Smith, J.H. and Podoll, R.T. 1982. Aquatic fate process data for original priority pollutants. Washington, D.C.: US Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards. EPA 440/4-81-014.
- Mackay, D. and Collcot, D. 1998. Partitioning and physical properties of PAHs. In: the handbooks of Environmental Chemistry, Vol.3, Part J. PAHs and related Copounds, Neilson, A.H. (ED.), Spring, Berlin. 325-346
- Miller, J.C. and Miller, J.N. "Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistey." 4th edition. Ellis Horwood Limited. 2000. 116-122.
- Melcher RJ, Apitz SE, Hemmingsen BB. 2002. Impact of irradiation and polycyclic aromatic hydrocarbon spiking on microbial populations in marine sediment for future aging and biodegradability studies. *Appl Environ Microbiol* 68: 2858-286
- Mustafa, O., Nedim, V., Aysun, S., Yucel, T. and Holsen, M.T. 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Chicago air. *Sci. Total Environ.* 227(1): 57-67
- Nam K, Kukor JJ (2000) Combined ozonation and biodegradation for remediation of mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil. *Biodegradation* 11(1):1-9
- Page, D.S., Boehm, P.D., Douglas, G.S., Bence, A.E., Bence, W.A., Burn, W.A. and Mankiewicz, P.J. 1999. Pyrogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sediments Record Past Human Activity: A case Atudy in Prince William Sound, Alaska. *Mar. Pollut. Bull.* 4: 247-260
- Pankow, J.F., 1991. "Common y-intercept and single compound regressions of gas-partitioning data VS 1/T." *Atmospheric Environment.* 25: 2229-2239.
- Possazini, M., Palo, V.D., Gigliucci, P., Sciano, M.C.T., and Cecinato, A.2004. "Determination of phase-distributed PAH in Rome ambient air by denuder/GC-MS method". *Atmospheric Environment.* 38: 1727-1734.
- Phootiwut S. and Junyapoon S., 2012, Size distribution of atmospheric particulates and particulate-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and characteristics of PAHs during haze period in Lampang Province, Northern Thailand., *Air Qual Atmos Health*, DOI 10.1007/s11869-012-0194-3
- Simpson, C.F. Harrington, W.R. Cullen, D.A. Bright, K.J. Reimer. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in marine sediments near Kitimat, British Columbia *Environ. Sci. Technol.*, 32 (21) (1998), pp. 3266-3272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Smith, D.J.T and Harrison, R.M. 1996. "Concentrations, trends and vehicle source profile of polynuclear aromatic hydrocarbons in the UK." *Atmospheric Environment*. 30:2513-2525
- Trejo M and Quintero R (2000) Bioremediation of contaminated soils. *In* Olguin EJ, Sanchez G and Hernandez E (eds) *Environmental Biotechnology and Cleaner Bioprocesses*. Taylor and Francis, pp 179-188.
- Upham BL, Weis LM, Rummel AM *et al.* (1996). The effects of anthracene and ethylated anthracenes on gap junctional intercellular communication in rat liver epithelial cells. *Fundam Appl Toxicol*, 34: 260–264.
- U.S. EPA. 1984. "List of the Sixteen PAHs with Highest Carcinogenic Effect." IEA Coal Research, London.
- U.S. EPA. 1986. "Carcinogen Classification, National Center for Environmental Assessment. Office of Research and Development." Washington, EPA-600/R-93-089.
- U.S. EPA. 1999. "Compendium Method TO-13A, Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)."
- U.S. EPA. 1999. "Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington Office, Washington," D.C, EPA/600/P-99/002.
- Venkataraman, C., Lioy, P.J. and Friedlander, S.K. 1994. "Size distribution polycyclic aromatic hydrocarbon of and element carbon". *Environment Science and Technology*. 28:555-562.
- Verstraete, L., *et al.* 1996, *A&A*, 315, L337
- WHO/IPCS. 1998. Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Health Criteria* 202; Geneva.
- Wilson R, Spengler J. 1996. Emissions, dispersion and concentration of particles. In: *Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects* (Wilson R, Spengler J, eds). Cambridge, MA:Harvard University Press, 41–84.
- World Health Organization. 2006. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, Nitrogen dioxide and sulfur dioxide Global update 2005. Available: [Online].www.euro.who.int/document/c87950.pdf

Yunker, M. B., Macdonald, R. W., Vingarzan, R., Mitchell, R. H., Goyette, D. and Sylvestre, S.: 2002, 'PAHs in the Fraser River basin: A critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition' *Org. Geochem.* **33**, 489–515.


Zander M. 1983. Physical and chemical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. In: Bjorseth A (ed) Handbook of polycyclic aromatic hydrocarbons. Marcel Dekker, New York, p 1

<http://www.epa.gov/eogapti1/bces/module3/diameter/diameter.htm>

<https://www.google.co.th/maps/place>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
การเตรียมกระดาษกรอง การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละออง และสาร PAHs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก-1 การทำความสะอาดเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 Stage Cascade Impactor

- 1) ทำความสะอาดเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น ด้วยน้ำยาซักล้าง และฟองน้ำชนิดอ่อน เพื่อป้องกัน Cascade Impactor เป็นรอยขีดข่วน จากนั้น ล้างน้ำให้สะอาด
- 2) นำ Cascade Impactor และแผ่นเพลส ใส่ลงในเครื่องล้างความถี่สูง (Sonicator) เพื่อทำความสะอาดฝุ่นที่เกาะบริเวณรูที่คัดแยกฝุ่นของแต่ละ Stage
- 3) เติมน้ำกลั่น หรือน้ำกรอง เพื่อป้องกันคราบตะกรันติดบน Cascade Impactor และ ใส่น้ำยาซักล้างหรือน้ำยาล้างจาน ลงไปในเครื่องล้างความถี่สูง โดยให้น้ำกลั่นท่วมบริเวณ Cascade Impactor จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซักระวัง ให้นำเอา O-ring ออกจาก Cascade Impactor แต่ละ Stage เนื่องจากความร้อนจะทำให้ O-ring เสื่อมสภาพ
- 4) ล้าง Cascade Impactor ด้วยน้ำสะอาด และล้างด้วยน้ำกลั่นอีกรอบ
- 5) อบ Cascade Impactor ที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จนแห้ง

ภาคผนวก ก-2 การเตรียมกระดาษกรองด้วยวิธีมาตรฐานของ US. EPA, 1999^a และกรมควบคุมมลพิษ, 2546

งานวิจัยนี้ใช้กระดาษกรอง Quartz fiber filter มีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคฝุ่นละออง 98.5% สภาพพีเอชเป็นกลางความหนาแน่น 6.51 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทนต่อการกัดกร่อนของสภาพอากาศ และทนอุณหภูมิได้สูงสุด 900 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นเพื่อวิเคราะห์หาสารประกอบ PAHs

- 1) อบกระดาษกรอง Quartz fiber filter ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 81.0 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (US. EPA, 1999^a) เพื่อไล่สารปนเปื้อนออกให้หมด
- 2) นำกระดาษกรองที่ผ่านการอบในเตาเผา เก็บไว้ใน Desiccator Cabinet ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า $50\% \pm <5\%$ (หากความชื้นสัมพัทธ์สูงเกิน แก้ไขโดยการนำภาดซิลิกาเจลไปวางไว้ในตู้ทุกครั้ง จนค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ก่อนอบกระดาษกรองใน Desiccator Cabinet ให้ทำความสะอาดตู้ก่อนทุกครั้ง อุณหภูมิระหว่าง 15 – 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การชั่งน้ำหนักทำได้โดย
- 3) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง ก่อนชั่งเปิดเครื่องชั่งไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง ทำการสอบเทียบเครื่องชั่งก่อนชั่งน้ำหนัก การชั่งน้ำหนักทำโดยวางกระดาษกรองให้อยู่จุดกึ่งกลาง และรอให้ค่านิ่ง บันทึกค่า โดยทำการชั่งซ้ำรวมทั้งหมด 3 ครั้ง (ถ้าน้ำหนักไม่คงที่ให้ออบกระดาษกรองใน Desiccator Cabinet อีก 2-3 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักใหม่ จนน้ำหนักคงที่) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักที่อ่านได้ โดยความเบี่ยงเบน ต้องไม่เกิน ± 0.5 มิลลิกรัม
- 4) นำกระดาษกรองใส่ในถุงซิปลาสติก และเก็บไว้ใน Desiccator Cabinet อีก 2-3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ใน Desiccator Cabinet เพื่อรอนำไปเก็บตัวอย่างภาคสนาม

ภาคผนวก ก-3 การคำนวณความเข้มข้นฝุ่น

- 1) หาปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เก็บตัวอย่าง จากสมการที่ ก-1

$$V_a = (\bar{Q}_a)(t) \dots\dots\dots(ก-1)$$

เมื่อ

V_a = ปริมาตรอากาศทั้งหมดขณะการเก็บตัวอย่าง (m^3)

\bar{Q}_a = อัตราการไหลเฉลี่ยของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (m^3/min)

t = ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (min)

- 2) หาปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เก็บตัวอย่างที่สภาวะความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน ($25^\circ C$ 1 atm) จากสมการที่ ก-2 และ d-3

$$\left(\frac{P_{std}V_{std}}{T_{std}}\right) = \left(\frac{P_aV_a}{T_a}\right)\dots\dots\dots(ก-2)$$

$$V_{std} = \left(\frac{P_aV_a}{T_a}\right) \left(\frac{T_{std}}{P_{std}}\right)\dots\dots\dots(ก-3)$$

เมื่อ

P_{std} = ความกดอากาศที่สภาวะมาตรฐาน เท่ากับ 1013.250 kPa

P_a = ความกดอากาศเฉลี่ยของบรรยากาศขณะการเก็บตัวอย่าง (kPa)

T_{std} = อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน เท่ากับ 298 K

T_a = อุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ยขณะดำเนินการเก็บตัวอย่าง (K)

V_{std} = ปริมาตรตัวอย่างอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)

V_a = ปริมาตรอากาศทั้งหมดขณะการเก็บตัวอย่าง (m^3)

- 3) หาความเข้มข้นของฝุ่นแต่ละขนาดคัดแยกที่สภาวะมาตรฐาน จากสมการที่ ก-4

$$C = \left(\frac{m}{V_{std}}\right) \times 10^6 \dots\dots\dots(ก-4)$$

เมื่อ

C = ความเข้มข้นของฝุ่นที่สภาวะมาตรฐาน ($\mu g/m^3$)

m = น้ำหนักตัวอย่างฝุ่นละออง (g)

10^6 = การแปลงจากหน่วยจาก กรัม เป็น ไมโครกรัม

ตัวอย่างที่ ก-3.1 การคำนวณการเก็บตัวอย่างฝุ่นในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว อนุสถานการเรียนรู้ภูเขาวัดพระยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557

- 1) หาปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เก็บตัวอย่าง

$$V_a = (\bar{Q}_a)(t)$$

$$\bar{Q}_a = 28.309 \text{ l/min}$$

$$t = 7,200 \text{ min}$$

แทนค่า

$$V_a = 28.309 \frac{\text{l}}{\text{min}} \times 7,200 \text{ min} \times \frac{\text{m}^3}{1,000 \text{ l}}$$

$$V_a = 203.8248 \text{ m}^3$$

- 2) หาปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เก็บตัวอย่างที่สภาวะความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน จากสมการที่ ก-2

$$\left(\frac{P_{std}V_{std}}{T_{std}}\right) = \left(\frac{P_aV_a}{T_a}\right) \dots\dots\dots(\text{ก-2})$$

$$V_{std} = \left(\frac{P_aV_a}{T_a}\right) \left(\frac{T_{std}}{P_{std}}\right) \dots\dots\dots(\text{ก-3})$$

$$P_{std} = 1,013.250 \text{ mbar}$$

$$P_a = 1,013.11 \text{ mbar}$$

$$T_{std} = 298 \text{ K}$$

$$T_a = 297.4 \text{ K}$$

$$V_a = 203.8248 \text{ m}^3$$

แทนค่า

$$V_{std} = \left(\frac{1013.11 \text{ kPa} \times 203.8248 \text{ m}^3}{297.4 \text{ K}}\right) \left(\frac{298 \text{ K}}{11013.25 \text{ kPa}}\right)$$

$$V_{std} = 204.2421 \text{ m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) หาความเข้มข้นของฝุ่นแต่ละขนาดคัตแยกที่สภาวะมาตรฐาน จากสมการที่ ก-4

$$C = \left(\frac{m}{V_{std}} \right) \times 10^6$$

ที่ stage 0 แทนค่า

$$C = \left(\frac{0.00157 \text{ g}}{204.2421 \text{ m}^3} \right) \times 10^6 \mu\text{g}$$

$$C = 7.723 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

ภาคผนวก ก-4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสม 16 PAHs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

วิธีการคำนวณความเข้มข้นของ PAHs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ในตัวอย่างฝุ่นละออง จากกราฟสารละลายมาตรฐาน PAHs ดังนี้ ฉีดสารละลายมาตรฐานผสม PAHs จำนวน 16 ชนิด ปริมาตร 1 μl ที่มีความเข้มข้น 0.0025, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 และ 5.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ เนื่องจากสารละลายมาตรฐานผสม 16 PAHs แต่ละชนิดมีความเข้มข้นไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น ขวด stock 16 PAHs คือ NAP มีความเข้มข้น 1,000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ และ BaA มีความเข้มข้น 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$ เป็นต้น ตัวอย่างวิธีคำนวณ จาก stock 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ เตรียม $C_2 = 1.0 \mu\text{g}/\text{ml}$ และ $V_2 = 1,000 \mu\text{l}$

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$10 \mu\text{g}/\text{ml} \times V_1 = 1.0 \mu\text{g}/\text{ml} \times 1,000 \mu\text{l}$$

$$V_1 = 100 \mu\text{l}$$

ปิเปตสารละลายจาก stock 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ จำนวน 100 μl ปรับให้ปริมาตรครบ 1,000 μl ด้วย Acettonitrile

หมายเหตุ : การคำนวณที่ความเข้มข้นอื่นๆ ทำเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น โดยใช้ $C_1 V_1 = C_2 V_2$

การหาความเข้มข้นของสาร PAHs โดยการพล็อตพื้นที่ใต้กราฟ ของ PAH และ ความเข้มข้นของ PAHs $\mu\text{g}/\text{ml}$ ดังสมการที่ ก-5

$$y = mx \pm c \dots\dots\dots(\text{ก-5})$$

เมื่อ

y = พื้นที่ใต้กราฟ

x = ความเข้มข้นของ PAHs ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

m = ความชันของ linear regression

c = จุดตัดบนแกนของ linear regression

1) การคำนวณความเข้มข้นของตัวอย่าง PAHs ($\mu\text{g}/\text{ml}$) ดังสมการที่ ก-6

$$x = \frac{y \pm c}{m} \dots\dots\dots(\text{ก-6})$$

เมื่อ

x = ความเข้มข้นของ PAHs ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) การคำนวณความเข้มข้นของ PAHs ในหน่วย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังสมการที่ ก-7

$$C_{std} = \frac{C}{V_{std}} \times V_{final} \dots \dots \dots (ก-7)$$

เมื่อ

C_{std} = ความเข้มข้นของ PAHs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ที่สภาวะมาตรฐาน

C = ความเข้มข้นของ PAHs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ที่วิเคราะห์ได้

V_{std} = ปริมาตรตัวอย่างอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)

V_{final} = ปริมาตรตัวอย่างสารละลายสุดท้าย (ml) เท่ากับ 1 ml

- 3) การคำนวณหาความเข้มข้นของ PAHs ในหน่วย ($\mu\text{g}/\text{mg PM}$) ดังสมการที่ ก-8

$$C_m = \frac{C}{W_{PM}} \times V_{final} \dots \dots \dots (ก-8)$$

เมื่อ

C_m = ความเข้มข้นของ PAHs ที่สภาวะมาตรฐาน ในหน่วย w/w ($\mu\text{g}/\text{mg PM}$)

C = ความเข้มข้นของ PAHs ($\mu\text{g}/\text{ml}$) ที่วิเคราะห์ได้

W_{PM} = น้ำหนักของฝุ่น (mg)

V_{final} = ปริมาตรตัวอย่างสารละลายสุดท้าย (ml) เท่ากับ 1 ml

การคำนวณความเข้มข้นของตัวอย่าง Naphthalene ที่ stage 0

Weight PM (mg) Stage 0	Peak area (y)	Linear regression	C	m
	1,958	$y = 108795x + 103.55$	103.55	108795

- 1) คำนวณความเข้มข้นของตัวอย่าง Naphthalene ($\mu\text{g}/\text{ml}$) แทนค่า ดังสมการที่ ก-6

$$\begin{aligned} \text{Naphthalene } (\mu\text{g}/\text{ml}) &= (1,958 - 103.55)/108795 \\ &= 0.01705 \mu\text{g}/\text{ml} \\ &= 0.01705 \mu\text{g}/\text{ml} \times 1,000 \text{ (dilution)} \\ &= 17.05 \mu\text{g}/\text{ml} \end{aligned}$$

- 2) คำนวณความเข้มข้นของ PAHs ในหน่วย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) แทนค่าในสมการที่ ก-7

$$\begin{aligned} \text{Naphthalene } (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= (17.05 \mu\text{g}/\text{ml} \times 1.0 \text{ ml}) / 204.2421 \text{ m}^3 \\ &= 0.0834566 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times (1,000 \text{ ng} / 1 \mu\text{g}) \\ &= 83.4566 \text{ ng}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

*หมายเหตุ : ความเข้มข้นของตัวอย่างสารประกอบ PAHs ชนิดอื่น คำนวณเช่นเดียวกันตามที่กล่าวมาข้างต้น

ภาคผนวก ก-5 การคำนวณการกระจายตัวของฝุ่นละออง (Particle Size Distribution)

การกระจายตัวของฝุ่นละอองจาก 8 Stage Cascade Impactor แสดงลักษณะความถี่สะสม (Cumulative Frequency) คำนวณจากการแบ่งชั้น การนับจำนวนขนาดของฝุ่น นำค่าที่ได้มาหาผลรวมแต่ละชั้นแสดงข้อมูลเป็นกราฟลอการิทึม ดังสมการที่ ก-9

$$SD = \frac{dc}{d \log dp} \dots\dots\dots(ก-9)$$

เมื่อ

SD = การกระจายตัวของฝุ่นละออง

dc = ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m³) แต่ละชนิด ในแต่ละชั้นของอนุภาคฝุ่น

d log dp = log ขนาดชั้นบน - log ขนาดชั้นล่าง

ตัวอย่างการคำนวณการกระจายตัวของฝุ่นละออง

1) Stage 0 ขนาดของอนุภาคฝุ่น 5.8-9.0 ไมครอน

$$SD = \frac{dc}{d \log dp}$$

เมื่อ

dc = ความเข้มข้นของ Naphthalene ที่ Stage 0 = 92.8174 ng/m³

d log dp = log ช่วงขนาดชั้นบน - log ช่วงขนาดชั้นล่าง

$$= \log 9.0 - \log 5.8$$

$$= 0.9542 - 0.7634$$


$$= 0.1908$$

dp = (9.0 - 5.8)/2 = 7.4 μm

$$SD = \frac{92.8174}{0.1908}$$

Particle Size Distribution (dc/d log dp) = 486.4843 ng m⁻³μm⁻¹

หมายเหตุ: Stage 1-7 ทำตามวิธีเดียวกันกับข้างต้น และนำค่า dc/d log dp ที่ได้ไปพล็อตกราฟเป็นแกน y และ dp เป็น แกน x แสดงลอกริทึม

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sun is a central figure, possibly a deity or a royal figure, seated on a throne. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text within the seal includes "มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" (Phra Chomklao Chao Khan Thara Ladkrabang).

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงน้ำหนักของฝุ่นละออง อัตราการไหลของป้อนเก็บอากาศ
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูล Hotspot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1.1 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างระหว่าง เก็บตัวอย่างวันที่ 18 -23 กุมภาพันธ์ 2557

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาที)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	
1	28.381	28.275	28.309±0.027
2	28.327	28.259	
3	28.290	28.302	
4	28.310	28.302	
5	28.381	28.311	
6	28.354	28.240	
7	28.354	28.259	
8	28.290	28.311	
9	28.311	28.327	
10	28.327	28.270	
ค่าเฉลี่ย	28.333	28.286	
SD		0.027	

ตารางที่ ข-1.2 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาที)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	
1	28.458	28.310	28.355±0.039
2	28.377	28.345	
3	28.430	28.345	
4	28.430	28.285	
5	28.377	28.211	
6	28.434	28.310	
7	28.434	28.310	
8	28.310	28.254	
9	28.429	28.311	
10	28.429	28.311	
ค่าเฉลี่ย	28.411	28.299	
SD		0.039	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1.3 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาทีก่อนเก็บตัวอย่าง)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาทีก่อนเก็บตัวอย่าง)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	
1	28.353	27.282	27.833±0.042
2	28.303	27.305	
3	28.228	27.351	
4	28.353	27.328	
5	28.353	27.374	
6	28.311	27.374	
7	28.360	27.351	
8	28.228	27.351	
9	28.303	27.420	
10	28.311	27.420	
ค่าเฉลี่ย	28.310	27.356	
SD		0.042	

ตารางที่ ข-1.4 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาทีก่อนเก็บตัวอย่าง)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาทีก่อนเก็บตัวอย่าง)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	
1	28.361	28.175	28.258±0.043
2	28.310	28.159	
3	28.284	28.240	
4	28.361	28.128	
5	28.344	28.214	
6	28.303	28.240	
7	28.303	28.259	
8	28.310	28.159	
9	28.311	28.240	
10	28.284	28.175	
ค่าเฉลี่ย	28.317	28.199	
SD		0.043	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1.5 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง วันที่ 3-8 เมษายน 2557

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาทึ)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาทึ)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	
1	28.552	28.335	28.319±0.037
2	28.303	28.310	
3	28.303	28.286	
4	28.328	28.261	
5	28.377	28.261	
6	28.303	28.310	
7	28.327	28.286	
8	28.353	28.227	
9	28.335	28.360	
10	28.256	28.310	
ค่าเฉลี่ย	28.344	28.295	
SD		0.037	

ตารางที่ ข-1.6 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง วันที่ 6-11 ธันวาคม 2556

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาทึ)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาทึ)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	
1	28.353	27.282	27.833±0.042
2	28.303	27.305	
3	28.228	27.351	
4	28.353	27.328	
5	28.353	27.374	
6	28.311	27.374	
7	28.360	27.351	
8	28.228	27.351	
9	28.303	27.420	
10	28.311	27.420	
ค่าเฉลี่ย	28.310	27.356	
SD		0.042	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1.7 อัตราการไหลของบีมก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาที)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	
1	28.342	28.286	28.331±0.019
2	28.421	28.310	
3	28.365	28.275	
4	28.382	28.332	
5	28.375	28.310	
6	28.321	28.286	
7	28.310	28.329	
8	28.377	28.304	
9	28.348	28.304	
10	28.370	28.275	
ค่าเฉลี่ย	28.361	28.301	
SD		0.019	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
18-ก.พ.-57	10:00 น.	27	56	1013.63	SSW	190	5.556
	13:00 น.	30.6	42	1010.48	SSW	190	20.372
	16:00 น.	31.5	33	1007.28	-	-	-
	19:00 น.	26.9	57	1008.53	-	-	-
	22:00 น.	22.5	66	1010.89	-	-	-
19-ก.พ.-57	1:00 น.	23.5	62	1010.65	-	-	-
	4:00 น.	21.6	73	1010.91	-	-	-
	7:00 น.	19.5	81	1012.74	-	-	-
	10:00 น.	25.9	56	1013.42	-	-	-
	13:00 น.	29.7	37	1010.31	SSW	220	9.26
20-ก.พ.-57	16:00 น.	30.7	34	1007.95	WSW	230	9.26
	19:00 น.	26.2	61	1009.85	-	-	-
	22:00 น.	21.6	73	1012.67	-	-	-
	1:00 น.	20.4	80	1013.66	-	-	-
	4:00 น.	19	76	1014.58	-	-	-
20-ก.พ.-57	7:00 น.	18	75	1016.72	-	-	-
	10:00 น.	20.7	59	1018.18	WNW	310	5.556
	13:00 น.	24.5	50	1015.28	SSW	200	9.26
	16:00 น.	25.6	49	1012.45	WSW	250	5.556
	19:00 น.	24.3	58	1013.28	ESE	120	7.408
22:00 น.	21.9	62	1016.12	SSE	170	7.408	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.1 ข้อมูลอุณหภูมิตามวันระหว่างวันที่ 18 -23 กุมภาพันธ์ 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
21-ก.พ.-57	1:00 น.	21.2	65	1015.91	SSE	160	7.408
	4:00 น.	20.4	69	1015.46	-	-	-
	7:00 น.	18.5	76	1016.87	-	-	-
	10:00 น.	25	54	1017.05	ESE	130	7.408
	13:00 น.	29	44	1013.7	SSE	150	7.408
	16:00 น.	31	36	1010.17	-	-	-
22-ก.พ.-57	19:00 น.	26.9	53	1010.7	-	-	-
	22:00 น.	23.2	64	1013.7	-	-	-
	1:00 น.	23	66	1013.76	ESE	120	9.26
	4:00 น.	21.3	75	1013.3	-	-	-
	7:00 น.	19	84	1015.89	-	-	-
	10:00 น.	23.8	69	1016.97	-	-	-
23-ก.พ.-57	13:00 น.	30.5	34	1013.03	W	270	W/5
	16:00 น.	31.8	30	1010.00	SSE	150	5.556
	19:00 น.	27	56	1010.45	-	-	-
	22:00 น.	23.4	75	1013.77	-	-	-
	1:00 น.	23	86	1013.53	-	-	-
	4:00 น.	21.3	91	1013.08	-	-	-
เฉลี่ย	7:00 น.	19	92	1015.15	-	-	-
	10:00 น.	23.8	79	1016.29	-	-	-
		24.26±0.98	62.60±4.43	1012.92±0.30			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่าง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
24-ก.พ.-57	10:00 น.	24	67	1015.82	E	90	7.408
	13:00 น.	30.7	38	1011.96	SSW	200	7.408
	16:00 น.	33.9	27	1008.12	-	-	-
	19:00 น.	27.3	54	1009.95	-	-	-
	22:00 น.	22.2	64	1013.23	-	-	-
25-ก.พ.-57	1:00 น.	22.5	70	1013.26	-	-	-
	4:00 น.	19.4	82	1012.78	-	-	-
	7:00 น.	17.1	90	1015.43	-	-	-
	10:00 น.	24.5	66	1015.73	-	-	-
	13:00 น.	31.8	32	1011.94	-	-	-
	16:00 น.	33.3	46	1008.27	-	-	-
	19:00 น.	27	56	1010.5	-	-	-
26-ก.พ.-57	22:00 น.	21.5	75	1012.79	-	-	-
	1:00 น.	18.6	80	1013.16	-	-	-
	4:00 น.	16.9	87	1012.46	-	-	-
	7:00 น.	16.1	89	1014.31	-	-	-
	10:00 น.	23.5	63	1015.09	-	-	-
	13:00 น.	30	41	1011.24	-	-	-
	16:00 น.	32.8	35	1008.38	-	-	-
19:00 น.	26.5	60	1009.79	-	-	-	
22:00 น.	20.1	76	1011.87	-	-	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
27-ก.พ.-57	1:00 น.	19.3	78	1012.69	-	-	-
	4:00 น.	18.2	87	1012	-	-	-
	7:00 น.	16.6	91	1013.93	-	-	-
	10:00 น.	23.6	66	1015.15	-	-	-
	13:00 น.	30.8	31	1011.32	-	-	-
	16:00 น.	34	22	1006.84	SSW	190	9.26
	19:00 น.	27.2	45	1009.31	-	-	-
28-ก.พ.-57	22:00 น.	20.2	75	1012.24	-	-	-
	1:00 น.	19.1	75	1012.69	-	-	-
	4:00 น.	17.4	84	1012.2	-	-	-
	7:00 น.	16.4	90	1013.93	-	-	-
	10:00 น.	23.9	67	1015.15	-	-	-
	13:00 น.	31	36	1011.32	-	-	-
	16:00 น.	33.5	29	1006.84	-	-	-
1-มี.ค.-57	19:00 น.	27.8	56	1009.31	-	-	-
	22:00 น.	22.8	76	1012.24	-	-	-
	1:00 น.	20.4	75	1012.02	-	-	-
	4:00 น.	18.5	84	1011.43	-	-	-
	7:00 น.	16.5	30	1013.29	-	-	-
	10:00 น.	24	67	1014.04	-	-	-
	เฉลี่ย		24.08±0.26	65.13±2.85	1011.75±0.20		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่าง วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
11-มี.ค.-57	10:00 น.	28.3	66	1014.44	SSE	140	5.556
	13:00 น.	32.9	39	1010.63	SSW	200	5.556
	16:00 น.	34.6	30	1007.3	SSE	170	7.408
	19:00 น.	30	47	1008.39	-	-	-
	22:00 น.	29	52	1010.93	SSE	140	11.112
	1:00 น.	28	45	1009.6	S	180	5.556
12-มี.ค.-57	4:00 น.	23	74	1010.09	-	-	-
	7:00 น.	20	87	1012.5	-	-	-
	10:00 น.	27.2	56	1013.43	-	-	-
	13:00 น.	34	25	1009.73	SSW	220	5.556
	16:00 น.	36	19	1005.23	SSW	200	9.26
	19:00 น.	28.8	36	1007.03	-	-	-
13-มี.ค.-57	22:00 น.	23	56	1010.08	-	-	-
	1:00 น.	20.7	72	1010.52	-	-	-
	4:00 น.	19.4	84	1010.23	-	-	-
	7:00 น.	17	87	1012.14	-	-	-
	10:00 น.	25.2	57	1012.81	-	-	-
	13:00 น.	32.1	30	1009.71	-	-	-
16:00 น.	16:00 น.	35.8	52	1005.65	-	-	-
	19:00 น.	29.6	41	1007.17	-	-	-
	22:00 น.	24.5	68	1010.64	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่าง วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
14-มี.ค.-57	1:00 น.	22.8	84	1011.48	-	-	-
	4:00 น.	23	87	1010.44	-	-	-
	7:00 น.	21.2	90	1012.85	-	-	-
	10:00 น.	25.5	60	1014.26	-	-	-
	13:00 น.	33	38	1010.27	SSW	200	9.26
	16:00 น.	34	26	1006.44	-	-	-
15-มี.ค.-57	19:00 น.	31.2	51	1008	-	-	-
	22:00 น.	28.9	64	1011.25	-	-	-
	1:00 น.	22.8	71	1011.65	-	-	-
	4:00 น.	23	74	1011.03	-	-	-
	7:00 น.	21.2	82	1013.39	-	-	-
	10:00 น.	25.5	65	1014.79	-	-	-
16-มี.ค.-57	13:00 น.	33	47	1011.19	-	-	-
	16:00 น.	34	43	1007.66	-	-	-
	19:00 น.	31.2	53	1088.64	-	-	-
	22:00 น.	28.9	58	1012.38	-	-	-
	1:00 น.	26.6	72	1012.71	-	-	-
	4:00 น.	25.2	80	1011.98	-	-	-
เฉลี่ย	7:00 น.	23.1	86	1014.46	-	-	-
	10:00 น.	29	68	1014.96	-	-	-
		27.61±1.09	58.85±3.93	1010.65±0.16			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยากระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
17-มี.ค.-57	10:00 น.	29	61	1013.76	-	-	-
	13:00 น.	32.2	38	1010.9	-	-	-
	16:00 น.	37.2	30	1008.1	-	-	-
	19:00 น.	27.5	60	1009.17	-	-	-
	22:00 น.	26.2	79	1012.08	-	-	-
18-มี.ค.-57	1:00 น.	25.5	80	1012.27	-	-	-
	4:00 น.	25	88	1011.45	ESE	110	9.26
	7:00 น.	24	71	1013.04	-	-	-
	10:00 น.	30.2	62	1013.63	-	-	-
	13:00 น.	35.6	36	1010.48	-	-	-
	16:00 น.	37.2	32	1007.28	-	-	-
	19:00 น.	31.3	42	1008.53	-	-	-
19-มี.ค.-57	22:00 น.	25.3	60	1010.89	-	-	-
	1:00 น.	23.2	65	1010.65	-	-	-
	4:00 น.	22.2	72	1010.91	-	-	-
	7:00 น.	20.6	85	1012.74	-	-	-
	10:00 น.	28.8	53	1013.42	-	-	-
	13:00 น.	36.1	27	1010.31	S	180	7.408
	16:00 น.	37.7	27	1007.95	-	-	-
19:00 น.	32.8	39	1009.85	-	-	-	
22:00 น.	27.3	48	1012.67	-	-	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
20-มี.ค.-57	1:00 น.	22.6	58	1013.66	-	-	-
	4:00 น.	23.2	65	1014.58	-	-	-
	7:00 น.	19.8	78	1016.72	-	-	-
	10:00 น.	28	51	1018.18	-	-	-
	13:00 น.	35.7	19	1015.28	SSW	210	5.556
	16:00 น.	37	17	1012.45	S	180	5.556
21-มี.ค.-57	19:00 น.	28.5	45	1013.28	-	-	-
	22:00 น.	22.8	59	1016.12	-	-	-
	1:00 น.	20.3	70	1015.91	-	-	-
	4:00 น.	19	79	1015.46	-	-	-
	7:00 น.	18.2	85	1016.87	-	-	-
	10:00 น.	24.3	59	1017.05	-	-	-
22-มี.ค.-57	13:00 น.	29.9	41	1013.7	WNW	300	5.556
	16:00 น.	31.7	41	1010.17	WNW	310	3.704
	19:00 น.	27.5	60	1010.7	-	-	-
	22:00 น.	23	76	1013.7	-	-	-
	1:00 น.	21.5	82	1013.76	-	-	-
	4:00 น.	25.2	68	1013.3	SSE	140	5.556
เฉลี่ย	7:00 น.	25	76	1015.89	ESE	100	7.408
	10:00 น.	28.8	55	1016.97	ENE	70	7.408
		27.32±0.88	59.04±2.37	1008.71±0.28			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.5 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำวันที่ 3-8 เมษายน 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
3-เม.ย.-57	10:00 น.	26.5	59	1012.66	-	-	-
	13:00 น.	32	48	1008.96	-	-	-
	16:00 น.	34.6	39	1005.9	WSW	240	5.556
	19:00 น.	30	60	1008.06	-	-	-
	22:00 น.	28.3	49	1011.19	-	-	-
4-เม.ย.-57	1:00 น.	25	68	1011.71	SSE	150	3.704
	4:00 น.	24.8	72	1010.78	SSE	160	5.556
	7:00 น.	24.8	68	1013.25	SSE	140	3.704
	10:00 น.	28.8	56	1014.37	SSE	150	7.408
	13:00 น.	32.7	49	1010.7	SSE	140	9.26
	16:00 น.	33.2	45	1007.28	SSE	140	9.26
	19:00 น.	25.2	55	1008.96	S	180	12.964
5-เม.ย.-57	22:00 น.	23	78	1012.14	-	-	-
	1:00 น.	21.6	86	1012.51	-	-	-
	4:00 น.	20.8	93	1011.51	-	-	-
	7:00 น.	20.4	94	1013.52	NNE	20	5.556
	10:00 น.	24.7	67	1013.11	NNE	20	3.704
	13:00 น.	29	55	1009.7	SSW	200	9.26
	16:00 น.	32.5	47	1006.74	S	180	9.26
19:00 น.	28.8	62	1008.09	ESE	110	3.704	
22:00 น.	22.3	80	1011.03	-	-	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.5 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำวันที่ 3-8 เมษายน 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
6-เม.ย.-57	1:00 น.	31	85	1010.44	-	-	-
	4:00 น.	19.8	87	1010.13	-	-	-
	7:00 น.	20	90	1011.89	-	-	-
	10:00 น.	26	69	1012.37	SSW	210	5.556
	13:00 น.	31.2	47	1008.26	WSW	260	7.408
	16:00 น.	35	32	1005.11	SSE	140	9.26
	19:00 น.	29.5	61	1007.54	WNW	290	5.556
	22:00 น.	24	78	1011.06	E	90	7.408
7-เม.ย.-57	1:00 น.	21.6	86	1010.47	-	-	-
	4:00 น.	19.8	91	1010.22	-	-	-
	7:00 น.	19	90	1013.3	-	-	-
	10:00 น.	25.2	71	1013.48	W	270	5.556
	13:00 น.	29.6	48	1009.72	SSE	170	9.26
	16:00 น.	33.4	40	1006	-	-	-
	19:00 น.	30.9	57	1008.04	-	-	-
	22:00 น.	25.2	77	1011.54	-	-	-
8-เม.ย.-57	1:00 น.	25.6	69	1011.33	-	-	-
	4:00 น.	24	79	1010.57	-	-	-
	7:00 น.	22.2	87	1013.4	-	-	-
	10:00 น.	28.8	60	1014.25	-	-	-
เฉลี่ย		26.60±0.62	65.63±3.25	1009.29±3.25	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.6 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำวันระหว่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
6-ธ.ค.-56	10:00 น.	20.2	81	1015.8	-	-	-
	13:00 น.	26	58	1011.9	ESE	130	5.556
	16:00 น.	27.3	48	1009.94	-	-	-
	19:00 น.	20.8	83	1012.67	-	-	-
	22:00 น.	17.8	92	1014.2	-	-	-
7-ธ.ค.-56	1:00 น.	16.8	94	1013.88	-	-	-
	4:00 น.	16	95	1013.69	-	-	-
	7:00 น.	16	98	1015.78	-	-	-
	10:00 น.	21.5	76	1016.14	WNW	330	5.556
	13:00 น.	25	61	1012.72	-	-	-
	16:00 น.	27.4	54	1010.79	-	-	-
	19:00 น.	21	82	1013.52	-	-	-
8-ธ.ค.-56	22:00 น.	18.8	81	1015.08	-	-	-
	1:00 น.	17.5	92	1015.29	-	-	-
	4:00 น.	17	95	1014.13	-	-	-
	7:00 น.	16.8	97	1015.27	-	-	-
	10:00 น.	21	69	1015.48	-	-	-
8-ธ.ค.-56	13:00 น.	25.1	53	1011.92	-	-	-
	16:00 น.	27.6	50	1008.91	-	-	-
	19:00 น.	20.7	84	1010.62	-	-	-
	22:00 น.	18	93	1012.63	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.6 ข้อมูลอุณหภูมิตามระยะเวลาของวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
9-ธ.ค.-56	1:00 น.	16.6	96	1013.13	-	-	-
	4:00 น.	16.5	96	1012.32	-	-	-
	7:00 น.	16	96	1013.21	-	-	-
	10:00 น.	20	87	1014.09	-	-	-
	13:00 น.	26.1	57	1010.73	SSW	190	7.408
	16:00 น.	28	51	1008.98	-	-	-
10-ธ.ค.-56	19:00 น.	22.2	85	1011.7	-	-	-
	22:00 น.	19.7	93	1013.49	-	-	-
	1:00 น.	18.7	94	1013.02	-	-	-
	4:00 น.	18	96	1011.17	-	-	-
	7:00 น.	17.5	96	1011.66	0	-	-
	10:00 น.	22.4	79	1012.62	-	-	-
11-ธ.ค.-56	13:00 น.	27	57	1008.74	-	-	-
	16:00 น.	27.4	56	1007.46	-	-	-
	19:00 น.	23	82	1009.71	-	-	-
	22:00 น.	22.2	82	1011.24	-	-	-
	1:00 น.	20.9	93	1011.18	-	-	-
	4:00 น.	20.3	93	1010.4	-	-	-
เฉลี่ย	7:00 น.	20	95	1011.59	-	-	-
	10:00 น.	22.2	89	1013.47	-	-	-
		21.03±3.71	80.69±16.10	1012.47±2.09			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.7 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาาระหว่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
17-มิ.ย.-57	10:00 น.	30	68	1002.88	ESE	130	7.408
	13:00 น.	27.7	76	1003.12	ESE	110	12.964
	16:00 น.	27	80	1001.7	-	-	-
	19:00 น.	28	83	1001.27	-	-	-
	22:00 น.	27	84	1003.92	-	-	-
18-มิ.ย.-57	1:00 น.	26	86	1003.65	-	-	-
	4:00 น.	25.5	88	1002.9	-	-	-
	7:00 น.	25.2	92	1004.28	ESE	130	9.26
	10:00 น.	27.8	79	1005.29	-	-	-
	13:00 น.	28	79	1004.1	SSE	150	9.26
	16:00 น.	30	68	1001.65	SSW	190	14.816
	19:00 น.	29.1	71	1001.82	-	-	-
19-มิ.ย.-57	22:00 น.	27.1	84	1004.02	SSE	140	18.52
	1:00 น.	25.2	84	1004.55	SSE	140	14.816
	4:00 น.	25	84	1005.36	-	-	-
	7:00 น.	24.8	87	1005.73	SSW	210	14.816
	10:00 น.	24.6	79	1005.94	ESE	130	18.52
	13:00 น.	29.1	72	1004.4	ESE	130	11.112
	16:00 น.	30.2	64	1002.07	SSW	200	14.816
19:00 น.	27.2	84	1003.09	-	-	-	
22:00 น.	26.5	88	1004.96	-	-	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.7 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557 จังหวัดพะเยา ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม		ความเร็วลม (km/h)
					ทิศ	องศา	
20-มิ.ย.-57	1:00 น.	25.6	83	1004.35	ESE	120	14.816
	4:00 น.	25	88	1004.48	-	-	-
	7:00 น.	25.1	95	1006.08	-	-	-
	10:00 น.	30	65	1005.58	SSW	210	11.112
	13:00 น.	32	56	1004.09	SSE	170	9.26
	16:00 น.	32.8	52	1001.88	S	180	9.26
	19:00 น.	29.2	75	1003.13	-	-	-
21-มิ.ย.-57	22:00 น.	27	79	1005.69	-	-	-
	1:00 น.	25.5	81	1006.41	ESE	120	5.556
	4:00 น.	25.3	82	1005.8	ESE	100	5.556
	7:00 น.	25.5	89	1006.95	-	-	-
	10:00 น.	30.5	65	1007.45	SSE	150	5.556
	13:00 น.	32.2	52	1005.81	SSE	140	5.556
	16:00 น.	33.2	44	1003.3	S	180	5.556
22-มิ.ย.-57	19:00 น.	31.4	61	1003.21	SSW	200	5.556
	22:00 น.	27.8	73	1006.83	ESE	130	5.556
	1:00 น.	27.4	74	1006.58	ESE	110	5.556
	4:00 น.	25.5	85	1005.96	SSE	150	5.556
	7:00 น.	25.7	83	1006.63	-	-	-
	10:00 น.	29.3	68	1006.98	-	-	-
	เฉลี่ย		27.95±0.77	75.83±3.71	1004.29±0.37		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.1 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และ ลำปาง ได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 18 -23 กุมภาพันธ์ 2557

วันที่	เวลา	จำนวนจุด Hotspot (จุด)				
		พะเยา	เชียงราย	น่าน	แพร่	ลำปาง
18 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	2
	13.30 น.	0	2	0	0	0
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	0	2	0	0	2
19 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	1	2	0	1
	13.30 น.	0	5	2	1	8
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	0	6	4	1	9
20 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	0
	13.30 น.	0	0	0	0	0
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	0	0	0	0	0
21 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	1	1	0
	13.30 น.	8	2	19	15	19
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	8	2	20	16	19
22 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	3	2	0	0	2
	13.30 น.	0	0	0	0	2
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	3	2	0	0	4
23 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	0
	13.30 น.	2	2	8	5	7
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	2	2	8	5	7
รวม		13	14	32	22	41

แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.th/forestfire/hotspot/hotspotmap_2557.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.2 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และ ลำปาง ได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557

วันที่	เวลา	จำนวนจุด Hotspot (จุด)				
		พะเยา	เชียงราย	น่าน	แพร่	ลำปาง
24 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	1	0	0	0	0
	10.30 น.	1	0	4	3	4
	13.30 น.	0	2	3	0	4
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	2	2	7	3	8
25 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	2	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	0
	13.30 น.	2	0	6	0	6
	22.30 น.	0	0	1	0	0
	รวม	4	0	7	0	6
26 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	1	0	2	0	5
	13.30 น.	1	3	11	2	22
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	2	3	13	2	27
27 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	0
	13.30 น.	0	1	2	0	1
	22.30 น.	2	0	3	0	1
	รวม	2	1	5	0	2
28 กุมภาพันธ์ 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	0
	13.30 น.	5	8	10	18	13
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	5	8	10	18	13
1 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	1	0	0	0
	13.30 น.	0	0	0	0	0
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	0	1	0	0	0
รวม		15	15	42	23	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.3 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และ ลำปาง ได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557

วันที่	เวลา	จำนวนจุด Hotspot (จุด)				
		พะเยา	เชียงราย	น่าน	แพร่	ลำปาง
11 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	1	0	0	0
	13.30 น.	7	10	15	7	20
	22.30 น.	3	1	0	0	0
	รวม	10	12	15	7	20
12 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	8	7	3	0	1
	13.30 น.	4	12	14	6	19
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	12	19	17	6	20
13 มีนาคม 2557	1.30 น.	5	1	1	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	0
	13.30 น.	5	12	12	8	8
	22.30 น.	13	5	2	6	7
	รวม	23	18	15	14	15
14 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	0	1	0	0
	10.30 น.	3	12	10	8	6
	13.30 น.	12	26	17	9	56
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	15	38	28	17	62
15 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	0	0	2	1
	10.30 น.	0	0	1	0	0
	13.30 น.	1	1	3	0	0
	22.30 น.	2	3	2	0	0
	รวม	3	4	6	2	1
16 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	2	1	1	0	6
	13.30 น.	14	28	20	8	59
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	16	29	21	8	65
รวม		79	120	102	54	183

แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.th/forestfire/hotspot/hotspotmap_2557.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.4 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และ ลำปาง ได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557

วันที่	เวลา	จำนวนจุด Hotspot (จุด)				
		พะเยา	เชียงราย	น่าน	แพร่	ลำปาง
17 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	0	2	0	1
	10.30 น.	0	5	0	0	8
	13.30 น.	0	0	0	0	0
	22.30 น.	0	2	0	4	0
	รวม	0	7	2	4	9
18 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	1	0	0	0
	13.30 น.	18	39	69	11	35
	22.30 น.	3	1	1	0	0
	รวม	21	41	70	11	35
19 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	3	1	0	0
	10.30 น.	3	20	15	1	11
	13.30 น.	3	1	24	5	11
	22.30 น.	0	0	4	0	0
	รวม	6	24	44	6	22
20 มีนาคม 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	0
	13.30 น.	9	23	66	8	14
	22.30 น.	7	2	7	0	2
	รวม	16	25	73	8	16
21 มีนาคม 2557	1.30 น.	1	0	2	0	0
	10.30 น.	6	15	33	7	9
	13.30 น.	7	20	46	7	24
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	14	35	81	14	33
22 มีนาคม 2557	1.30 น.	1	2	0	1	0
	10.30 น.	0	2	0	0	0
	13.30 น.	0	4	5	0	4
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	1	8	5	1	4
รวม		58	140	275	44	119

แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.th/forestfire/hotspot/hotspotmap_2557.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3.5 ข้อมูล Hotspot ของจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ พะเยา, เชียงราย, น่าน, แพร่ และ ลำปาง ได้ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557

วันที่	เวลา	จำนวนจุด Hotspot (จุด)				
		พะเยา	เชียงราย	น่าน	แพร่	ลำปาง
3 เมษายน 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	5	3	1	0
	13.30 น.	11	44	68	11	13
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	11	49	71	12	13
4 เมษายน 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	1	5	3	0	0
	13.30 น.	0	0	2	0	0
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	1	5	5	0	0
5 เมษายน 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	0
	13.30 น.	0	2	0	1	1
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	0	2	0	1	1
6 เมษายน 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	1	1	2	1
	13.30 น.	0	1	1	1	0
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	0	2	2	3	1
7 เมษายน 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	0	0	0	0	0
	13.30 น.	0	1	2	0	0
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	0	1	2	0	0
8 เมษายน 2557	1.30 น.	0	0	0	0	0
	10.30 น.	2	0	1	2	0
	13.30 น.	4	6	13	5	6
	22.30 น.	0	0	0	0	0
	รวม	6	6	14	7	6
รวม		18	65	94	23	21

แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.th/forestfire/hotspot/hotspotmap_2557.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.1 น้ำหนักฝุ่นและองศาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้ภูเก็วพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 18 - 23 กุมภาพันธ์ 2557

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดากกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @ 120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 0	9.0-5.8	1	0.38917	0.41773	0.02857	139.796	27.959	21.05
		2	0.38916	0.41758				
		3	0.38917	0.41789				
		เฉลี่ย	0.38917	0.41773				
Stage 1	5.8-4.7	1	0.38031	0.40528	0.02497	122.211	24.442	18.40
		2	0.38031	0.40524				
		3	0.38033	0.40535				
		เฉลี่ย	0.38032	0.40529				
Stage 2	4.7-3.3	1	0.43458	0.43520	0.00064	3.132	0.626	0.47
		2	0.43456	0.43513				
		3	0.43457	0.43530				
		เฉลี่ย	0.43457	0.43521				
Stage 3	3.3-2.1	1	0.43041	0.43268	0.00229	11.190	2.238	1.69
		2	0.43042	0.43280				
		3	0.43042	0.43263				
		เฉลี่ย	0.43042	0.43270				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.1 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 18 - 23 กุมภาพันธ์ 2557 (ต่อ)

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาะกรอง (กรัม)		น้ำหนัก ฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @ 120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 4	2.1-1.1	1	0.42920	0.43197	0.00277	13.539	2.708	2.04
		2	0.42918	0.43194				
		3	0.42919	0.43196				
		เฉลี่ย	0.42919	0.43196				
Stage 5	1.1-0.7	1	0.38449	0.41998	0.03550	173.726	34.745	26.16
		2	0.38451	0.42002				
		3	0.38449	0.41999				
		เฉลี่ย	0.38450	0.42000				
Stage 6	0.7-0.4	1	0.40331	0.42904	0.02566	125.572	25.114	18.91
		2	0.40332	0.42894				
		3	0.40332	0.42895				
		เฉลี่ย	0.40332	0.42898				
Stage 7	<0.4	1	0.40075	0.41610	0.01530	74.873	14.975	11.28
		2	0.40076	0.41604				
		3	0.40076	0.41603				
		เฉลี่ย	0.40076	0.41606				
รวม					0.13569	664.03941	132.80788	100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.2 น้ำหนักฝุ่นและองศาความเข้มข้นฝุ่นและองศาขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้ภูวามพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตักกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @ 120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 0	9.0-5.8	1	0.42553	0.45791	0.03243	158.434	31.687	22.07
		2	0.42553	0.45799				
		3	0.42551	0.45795				
		เฉลี่ย	0.42552	0.45795				
Stage 1	5.8-4.7	1	0.42665	0.45499	0.02835	138.516	27.703	19.29
		2	0.42663	0.45499				
		3	0.42663	0.45498				
		เฉลี่ย	0.42664	0.45499				
Stage 2	4.7-3.3	1	0.45872	0.45941	0.00073	3.567	0.713	0.50
		2	0.45865	0.45941				
		3	0.45868	0.45942				
		เฉลี่ย	0.45868	0.45941				
Stage 3	3.3-2.1	1	0.45195	0.45451	0.00259	12.638	2.528	1.76
		2	0.45193	0.45452				
		3	0.45192	0.45453				
		เฉลี่ย	0.45193	0.45452				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.2 น้ำหนักฝุ่นและองศาความเข้มข้นฝุ่นและองศาขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กวานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557 (ต่อ)

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักการกระจาย (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @ 120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 4	2.1-1.1	1	0.45923	0.46232	0.00314	15.326	3.065	2.13
		2	0.45921	0.46238				
		3	0.45924	0.46239				
		เฉลี่ย	0.45923	0.46236				
Stage 5	1.1-0.7	1	0.43629	0.46957	0.03321	162.278	32.456	22.60
		2	0.43620	0.46930				
		3	0.43628	0.46954				
		เฉลี่ย	0.43626	0.46947				
Stage 6	0.7-0.4	1	0.44150	0.47064	0.02913	142.311	28.462	19.82
		2	0.44148	0.47058				
		3	0.44146	0.47060				
		เฉลี่ย	0.44148	0.47061				
Stage 7	<0.4	1	0.44625	0.46338	0.01737	84.852	16.970	11.82
		2	0.44630	0.46378				
		3	0.44631	0.46380				
		เฉลี่ย	0.44629	0.46365				
รวม					0.14694	717.92236	143.58447	100.00

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของฝุ่นคิดเทียบที่อุณหภูมิ 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ

ตารางที่ ข-4.3 นำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นของขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กวานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 0	9.0-5.8	1	0.36523	0.41029	0.04508	226.862	45.372	21.05
		2	0.36522	0.41031				
		3	0.36520	0.41028				
		เฉลี่ย	0.36522	0.41029				
Stage 1	5.8-4.7	1	0.35259	0.39199	0.03941	198.326	39.665	18.41
		2	0.35259	0.39202				
		3	0.35261	0.39200				
		เฉลี่ย	0.35260	0.39200				
Stage 2	4.7-3.3	1	0.39781	0.39882	0.00102	5.117	1.023	0.47
		2	0.39779	0.39880				
		3	0.39779	0.39882				
		เฉลี่ย	0.39780	0.39881				
Stage 3	3.3-2.1	1	0.42166	0.42523	0.00360	18.101	3.620	1.68
		2	0.42164	0.42530				
		3	0.42166	0.42522				
		เฉลี่ย	0.42165	0.42525				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.3 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองของขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กวานพะเยา อำเภอพะเยา จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (ต่อ)

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาศากรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @ 120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บ ตัวอย่าง	หลังเก็บ ตัวอย่าง				
Stage 4	2.1-1.1	1	0.41821	0.42462	0.00436	21.960	4.392	2.04
		2	0.41822	0.42155				
		3	0.41822	0.42157				
		เฉลี่ย	0.41822	0.42258				
Stage 5	1.1-0.7	1	0.36967	0.42594	0.05601	281.904	56.381	26.16
		2	0.36969	0.42567				
		3	0.36967	0.42546				
		เฉลี่ย	0.36968	0.42569				
Stage 6	0.7-0.4	1	0.38298	0.42343	0.04049	203.762	40.752	18.91
		2	0.38298	0.42349				
		3	0.38295	0.42345				
		เฉลี่ย	0.38297	0.42346				
Stage 7	<0.4	1	0.39718	0.42127	0.02414	121.509	24.302	11.28
		2	0.39718	0.42139				
		3	0.39717	0.42130				
		เฉลี่ย	0.39718	0.42132				
รวม					0.21410	1077.54062	215.50812	100.00

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของฝุ่นคิดเทียบที่อุณหภูมิ 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ

ตารางที่ ข-4.4 นำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดากกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @ 120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 0	9.0-5.8	1	0.41263	0.45931	0.04462	221.257	44.251	25.69
		2	0.41264	0.45324				
		3	0.41267	0.45925				
		เฉลี่ย	0.41265	0.45727				
Stage 1	5.8-4.7	1	0.44359	0.47223	0.02862	141.918	28.384	16.48
		2	0.44363	0.47221				
		3	0.44363	0.47227				
		เฉลี่ย	0.44362	0.47224				
Stage 2	4.7-3.3	1	0.45157	0.45260	0.00100	4.942	0.988	0.57
		2	0.45156	0.45256				
		3	0.45157	0.45253				
		เฉลี่ย	0.45157	0.45256				
Stage 3	3.3-2.1	1	0.45216	0.45574	0.00354	17.554	3.511	2.04
		2	0.45218	0.45570				
		3	0.45218	0.45570				
		เฉลี่ย	0.45217	0.45571				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.4 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นของขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้ภูวนพพะยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (ต่อ)

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @ 120 hrs. (µg/m ³)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. (µg/m ³)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 4	2.1-1.1	1	0.44513	0.44946	0.00429	21.273	4.255	
		2	0.44512	0.44942				
		3	0.44516	0.44940				
		เฉลี่ย	0.44514	0.44943				
Stage 5	1.1-0.7	1	0.41002	0.46502	0.02507	124.314	24.863	
		2	0.49999	0.46511				
		3	0.41001	0.46510				
		เฉลี่ย	0.44001	0.46508				
Stage 6	0.7-0.4	1	0.42196	0.46177	0.03981	197.389	39.478	
		2	0.42196	0.46174				
		3	0.42193	0.46176				
		เฉลี่ย	0.42195	0.46176				
Stage 7	<0.4	1	0.43502	0.46171	0.02674	132.579	26.516	
		2	0.43503	0.46179				
		3	0.43500	0.46176				
		เฉลี่ย	0.43502	0.46175				
รวม					0.17368	861.22513	172.24503	15.39
					0.17368	861.22513	172.24503	100.00

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของฝุ่นคิดเทียบที่อุณหภูมิ 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ

ตารางที่ ข-4.5 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์อำเภอพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 0	9.0-5.8	1	0.39630	0.42815	0.03184	157.435	31.487	21.05
		2	0.39632	0.42816				
		3	0.39631	0.42815				
		เฉลี่ย	0.39631	0.42815				
Stage 1	5.8-4.7	1	0.40055	0.42838	0.02784	137.626	27.525	18.40
		2	0.40056	0.42842				
		3	0.40055	0.42837				
		เฉลี่ย	0.40055	0.42839				
Stage 2	4.7-3.3	1	0.45860	0.45937	0.00072	3.560	0.712	0.48
		2	0.45860	0.45930				
		3	0.45857	0.45926				
		เฉลี่ย	0.45859	0.45931				
Stage 3	3.3-2.1	1	0.45326	0.45585	0.00255	12.591	2.518	1.68
		2	0.45325	0.45584				
		3	0.45326	0.45572				
		เฉลี่ย	0.45326	0.45580				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.5 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ อำเภอพะเยา จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557 (ต่อ)

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 4	2.1-1.1	1	0.45758	0.46066	0.00308	15.228	3.046	2.04
		2	0.45756	0.46065				
		3	0.45756	0.46063				
		เฉลี่ย	0.45757	0.46065				
Stage 5	1.1-0.7	1	0.39867	0.43827	0.03956	195.603	39.121	26.16
		2	0.39870	0.43825				
		3	0.39870	0.43824				
		เฉลี่ย	0.39869	0.43825				
Stage 6	0.7-0.4	1	0.41825	0.44682	0.02861	141.433	28.287	18.91
		2	0.41824	0.44689				
		3	0.41825	0.44685				
		เฉลี่ย	0.41825	0.44685				
Stage 7	<0.4	1	0.43264	0.44971	0.01705	84.313	16.863	11.27
		2	0.43266	0.44973				
		3	0.43268	0.44970				
		เฉลี่ย	0.43266	0.44971				
รวม					0.15125	747.78840	149.558	100.00

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของฝุ่นคิดเทียบที่อุณหภูมิ 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ

ตารางที่ ข-4.6 น้ำหนักฝุ่นและค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหออดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ อำเภอยะยา จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดากกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @ 120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 0	9.0-5.8	1	0.43080	0.43260	0.00157	7.719	1.544	14.73
		2	0.43110	0.43230				
		3	0.43070	0.43240				
		เฉลี่ย	0.43087	0.43243				
Stage 1	5.8-4.7	1	0.41650	0.41770	0.00100	4.927	0.985	9.40
		2	0.41650	0.41750				
		3	0.41660	0.41740				
		เฉลี่ย	0.41653	0.41753				
Stage 2	4.7-3.3	1	0.42040	0.42110	0.00093	4.598	0.920	8.78
		2	0.42060	0.42120				
		3	0.41970	0.42120				
		เฉลี่ย	0.42023	0.42117				
Stage 3	3.3-2.1	1	0.41620	0.41700	0.00090	4.434	0.887	8.46
		2	0.41600	0.41690				
		3	0.41600	0.41700				
		เฉลี่ย	0.41607	0.41697				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.6 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองของขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กวานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 (ต่อ)

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @ 120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @ 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 4	2.1-1.1	1	0.43410	0.43440	0.00050	2.463	0.493	4.70
		2	0.43400	0.43460				
		3	0.43390	0.43450				
		เฉลี่ย	0.43400	0.43450				
Stage 5	1.1-0.7	1	0.41930	0.42020	0.00140	6.898	1.380	13.17
		2	0.41890	0.42080				
		3	0.41920	0.42060				
		เฉลี่ย	0.41913	0.42053				
Stage 6	0.7-0.4	1	0.40850	0.41030	0.00213	10.511	2.102	20.06
		2	0.40750	0.41020				
		3	0.40830	0.41020				
		เฉลี่ย	0.40810	0.41023				
Stage 7	<0.4	1	0.42140	0.42370	0.00220	10.839	2.168	20.69
		2	0.42150	0.42400				
		3	0.42190	0.42370				
		เฉลี่ย	0.42160	0.42380				
รวม					0.01063	52.38973	10.478	100.00

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของฝุ่นเค็ดเทียบที่อุณหภูมิ 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ

ตารางที่ ข-4.7 น้ำหนักฝุ่นละอองและความเข้มข้นฝุ่นละอองของขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 0	9.0-5.8	1	0.45418	0.45476	0.00060	2.994	0.599	11.24
		2	0.45413	0.45475				
		3	0.45413	0.45473				
		เฉลี่ย	0.45415	0.45475				
Stage 1	5.8-4.7	1	0.45407	0.45483	0.00074	3.676	0.735	13.80
		2	0.45409	0.45482				
		3	0.45408	0.45480				
		เฉลี่ย	0.45408	0.45482				
Stage 2	4.7-3.3	1	0.44997	0.45066	0.00077	3.826	0.765	14.37
		2	0.44969	0.45063				
		3	0.44994	0.45061				
		เฉลี่ย	0.44987	0.45063				
Stage 3	3.3-2.1	1	0.45358	0.45439	0.00085	4.242	0.848	15.93
		2	0.45352	0.45436				
		3	0.45342	0.45432				
		เฉลี่ย	0.45351	0.45436				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4.7 น้ำหนักฝุ่นและองศาองและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557 (ต่อ)

ชั้นที่	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาะกรอง (กรัม)		น้ำหนัก ฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้น @120 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้น @24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฝุ่น (%)
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง				
Stage 4	2.1-1.1	1	0.45667	0.45776	0.00112	5.606	1.121	21.05
		2	0.45664	0.45777				
		3	0.45660	0.45775				
		เฉลี่ย	0.45664	0.45776				
Stage 5	1.1-0.7	1	0.45978	0.46033	0.00055	2.728	0.546	10.24
		2	0.45975	0.46027				
		3	0.45974	0.46031				
		เฉลี่ย	0.45976	0.46030				
Stage 6	0.7-0.4	1	0.44857	0.4488	0.00026	1.314	0.263	4.93
		2	0.44856	0.44885				
		3	0.44855	0.44882				
		เฉลี่ย	0.44856	0.44882				
Stage 7	<0.4	1	0.44927	0.44970	0.00045	2.246	0.449	8.43
		2	0.44927	0.44976				
		3	0.44932	0.44975				
		เฉลี่ย	0.44929	0.44974				
รวม					0.00534	26.63039	5.32608	100.00

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของฝุ่นคิดเทียบที่อุณหภูมิ 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ

ตารางที่ ข-5.1 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ
เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 18 - 23 กุมภาพันธ์ 2557

ชั้นที่	ช่วง ขนาด (μm)	ความเข้มข้น PAHs (ng/m^3) @ 25°C 1 atm	ความเข้มข้นสะสม PAHs (ng/m^3)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้น PAHs (%)
0	5.8-9.0	1337.87	18268.08	7.32
1	4.7-5.8	1018.23	16930.21	5.57
2	3.3-4.7	2282.36	15911.98	12.49
3	2.1-3.3	1531.91	13629.62	8.39
4	1.1-2.1	1242.94	12097.71	6.8
5	0.7-1.1	4219.14	10854.77	23.1
6	0.4-0.7	2886.45	6635.63	15.8
7	<0.4	3749.18	3749.18	20.52
รวม		18268.08		100

ตารางที่ ข-5.2 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ
เรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557

ชั้นที่	ช่วง ขนาด (μm)	ความเข้มข้น PAHs (ng/m^3) @ 25°C 1 atm	ความเข้มข้นสะสม PAHs (ng/m^3)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้น PAHs (%)
0	5.8-9.0	3428.09	37503.96	9.14
1	4.7-5.8	2127.98	34075.87	5.67
2	3.3-4.7	2000.02	31947.89	5.33
3	2.1-3.3	1721.54	29947.87	4.59
4	1.1-2.1	1822.77	28226.33	4.86
5	0.7-1.1	3011.78	26403.56	8.03
6	0.4-0.7	11353.32	23391.78	30.27
7	<0.4	12038.46	12038.46	32.1
รวม		37503.96		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.3 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ
เรียนรู้ภูพานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557

ชั้นที่	ช่วง ขนาด (μm)	ความเข้มข้น PAHs (ng/m^3) @ 25°C 1 atm	ความเข้มข้นสะสม PAHs (ng/m^3)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้น PAHs (%)
0	5.8-9.0	2313.69	26303.57	8.8
1	4.7-5.8	1402.94	23989.88	5.33
2	3.3-4.7	899.66	22586.94	3.42
3	2.1-3.3	1459.51	21687.28	5.55
4	1.1-2.1	1033.96	20227.77	3.93
5	0.7-1.1	3183.87	19193.81	12.1
6	0.4-0.7	5804.22	16009.94	22.07
7	<0.4	10205.72	10205.72	38.8
รวม		26303.57		100

ตารางที่ ข-5.4 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ
เรียนรู้ภูพานพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557

ชั้นที่	ช่วง ขนาด (μm)	ความเข้มข้น PAHs (ng/m^3) @ 25°C 1 atm	ความเข้มข้นสะสม PAHs (ng/m^3)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้น PAHs (%)
0	5.8-9.0	2394.92	32033.17	7.48
1	4.7-5.8	2786.23	29638.25	8.7
2	3.3-4.7	1559.49	26852.02	4.87
3	2.1-3.3	1563.19	25292.53	4.88
4	1.1-2.1	735.39	23729.34	2.3
5	0.7-1.1	4016.1	22993.95	12.54
6	0.4-0.7	8951.28	18977.85	27.94
7	<0.4	10026.57	10026.57	31.3
รวม		32033.18		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.5 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ
เรียนรู้ภู่ว่านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557

ชั้นที่	ช่วง ขนาด (μm)	ความเข้มข้น PAHs (ng/m^3) @ 25°C 1 atm	ความเข้มข้นสะสม PAHs (ng/m^3)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้น PAHs (%)
0	5.8-9.0	4101.69	22008.1	18.64
1	4.7-5.8	3414.99	17906.41	15.52
2	3.3-4.7	918.19	14491.42	4.17
3	2.1-3.3	1174.66	13573.23	5.34
4	1.1-2.1	1708.03	12398.57	7.76
5	0.7-1.1	968.03	10690.54	4.4
6	0.4-0.7	5373.31	9722.51	24.42
7	<0.4	4349.2	4349.2	19.76
รวม		22008.1		100

ตารางที่ ข-5.6 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ
เรียนรู้ภู่ว่านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556

ชั้นที่	ช่วง ขนาด (μm)	ความเข้มข้น PAHs (ng/m^3) @ 25°C 1 atm	ความเข้มข้นสะสม PAHs (ng/m^3)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้น PAHs (%)
0	5.8-9.0	6581.69	16143.32	40.77
1	4.7-5.8	3168.19	9561.63	19.63
2	3.3-4.7	922.61	6393.44	5.72
3	2.1-3.3	337.27	5470.83	2.09
4	1.1-2.1	2262.32	5133.56	14.01
5	0.7-1.1	1004.4	2871.24	6.22
6	0.4-0.7	1040.66	1866.84	6.45
7	<0.4	826.18	826.18	5.12
รวม		16143.32		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

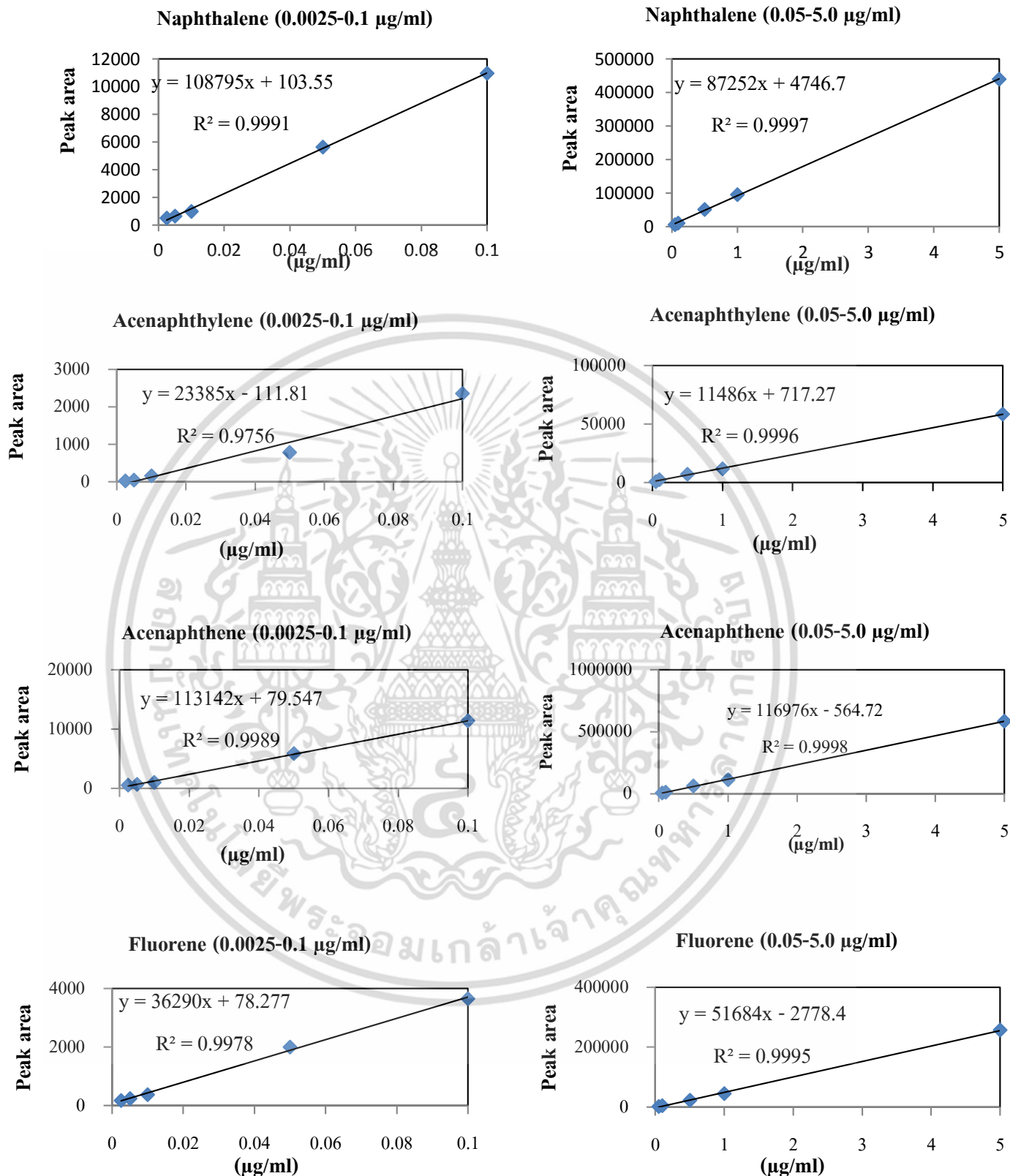
ตารางที่ ข-5.7 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการ
เรียนรู้ภู่ว่านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557

ชั้นที่	ช่วง ขนาด (μm)	ความเข้มข้น PAHs (ng/m^3) @ 25°C 1 atm	ความเข้มข้นสะสม PAHs (ng/m^3)	เปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้น PAHs (%)
0	5.8-9.0	3162.23	16998.44	18.6
1	4.7-5.8	2237.82	13836.21	13.16
2	3.3-4.7	2535.49	11598.39	14.92
3	2.1-3.3	1607.53	9062.9	9.46
4	1.1-2.1	2595.01	7455.37	15.27
5	0.7-1.1	1213.35	4860.36	7.14
6	0.4-0.7	1931.53	3647.01	11.36
7	<0.4	1715.48	1715.48	10.09
รวม		16998.45		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

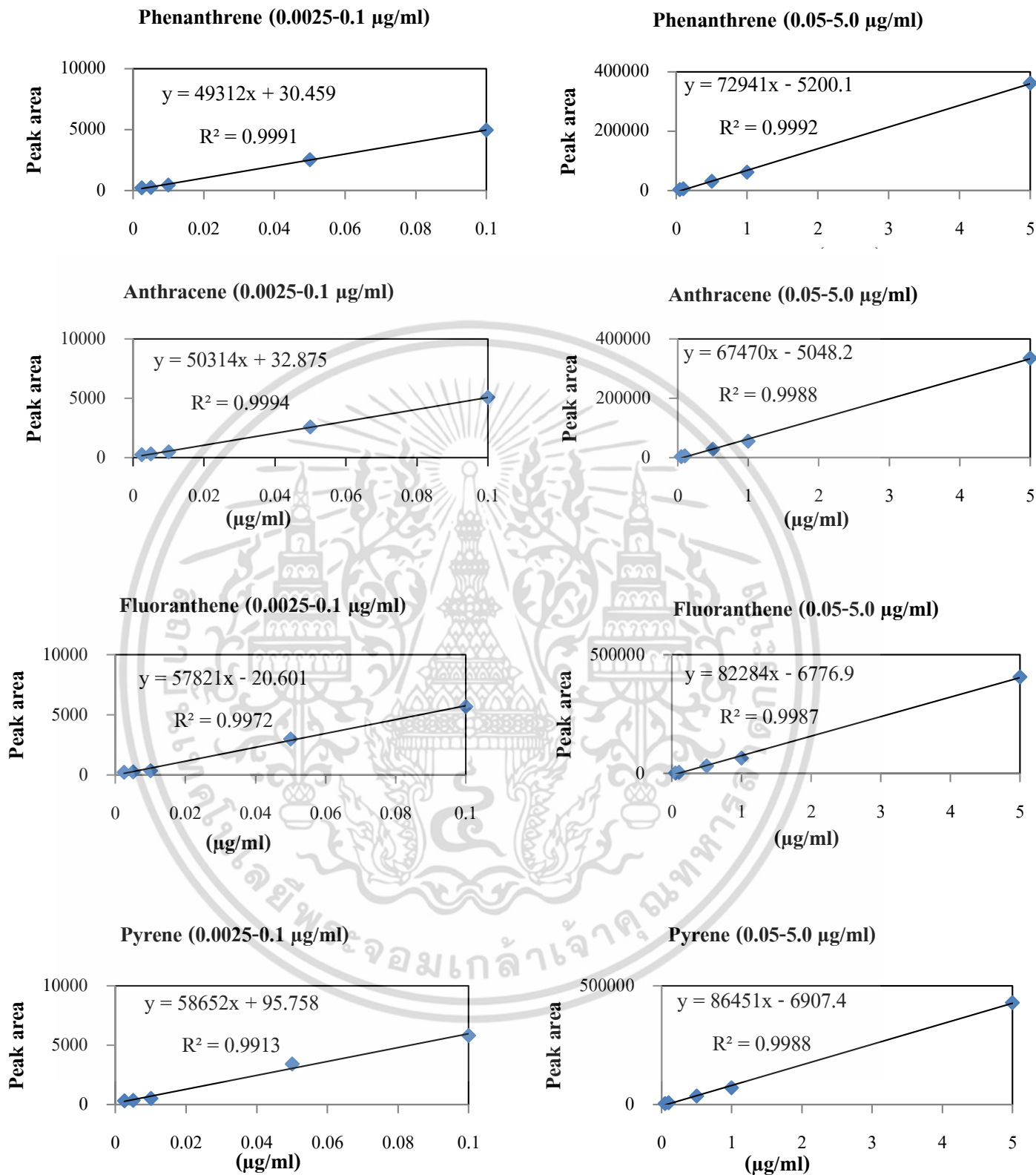


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



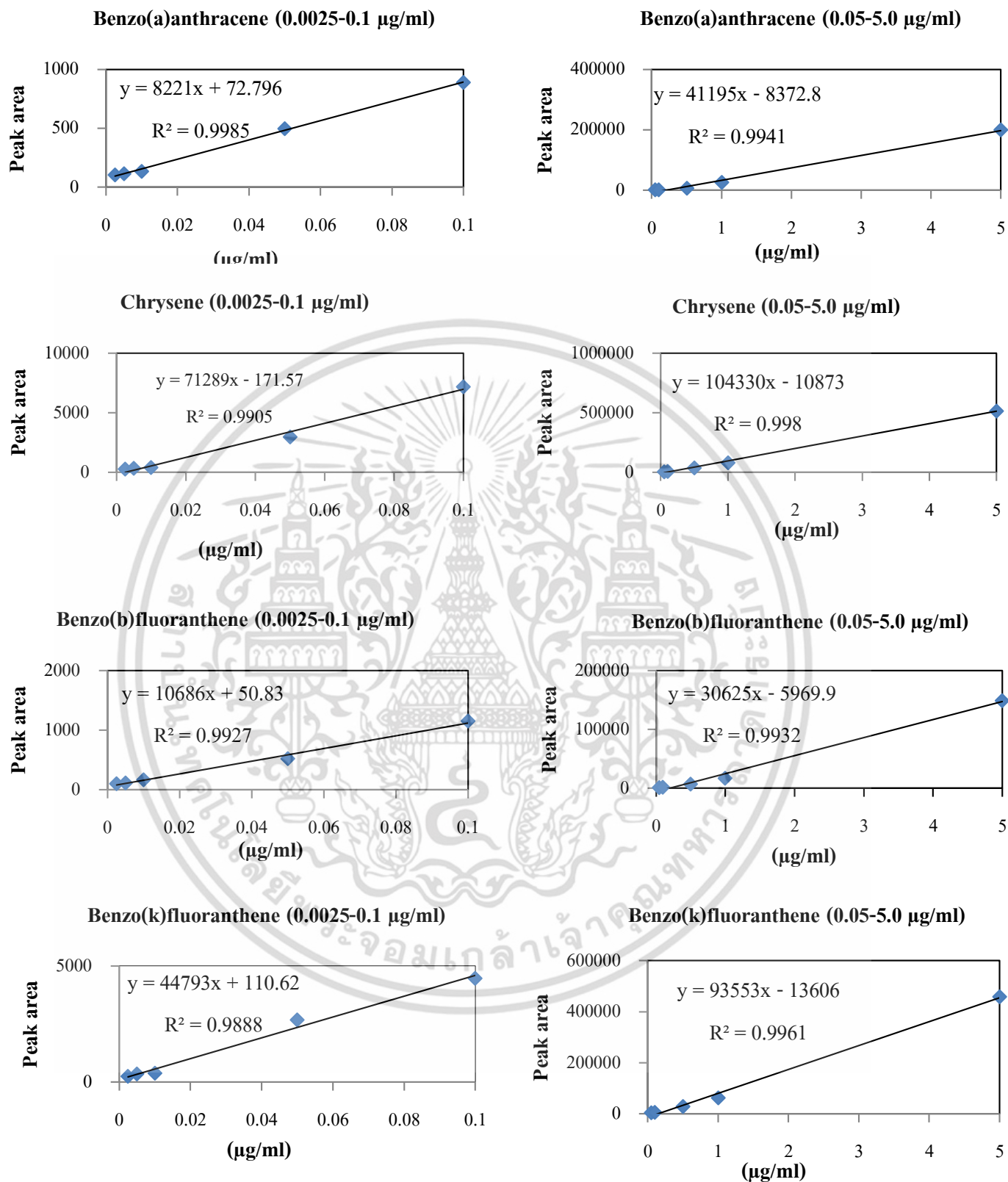
รูปที่ ค-1 Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



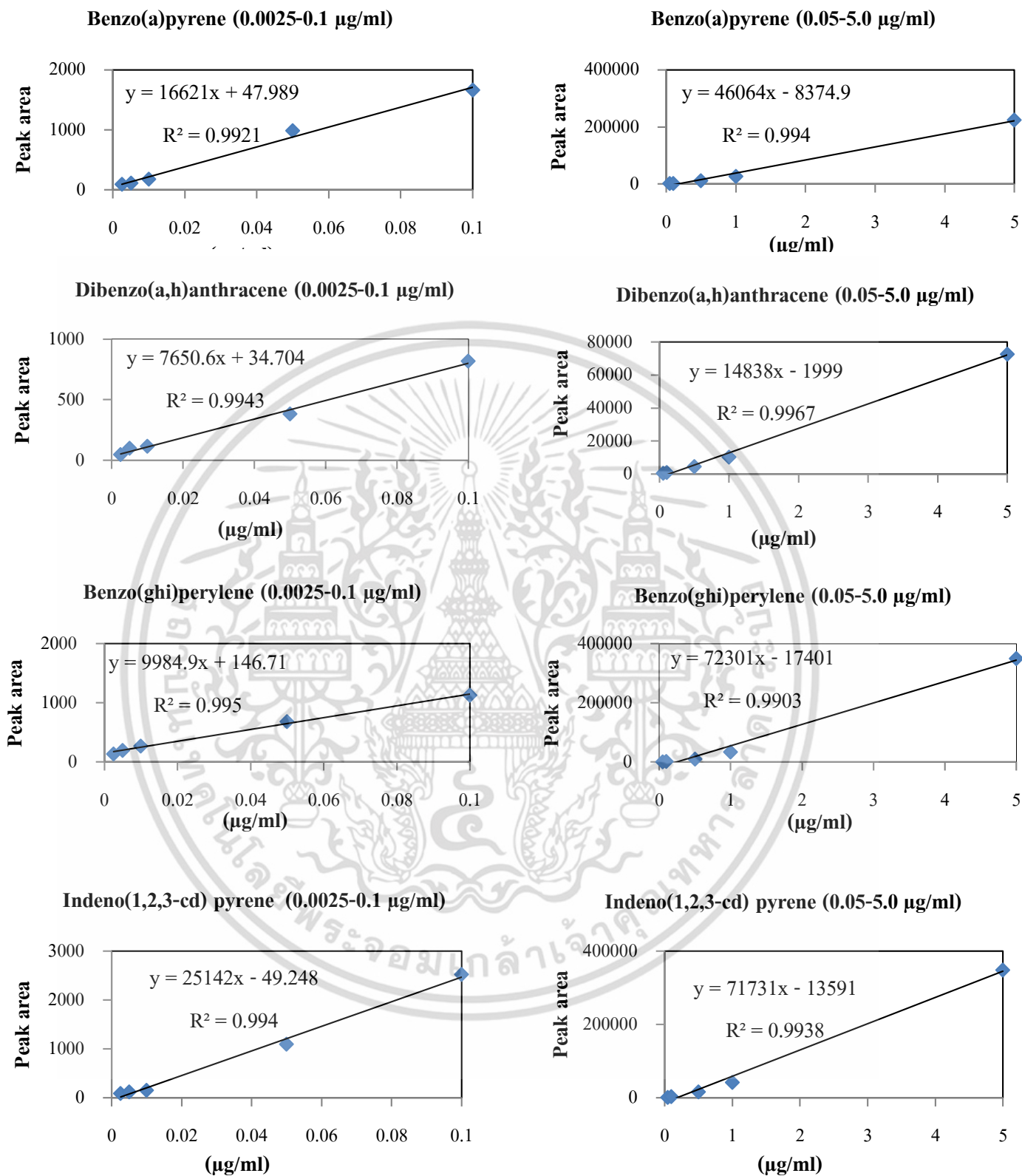
รูปที่ ค-2 Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-3 Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-4 Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene, Benzo(ghi)perylene, Indeno(1,2,3-cd) pyrene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
ตารางแสดงผลความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่นขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1.1 พื้นที่ได้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่น ในบรรยากาศปกติ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556

Peak NO.	Compound	Peak area									
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0		
1	NAP	2885	1386	3180	470	2613	2994	4307	3202		
2	ACY	22	76	100	49	116	163	104	65		
3	ACE	120	100	29	132	239	186	144	114		
4	FLU	100	147	121	122	160	201	318	68		
5	PHE	1036	732	173	160	379	290	1470	231		
6	ANT	100	n.d.	1121	726	121	546	252	554		
7	FLA	152	213	122	96	182	124	255	106		
8	PYR	256	696	490	336	353	643	369	668		
9	BaA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
10	CHR	324	161	63	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
11	BbF	293	985	548	1828	112	242	2328	10348		
12	BkF	666	466	425	1571	200	293	1366	4551		
13	BaP	705	563	809	1865	173	1388	2944	n.d.		
14	DbA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2269		
15	BgP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1247		
16	InP	635	719	699	878	n.d.	319	n.d.	n.d.		

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-1.2 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหนองดาว ณ อุทยานการเรียนรู้สวนพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 18 - 23 กุมภาพันธ์ 2557

Peak NO.	Compound	Peak area								
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0	
1	NAP	1958	6612	2698	4419	2765	2032	1678	2166	
2	ACY	433	163	200	168	138	236	361	305	
3	ACE	172	246	190	202	132	159	455	289	
4	FLU	322	389	551	241	222	295	298	252	
5	PHE	1582	3438	2067	1445	913	1297	1038	678	
6	ANT	177	332	337	114	59	181	130	70	
7	FLA	1016	1471	776	271	282	454	367	200	
8	PYR	1546	2056	1092	311	311	304	601	334	
9	BaA	530	357	492	374	146	457	278	115	
10	CHR	1207	774	1022	558	311	642	763	276	
11	BbF	2944	371	2189	562	1143	1457	410	437	
12	BkF	4351	1136	3548	782	971	1494	260	821	
13	BaP	924	1654	531	246	673	880	362	167	
14	DbA	343	741	993	n.d.	n.d.	n.d.	259	n.d.	
15	BgP	843	689	854	n.d.	867	n.d.	185	n.d.	
16	InP	3005	1283	1655	565	562	543	n.d.	998	

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1.3 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557

Peak NO.	Compound	Peak area									
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0		
1	NAP	6104	5151	3218	3495	3474	2728	2369	3775		
2	ACY	282	113	104	254	200	128	186	483		
3	ACE	418	417	112	445	407	358	350	620		
4	FLU	239	403	269	284	433	187	340	408		
5	PHE	2624	4172	1724	2604	1659	1400	1596	3153		
6	ANT	510	300	158	372	213	489	158	405		
7	FLA	1491	6026	613	1318	628	436	554	n.d.		
8	PYR	2251	6409	724	1541	863	756	821	n.d.		
9	BaA	915	1378	395	291	171	87	89	424		
10	CHR	2459	3935	759	370	344	125	82	1373		
11	BbF	7659	6237	1270	999	1107	1207	279	1363		
12	BkF	9980	3999	2192	1517	n.d.	10	272	2018		
13	BaP	3899	1989	821	337	625	1046	399	647		
14	DbA	4570	2680	369	108	242	n.d.	380	n.d.		
15	BgP	2179	2010	487	252	302	n.d.	523	n.d.		
16	InP	9977	6271	1574	441	950	580	437	1469		

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-1.4 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหนองคูาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557

Peak NO.	Compound	Peak area									
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0		
1	NAP	4246	3645	2695	5944	5607	3397	2802	1089		
2	ACY	149	81	78	163	170	82	47	58		
3	ACE	118	109	119	354	362	86	62	74		
4	FLU	562	155	215	316	576	188	105	120		
5	PHE	2787	685	1702	2205	3349	929	865	790		
6	ANT	295	117	353	159	225	197	292	n.d.		
7	FLA	2836	484	936	720	597	365	335	281		
8	PYR	2524	582	680	1031	979	451	n.d.	522		
9	BaA	546	457	271	135	525	91	177	n.d.		
10	CHR	3119	1705	362	294	163	432	174	906		
11	BbF	4927	2389	1230	191	264	607	221	571		
12	BkF	5887	2919	1601	367	174	596	83	668		
13	BaP	2366	886	803	157	418	197	n.d.	609		
14	DbA	3429	1048	599	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
15	BgP	2314	1382	891	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
16	InP	6651	3335	1096	376	244	482	n.d.	n.d.		

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-1.5 พื้นที่ได้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557

Peak NO.	Compound	Peak area									
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0		
1	NAP	4854	8001	5279	979	2528	2210	7521	2315		
2	ACY	111	205	178	71	140	66	106	48		
3	ACE	256	550	435	50	223	226	359	121		
4	FLU	358	521	273	122	261	169	413	109		
5	PHE	1356	3252	1401	794	930	1660	1898	1228		
6	ANT	1510	622	138	n.d.	254	288	233	196		
7	FLA	2125	1504	547	415	1034	913	945	581		
8	PYR	3237	2312	808	257	1409	1272	1717	1379		
9	BaA	814	842	423	95	557	541	562	607		
10	CHR	3314	2610	1132	127	735	691	n.d.	n.d.		
11	BbF	6093	5791	2081	250	552	277	547	345		
12	BkF	8749	7981	4501	2117	3404	2773	3602	2775		
13	BaP	2180	1704	970	460	189	675	230	707		
14	DbA	2433	1908	721	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
15	BgP	1553	945	912	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
16	InP	5024	5124	1342	237	272	522	580	560		

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1.6 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหนองจอกวัน บริเวณการเรีนรู้อ่าวเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557

Peak NO.	Compound	Peak area									
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0		
1	NAP	4726	5320	3910	7515	2449	5059	3810	5547		
2	ACY	107	197	158	94	80	303	251	133		
3	ACE	430	657	341	325	224	484	250	361		
4	FLU	365	272	161	381	130	277	317	363		
5	PHE	1737	893	932	1503	529	565	1487	812		
6	ANT	108	2501	1613	3234	1600	922	1823	1075		
7	FLA	1365	692	690	1040	666	510	1027	2040		
8	PYR	1757	1005	854	1596	774	381	1285	792		
9	BaA	267	170	58	194	165	150	966	1518		
10	CHR	1702	849	327	1074	310	333	730	261		
11	BbF	2782	695	n.d.	490	843	288	770	747		
12	BkF	1007	1125	n.d.	986	818	672	1450	819		
13	BaP	963	3014	487	184	274	n.d.	433	631		
14	DbA	453	1223	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
15	BgP	555	1870	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
16	InP	3011	1991	929	460	445	463	392	463		

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1.7 พื้นที่ใต้กราฟของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่น ในบรรยากาศปกติ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557

Peak NO.	Compound	Peak area									
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0		
1	NAP	19848	21760	13297	24554	17859	16092	20734	22999		
2	ACY	113	212	70	333	150	93	99	164		
3	ACE	382	463	279	808	831	365	387	379		
4	FLU	425	533	122	78	543	357	544	695		
5	PHE	1776	1449	503	1441	1874	639	965	1436		
6	ANT	626	n.d.	93	158	294	258	216	92		
7	FLA	1057	315	122	286	1811	413	241	262		
8	PYR	831	507	131	1552	1605	423	219	389		
9	BaA	125	130	247	232	112	428	n.d.	n.d.		
10	CHR	430	351	503	362	213	1534	56	197		
11	BbF	386	630	567	974	244	1456	416	115		
12	BkF	1231	611	n.d.	710	723	870	126	443		
13	BaP	n.d.	492	n.d.	295	n.d.	250	n.d.	n.d.		
14	DbA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
15	BgP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
16	InP	n.d.	328	1015	1596	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-2.1 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m³) ในอนุภาคฝุ่น ในบรรยากาศปึกติ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ อำเภอมะนัง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 6-11 ธันวาคม 2556

Peak NO.	Compound	PAHs Concentration (ng/m ³)														Total-PAHs (ng/m ³)
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0							
1	NAP	126.0251	58.1067	139.3912	16.6035	113.7010	130.9638	190.4546	140.3881	915.6339						
2	ACY	28.2063	39.5891	44.6482	33.8977	48.0209	57.9282	45.4913	37.2704	335.0521						
3	ACE	1.7625	0.8911	n.d.	2.2853	6.9471	4.6380	2.8081	1.5011	20.8331						
4	FLU	2.9507	9.3349	5.8032	5.9391	11.1007	16.6699	32.5625	n.d.	84.3610						
5	PHE	100.5175	70.1286	14.2489	12.9494	34.8414	25.9447	143.9017	20.0468	422.5790						
6	ANT	6.5764	n.d.	106.6067	67.9074	8.6339	50.2723	21.4683	51.0561	312.5211						
7	FLA	14.7147	19.9152	12.1571	9.9406	17.2723	12.3276	23.4958	10.7931	120.6164						
8	PYR	13.4675	50.4473	33.1341	20.1911	21.6199	45.9929	22.9646	48.0941	255.9116						
9	BaA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.						
10	CHR	30.1183	18.8473	12.0710	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	61.0366						
11	BbF	111.7120	430.9286	229.3424	1211.2094	28.2175	88.1859	1335.6316	2626.5324	6061.7597						
12	BkF	61.1188	39.1091	34.5971	160.7127	9.8361	20.0707	138.1528	956.7114	1420.3087						
13	BaP	194.8543	152.7404	225.6983	538.8836	37.0754	397.4164	1211.2594	n.d.	2757.9279						
14	InP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1417.8936	1417.8936						
15	DbA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1271.4010	1271.4010						
16	BgP	134.1554	150.6247	146.7035	181.7987	n.d.	72.1997	n.d.	n.d.	685.4819						
Total-PAHs (ng/m ³)		826.1795	1040.6630	1004.4017	2262.3185	337.2662	922.6100	3168.1908	6581.6879							

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-2.2 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m³) ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กีฬาพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 18 - 23 กุมภาพันธ์ 2557

Peak NO.	Compound	PAHs Concentration (ng/m ³)										Total-PAHs (ng/m ³)
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0			
1	NAP	83.4566	292.9027	116.7592	194.2101	119.7744	86.7869	70.8557	92.8174	1057.5630		
2	ACY	114.0676	57.5374	65.2841	58.5842	52.3031	72.8215	98.9929	87.2681	606.8588		
3	ACE	4.0008	7.2032	4.7798	5.2991	2.2699	3.4383	16.2475	9.0639	52.3025		
4	FLU	32.8825	41.9219	63.7785	21.9542	19.3907	29.2397	29.6444	23.4382	262.2502		
5	PHE	154.0513	338.3321	202.2066	140.4487	87.6268	125.7539	100.0380	64.2938	1212.7511		
6	ANT	14.0251	29.1084	29.5950	7.8944	2.5423	14.4143	9.4514	3.6127	110.6436		
7	FLA	87.7770	126.3054	67.4544	24.6921	25.6236	40.1881	32.8212	18.6800	423.5417		
8	PYR	121.0633	163.6370	83.1643	17.9680	17.9680	17.3836	42.1766	19.8880	483.2487		
9	BaA	272.3114	169.2784	249.6798	179.4030	43.6139	228.8350	122.2287	25.1514	1290.5016		
10	CHR	90.5598	60.8212	77.8539	45.9863	29.0222	51.7554	60.0657	26.6184	442.6830		
11	BbF	1381.4578	146.6967	1260.7527	234.2097	500.4144	1143.7247	164.5658	176.9368	5008.7585		
12	BkF	463.4996	112.0803	375.7268	73.3860	94.0448	151.2119	16.3282	755.0454	2041.3229		
13	BaP	258.0519	473.0925	142.2835	58.3293	184.1133	245.0906	92.5002	35.0578	1488.5192		
14	InP	197.3000	452.0079	987.2814	n.d.	n.d.	n.d.	143.5426	n.d.	1780.1319		
15	DbA	341.4296	265.9149	346.8235	n.d.	353.1981	n.d.	18.7757	n.d.	1326.1418		
16	BgP	133.2504	149.6085	145.7137	180.5722	n.d.	71.7126	n.d.	n.d.	680.8574		
Total-PAHs (ng/m ³)		3749.1847	2886.4484	4219.1372	1242.9372	1531.9056	2282.3565	1018.2344	1337.8719			

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-2.3 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m³) ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2557

Peak NO.	Compound	PAHs Concentration (ng/m ³)									Total-PAHs (ng/m ³)
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0		
1	NAP	269.6128	226.7926	139.9388	152.3850	151.4414	117.9221	101.7914	164.9660	1324.8501	
2	ACY	82.3218	46.9942	45.1128	76.4687	65.1806	50.1298	62.2540	124.3388	552.8007	
3	ACE	14.6231	14.5799	1.4022	15.7897	14.1479	12.0308	11.6851	23.3507	107.6094	
4	FLU	21.6499	43.7413	25.6910	27.7116	47.7824	14.6454	35.2550	44.4148	260.8915	
5	PHE	257.1024	410.5585	167.8838	255.1198	161.4402	135.7651	155.1949	309.5432	1852.6080	
6	ANT	46.3563	25.9532	12.1568	32.9486	17.5005	44.3160	12.1568	36.1548	227.5431	
7	FLA	127.7960	760.6041	53.5668	113.1700	54.8350	38.6026	48.5788	n.d.	1197.1533	
8	PYR	179.6300	752.9784	52.3612	120.4546	63.9463	55.0283	60.4458	n.d.	1284.8446	
9	BaA	1102.1331	1157.0748	191.6057	129.7650	58.4103	8.4621	9.6513	208.8497	2865.9520	
10	CHR	176.2676	277.4791	59.6962	33.0219	31.2391	16.2219	13.2734	101.7991	708.9984	
11	BbF	2131.8800	1904.8992	1112.0625	433.7473	483.1526	1102.0063	997.4547	1126.9072	9292.1098	
12	BkF	1232.4300	424.3500	227.1470	153.4823	n.d.	-10.9809	17.6119	816.3948	2860.4350	
13	BaP	1302.5267	1099.8343	227.3496	85.0008	169.7042	293.5242	103.2355	176.1746	3457.3500	
14	InP	2164.1611	1541.4995	213.6001	46.8328	132.4528	n.d.	220.6286	n.d.	4319.1749	
15	DbA	1323.8357	1312.4093	166.5985	51.5477	76.0266	n.d.	184.2233	n.d.	3114.6411	
16	BgP	1606.1331	1353.5733	315.6100	95.3195	194.2850	122.3454	94.5418	295.1947	4077.0028	
Total-PAHs (ng/m ³)		12038.460	11353.321	3011.7830	1822.765	1721.544	2000.0190	2127.982	3428.0883		
		0	7		2	9		4			

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-2.4 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m³) ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้สวนพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 11-16 มีนาคม 2557

Peak NO.	Compound	PAHs Concentration (ng/m ³)										Total-PAHs (ng/m ³)
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0			
1	NAP	191.7239	163.9080	119.9394	270.3120	254.7147	152.4299	124.8917	45.6093	1323.5289		
2	ACY	56.1584	41.5164	40.8705	59.1729	60.6802	41.7318	34.1955	36.5640	370.8897		
3	ACE	1.7113	1.3108	1.7558	12.2144	12.5704	0.2872	-0.7809	-0.2469	28.8222		
4	FLU	67.1178	10.6455	18.9707	32.9847	69.0603	15.2243	3.7079	5.7892	223.5004		
5	PHE	281.4750	66.8363	170.6838	222.0460	338.8617	91.7515	85.2164	77.5580	1334.4287		
6	ANT	26.2330	8.4191	32.0375	12.6224	19.2275	16.4253	25.9327	n.d.	140.8975		
7	FLA	248.7665	43.9431	83.3054	64.4951	53.7837	33.5800	30.9674	26.2649	585.1061		
8	PYR	208.4669	41.7443	50.1577	80.2914	75.8272	30.4979	n.d.	36.5933	523.5787		
9	BaA	289.8521	235.3400	121.4157	38.1162	276.9897	11.1664	63.8411	n.d.	1036.7213		
10	CHR	228.1837	128.3091	33.4495	28.6465	19.3936	38.3938	20.1706	71.8737	568.4204		
11	BbF	1746.7705	1329.4752	1138.9136	66.0492	100.4474	262.0718	1017.9013	1075.4479	6737.0771		
12	BkF	1049.1774	315.6994	167.5386	28.8205	7.1248	54.5632	-3.1049	768.2737	2388.0926		
13	BaP	1174.1052	253.8754	228.7305	33.0249	112.0948	45.1429	n.d.	169.9582	2016.9318		
14	InP	1842.0120	666.9124	371.3979	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2880.3223		
15	DbA	1373.0313	1308.1231	375.3414	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3056.4958		
16	BgP	1420.9360	1188.1614	229.3653	85.1668	58.7304	106.3960	n.d.	n.d.	3088.7559		
Total-PAHs (ng/m ³)		10205.7211	5804.2195	3183.8734	1033.9631	1459.5065	899.6620	1402.9387	2313.6853			

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-2.5 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m³) ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 17-22 มีนาคม 2557

Peak NO.	Compound	PAHs Concentration (ng/m ³)										Total-PAHs (ng/m ³)
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0			
1	NAP	216.6263	360.1333	236.0068	39.9216	110.5579	96.0567	338.2447	100.8448	1498.3919		
2	ACY	47.2697	67.2120	61.4839	38.7836	53.4221	37.7228	46.2089	33.9041	386.0070		
3	ACE	7.7373	20.6290	15.5863	-1.2956	6.2903	6.4218	12.2538	1.8177	69.4406		
4	FLU	38.2408	60.5244	26.6205	5.9773	24.9799	12.4027	45.7598	4.2001	218.7055		
5	PHE	133.3601	324.1129	137.8874	76.8184	90.5011	163.9449	187.8896	120.4823	1234.9967		
6	ANT	145.6511	58.0903	10.3658	n.d.	21.8039	25.1565	19.7332	16.0848	296.8856		
7	FLA	184.0978	130.8145	48.7016	37.3756	90.4874	80.1053	82.8509	51.6188	706.0519		
8	PYR	265.7075	187.4648	60.2463	13.6389	111.0829	99.4945	137.1356	108.5453	983.3159		
9	BaA	447.3158	464.2131	211.3563	13.4159	292.2222	282.5666	295.2396	322.3961	2328.7257		
10	CHR	238.3942	189.4010	86.5432	16.6027	58.9150	55.8529	n.d.	n.d.	645.7090		
11	BbF	1909.9383	1861.0149	1260.0030	92.4686	232.6779	105.0038	1055.7237	1023.0001	7539.8303		
12	BkF	1185.5019	1144.7743	486.2698	222.2227	364.7682	294.8799	386.6983	295.1014	4380.2166		
13	BaP	1136.7836	1085.5174	275.2100	122.9807	42.0902	187.1558	54.3283	196.7075	3100.7735		
14	InP	1481.8686	1306.3314	445.0423	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3233.2422		
15	DbA	1300.5944	396.6453	380.2486	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2077.4883		
16	BgP	1287.4829	1294.3993	274.5301	56.4843	63.3908	112.7224	124.1673	120.2208	3333.3979		
Total-PAHs (ng/m ³)		10026.5702	8951.2779	4016.1018	735.3947	1563.1898	1559.4866	2786.2338	2394.9238			

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-2.6 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m³) ในอนุภาคฝุ่น ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 เมษายน 2557

Peak NO.	Compound	PAHs Concentration (ng/m ³)										Total-PAHs (ng/m ³)
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0			
1	NAP	210.1684	237.1757	173.0674	336.9755	106.6403	225.3089	168.5207	247.4967	1705.3537		
2	ACY	46.2843	65.3218	57.0722	43.5345	40.5731	87.7437	76.7443	51.7840	469.0579		
3	ACE	15.3218	25.2463	11.4307	10.7312	6.3155	17.6827	7.4522	12.3051	106.4855		
4	FLU	39.0823	26.4057	11.2757	41.2632	7.0502	27.0873	32.5395	38.8096	223.5135		
5	PHE	171.1860	86.5229	90.4351	147.7131	50.0095	53.6207	146.1081	78.3977	823.9931		
6	ANT	7.3858	242.6512	155.3484	314.7153	154.0703	87.4134	175.9943	102.4555	1240.0342		
7	FLA	118.5378	60.9628	60.7917	90.7341	58.7385	45.3928	89.6220	176.2838	701.0634		
8	PYR	140.1052	76.6833	63.9483	126.5268	57.2013	24.0566	100.2978	58.7194	647.5388		
9	BaA	116.8686	58.5038	-8.8865	72.9446	55.4953	46.4698	1121.3745	1187.6570	2650.4273		
10	CHR	125.8392	66.6516	30.4313	82.2638	29.2517	30.8476	58.3945	25.8517	449.5315		
11	BbF	1369.5174	298.1875	n.d.	203.2926	366.6970	109.7864	1088.6330	1084.9180	4521.0319		
12	BkF	98.9888	112.0198	n.d.	96.6698	78.1172	61.9942	147.9101	762.7149	1358.4147		
13	BaP	272.3161	1222.9938	130.6539	40.4782	67.2630	n.d.	114.5830	173.5097	2021.7977		
14	InP	270.4533	1074.1237	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1344.5770		
15	DbA	202.2689	1318.4512	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1520.7202		
16	BgP	1144.8739	401.4091	192.4657	100.1921	97.2410	100.7824	86.8135	100.7824	2224.5600		
Total-PAHs (ng/m ³)		4349.1978	5373.3103	968.0339	1708.0348	1174.6639	918.1865	3414.9875	4101.6856			

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ๔-2.7 ความเข้มข้นของสาร PAHs (ng/m³) ในอนุภาคฝุ่น ในบรรยากาศปึกติ บริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้กว๊านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บตัวอย่างวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557

Peak NO.	Compound	PAHs Concentration (ng/m ³)										Total-PAHs (ng/m ³)	
		Stage 7	Stage 6	Stage 5	Stage 4	Stage 3	Stage 2	Stage 1	Stage 0				
1	NAP	864.1053	973.5111	489.2532	1133.3854	750.2935	649.1848	914.8027	1044.4074				6818.9434
2	ACY	47.9961	69.1322	38.8158	94.9653	55.8955	43.7262	45.0072	58.8844				454.4226
3	ACE	13.3463	16.9206	8.8013	32.1444	33.1593	12.5962	13.5670	13.2139				143.7490
4	FLU	47.7006	62.5587	6.0152	-0.0381	63.9344	38.3454	64.0720	84.8459				367.4342
5	PHE	176.7279	143.6207	47.8426	142.8107	186.6500	61.6119	94.6179	142.3045				996.1863
6	ANT	58.8552	n.d.	5.9661	12.4160	25.9112	22.3389	18.1713	5.8669				149.5258
7	FLA	93.0465	28.9778	12.3130	26.4738	158.1514	37.4397	22.5882	24.4015				403.3918
8	PYR	62.5857	35.0060	2.9999	123.9591	128.4706	27.8557	10.4907	24.9615				416.3292
9	BaA	31.7199	34.7564	105.8104	96.7009	23.8250	215.7317	n.d.	n.d.				508.5443
10	CHR	37.9280	32.3953	43.0404	33.1657	22.7307	115.2449	11.7355	21.6102				317.8508
11	BbF	156.5949	270.5943	241.1600	431.3147	90.2510	1166.0946	1041.0552	991.9849				4389.0496
12	BkF	124.8771	55.7722	n.d.	66.8067	68.2556	84.6402	1.7142	749.7482				1151.8142
13	BaP	n.d.	133.3719	n.d.	74.1971	n.d.	60.6800	n.d.	n.d.				268.2490
14	InP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.				n.d.
15	DbA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.				n.d.
16	BgP	n.d.	74.9126	211.3347	326.7076	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.				612.9549
Total-PAHs (ng/m ³)		1715.4836	1931.5297	1213.3526	2595.0093	1607.5283	2535.4902	2237.8219	3162.2293				

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

ตารางที่ ง-3 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานผสม PAHs 16 ชนิด

Peak NO.	Compound	Std PAHs Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
		0.0025	0.005	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	5.0
		Peak area							
1	NAP	521	655	979	5,628	10,958	51,881	95,439	440,051
2	ACY	19	40	156	789	2,354	6,850	11,789	58,187
3	ACE	529	649	973	5,833	11,365	61,563	111,353	584,953
4	FLU	175	247	383	2,010	3,655	22,902	44,810	256,429
5	PHE	232	264	437	2,524	4,955	29,863	60,775	360,943
6	ANT	219	296	456	2,553	5,068	27,255	54,673	333,883
7	FLA	236	266	368	2,998	5,714	32,135	65,790	406,670
8	PYR	301	323	482	3,400	5,797	34,121	69,637	427,409
9	BaA	104	115	135	497	890	6,006	25,090	199,599
10	CHR	251	320	375	2,959	7,178	36,788	78,531	513,975
11	BbF	99	112	163	519	1,151	6,321	16,948	148,869
12	BkF	228	335	373	2,673	4,447	27,340	61,495	458,143
13	BaP	90	112	175	985	1,662	10,857	26,580	224,370
14	DbA	46	97	115	380	817	4,580	10,126	72,774
15	BgP	134	196	268	682	1,126	9,077	34,041	348,874
16	InP	85	116	148	1,091	2,525	15,580	40,984	348,874

หมายเหตุ: กราฟสารละลายมาตรฐานผสม 16 PAHs มีความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดไม่เท่ากัน จึงแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ 1) ความเข้มข้นในช่วง 0.0025-0.25 $\mu\text{g}/\text{ml}$ และ 2) ความเข้มข้นในช่วง 0.05-5.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (แสดงรูปกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานผสม 16 PAHs ในภาคผนวก ค และ รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก-4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-4.1 พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐาน PAHs

NO.	Compound	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐาน			
		Stock	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3
1	Naphthalene	22,618	21,892	20,127	21,186
2	Acenaphthylene	3,541	3,315	3,182	3,264
3	Acenaphthene	25,167	23,918	21,083	21,671
4	Fluorene	5,981	5,302	5,710	5,042
5	Phenanthrene	8,729	8,373	7,394	7,640
6	Anthracene	8,216	6,248	6,534	5,933
7	Fluoranthene	10,723	9,054	8,392	8,139
8	Pyrene	9,814	8,370	8,242	8,167
9	Benzo(a)anthracene	1,954	1,807	1,730	1,774
10	Chrysene	8,218	6,212	6,321	5,786
11	Benzo(b)fluoranthene	1,254	968	807	991
12	Benzo(k)fluoranthene	4,206	3,213	3,304	3,258
13	Benzo(a)pyrene	632	489	430	340
14	Indeno(1,2,3-cd) pyrene	102	79	64	71
15	Dibenzo(a,h)anthracene	232	183	162	159
16	Benzo(ghi)perylene	1,057	905	873	836

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-4.2 ค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน PAHs

NO.	Compound	Stock	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3	Recovery (%)
1	Naphthalene	0.2048	0.1965	0.1763	0.1884	91.33±4.97
2	Acenaphthylene	0.2458	0.2262	0.2146	0.2217	89.82±2.38
3	Acenaphthene	0.2200	0.2093	0.1851	0.1901	88.56±5.81
4	Fluorene	0.1695	0.1563	0.1642	0.1513	92.81±3.84
5	Phenanthrene	0.1910	0.1861	0.1727	0.1760	93.35±3.66
6	Anthracene	0.1966	0.1674	0.1717	0.1628	85.09±2.27
7	Fluoranthene	0.2127	0.1924	0.1843	0.1813	87.46±2.70
8	Pyrene	0.1934	0.1767	0.1752	0.1744	90.70±0.61
9	Benzo(a)anthracene	0.2507	0.2471	0.2452	0.2463	98.22±0.37
10	Chrysene	0.1830	0.1638	0.1648	0.1597	88.94±1.48
11	Benzo(b)fluoranthene	0.2359	0.2265	0.2213	0.2273	95.40±1.39
12	Benzo(k)fluoranthene	0.1904	0.1798	0.1808	0.1803	94.68±0.26
13	Benzo(a)pyrene	0.1955	0.1924	0.1911	0.1892	97.64±0.83
14	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.1909	0.1906	0.1904	0.1905	99.78±0.05
15	Dibenzo(a,h)anthracene	0.1504	0.1471	0.1456	0.1454	97.13±0.59
16	Benzo(ghi)perylene	0.2553	0.2532	0.2527	0.2522	98.99±0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-5.1 พื้นที่ใต้กราฟการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์สาร PAHs

Peak NO.	Compound	Vial 1(1)	Vial 1(2)	Vial 1(3)	Vial 2	Vial 3
1	Naphthalene	1,594	1,502	1,568	1,372	1,365
2	Acenaphthylene	258	243	222	289	294
3	Acenaphthene	1,018	1,022	1,013	960	982
4	Fluorene	783	765	751	836	872
5	Phenanthrene	469	438	427	561	588
6	Anthracene	349	378	365	410	427
7	Fluoranthene	436	452	441	396	404
8	Pyrene	435	488	460	523	534
9	Benzo(a)anthracene	125	119	121	128	126
10	Chrysene	720	745	734	816	828
11	Benzo(b)fluoranthene	88	83	86	79	80
12	Benzo(k)fluoranthene	310	296	322	341	388
13	Benzo(a)pyrene	144	132	127	142	125
14	Indeno(1,2,3-cd) pyrene	177	161	169	174	188
15	Dibenzo(a,h)anthracene	63	58	61	65	69
16	Benzo(ghi)perylene	190	186	192	178	184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-5.2 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์สาร PAHs

NO.	Compound	Vial 1(1)	Vial 1(2)	Vial 1(3)	Vial 1 (\bar{x})	Vial 1 (RSD)	Vial 2	Vial 3	Vial 1-3 (RSD)
1	Naphthalene	0.0137	0.0129	0.0135	0.0133	3.27	0.0117	0.0116	8.10
2	Acenaphthylene	0.0158	0.0152	0.0143	0.0151	5.13	0.0171	0.0174	7.57
3	Acenaphthene	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.48	0.0078	0.0080	3.21
4	Fluorene	0.0194	0.0189	0.0185	0.0190	2.33	0.0209	0.0219	7.20
5	Phenanthrene	0.0089	0.0083	0.0080	0.0084	5.26	0.0108	0.0113	15.21
6	Anthracene	0.0063	0.0069	0.0066	0.0066	4.39	0.0075	0.0078	8.87
7	Fluoranthene	0.0079	0.0082	0.0080	0.0080	1.77	0.0072	0.0073	5.78
8	Pyrene	0.0058	0.0067	0.0062	0.0062	7.26	0.0073	0.0075	9.59
9	Benzo(a)anthracene	0.0064	0.0056	0.0059	0.0059	6.25	0.0067	0.0065	6.18
10	Chrysene	0.0125	0.0129	0.0127	0.0127	1.39	0.0139	0.0140	5.37
11	Benzo(b)fluoranthene	0.0039	0.0041	0.0036	0.0039	6.92	0.0026	0.0027	12.47
12	Benzo(k)fluoranthene	0.0045	0.0041	0.0047	0.0044	6.55	0.0051	0.0062	16.81
13	Benzo(a)pyrene	0.0058	0.0051	0.0048	0.0052	10.12	0.0057	0.0046	9.92
14	Indeno(1,2,3-cd) pyrene	0.0090	0.0084	0.0087	0.0087	3.67	0.0089	0.0094	4.35
15	Dibenzo(a,h)anthracene	0.0037	0.0030	0.0034	0.0034	9.69	0.0040	0.0045	13.81
16	Benzo(ghi)perylene	0.0043	0.0039	0.0045	0.0043	7.17	0.0031	0.0037	15.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวจตุรพร พูลทวี
ที่อยู่ปัจจุบัน	140/5 ม.5 ต.สุรศักดิ์ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ เกรตเฉลีย์ 2.27 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2560 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ เกรตเฉลีย์ 3.56 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิชาการ	เรื่อง การแพร่กระจายขนาดของฝุ่นละอองและพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา (SIZE DISTRIBUTION OF PARTICULATE MATTERS AND PARTICULATED POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS DURING HAZE PERIOD IN PAYAO PROVINCE) การประชุม วิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 42 (วทท 42) ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน – 2 ธันวาคม 2559 ณ โรงแรม เซ็นทาราแกรนด์ แอทเซ็นทรัลพลาซ่าลาดพร้าว กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้