การศึกษาความเข้มข้นของโอโซนโดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนในรถโดยสารประจำทางสาธารณะ แบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

STUDY ON CONCENTRATIONS OF OZONE USING PORTABLE SPECTROMETER AND PARTICULATE MATTERS LESS THAN 4 MICRONS IN PUBLIC AIR AND NON-AIR CONDITIONED BUSES

นางสาวกชกร สองคม

นางสาวชลนิษา ออมสิน

นายยุทธนา ชินแสง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความเข้มข้นของโอโซนโดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนในรถโดยสารประจำทางสาธารณะแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

STUDY ON CONCENTRATIONS OF OZONE USING PORTABLE SPECTROMETER AND PARTICULATE MATTERS LESS THAN 4 MICRONS IN PUBLIC AIR AND NON-AIR CONDITIONED BUSES



นางสาวกชกร สองคม
นางสาวชลนิษา ออมสิน
นายยุทธนา ชินแสง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 148956
วัน,เดือน,ปี 18 ส.ค. 2560

b.12877530
i.

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

STUDY ON CONCENTRATIONS OF OZONE USING PORTABLE SPECTROMETER AND PARTICULATE MATTERS LESS THAN 4 MICRONS IN PUBLIC AIR AND NON-AIR CONDITIONED BUSES

MISS KOTCHAKORN SONGKOM

MISS CHONNISA AOMSIN

MR. YUTTHANA SHINSAENG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY

DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความเข้มข้นของโอโซนโดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนในรถโดยสารประจำทางสาธารณะ แบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
Study on Concentrations of Ozone Using Portable Spectrometer and Particulate Matters less than 4 microns in Public Air and Non-air Conditioned Buses

ชื่อนักศึกษา นางสาวกชกร สองคม รหัสนักศึกษา 55050880
นางสาวชลนิษา ออมสิน รหัสนักศึกษา 55050906
นายยุทธนา ชินแสง รหัสนักศึกษา 55050976

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาความเข้มข้นของโอโซนโดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนในรถโดยสารประจำทางสาธารณะแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกชกร สองคม รหัสนักศึกษา 55050880
	นางสาวชลนิษา ออมสิน รหัสนักศึกษา 55050906
	นายยุทธนา ชินแสง รหัสนักศึกษา 55050976
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนในรถโดยสารประจำทางสาธารณะแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ โดยทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นโอโซนด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา โดยเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน เมื่อนำมาวิเคราะห์กราฟมาตรฐาน ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0091x + 0.0019$, $R^2 = 0.9941$ เมื่อเทียบการวิเคราะห์โอโซนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลที่อัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ ระยะทางจากราม 2 ไปวัดโพธิ์ ทั้งขาไปและขากลับ ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. และ 13.30 - 16.30 น. ตั้งแต่วันที่ 2 กันยายน ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 เป็นเวลา 13 วัน โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนและโอโซน ด้วยเครื่องไซโคลนและอิมพิงเจอร์ที่บรรจุสารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโอโซนจากการเก็บตัวอย่างอากาศบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ (7.48 ppb) มีแนวโน้มความเข้มข้นสูงกว่าแบบปรับอากาศ (5.81 ppb) ความเข้มข้นของโอโซนในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. มีค่าใกล้เคียงกับช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. และความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนในอากาศบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (26.44 $\mu g/m^3$) มีแนวโน้มสูงกว่าในรถโดยสารแบบไม่ปรับอากาศ (9.31 $\mu g/m^3$) และเมื่อนำไปส่องด้วยกล้อง scanning electron microscope (SEM) พบฝุ่นรูปร่างแบบ Solid Sphere, Flake และ Aggregate จากผลการประเมินความเสี่ยงโดยใช้การคำนวณจากค่าเฉลี่ยการรับสัมผัส PM_4 พบว่า การโดยสารรถโดยสารประจำทางสาธารณะแบบปรับอากาศของกลุ่มตัวอย่างทั้งเพศชายและเพศหญิงช่วงอายุตั้งแต่ 16 ปี ถึง 60 ปีขึ้นไป มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ

คำสำคัญ : โอโซน, ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน, รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ, รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ

Special Project Title	Study on Concentrations of Ozone Using Portable Spectrometer and Particulate Matters less than 4 microns in Public Air and Non-air Conditioned Buses		
Student Names	Miss Kotchakorn	Songkom	Student ID 55050880
	Miss Chonnisa	Aomsin	Student ID 55050906
	Mr. Yutthana	Shinsaeng	Student ID 55050976
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Academic Year	2015		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwannee	Junyapoon	

Abstract

This special project studied concentrations of ozone and particulate matters less than 4 microns (PM_4) in public air and non-air conditioned buses. The ozone concentrations were determined by a portable spectrometer using Blue LED as the light source. A linear equation of ozone standards was $y = 0.0091x + 0.0019$, $R^2 = 0.9941$. The ozone measurements by the portable spectrometer and UV-Vis spectrophotometer were similar. Air samples in public air and non-air conditioned buses were collected using a personal air pump at flow rate 2.5 L/min from Ram 2 to Wat Pho (round trip) between 2 September and 2 November 2015 at 10.00 AM - 1.00 PM and 1.30 PM - 4.30 PM for 13 days. A cyclone collector equipped with an impinger contained 1% KI solution with 0.1 M phosphate buffer were used to collect PM_4 and ozone, respectively. The results showed that average concentrations of ozone from non-air conditioner buses were 7.48 ppb which is higher than those of air conditioned buses (5.81 ppb). The average concentrations of PM_4 in air conditioned buses were 26.44 $\mu g/m^3$ which is higher than non-air conditioned buses (9.31 $\mu g/m^3$). Particulate shapes of solid sphere, flake and aggregate were detected by scanning electron microscope (SEM). The risk assessments of men and women in ages 16 - >60 year old travelling by public air and non-air conditioned buses were calculated using PM_4 uptake rate. It was found that the passengers in all ages both men and women may have health risk while travelling by public air conditioned buses.

Keywords : ozone, particulate matter less than 4 microns, public air conditioned buses, public non-air conditioned buses

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความช่วยเหลือและความกรุณาจาก ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ที่สละเวลาคอยให้ความช่วยเหลือ แก้ไขและให้คำแนะนำที่ดีตลอดการทำโครงงานพิเศษ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี ที่คอยช่วยเหลือเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ สารเคมีและสถานที่ตลอดการทำงานวิจัยให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อู่รถโดยสารประจำทางสาย 48 ที่ให้ความร่วมมือและให้ใช้สถานที่บนรถโดยสารประจำทางในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ นายอาจณรงค์ เมธาวีสรรเสริญ นักศึกษาปริญญาเอก สาขาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ นายศานติกรณ์ อำนวยผล นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมการวัดคุมและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ร่วมกันสร้างอุปกรณ์และอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาตลอดการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุช ไชยรักษ์ และ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรรมการสอบโครงงานพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำ และแนวคิดเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่คอยให้ความช่วยเหลือตลอดการศึกษา และเป็นแรงผลักดันในการทำโครงงานวิจัย รวมถึงเพื่อน ๆ และบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ในโอกาสนี้

นางสาวกชกร สองคม
นางสาวชลนิษา ออมสิน
นายยุทธนา ชินแสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฎ
คำย่อและสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 ฝุ่นละออง	4
2.1.1 ประเภทของฝุ่นละออง	5
2.1.2 การแบ่งประเภทตามแหล่งที่มาของฝุ่นละออง	7
2.1.3 ผลกระทบจากฝุ่นละออง	7
2.1.4 โรคที่เกิดจากฝุ่นละออง	8
2.1.5 หลักการเก็บฝุ่นละออง	9
2.1.6 ไซโคลน	11
2.2 โอโซน	13
2.2.1 ประเภทของโอโซน	13
2.2.2 ประเภทของการเกิดของโอโซน	16
2.2.3 อันตรายของโอโซน	23
2.2.4 แผนปฏิบัติการเกี่ยวกับชั้นโอโซน	25
2.3 วิธีวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซน	25
2.3.1 วิธีเคมีลูมิเนสเซน	25
2.3.2 วิธีไอโอโดเมทรี	27

2.4 เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา 29
2.4.1 หลักการเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา 29
2.4.2 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่สร้างขึ้นในเบื้องต้น 33
2.4.3 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่สร้างขึ้น
ในการวิเคราะห์เอทานอล 35
2.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย 37
2.6 แนวทางการประเมินความเสี่ยง 38
2.6.1 การประเมินสิ่งคุกคาม 38
2.6.2 การประเมินการสัมผัส 38
2.6.3 การประเมินขนาดการสัมผัสกับการตอบสนอง 41
2.6.4 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง 41
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 42

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 43
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 43
3.1.1 สารเคมี 43
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 43
3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศ 45
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง 47
3.3.1 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาเปรียบเทียบ
กับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 47
3.3.2 ศึกษาความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน
ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ 47
3.3.2.1 การต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล 47
3.3.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละออง
ขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน 48

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 52
4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่หลอดกำเนิด
แสงไฟแอลอีดีสีต่าง ๆ เทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 52
4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4
ไมครอนภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ 57
4.2.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนภายในรถโดยสารประจำทาง
แบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ 58

4.2.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ 62
4.2.3 ความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งการเปิดประตูกับความเข้มข้นของโอโซน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ที่ตรวจวัดได้ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ 69
4.3 แนวทางการประเมินความเสี่ยง 73

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ **75**
5.1 สรุปผลการวิจัย 75
5.2 ข้อเสนอแนะ 76

เอกสารอ้างอิง **77**

ภาคผนวก **82**
ภาคผนวก ก วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศและสร้างกราฟมาตรฐานโอโซน 83
ภาคผนวก ข การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่หลอดกำเนิดแสงไฟแอลอีดีสีต่าง ๆ เทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และข้อมูลจากการเก็บตัวอย่าง 89
ภาคผนวก ค การคำนวณทางสถิติ 110
ภาคผนวก ง คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษ 115
ภาคผนวก จ แนวทางการประเมินความเสี่ยง 141

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลกระทบต่อสุขภาพและค่าความปลอดภัยมาตรฐานโอโซน	24
2.2 ข้อมูลจำเพาะของ High Power LEDs	32
2.3 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่ยอมรับได้ในประเทศไทย	37
2.4 ค่าของตัวแปรที่ใช้	40
3.1 สถานที่ที่รถโดยสารประจำทางวิ่งผ่านขณะทำการเก็บตัวอย่าง	45
4.1 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก	74
ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาจากการเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน, หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีเขียว และหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีแดง	89
ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาจากการเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงินและสีเขียวพร้อมกัน, หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงินและสีแดงพร้อมกัน, หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีเขียวและสีแดงพร้อมกัน และหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน, สีเขียวและสีแดงพร้อมกัน	90
ข.3 ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร	91
ข.4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของโอโซนเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่เปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน และเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	91
ข.5 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.	92
ข.6 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.	94
ข.7 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.	96
ข.8 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.	98
ข.9 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของการวัด Background	100
ข.10 ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.	102

ตารางที่ หน้า

ข.11 ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. 103
ข.12 ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบแบบปรับอากาศ ในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. 104
ข.13 ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบแบบไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. 105
ข.14 ข้อมูลจากการวัด Background 106
ค.1 ความเข้มข้นของโอโซนเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่เปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน และเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 110
ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 111
ค.3 ความเข้มข้นของโอโซน ด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) และวิธีStudent-Newman-Keuls Procedure (SNK) 112
ค.4 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) และ วิธี Student-Newman-Keuls Procedure (SNK) 113
ง.1 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 2 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 115
ง.2 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 2 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 116
ง.3 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 5 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 117
ง.4 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 5 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 118
ง.5 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 9 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 119
ง.6 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 9 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 120
ง.7 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 19 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 121
ง.8 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 19 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 122

ตารางที่ หน้า

ง.9 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 20 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 123
ง.10 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 20 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 124
ง.11 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 25 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 125
ง.12 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 25 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 126
ง.13 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 26 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 127
ง.14 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 30 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 128
ง.15 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 30 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 129
ง.16 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 3 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 130
ง.17 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 3 ตุลาคม 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 131
ง.18 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 6 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 132
ง.19 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 7 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 133
ง.20 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 7 ตุลาคม 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 134
ง.21 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 17 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 135
ง.22 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 17 ตุลาคม 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 136
ง.23 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 31 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 137
ง.24 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 31 ตุลาคม 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 138
ง.25 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 139
ง.26 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 140

ตารางที่ หน้า

จ.1 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการประเมินการสัมผัส 142
จ.2 น้ำหนักเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างทั้งชายและหญิงทั่วประเทศ จำนวน 13,442 คน โดยแบ่งตามช่วงอายุ 143

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองกับเส้นผมและขนาดและขนาดอนุภาค 4
2.2 รูปร่างของอนุภาคต่าง ๆ 6
2.3 อนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ที่มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ 8
2.4 การติดเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศที่ตัวบุคคล 10
2.5 แสดงขนาดของอนุภาคที่ไซโคลนเก็บได้ที่ประสิทธิภาพ 50% 12
2.6 หลักการทำงานของไซโคลน 12
2.7 ปริมาณโอโซนในบรรยากาศ 13
2.8 การเกิดโอโซนในชั้นสตาร์โตสเฟียร์ 14
2.9 แหล่งกำเนิดโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ 16
2.10 แผนภาพแสดงการจัดวางส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา 30
2.11 แสดงลักษณะของบอร์ด ET-EASY168 STAMP 31
2.12 หลอดแอลอีดี High Power LEDs 31
2.13 โฟโตทรานซิสเตอร์ รุ่น WPTS-505 32
2.14 หน้าจอ LCD 16x2 Blue and White 33
2.15 แสดงกราฟมาตรฐานที่ได้จากการทดลองเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ด้วยสารละลายสีผสมอาหาร (ก) ทดสอบหลอด LED สีแดง ด้วยสารละลายสีเขียว (ข) ทดสอบหลอด LED สีเขียว ด้วยสารละลายสีแดง (ค) ทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายสีส้ม (ง) ทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายสีเหลือง 34
2.16 การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายเอททานอล ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาและเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 35
3.1 เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา 44
3.2 การต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลขณะทำการสอบเทียบอัตราการไหล 48
3.3 การวัด Background 49
3.4 ตำแหน่งที่นั่งในการเก็บตัวอย่างอากาศ (ก) แบบปรับอากาศ (ข) แบบไม่ปรับอากาศ 51
3.5 การต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลขณะทำการเก็บตัวอย่างอากาศ 51
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น จากการเปิดหลอดกำเนิด (ก) แสงสีน้ำเงิน (ข) แสงสีเขียว (ค) แสงสีแดง ของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา 52

รูปที่ หน้า

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น จากการเปิดหลอดกำเนิด (ก) แสงสีน้ำเงินและสีแดงพร้อมกัน (ข) แสงสีน้ำเงินและสีเขียวพร้อมกัน (ค) แสงสีเขียวและสีแดงพร้อมกัน (ง) แสงสีน้ำเงิน, สีแดงและสีเขียวพร้อมกันของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา 54

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นของไอโอดีน โดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 56

4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโอโซนที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่เปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน 57

4.5 กราฟระหว่างความเข้มข้นของโอโซนและวันที่เก็บอากาศ ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. (ก) ความเข้มข้นของโอโซนที่ได้จากรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ (ข) ความเข้มข้นของโอโซนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไทของกรมควบคุมมลพิษ 58

4.6 กราฟระหว่างความเข้มข้นของโอโซนและวันที่เก็บอากาศ (ก) ความเข้มข้นของโอโซนที่ได้จากรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. (ข) ความเข้มข้นของโอโซนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไทของกรมควบคุมมลพิษ ในช่วงเวลา 14.00 - 17.00 น. 59

4.7 กราฟความเข้มข้นเฉลี่ยของโอโซน ของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในวันจันทร์ถึงศุกร์และเสาร์อาทิตย์ (ก) ช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. (ข) ช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. 61

4.8 กราฟระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองและวันที่เก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. (ก) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนที่ได้จากรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ (ข) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไทของกรมควบคุมมลพิษ 62

4.9 กราฟระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองและวันที่เก็บอากาศ (ก) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนที่ได้จากรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. (ข) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไทของกรมควบคุมมลพิษ ในช่วงเวลา 14.00 - 17.00 น. 63

รูปที่ หน้า

4.10 กราฟความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในวันจันทร์ถึงศุกร์และวันเสาร์อาทิตย์ (ก) ช่วงเวลา 10.00-13.00 น. (ข) ช่วงเวลา 13.30-16.30 น. 64

4.11 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน เมื่อวันที่ 30 กันยายน 2558 ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. (ก) ฝุ่นละออง รูปร่าง Solid Sphere จากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) ฝุ่นละอองรูปร่าง Flake จากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ (ค) ฝุ่นละอองรูปร่าง Aggregate จากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ 67

4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการเปิด-ปิดประตูรถกับความเข้มข้นของโอโซน ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. (ก) รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ 69

4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการเปิด-ปิดประตูรถกับความเข้มข้นของโอโซน ในช่วงเวลา 13.30 – 16.30 น. (ก) รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ 70

4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการเปิด-ปิดประตูรถกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. (ก) รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ 71

4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการเปิด-ปิดประตูรถกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ในช่วงเวลา 13.30 – 16.30 น. (ก) รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ 72

คำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส
K	เคลวิน
kPa	กิโลปาสกาล
mL/min	มิลลิลิตรต่อนาที
mL	มิลลิลิตร
L	ลิตร
ppb	หนึ่งในพันล้านส่วน
µL	ไมโครลิตร
$\mu g/m^3$	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
g	กรัม
N	นอร์มอล
M	โมลาริตีหรือโมลาร์
nm	นาโนเมตร
µm	ไมโครเมตรหรือไมครอน
min	นาที

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ระบบขนส่งมวลชนสาธารณะมีการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ มีการขยายเส้นทางออกไปสู่พื้นที่ส่วนต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามวัตถุประสงค์และความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ ได้แก่ การขนส่งทางราง การขนส่งทางอากาศ และการขนส่งทางรถโดยสาร ประเทศไทยมีการจดทะเบียนสะสมของรถโดยสารประจำทางของกรุงเทพมหานครแยกตามประเภทรถจำนวน 24,227 คัน มีสัดส่วนมากที่สุดถึงร้อยละ 59.64 (กรมการขนส่งทางบก, 2557) และมีจำนวนผู้โดยสารรถโดยสารขสมก. ถึง 341,540 พันคน คิดเป็นร้อยละ 52.16 ของการขนส่งผู้โดยสารภายในประเทศทั้งหมด โดยแบ่งเป็นผู้โดยสาร รถปรับอากาศ 196,450 พันคน และผู้โดยสารรถไม่ปรับอากาศ 145,090 พันคน (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2556)

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครมีปัญหาการจราจรหนาแน่นและติดขัด นอกจากจะสิ้นเปลืองพลังงานฟอสซิลแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ จะเห็นได้จากความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน มักมีค่าเกินค่ามาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2555 ก) การส่งเสริมให้ประชาชนในเมืองหลวงใช้ระบบขนส่งมวลชนสาธารณะจึงเป็นแนวทางในการช่วยลดปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปริมาณรถยนต์ในกรุงเทพมหานครยังมีจำนวนมากบนถนนและคุณภาพของรถโดยสารสาธารณะส่วนใหญ่ยังไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้น การใช้รถโดยสารสาธารณะจึงมีโอกาสที่จะได้รับมลพิษทางอากาศ

การรับมลพิษทางอากาศจากรถโดยสารสาธารณะแบบปรับอากาศมาจากทั้งภายในและภายนอกรถ กล่าวคือจะมีอากาศจากภายนอกรถเข้ามาในรถเมื่อมีการเปิดประตูให้ผู้โดยสารขึ้นลง และจากการที่ไม่มีระบบระบายอากาศหรือระบบระบายอากาศทำงานไม่ดี ก็จะส่งผลให้อากาศจากภายนอกรถที่เข้ามาสะสมอยู่ภายในตัวรถ เกิดการกักมลพิษขึ้นภายในรถ รวมถึงฝุ่นละอองจากภายนอกรถที่มาเกาะอยู่ตามแผงคอยล์เย็นของระบบปรับอากาศ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ ลมของเครื่องปรับอากาศก็จะพัดพาฝุ่นเข้ามาในตัวรถได้อีกเช่นกัน นอกจากนี้ น้ำหอมปรับอากาศ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ผลิตภัณฑ์สำหรับทำสีและเคลือบเงารถก็ยังมีไอระเหยของสารอินทรีย์ที่เป็นอันตราย สำหรับรถโดยสารสาธารณะแบบไม่ปรับอากาศนั้น การเปิดหน้าต่างของรถและการเปิดพัดลมภายในรถตลอดเวลา ทำให้มีการระบายอากาศที่ดี ส่งผลให้สภาพอากาศภายในรถไม่แตกต่างกันมากกับสภาพอากาศภายนอกรถ แต่การที่มลพิษทางอากาศบนท้องถนนมีความเข้มข้นสูงก็จะทำให้ผู้โดยสารได้รับมลพิษจากภายนอกรถโดยสารโดยตรง จากปัญหามลพิษดังกล่าวย่อมส่งผลกระทบต่อระบบ

ทางเดินหายใจของผู้ใช้บริการ นอกจากนี้การที่ต้องใช้เวลาในการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางเป็นเวลานานในแต่ละวัน ทำให้ได้รับมลพิษทางอากาศเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจในระยะยาว

การวิเคราะห์โอโซนในบรรยากาศ โดยทั่วไปนิยมวิเคราะห์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งต้องวิเคราะห์ทันที จึงเป็นการยากที่จะวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศในภาคสนาม โครงงานพิเศษนี้จึงศึกษาความเข้มข้นของโอโซน (O_3) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน (PM_4) ภายในรถโดยสารประจำทางของขสมก. แบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ โดยวัดความเข้มข้นของโอโซนด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ที่พัฒนาโดยณัฐวุฒิและคณะ และวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน โดยใช้วิธีไซโคลน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของผู้โดยสารรถประจำทางของขสมก.แบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาความเข้มข้นของโอโซนและปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ภายในรถโดยสารประจำทางสาธารณะแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ

2) เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนโดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาในการวิเคราะห์หาโอโซนเปรียบเทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทางการค้าในห้องปฏิบัติการ

2) กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาตั้งแต่อู่รถโดยสารประจำทางจากบริเวณมหาวิทยาลัยรามคำแหง วิทยาเขตบางนา ไปตามถนนบางนา-ตราด ถนนสุขุมวิท ถนนเพลินจิต ถนนพระราม 1 ถนนกรุงเกษม ถนนหลวง ถนนพลับพลาไชย ถนนบำรุงเมือง ถนนวรจักร ถนนเยาวราช ถนนจักรเพชร ถนนพาหุรัด ถนนตรีเพชร ถนนสนามชัย จนสุดเส้นทางที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร (วัดโพธิ์) ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. และกลับในเส้นทางเดิมในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. โดยทำการเก็บตัวอย่างระหว่างวันจันทร์ถึงศุกร์ และวันเสาร์อาทิตย์ตั้งแต่วันที่ 2 กันยายน ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 เป็นเวลา 13 วัน

3) ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ด้วยเครื่องไซโคลน cut-point ที่ 4 ไมครอน และโอโซนด้วยอิมพิงเจอร์ที่บรรจุสารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอตเฟส 0.1 M โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที

4) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของฝุ่นตามวิธีมาตรฐานของ USEPA (2012) และกรมควบคุมมลพิษ (2555 ข) และวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนตามวิธีมาตรฐานของ NAAQS (2011) และกรมควบคุมมลพิษ (2555 ข) และวัดความเข้มข้นของโอโซนด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา

5) คำนวณค่าความเสี่ยงของผู้โดยสารรถประจำทางสาธารณะแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้วิธีวิเคราะห์ความเข้มข้นโอโซนด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา สำหรับใช้วิเคราะห์โอโซนในภาคสนาม

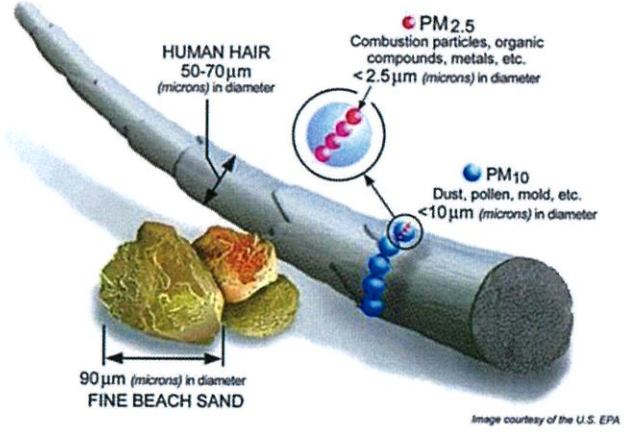
2) ได้ข้อมูลความเสี่ยงในการได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน จากการโดยสารรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่มีอยู่ในอากาศ ฝุ่นละอองเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ทั้งโดยธรรมชาติและจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยเกิดได้ทั้งจากการจราจรขนส่ง กิจกรรมอุตสาหกรรมและการเผาไหม้ในที่โล่ง ทำให้องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของฝุ่นมีความหลากหลาย นอกจากนี้ยังเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นและก๊าซบางตัว เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน เป็นต้น ฝุ่นละอองในบรรยากาศจึงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ฝุ่นละอองชนิดปฐมภูมิ ซึ่งเกิดขึ้นและแพร่กระจายสู่บรรยากาศโดยตรง และฝุ่นละอองชนิดทุติยภูมิ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวของฝุ่นละอองด้วยกัน การรวมตัวของฝุ่นละอองกับก๊าซ การรวมตัวของฝุ่นละอองกับของเหลวหรือรวมตัวกับของแข็ง ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศ มีทั้งขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นทรายขนาดใหญ่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไปจนถึงขนาดเล็กมากตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ซึ่งเป็นกลุ่มของโมเลกุลมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน เปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีผลต่อสุขภาพกับอนุภาคทรายและเส้นผม (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองกับเส้นผมและขนาดอนุภาคทราย

ที่มา : US.EPA. 2015

2.1.1 ประเภทของฝุ่นละออง

2.1.1.1 การแบ่งประเภทตามขนาดของฝุ่นละออง (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

ฝุ่นละออง คือ อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่ล่องลอยในอากาศขนาดของฝุ่นละอองมีตั้งแต่ขนาดที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือมีขนาดตั้งแต่ 0.002 – 500 ไมครอน

1. ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (Total Suspended Particulate, TSP) อนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งที่พบในอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.005 ไมครอน ถึง 100 ไมครอน แหล่งกำเนิดโดยธรรมชาติมักเกิดจากการฟุ้งกระจายของดิน ทรายที่พื้นที่ผิวถนน และสถานที่ก่อสร้าง (fugative dust) โดยลมพัดจากพื้นดิน โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาเป็นจำนวนมาก ฝุ่นละอองทางชีวภาพ (Bioaerosol) เช่น ละอองเกสรจากพืชต่างๆ และฝุ่นละอองรวมที่พบบริเวณเขตเมือง โดยทั่วไปแพร่กระจายแบบปฐมภูมิจากกระบวนเผาไหม้จากเชื้อเพลิง ทั้งจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมอื่นๆ ส่วนทุติยภูมิมาจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และก๊าซอื่นๆ ไปอยู่ในรูปของอนุภาค นอกจากนี้ อาจถูกนำพาขึ้นสู่อากาศอีกครั้งโดยฝุ่นดินจากพื้น โดยการจราจรบนท้องถนน ฝุ่นละอองแขวนลอยรวมมักทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบรับความรู้สึกของร่างกายเนื่องจากในฝุ่นอาจมีสารพิษ เช่น ตะกั่ว แมงกานีส สารหนู เป็นต้น ซึ่งทำให้ตา จมูก คอ เกิดการระคายเคืองและอักเสบได้

2. ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นสารมลพิษทางอากาศที่มีสำคัญ มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น (dust) ควัน (smoke) เขม่า (soot) ประกอบด้วยมลสารหลายชนิดผสมรวมกันและมีองค์ประกอบเคมีที่แตกต่างกัน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เกิดจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่งคือ ฝุ่นที่เกิดจากธรรมชาติและฝุ่นที่เกิดจากฝีมือมนุษย์ ฝุ่นเหล่านี้มีบทบาทต่อร่างกายที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เมื่อมนุษย์ได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจและสามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน แบ่งออกเป็น 2 ช่วงขนาด คือ อนุภาคส่วนหยาบ (coarse fraction particulate) และอนุภาคส่วนละเอียด (fine fraction particulate)

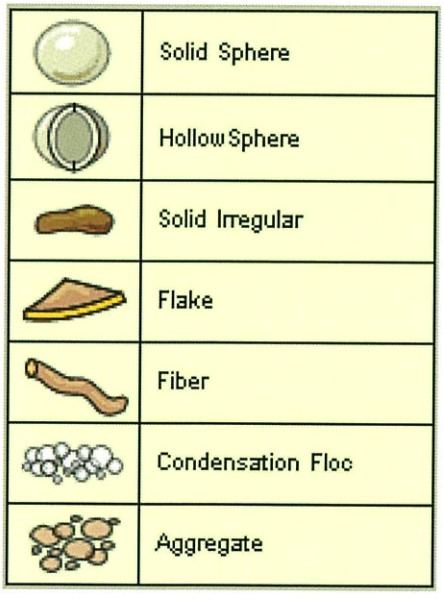
3. ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นอนุภาคของแข็งหรือกึ่งของเหลว ที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (semi-volatile) ประกอบด้วยอนุภาคทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในอากาศ เมื่อก๊าซต่างๆ

เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOC_s) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนรูปในอากาศโดยทำปฏิกิริยาเคมีและฟิสิกส์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคจากแก๊สไปอยู่ในรูปของอนุภาคที่อยู่ในอากาศทั้งอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิและอนุภาคส่วนละเอียดทุติยภูมิ มีช่วงเวลาอยู่ในอากาศเป็นระยะเวลายาวนานเป็นวันหรือสัปดาห์ และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ระยะไกล 100-1,000 กิโลเมตร (US.EPA. 1999) โดยมีแนวโน้มที่จะเกิดการแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอในบริเวณเขตเมือง

2.1.1.2 รูปร่างของฝุ่นละออง (วิวัฒน์, 2528)

เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคในกรณีที่มีรูปร่างกลม โดยปกติฝุ่นละอองในบรรยากาศมีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม เช่น เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์มักมีรูปร่างทรงกระบอก (fiber) สินแร่มักมีรูปร่างเป็นแผ่น (flake) หรือกลุ่มก้อน (aggregate) อนุภาคที่เกิดจากการเย็นตัวของก๊าซร้อนมักมีรูปร่างเป็นก้อนกลมขนาดเล็ก (floc) (รูปที่ 2.2) ฝุ่นละอองที่ไม่เป็นทรงกลมมักบอกขนาดในรูปเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (equivalent diameter) โดยเทียบกับ projected area พื้นที่ผิว ปริมาตร และมวล

รูปร่างของฝุ่นในแต่ละแหล่งกำเนิด สามารถแบ่งได้ออกเป็น 7 ประเภท ดังนี้



รูปที่ 2.2 รูปร่างของอนุภาคต่าง ๆ

ที่มา : http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/diameter/diameter.htm

2.1.2 การแบ่งประเภทตามแหล่งที่มาของฝุ่นละออง (กรมควบคุมมลพิษ, 2553 ข) แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (natural particles) เกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติ ทำให้เกิด ฝุ่น เช่น ดิน ทราย ละอองน้ำ เขม่าควันจากไฟป่า ฝุ่นเกลือจากทะเล

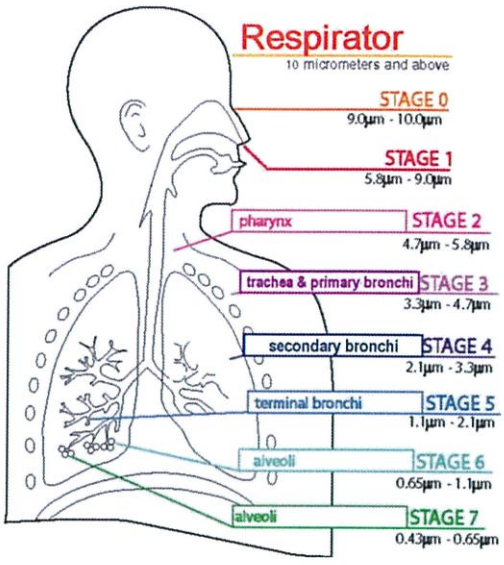
2. ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์ (man-made particle) ได้แก่ ฝุ่นจากการคมนาคมขนส่งและการจราจร เช่น ฝุ่นดินทรายที่ฟุ้งกระจายในถนนขณะที่รถยนต์วิ่งผ่าน ฝุ่นดินทรายที่หล่นจากการบรรทุกขนส่ง การกรอง วัสดุสิ่งของบนทางเท้าหรือบนเส้นทางการจราจร

2.1.3 ผลกระทบจากฝุ่นละออง (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

1. ผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป ฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น ทำให้ทัศนวิสัยไม่ดี เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นอนุภาคของแข็งที่ดูดซับและหักเหแสงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่น และองค์ประกอบของฝุ่นละออง

2. ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง ฝุ่นละอองที่ตกลงมานอกจากจะทำให้เกิดความสกปรกเลอะเทอะแก่บ้านเรือน อาคารสิ่งก่อสร้างแล้ว ยังทำให้เกิดการทำลายและกัดกร่อนผิวหน้าของโลหะ หินอ่อน หรือวัตถุอื่น ๆ เช่น รั้ว เหล็ก หลังคาสังกะสี รูปปั้น

3. ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ นอกจากฝุ่นละอองจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตาแล้ว ยังทำอันตรายต่อระบบหายใจ เมื่อสูดเอาอากาศที่มีฝุ่นละอองเข้าไปโดยอาการระคายเคืองนั้นจะเกิดขึ้นตามส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ ขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละออง โดยฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ร่างกายจะดักไว้ได้ที่ขนจมูก ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กนั้นสามารถเล็ดลอดเข้าไปในระบบหายใจ ทำให้ระคายเคือง แสบจมูก ไอ จาม มีเสมหะ หรือมีการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมลง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆที่มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ

ที่มา: http://healthwayforlife.blogspot.com/2015/07/smog.html

2.1.4 โรคที่เกิดจากฝุ่นละอองเป็นสาเหตุ (Hansen, 1991)

Hansen (1991) ได้สรุปผลของ Respirable particles มีต่อสุขภาพ คือทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อต่างๆรวมทั้งบริเวณปลายประสาท รบกวนการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต ทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด ลดกลไกการป้องกันโรค ระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง เซลล์บริเวณปอดเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและเป็นสารก่อมะเร็ง ฝุ่นละอองที่ไม่ตกสู่พื้นหรือต้องใช้เวลานานกว่าจะตกสู่พื้นเป็นต้นเหตุสำคัญทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ผู้ที่รับฝุ่นเข้าสู่ร่างกาย โดยสามารถพบโรคที่มีฝุ่นละอองเป็นตัวที่ก่อให้เกิดโรค ดังนี้

1. โรคซิลิโคซิส (Silicosis) มีสาเหตุมาจากฝุ่นผงซิลิกา ซิลิกาในธรรมชาติเป็นสารที่ทนต่อการแปรสภาพของกรดด่างและสารเคมี พบมากในเม็ดทราย ผงฝุ่นจากโรงงานบดหินและบดแร่ ผงฝุ่นชนิดนี้ ที่มีขนาดเล็กเพียง 2 ไมครอน จะกระจายตัวในอากาศแล้วผ่านเข้ารูจมูกและหลอดลมไปติดอยู่ในเนื้อเยื่อของปอดได้ ผงฝุ่นซิลิก้าขนาดเล็กนี้เมื่อสัมผัสกับเนื้อเยื่อหุ้มเซลล์จะทำให้เซลล์แตกออก เนื้อเยื่อของปอดจะถูกทำลายจนปอดพรุน สูญเสียหน้าที่ของระบบการหายใจ หายใจไม่สะดวก ปริมาตรของลมหายใจเข้าออกลดลง หัวใจถูกกด ปอดจะติดเชื้อได้ง่าย เพราะบางส่วนของปอดจะ

หยุดนิ่งไม่มีการถ่ายเทอากาศระหว่างข้างในกลับข้างนอก ผู้ป่วยอาจมีโรคปอดบวม วัณโรค ถุงลมโป่งพองแทรกซ้อนได้ (ไมตรี, 2520)

2. โรคแอสเบสโตซิส (Asbestosis) มีสาเหตุมาจากผงฝุ่นแอสเบสตอส เป็นสารจำพวกแมกนีเซียมซิลิเกต มีลักษณะเป็นเส้นใย ไม่ละลายน้ำ มีประโยชน์คือใช้ทำวัสดุทนไฟและกันความร้อน ทำผ้าเบรครถยนต์ใช้ผสมในวัสดุต่างๆ เช่น ผสมซีเมนต์ได้เป็นแผ่นเซลโลกรีตซึ่งใช้ทำฝาบ้านและเพดาน อาการของโรคคล้ายกับโรคซิลิโคซิส คือ หายใจไม่สะดวก หายใจสั่นหอบ ไอบ่อย และอาจเป็นมะเร็งหลอดลม และมะเร็งปอดได้ง่าย ในสัตว์ทดลองพบว่าถ้าฉีดเส้นใยเล็กๆของแอสเบสตอสเข้าใต้ผิวหนัง เส้นใยสามารถจะกระจายไปทั่วร่างกายของสัตว์ทดลองได้ (ไมตรี, 2520)

3. โรคหืด (Asthma) เป็นโรคของทางเดินหายใจที่เกิดจากความไวของหลอดลม ในการสนองตอบต่อสารภูมิแพ้สิ่งระคาย เช่น ฝุ่นละออง เกสรดอกไม้ ทำให้หลอดลมตีบตัวลง แสดงออกให้เห็นทางคลินิก โดยการหายใจลำบาก หายใจมีเสียงดัง Wheeze หรือจากการตรวจการทำงานของปอด อาการหอบที่เกิดขึ้นนี้ อาจจะเกิดขึ้นอย่างฉับพลันทันทีหรือค่อย ๆ เกิดขึ้นแล้วแต่ความรุนแรง อาการอื่นๆ ที่อาจพบได้อีกคือไอ น้ำมูกไหล โรคนี้พบได้ตั้งแต่อายุ 3 สัปดาห์ในรายที่มีอาการแล้วไม่ได้รับการรักษาอย่างทันท่วงที ผู้ป่วยอาจเสียชีวิตได้ (ไพบูลย์, 2526)

4. โรคภูมิแพ้ (Allergy) เป็นปฏิกิริยาของร่างกายที่มากเกินกว่าปกติเมื่อมีสารแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกาย อาจจะเป็นละอองเรณู ขนสัตว์ ฝุ่นละอองในบ้าน อาหาร สารเหล่านี้เรียกว่าแอนตีเจน จะไปกระตุ้นเร้าให้ร่างกายของผู้ที่เป็นภูมิแพ้สร้างภูมิต้านทานชนิดพิเศษ ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้ร่างกายเกิดปฏิกิริยาที่มากเกินปกติ ทำให้อาการแพ้ขึ้น ภูมิแพ้ทำให้เกิดโรคหลายชนิดด้วยกัน เช่น โรคหวัดเรื้อรัง ผื่นแพ้ ลมพิษ จมูกอักเสบ จากภูมิแพ้ แพ้ยา แพ้แมลงผิวหนังอักเสบจากการสัมผัส เป็นต้น

2.1.5 หลักการเก็บฝุ่นละออง (NIOSH, 1998)

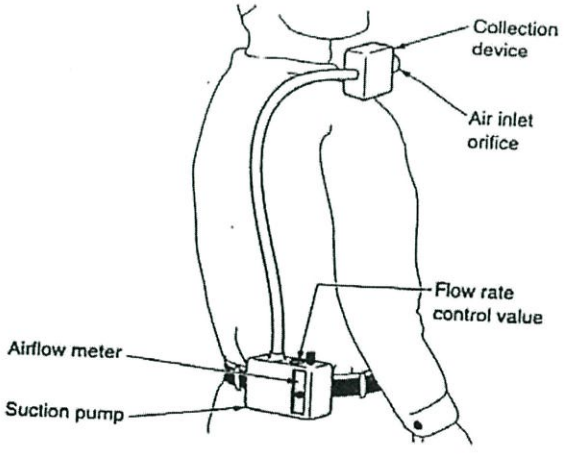
การเก็บตัวอย่างอากาศใช้ในการประเมินการได้รับสัมผัสสารพิษทางอากาศ ช่วยในการออกแบบหรือประเมินมาตรการควบคุมที่มีอยู่ และใช้ในการตรวจติดตามระดับสารมลพิษ สามารถแบ่งออกเป็น

1. การเก็บตัวอย่างระยะสั้น (Grab Sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างในระยะเวลาสั้นๆ ส่วนใหญ่น้อยกว่า 5 นาที การเก็บตัวอย่างระยะสั้นเป็นการเก็บตัวอย่างเพื่อหาความเข้มข้นของสารมลพิษในขณะนั้น ในกรณีที่มีสารที่ทำให้เกิดการระคายเคือง เช่น แอมโมเนีย การเก็บตัวอย่างระยะสั้น เป็นวิธีที่มีประโยชน์มากในการหา Peak Exposure และความเข้มข้นที่สูง

2. การเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง (Integrated Sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างอากาศที่ใช้เวลานาน และทราบปริมาตรการไหลแน่นอนโดยให้อากาศผ่านเข้าไปในวัสดุที่ใช้จับสาร เพื่อให้จับสารไว้แล้วส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ทั้งวิธีการเก็บตัวอย่างระยะสั้นและการเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง สามารถเก็บตัวอย่างได้ทั้งที่ตัวบุคคล (Personal Sampling) และพื้นที่ทำงาน (Area Sampling)

การเก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคล (Personal Sampling) ทำโดยเก็บอากาศในบริเวณที่ใกล้กับจมูกและปากของคนในระหว่างที่ทำงานในช่วงรัศมี 6-9 นิ้ว เพื่อว่าข้อมูลที่ได้จะเป็นความเข้มข้นของสารที่บุคคลอาจจะได้รับเข้าร่างกายโดยการหายใจ เป็นวิธีที่ใช้ในการประเมินการได้รับสารเคมีที่ตัวบุคคล โดยให้กลุ่มตัวอย่างติดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไว้ที่ปกเสื้อ การเก็บตัวอย่างอากาศจะทำการเก็บตลอดช่วงเวลาที่สนใจ เครื่องมือส่วนใหญ่ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นจะใช้ไซโคลน ติดที่ปกเสื้อ โดยใช้ปั๊มดูดอากาศทำให้เก็บฝุ่นขนาดเล็กที่อาจจะได้รับเข้าไปในปอดแล้วหาปริมาณฝุ่นนั้นได้ การเก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคลจะให้ข้อมูลที่แสดงถึงความเข้มข้นของสารที่บุคคลอาจได้รับตลอดช่วงเวลาที่สัมผัส ตัวอย่างที่เก็บได้จะแสดงถึงปริมาณสารที่บุคคลจะได้รับจากสิ่งแวดล้อมในการทำงานนั้นๆ การติดเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแสดงดังรูปที่ 2.4 อากาศจะถูกดูดเข้ามาในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างโดยผ่านเข้าทางรูเล็กๆ และฝุ่นละอองจะถูกจับอยู่บนตัวกลางที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง อัตราการไหลของอากาศจะถูกควบคุมโดยวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และใช้ปั๊มดูดอากาศผ่านเข้าไปในอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2.4 การติดเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศที่ตัวบุคคล (NIOSH, 1998)

การเก็บตัวอย่างที่พื้นที่ทำงาน (Area Sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างที่อุปกรณ์หรือที่พื้นที่ทำงาน สามารถใช้หาแหล่งกำเนิดของมลพิษ รูปแบบการกระจายของมลพิษ โดยแบ่งตามลักษณะงานหรือพื้นที่ประเภทต่างๆ

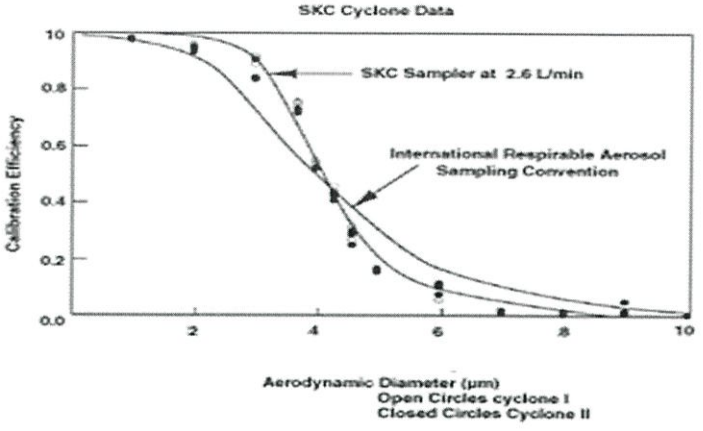
2.1.6 ไซโคลน (Bisesi and kohn, 1995)

ไซโคลนเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับแยกอนุภาคออกจากอากาศ โดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสอากาศหมุนวน (Vortex) จึงสามารถแยกอนุภาคออกจากอากาศได้ การเกิดกระแสวนทำได้โดยการให้อากาศไหลเข้าสู่ไซโคลนในแนวสัมผัสหรือแนวแกน ผ่านใบกวาดที่อยู่ภายใน (Vane) การเก็บอนุภาคจะขึ้นอยู่กับขนาด cut point ซึ่งมีลักษณะคล้ายกรวย สามารถแบ่งได้ ออกเป็น 3 ประเภท คือ (The American Conference of Govermental Industrial Hygienist, ACGIH, 1998)

1. Inhalable particulate matter คืออนุภาคขนาดใหญ่ที่สามารถหายใจเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ เป็นอันตรายต่อระบบหายใจ ซึ่งใช้ไซโคลนขนาด 50% cut point ที่ 100 ไมครอน หมายถึง ไซโคลนที่มีประสิทธิภาพ 50% ในการเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน

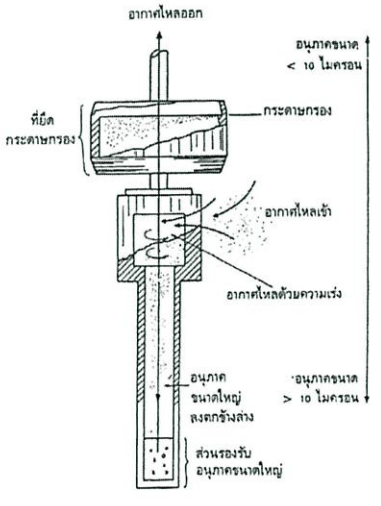
2. Thoracic particulate matter คืออนุภาคขนาดใหญ่ที่สามารถเข้าสู่ปอด เป็นอันตรายต่อปอดและบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ ซึ่งใช้ไซโคลนขนาด 50% cut point ที่ 10 ไมครอน หมายถึง ไซโคลนที่มีประสิทธิภาพ 50% ในการเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

3. Respirable particulate matter คือฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน สามารถผ่านเข้าสู่ระบบหายใจส่วนในของมนุษย์ได้ และเป็นอันตรายต่อบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ ซึ่งใช้ไซโคลนขนาด 50% cut point ที่ 4 ไมครอน หมายถึง ไซโคลนที่มีประสิทธิภาพ 50% ในการเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขนาดของอนุภาคที่ไซโคลนเก็บได้ที่ประสิทธิภาพ 50% (SKC Inc, 1998)

หลักการทำงาน นำไซโคลนขนาด Cut point ที่ 4 ไมครอน มาประกอบเข้ากับเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศที่พร้อมใช้งานแล้ว โดยสูบอากาศด้วยอัตราการไหล 1.0 ถึง 2.0 ลิตรต่อนาทีจนได้ปริมาตรอากาศตั้งแต่ 7 ถึง 133 ลิตร อากาศจะถูกดูดเข้าไปในตลับพลาสติกทางช่องทางเข้าของไซโคลน ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนลงมาจะถูกดูดไปติดที่ผิวของกระดาษกรองที่อยู่ในตลับพลาสติก ผ่านกระดาษกรองชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยวิธี Gravimetric ในส่วนตรงกลางอากาศจะถูกดูดผ่านช่องเล็กๆของไซโคลนแล้วถูกเร่งให้เป็นวงกลมเกิดการหมุนวนของอากาศภายในฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 4 ไมครอน จะถูกเหวี่ยงจากขอบของไซโคลนและตกลงปลายกรวยของไซโคลนตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งถูกรองรับด้วยจุกปิดกรวยไซโคลนสีแดง ตัวอย่างหลักการทำงานของไซโคลนแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของไซโคลน (NIOSH, 1998)

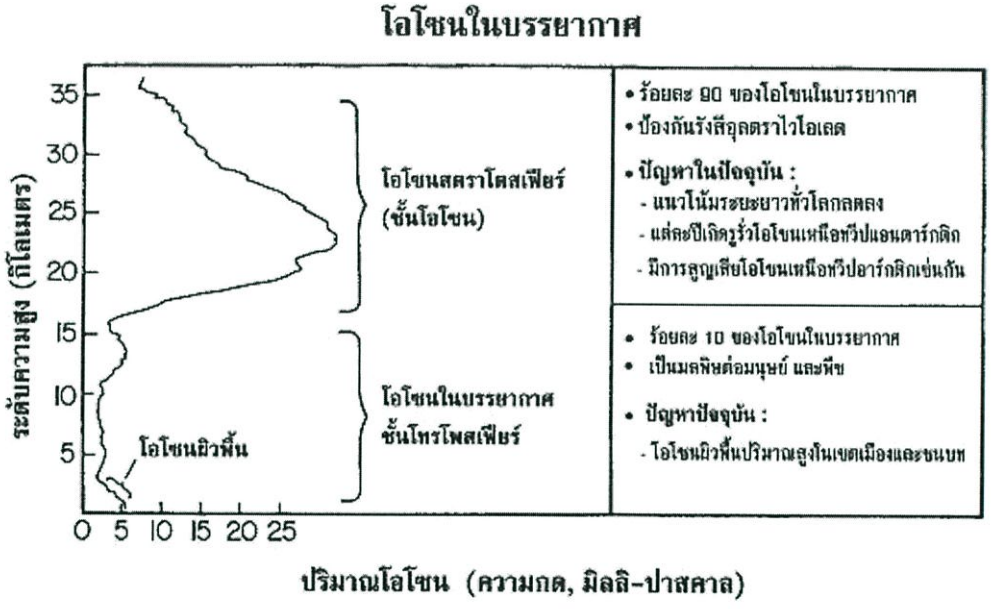
2.2 โอโซน (Ozone หรือ O_3)

2.2.1 ประเภทของโอโซน (ภิญโญ และคณะ, 2548)

โอโซนในบรรยากาศแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ (รูปที่ 2.7)

1. โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์

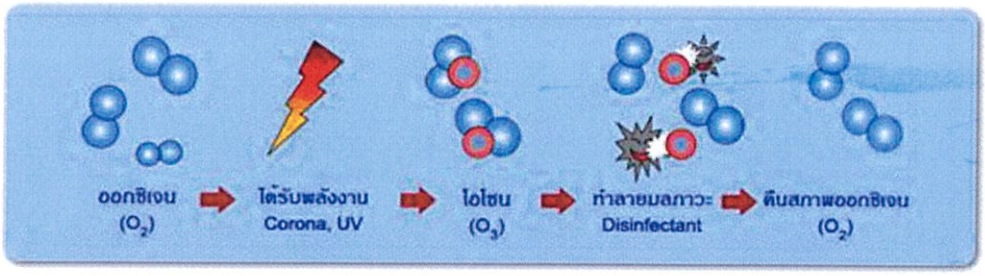
2. โอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์



รูปที่ 2.7 ปริมาณโอโซนในบรรยากาศ

ที่มา: http://www.tmd.go.th/info/images/ozone/ozone_02.jpg

1) โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์



รูปที่ 2.8 การเกิดโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์

ที่มา : http://www.ozoneinter.com/img/born_ozone.png

โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ เป็นก๊าซที่เกิดจากโมเลกุลออกซิเจน (O_2) ในชั้นสตราโตสเฟียร์ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นผิวโลกประมาณ 10-60 กิโลเมตร ทำหน้าที่กั้นไม่ให้รังสีอัลตราไวโอเลต ส่งมายังโลกในปริมาณที่มากเกินไป โดยทั่วไปรังสีอัลตราไวโอเลตชนิดซี (UVC) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 200-280 นาโนเมตร จะทำให้เกิดโอโซนในบรรยากาศและรังสีอัลตราไวโอเลตชนิดบี (UVB) ความยาวคลื่นในช่วง 280 - 320 นาโนเมตร จะถูกกั้นโดยชั้นบรรยากาศโอโซนเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (รูปที่ 2.8) ส่วนรังสีอัลตราไวโอเลต ชนิดเอ (UVA) ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 320 นาโนเมตรนี้เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ เนื่องจากช่วยในการสร้างวิตามินดี เมื่อออกซิเจนในบรรยากาศได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตทำให้โมเลกุลแตกเป็นอะตอมอิสระ O + O ซึ่งจะรวมตัวกับออกซิเจนตัวต่อไปเป็นก๊าซโอโซน O_3 ดังสมการที่ 2.1 - 2.2

$$O_2 + O \xrightarrow{\text{uv light (< 242 m)}} O \qquad (2.1)$$

$$O_2 + O \longrightarrow O_3 \qquad (2.2)$$

ปฏิกิริยาในธรรมชาติเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่โดยมีรังสีอุลตราไวโอเลตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาโฟโตเคมี (photochemical reaction) โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์จะช่วยรักษาสมดุลของรังสีจากดวงอาทิตย์ (UVB) ไม่ให้ลงมาบนพื้นโลกมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อมนุษย์ เนื่องจากมีผลทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง เป็นอันตรายต่อสัตว์และพืช รวมทั้งยังทำให้วัสดุและอุปกรณ์

ประเภทพลาสติกพีวีซี (PVC) ยาง มีอายุการใช้งานลดลงด้วย ก๊าซ 2 กลุ่มในชั้นบรรยากาศที่มีบทบาทสำคัญมากในการทำลายโอโซนได้คือสารประกอบคลอรีนออกไซด์ (Chlorine Oxides, ClOx) และไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x) โดยไนโตรเจนออกไซด์มาจากไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxides, N_2O) ซึ่งมีจุดกำเนิดตามธรรมชาติจากกระบวนการ denitrification ของจุลินทรีย์และเกิดจากฟ้าแลบฟ้าร้อง นอกจากนี้ ยังมาจากการเผาไหม้จากเชื้อเพลิงและพวกเครื่องบินที่บินเร็วเหนือเสียงที่บินอยู่ในชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งปล่อยไนตริกออกไซด์ (NO) และสารพวกฮาโลเจน (Halogen) โดยเฉพาะพวกก๊าซโบรมีน (Br) ที่สามารถสลายโอโซน ทำให้เกิดภาวะการเบาบางลงของชั้นโอโซนบรรยากาศ

การทำลายชั้นโอโซนโดยอะตอมของคลอรีน ไนตริกออกไซด์ ไฮโดรเจนออกไซด์ โบรมีน และไฮโดรเจน เกิดขึ้นโดยที่สารเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนและอะตอมของสารทำลายโอโซนวนเวียนเป็นวงจร ดังสมการ 2.3-2.10

$$O_3 \xrightarrow{\text{UVlight}} O_2 + O \qquad (2.3)$$

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2 \qquad (2.4)$$

$$NO_2 + O \longrightarrow NO + O_2 \qquad (2.5)$$

$$\text{Net}: \quad 2\,O_3 \longrightarrow 3\,O_2 \qquad (2.6)$$

$$O_3 \xrightarrow{\text{UVlight}} O_2 + O \qquad (2.7)$$

$$Cl + O_3 \longrightarrow ClO + O_2 \qquad (2.8)$$

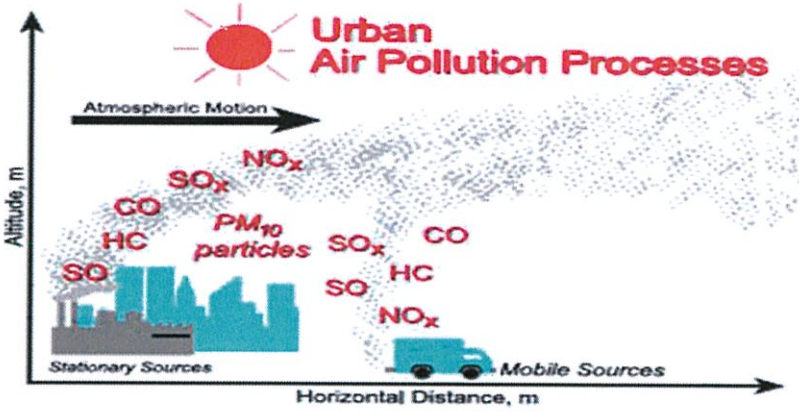
$$ClO + O \longrightarrow Cl + O_2 \qquad (2.9)$$

$$\text{Net}: \quad 2\,O_3 \longrightarrow 3\,O_2 \qquad (2.10)$$

ความเข้มข้นของ O_3 ลดลง ถ้ามีอะตอมของสารเข้าไปซึ่งจะรบกวนสมดุลระหว่าง O_3 , O_2 ทำให้เกิด O_2 มากขึ้น หรือ O_3 ลดลงนั่นเอง

2) โอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์

โอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ หมายถึง โอโซนระดับพื้นดินซึ่งจัดว่าเป็นโอโซนประเภทไม่ดี อาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งแล้ว และเกิดจากปัจจัยอื่นๆ เช่น การเผาไหม้ของเครื่องยนต์บนท้องถนน หรือกระบวนการผลิตจากแหล่งอุตสาหกรรม และอุปกรณ์ที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อผลิตโอโซน (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 แหล่งกำเนิดโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์

ที่มา: http://www.npc-se.co.th/read/npc_read_detail.asp?read_id=386&cate_id=1

2.2.2 ประเภทของการเกิดโอโซน (Fowler, 1997)

1) การเกิดโอโซนจากออกไซด์ของไนโตรเจน

จากปัญหามลพิษทางอากาศที่ปล่อย NOx ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิสูง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องทำความร้อน และจากกระบวนการผลิตต่างๆ ในอุตสาหกรรม (สารในกลุ่ม NO_x เช่น NO_2, NO) ซึ่งจะสลายตัวเป็น Nitric oxide (NO) และอนุมูลอิสระของออกซิเจน ที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยามากจะเกิดการทำปฏิกิริยาต่อไป ซึ่งก๊าซโอโซนนี้เป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา photochemical smog ดังสมการที่ 2.11

$$NO_2\,(g) \xrightarrow{\text{sunlight}} NO\,(g) + O\,(g) \qquad (2.11)$$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ออกซิเจนอะตอม จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนโมเลกุล (O_2) เกิดเป็นโอโซน (O_3) ดังสมการที่ 2.12

$$O + O_2 \longrightarrow O_3 \qquad (2.12)$$

$$O_3 \longrightarrow O_2 + O \qquad (2.13)$$

$$O + H_2O \longrightarrow 2HO \qquad (2.14)$$

ซึ่งอนุมูลอิสระของออกซิเจนเรดิคัลที่เกิดขึ้นนี้จะวนเวียนเข้าทำปฏิกิริยาเคมีต่อๆไปเกิดเป็นมลพิษทางอากาศ อย่างไรก็ตาม โอโซนสามารถสลายตัวในธรรมชาติ ดังแสดงในสมการที่ 2.13-2.14 นอกจากนี้ โอโซนยังเป็นสารสำคัญจะเข้าทำปฏิกิริยากับไนตริกออกไซด์ เกิดเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ต่อไป (สมการที่ 2.15) ถ้าในอากาศมี NO มาก O_3 จะยิ่งเป็นตัวทำให้เกิด photochemical smog มากขึ้น ซึ่งไนโตรเจนไดออกไซด์นี้เองเป็นก๊าซสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นฉุนเล็กน้อยคล้ายกลิ่นคลอรีน มีฤทธิ์ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการแสบคอ แสบจมูก อีกทั้งไนโตรเจนไดออกไซด์ สัมผัสกับไอน้ำในอากาศจะเกิดเป็นฝนกรด (nitric acid, HNO_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้น NOx สามารถทำปฏิกิริยากับสาร VOCs ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา photochemical smong ทำให้เกิดก๊าซโอโซนและสารอื่นซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศทุติยภูมิ

$$NO\ (g) + O_3\ (g) \longrightarrow NO_2\ (g) + O_2\ (g) \qquad (2.15)$$

2) การเกิดโอโซนจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์และรถยนต์ปล่อยก๊าซนี้ออกมาทางท่อไอเสีย ก๊าซนี้จะลอยปะปนอยู่ในอากาศมีจำนวนมาก เมื่อมีการจราจรคับคั่ง ในช่วงเวลากลางวัน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลแรดิคอล($OH^{\bullet}$) กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ปฏิกิริยาที่ 2.16)

$$CO\ (g) + OH^{\bullet}\ (g) \longrightarrow CO_2\ (g) + H^{\bullet}\ (g) \qquad (2.16)$$

148956

ไฮโดรเจนอะตอม ($H^{\bullet}$) จากปฏิกิริยาที่ 2.16 จะทำปฏิกิริยากับ O_2 อย่างรวดเร็ว เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกซิเจน ($HO_2^{\bullet}$) ดังปฏิกิริยาที่ 2.17

$$H^{\bullet}(g) + O_2(g) \longrightarrow HO_2^{\bullet} \qquad (2.17)$$

พันธะ O-O ใน $HO_2^{\bullet}$ เป็นพันธะที่อ่อนกว่าพันธะ O-O ใน O_2 มาก ดังนั้น $HO_2^{\bullet}$ จะทำปฏิกิริยากับ NO กลายเป็น NO_2 (ปฏิกิริยาที่ 2.18)

$$NO^{\bullet}(g) + HO_2^{\bullet}(g) \longrightarrow NO_2(g) + OH^{\bullet}(g) \qquad (2.18)$$

จากนั้น NO_2 จะเกิดปฏิกิริยาการสลายโดยแสง เกิดเป็น NO และ O (ปฏิกิริยาที่ 2.19) และ O จะทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็น O_3 (ปฏิกิริยาที่ 2.20)

$$NO_2^{\bullet}(g) + hV \longrightarrow NO^{\bullet}(g) + {\bullet}O^{\bullet}(g) \qquad (2.19)$$

$${\bullet}O^{\bullet}(g) + O_2(g) \longrightarrow O_3(g) \qquad (2.20)$$

จากปฏิกิริยาที่ 2.16–2.18 และปฏิกิริยา 2.19–2.20 สามารถเขียนเป็นปฏิกิริยารวมได้ ดังแสดงในปฏิกิริยา 2.21

$$CO(g) + 2O_2(g) + hV \longrightarrow CO_2(g) + O_3(g) \qquad (2.21)$$

ค่าชีวิตของ CO ในบรรยากาศ มีค่า 28–100 วัน จากปฏิกิริยาที่ 2.21 จะเห็นได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ CO ในชั้นโทรโพสเฟียร์จะเกิด CO_2 และ O_3

3) การเกิดโอโซนจากก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นก๊าซอินทรีย์ที่มีมากที่สุดในบรรยากาศ (1.8 ppm) ค่าชีวิตของก๊าซมีเทนประมาณ 8–12 ปี จากค่าชีวิตที่ยาวนาน ทำให้พบก๊าซนี้จนถึงชั้นโทรโพพอส โดยปริมาณก๊าซมีเทนจะลดลงที่ระดับสูงกว่าชั้นโทรโพพอส มีปริมาณเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้มวลชีวภาพ การเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ กลไกสำคัญในการกำจัดก๊าซมีเทนออกจากบรรยากาศคือ การทำปฏิกิริยากับ $OH^{\bullet}$ กลายเป็นเมทิลแรดิคอล ($CH_3^{\bullet}$) (ปฏิกิริยาที่ 2.22)

$$CH_4(g) + OH^{\bullet}(g) \longrightarrow CH_3^{\bullet}(g) + H_2O(g) \qquad (2.22)$$

จากนั้น $CH_3^{\cdot}$ จะทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็นเมทิลเปอร์ออกซีแรดิตอล ($CH_3O_2^{\cdot}$) แล้วทำปฏิกิริยากับ NO เกิดเป็น NO_2 และเมทอกซีแรดิคอล ($CH_3O^{\cdot}$) จากนั้นเมทอกซีแรดิคอลจะสลายตัวโดยทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็นฟอร์มอลดีไฮด์ (HCOH) อย่างรวดเร็ว NO_2 ที่เกิดขึ้นจะถูกสลายตัวโดยแสงและเกิดเป็น O_3 ผ่านกระบวนการ Photostationary state cycle อย่างไรก็ตาม ก๊าซโอโซนที่เกิดจากก๊าซมีเทนมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับก๊าซโอโซนที่เกิดจาก Photostationary state cycle จะเห็นได้ว่าการเกิดก๊าซโอโซนจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และจากก๊าซมีเทนจะมีปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน

4) การเกิดโอโซนจากฟอร์มัลดีไฮด์

ฟอร์มัลดีไฮด์ (HCHO) เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุน สามารถละลายน้ำได้ปานกลาง จัดเป็นอัลดีไฮด์ที่พบมากที่สุดในบรรยากาศ จากการสำรวจพบว่าฟอร์มัลดีไฮด์ของอากาศในเมืองมีปริมาณ <0.1 ppm_v และอากาศภายในอาคารมีปริมาณ 0.07–1.9 ppm_v โดยทั่วไป ฟอร์มัลดีไฮด์ของอากาศภายในอาคารจะมีปริมาณมากกว่าอากาศภายนอกอาคาร เนื่องจากมีการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ไม้อัด เฟอร์นิเจอร์ เรซิน กาว พรม เป็นต้น

ฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเมทอกซีแรดิคอล ($CH_3O^{\cdot}$) กับ O_2 ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าชีวิตของ $CH_3O^{\cdot}$ ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_2 ประมาณ 10^{-4} วินาที ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารตั้งต้นในการเกิดโอโซน โดยฟอร์มัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยากับแสงที่ความยาวคลื่นแสง <370 nm จะได้ CO แสดงดังปฏิกิริยา 2.23

$$HCHO + hV \longrightarrow CO + H_2 \qquad (2.23)$$

ฟอร์มัลดีไฮด์ (HCHO) อาจทำปฏิกิริยากับ $OH^{\cdot}$ ได้ฟอร์มิลแรดิคอล ($HC^{\cdot}O$) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2.24

$$HCHO + OH^{\cdot} \longrightarrow HC^{\cdot}O + H_2O \qquad (2.24)$$

จากนั้น ฟอร์มิลแรดิคอล ($HC^{\cdot}O$) จะปฏิกิริยากับ O_2 ได้ไฮโดรเปอร์ออกซีแรดิคอล ($HO_2^{\cdot}$) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2.25 ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดโอโซน

$$HC^{\cdot}O + O_2 \longrightarrow CO + H_2O \qquad (2.25)$$

5) การเกิดโอโซนจากอีเทน

ก๊าซอีเทน (C_2H_6) เป็น non-methane hydrocarbon ในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่มีความเข้มข้นสูงสุด โดยพบ mixing ratio ของก๊าซอีเทนในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ ประมาณ 0 ถึง 2.5 ppbv มีค่าชีวิตประมาณ 23 ถึง 93 วัน ปฏิกิริยาการเกิดโอโซนจากอีเทนคล้ายคลึงกับปฏิกิริยาการเกิดโอโซนจากมีเทน แต่ใช้อีเทนเป็นสารตั้งต้น ดังปฏิกิริยาที่ 2.26–2.28 ก๊าซอีเทน (C_2H_6) เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถทำเป็นวัตถุดิบทางอุตสาหกรรม คือเอทิลีน เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเม็ดพลาสติก เส้นใยพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) สำหรับผลิตเส้นใยพลาสติก และผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่าง ๆ

$$C_2H_6 + OH^{\cdot} \longrightarrow C_2H_5^{\cdot} + H_2O + O_2 \longrightarrow C_2H_5O_2^{\cdot} \quad (2.26)$$

$$C_2H_5O_2^{\cdot} + NO^{\cdot} \longrightarrow C_2H_5O^{\cdot} + O_2 + NO_2^{\cdot} \longrightarrow CH_3CH(=O) + HO_2^{\cdot} \quad (2.27)$$

$$C_2H_5O_2^{\cdot} + NO_2^{\cdot} \longleftrightarrow C_2H_5O_2NO_2 \quad (2.28)$$

6) การเกิดโอโซนและ PAN จากอะซิตอลดีไฮด์

อะซิตอลดีไฮด์ ($CH_3CH(=O)$) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเอทอกซีแรดิคอล ($C_2H_5O^{\cdot}$) กับ O_2 (ปฏิกิริยาที่ 2.27) จะทำปฏิกิริยากับ $OH^{\cdot}$ ได้อะซิติลแรดิคอล ($CH_3C^{\cdot}(=O)$) จากนั้นอะซิติลแรดิคอลจะทำปฏิกิริยากับ O_2 ได้เปอร์ออกซีอะซิติลแรดิคอล ($CH_3C(=O)O_2^{\cdot}$) (ปฏิกิริยาที่ 2.29) เมื่อเปอร์ออกซีอะซิติลแรดิคอลทำปฏิกิริยากับ NO_2 จะได้เปอร์ออกซีอะซิติลไนเตรท (PAN) (ปฏิกิริยาที่ 2.30) ซึ่งปฏิกิริยานี้ขึ้นกับอุณหภูมิ PAN จะสลายตัวที่อุณภูมิสูงได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ที่อุณหภูมิ 300 K พบว่า PAN มีค่าชีวิต ประมาณ 25 นาที แต่ถ้าที่อุณหภูมิ 280 K พบว่า PAN มีค่าชีวิตเพิ่มเป็น 13 ชั่วโมง ถ้าเปอร์ออกซีอะซิติลแรดิคอลจะทำปฏิกิริยากับ NO ได้อะซิติลออกซีแรดิคอล ($CH_3C(=O)O^{\cdot}$) (ปฏิกิริยาที่ 2.31)

$$(CH_3CH(=O)) + OH^{\cdot} \longrightarrow C_2H_5O^{\cdot} + H_2O + O_2 \longrightarrow CH_3C(=O)O_2^{\cdot} \quad (2.29)$$

$$CH_3C(=O)O_2^{\cdot} + NO_2^{\cdot} \longrightarrow PAN \quad (2.30)$$

$$CH_3C(=O)O_2^{\cdot} + NO^{\cdot} \longrightarrow CH_3C(=O)O^{\cdot} \quad (2.31)$$

$$C_2H_3OH + NO_3^{\bullet} \longrightarrow C_2H_3O^{\bullet} + HNO_3 + O_2 \longrightarrow CH_3C(=O)O^{\bullet} \qquad (2.32)$$

ในเวลากลางคืน อะซิตัลดีไฮด์ ($CH_3CH(=O)$) จะทำปฏิกิริยากับ NO_3 เกิดเป็นอะซิติลแรดิคอล ($CH_3C^{\bullet}(=O)$)เมื่อสารนี้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะเกิดเป็นเปอร์ออกซีอะซีติลแรดิคอล ($CH_3C(=O)O_2^{\bullet}$) แสดงในปฏิกิริยา 2.32 นอกจากนี้ โอโซนยังอาจเกิดจากการสลายอะซิตอลดีไฮด์ด้วยแสง เกิดเมทิลแรดิคอล ($CH_3^{\bullet}$) และฟอร์มิลแรดิคอล ($HC^{\bullet}O$) (ปฏิกิริยาที่ 2.33)

$$CH_3CH(=O) + hV \longrightarrow CH_3^{\bullet} + HC^{\bullet}O \qquad (2.33)$$

7) การเกิดโอโซนจากอัลเคน

การกำจัดอัลเคนออกจากบรรยากาศในเมือง ส่วนใหญ่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซีแรดิคอล ($OH^{\bullet}$) เช่นเดียวกับการเกิดโอโซนจากมีเทนในชั้นโทรโพสเฟียร์ ตัวอย่างการกำจัดโพรเพน (C_3H_8) โดยทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซีแรดิคอล ($OH^{\bullet}$) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2.34 จากนั้น NO_2 จะถูกแตกตัวด้วยแสงเกิดเป็น O_3 ดังปฏิกิริยาที่ 2.19–2.20 ส่วนการกำจัดอัลเคนด้วยการสลายโดยแสงการทำปฏิกิริยากับ O_3 (g), HO_2 (g), NO_3 (g) จะเกิดขึ้นน้อยมาก

$$C_3H_8 + OH^{\bullet} \longrightarrow C_3H_7^{\bullet} + O_2 \longrightarrow C_3H_7OO^{\bullet} + NO^{\bullet}$$

$$\longrightarrow C_3H_7O^{\bullet} + O_2 \longrightarrow CH_3(C=O)CH_3 \qquad (2.34)$$

ส่วนอะซีโตน ($CH_3(C=O)CH_3$) จะถูกสลายโดยแสงเกิดเป็นอะซิติลแรดิคอล ($CH_3C^{\bullet}(=O)$) และเมทิลแรดิคอล ($CH_3^{\bullet}$) ดังปฏิกิริยาที่ 2.35 ใช้เวลา 14-23 วัน

$$CH_3(C=O)CH_3 + hV \longrightarrow CH_3C^{\bullet}(=O) + CH_3^{\bullet} \qquad (2.35)$$

8) การเกิดโอโซนจากอัลคีน

ก๊าซอีทีนและโพรพีนเป็นอัลคีนสำคัญในอากาศในเมืองที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดโอโซนในโฟโตเคมิคอลสม็อค ซึ่งอัลคีนจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับ $OH^{\bullet}$ (g), O_3 (g), และ NO_3 (g)

อีทีนในบรรยากาศยังสามารถทำปฏิกิริยากับโอโซน (O_3) เกิดอีทีนโมโนโซไนด์ซึ่งไม่เสถียร จะถูกสลายตัวอย่างรวดเร็วกลายเป็นฟอร์มอลดีไฮด์และ Criegee biradical ในสภาวะพื้นและมลพิษที่

ถูกกระตุ้น (ปฏิกิริยาที่ 2.36) ส่วน Criegee biradical ในสภาวะที่พื้นจะทำปฏิกิริยากับ NO เกิดเป็นฟอร์มอลดีไฮด์ (ปฏิกิริยาที่ 2.37) ส่วน Criegee biradical ในสภาวะที่ถูกกระตุ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนด์มอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ (ปฏิกิริยาที่ 2.38) ซึ่ง OH, HO_2, NO_2, HCHO และ CH_3CHO เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา 2.37–2.38 สามารถใช้เป็นสารในการทำปฏิกิริยาการเกิดโอโซนต่อไป

$$C_2H_4 + O_3 \longrightarrow H_2CO\text{-}O\text{-}OCH_2 \longrightarrow CH_2{=}O + CH_2^{\bullet}O_2^{\bullet}$$

$$\longrightarrow CH_2{=}O + CH_2^{\bullet}O_2^{\bullet *} \qquad (2.36)$$

$$CH_2^{\bullet}O_2^{\bullet} + NO^{*} \longrightarrow CH_2{=}O + NO_2^{*} \qquad (2.37)$$

$$CH_2{=}O + CH_2^{\bullet}O_2^{\bullet *} \longrightarrow O^{*}CH_2{=}O$$

$$\longrightarrow CO + H_2O,\ CO_2 + H_2,\ CO + OH^{\bullet} + HO_2^{\bullet} \qquad (2.38)$$

ในเวลากลางคืน อีทีนจะทำปฏิกิริยากับไนเตรท (NO_3) เกิดเป็นเอทิลไนเตรทแรดิคอล แล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็นเอทิลเปอร์ออกซีไนเตรทแรดิคอล จากนั้น เอทิลเปอร์ออกซีไนเตรทแรดิคอลจะทำปฏิกิริยากับ NO เกิดเป็น NO_2 ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดโอโซนในเวลาเช้า ดังแสดงในปฏิกิริยา 2.39

$$C_2H_4 + NO_3^{\bullet} \longrightarrow CH_2\text{-}OCH_2NO_2 + O_2 \longrightarrow CH_2O_2^{\bullet}OCH_2NO_2$$

$$\longrightarrow CH_2O^{\bullet}OCH_2NO_2 \qquad (2.39)$$

9) การเกิดโอโซนจากอะโรมาติก

โทลูอีน ($C_6H_5CH_3$) เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซเบนซีน ชีวมวล และการกลั่นปิโตรเลียม การผลิตน้ำยาซักล้าง เป็นต้น Mixing ratio ของโทลูอีนในอากาศอยู่ระหว่าง 1 ถึง 30 ppb_v โทลูอีนทำปฏิกิริยากับ $OH^{\bullet}$ กลายเป็น Benzyl radical และ o-hydroxytoluene ซึ่ง Benzyl radical จะทำปฏิกิริยากับ O_2 กลายเป็น benzylperoxy radical ในขณะที่ o-hydroxytoluene จะทำปฏิกิริยากับ O_2 กลายเป็น Toluene-hydroxyl-radical adduct และ o-cresol ซึ่ง o-cresal จะทำปฏิกิริยากับ $OH^{\bullet}$ กลายเป็น methyl phenylperoxy radical ($C_6H_5CH_3O_2^{\bullet}$) จากนั้น benzylperoxy

radical, Toluene-hydroxyl-radical adduct และ methyl phenylperoxy radical จะเปลี่ยน NO ไปเป็น NO_2 จากนั้น NO_2 จะถูกแตกตัวด้วยแสง เกิดเป็น O_3 ดังปฏิกิริยาที่ 2.19–2.20

10) การเกิดโอโซนจากเทอพีน

เทอพีนเกิดจากการปลดปล่อยจากสิ่งมีชีวิต ได้แก่ พืช สาหร่าย แบคทีเรีย และสัตว์ ประกอบด้วย isoprene (C_5H_8); α–pinene,β–pinene, d-limonene ($C_{10}H_{16}$); sesquiterpenes ($C_{15}H_{21}$); diterpenes ($C_{20}H_{32}$) เป็นสารตั้งต้นสำคัญในการเกิดโอโซน

2.2.3 อันตรายของโอโซน (ESA, 2014)

ก๊าซโอโซนจัดเป็นก๊าซพิษ ทำให้เกิดอาการระคายเคืองในระบบหายใจ ทำให้ไอ ระคายคอ หรือแน่นหน้าอก ปวดศีรษะ ท้องเสีย แน่นท้อง มีอาการป่วยและอาเจียน การสัมผัสโอโซนที่อยู่ในสภาพของเหลวที่มีความเข้มข้นสูงที่ผิวหนังหรือดวงตา อาจจะทำให้เกิดอาการระคายเคือง อาการไหม้รุนแรง ปวดแสบปวดร้อน มีการกำหนดเกณฑ์ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ได้รับโดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.1 ppm ในช่วงระยะเวลาของการทำงานนาน 8 ชั่วโมง (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10, 2538) อันตรายจากการได้รับโอโซนเป็นประจำอาจจะเป็นอันตรายต่อปอด โดยเฉพาะในวัยเด็กที่ปอดกำลังพัฒนา ทำให้เกิดโรคปอดกำเริบ เช่น กลีบปอดพองลม และโรคหลอดลมอักเสบ ทำให้ภูมิคุ้มกันในระบบหายใจลดลง อาการหอบหืดและโรคหัวใจกำเริบ ลดปริมาณลมหายใจ รวมทั้งทำให้ปริมาณของเหลวในปอดเพิ่มขึ้น ทำให้หายใจติดขัด อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสืบพันธุ์และพันธุกรรม อาจจะเป็นอันตรายต่อเด็กในครรภ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบต่อสุขภาพและค่าความปลอดภัยมาตรฐานของโอโซน (U.S.EPA, 1996)

ผลกระทบต่อสุขภาพ Health Effects	ปัจจัยเสี่ยง Risk Factors	ค่ากำหนดมาตรฐาน Health Standards
• ปอดมีประสิทธิภาพน้อยลง • มีปัญหาหอบหืด • ระคายเคืองคอ ไอ • เจ็บหน้าอกหายใจไม่ออก • ปอดอักเสบ • ติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ	• ปริมาณของโอโซนในอากาศเข้มข้นมากขึ้น • สัมผัสโอโซนเป็นเวลายาวนานขึ้น เพิ่มปัญหาสุขภาพมากขึ้น • ออกกำลังกายในที่ที่มีโอโซนปริมาณมาก • มีปัญหาโรคปอด เช่น โรคหอบหืดอยู่แล้ว	-FDA แห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดว่าเครื่องผลิตโอโซนไม่ควรผลิตโอโซนเกิน 0.05 ppm. (ส่วนในล้านส่วน) สำหรับใช้ภายในอาคาร -OSHA (Occupational Safety and Health Administration) ตั้งข้อกำหนดว่า ไม่ควรทำงานในบริเวณที่มีความเข้มข้นของโอโซนเกิน 0.10 ppm เกินกว่า 8 ชั่วโมง -NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) ตั้งข้อกำหนดว่าไม่ควรอยู่ในบริเวณที่มีโอโซนเกิน 0.10 ppm ไม่ว่ากรณีใด -EPA (Environmental Protection Agency) กำหนดว่า ไม่ควรอยู่ในที่ที่มีโอโซนถึง 0.08 ppm เกิน 8 ชั่วโมง

2.2.4 แผนปฏิบัติการเกี่ยวกับชั้นโอโซน (ภิญโญ และคณะ, 2548)

ปัญหาการถูกทำลายของชั้นโอโซนได้ถูกอภิปรายโดยองค์การสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme, UNEP) ซึ่งได้จัดตั้งคณะกรรมการประสานงานเรื่องชั้นโอโซน ซึ่งประกอบด้วยผู้แทนจากองค์กรต่างๆ เช่น องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) รับผิดชอบเรื่องแผนวิจัยด้านบรรยากาศ องค์การอนามัยโลก (WHO) และ องค์กรเอกชน (NGO) ต่อมาจึงกลายมาเป็นปฏิบัติการระหว่างประเทศที่จะควบคุมการปล่อยสารซีเอฟซี (CFCs)

พิธีสารมอนทรีออล (Montreal Protocol) นักวิทยาศาสตร์ค้นพบว่าสารเคมีบางชนิด เช่น คลอโรฟลูออโรคาร์บอน หรือ CFCs ที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้ขึ้นไปทำลายชั้นโอโซนทำให้เกิดช่องว่างในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ ชั้นโอโซนมีความสำคัญเนื่องจากเป็นเสมือนเกราะป้องกันไม่ให้รังสีอุลตร้าไวโอเลต (ยูวี) ทำให้หลายส่วนตระหนักถึงภัยของปัญหานี้และเห็นว่าจำเป็นต้องมีมาตรการลดการใช้สารทำลายโอโซนอย่างเข้มงวดขึ้น ในปีเดียวกันนี้จึงได้เกิดอนุสัญญาเวียนนา (Vienna Convention) ซึ่งเป็นอนุสัญญาที่ว่าด้วยเรื่องการป้องกันชั้นโอโซนในบรรยากาศโลก โดยโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ หลังจากนั้นอีก 2 ปี พิธีสารมอนทรีออลจึงถูกจัดทำขึ้นเมื่อ 16 กันยายน พ.ศ. 2530

2.3 วิธีวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซน

2.3.1 วิธีเคมีลูมิเนสเซน (Chemiluminescence) (กรมควบคุมมลพิษ, 2550 ข)

2.3.1.1 หลักการตรวจวัด

การตรวจวัดอาศัยหลักการผ่านอากาศในบรรยากาศ และ Ethylene เข้าสู่บริเวณผสม (Mixing zone) พร้อมกัน ซึ่งในบริเวณดังกล่าวโอโซนจะทำปฏิกิริยากับ Ethylene และปล่อยแสงออกมา สามารถวัดแสงนั้นได้ด้วยหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube) โดยกระแสของแสง (Photocurrent) ที่ได้ถูกขยายและอ่านค่าโดยตรงหรือแสดงค่าบนเครื่องบันทึก

2.3.1.2 การปรับเทียบเครื่องตรวจวัด

โดยการตรวจวัดความเข้มข้นของโอโซนด้วยการวัดแสง ในระบบที่มีการไหลอย่างพลวัต (Dynamic flow system) โดยหาค่าความเข้มข้นของโอโซนที่อยู่ในเซลล์ดูดกลืนแสง (Absorption cell) จากการวัดปริมาณของแสงที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนไว้ในการหาค่าดังกล่าวต้องรู้ค่าอื่นๆด้วย ดังนี้ (1) ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง (Absorption coefficient, a) ของโอโซนที่ 254 นาโนเมตร (2) ระยะทางความยาวของทางเดินแสง (Optical path length, l) (3) ค่าทรานสมิตแทนซ์ (Transmittance) ของตัวอย่างที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร และ (4) อุณหภูมิ (T) และความดัน (P) ของตัวอย่าง ค่าทรานสมิตแทนซ์ หาได้จากอันตราส่วน I/I_0 เมื่อ I คือ ความเข้มของแสงที่ผ่านเซลล์ และเครื่องวัดแสง (Detector) สามารถวัดค่าได้ เมื่อเซลล์นั้นมีตัวอย่างโอโซนบรรจุอยู่ภายใน และ I_0 คือ ความเข้มของแสงที่ผ่านเซลล์ และสามารถวัดค่าได้ด้วยเครื่องมือวัดเมื่อเซลล์นั้นมี Zero air บรรจุอยู่ภายใน ทั้งนี้สมมติว่า สภาวะทั้งหมดของระบบ (ยกเว้นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในเซลล์ดูดกลืนแสง) มีสภาวะเดียวกันกับสภาวะขณะวัดค่า I และ I_0 ทั้งปริมาณของแสงที่กล่าวไว้ข้างต้น มีความสัมพันธ์ภายใต้กฎการดูดกลืนแสงของเบียร์-แลมเบิร์ด (Beer-Lambert)

2.3.1.3 การนำไปใช้

วิธีการปฏิบัติสำหรับการปรับเทียบนี้ จะนำไปใช้ในการปรับเทียบเครื่องวัดโอโซนในบรรยากาศ ด้วยการวัดค่าโดยตรงหรือใช้ชุดปรับเทียบที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard) ที่เรียกว่า Transfer standard

ข้อดี

1. มีความไวสูง มีขีดจำกัดการวิเคราะห์ช่วงต่ำ (lower detection limit)
2. มีความแม่นยำในการวัด
3. สามารถวิเคราะห์สารในปริมาณน้อยได้
4. มีช่วงการอ่านค่ากว้าง ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์ครอบคลุมค่ากว้างขึ้นโดยไม่ต้องเจือจาง
5. มีเสถียรภาพสูง (high stability)
6. บำรุงรักษาง่าย เสียค่าใช้จ่ายน้อย

ข้อเสีย

1. แสงของหลอดไฟกำเนิดแสงมีความเข้มไม่คงที่
2. ราคาแพง
3. เครื่องวัดมีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถนำออกไปวิเคราะห์นอกห้องปฏิบัติการได้

4.ค่าความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงช้า

2.3.2 วิธีไอโอโดเมทรี (Iodometry) (อาทิตย์ และอธิจิต, 2556)

หลักการ ใช้สารละลายที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน ซึ่งในการทดลองนี้ใช้สารดูดซึม 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตบรรจุในอิมพินเจอร์ แล้วเกิดเป็นไอโอดีน โอโซนนี้เป็นสารออกซิแดนซ์ที่แรง โอโซนจะทำให้ KI เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ I_2 เกิดเป็นสีน้ำตาล และเมื่อมีปริมาณของ I^- มากเกินพอก็จะทำให้อยู่ในรูปของ I_3^- ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงได้ ดังปฏิกิริยา 2.40 และ 2.41 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นโอโซน ซึ่งมีหลายวิธี ดังนี้

$$O_3 + 2KI + H_2O \rightarrow 2KOH + I_2 + O_2 \quad (2.40)$$

$$I_2 + I^- \leftrightarrow I_3^- \quad (2.41)$$

2.3.2.1 ไทเทรตกับโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ และมีน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายสีเหลืองเมื่อทำปฏิกิริยากับโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) จะเปลี่ยนเป็นสีใส สามารถคำนวณหาอัตราการเกิดโอโซนได้จากปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต

ข้อดี

1. ทำง่าย

ข้อเสีย

1. ความถูกต้องและแม่นยำต่ำ
2. มีความไว (sensitivity) ต่ำ
3. อาจมีการปนเปื้อนของสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นโอโซน
4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดส่วนใหญ่ทำจากแก้ว อาจเกิดการแตกหักเสียหายระหว่างทำการเก็บตัวอย่าง

2.3.2.2 วิเคราะห์โอโซนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-VIS Spectrophotometer) (ดนุพล และวัชระ, 2556)

หลักการ

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสง และค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสม จะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสง แล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

ข้อดี

1. มีเสถียรภาพในการวัดความเข้มแสงดีมาก
2. มีความถูกต้องและแม่นยำของการอ่านค่าความเข้มแสง
3. มีความไวในการวิเคราะห์ มีขีดจำกัดการวิเคราห์ช่วงต่ำ (lower detection limit)

ข้อเสีย

1. ราคาแพง
2. ถ้ามีแสงรั่วจากภายนอกหรือกระจกสะท้อนแสงมีความสกปรก จะทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน
3. ถ้าสารตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จะทำให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์ต่ำ
4. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนต้องทำการวิเคราะห์โดยทันทีหลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จ เนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซที่มีความเสถียรต่ำ มันจึงสลายตัวได้ง่ายและเปลี่ยนเป็นก๊าซออกซิเจน คือ มีครึ่งชีวิตเพียง 45นาทีที่อุณหภูมิ 25องศาเซลเซียส ขณะที่การสลายตัวจะรวดเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และหากก๊าซโอโซนอยู่ในน้ำ มันจะสลายตัวในน้ำเร็วกว่าอากาศ คือ มีครึ่งชีวิตเพียง 15 นาที ที่อุณหภูมิ 25องศาเซลเซียส จึงไม่สามารถนำกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการได้ (จักรกฤษณ์, 2548)

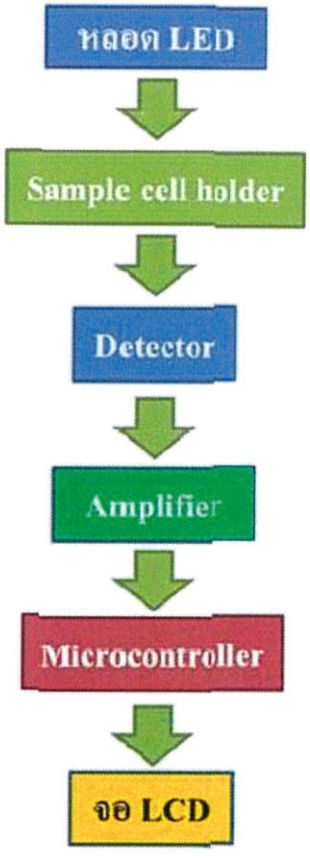
5. เครื่องมือมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์นอกสถานที่ได้

2.4 เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยณัฐวุฒิและคณะ (2557) (Portable spectrometer)

2.4.1 หลักการเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารตามกฎของเบียร์ (Beer's law) ซึ่งกล่าวว่าค่าการดูดกลืนแสงแปรผันตรงกับความเข้มข้น โดยจะพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับส่วนของหลอดกำเนิดแสงและหลอดรับแสง โดยจะเลือกใช้หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดี (Light emitting diode, LED) ที่สามารถเปล่งแสงสีแดง-เขียว-น้ำเงิน ได้ภายในหลอดเดียวกัน และจะเลือกใช้หลอดโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นหลอดรับแสง พัฒนาส่วนของช่องวางเซลล์สารตัวอย่าง (Sample cell) ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างหลอดกำเนิดแสงและหลอดรับแสง รวมถึงได้สร้างโปรแกรมสำหรับประมวลผลและแสดงผลค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นตัวเลขแบบดิจิตอล ผ่านทางหน้าจอแอลอีดี ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือในเบื้องต้น โดยทดสอบการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีผสมอาหารสีแดง สีเขียว และสีเหลืองที่ความเข้มข้นต่างๆ และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น หากมีความเป็นเส้นตรงสูง แสดงว่า เครื่องมือสามารถอ่านค่าการดูดกลืนแสงได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับหลักการ Beer's law จากนั้นทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือขั้นต่อไป โดยในเบื้องต้นจะทดสอบกับสารละลายผสมอาหารสีแดง เขียว และน้ำเงินก่อน จากนั้นทดสอบโดยใช้ปฏิกิริยาเคมี โดยให้อ่านค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สีแดงที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอออนของเหล็ก (Fe (II)) กับ *o*-phenanthroline ซึ่งปฏิกิริยานี้ ใช้เป็นหลักการในการวิเคราะห์ปริมาณ การทดสอบความถูกต้อง ก็จะประเมินจากความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน และจะทดสอบการอ่านค่าดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สีเขียวจากปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมต และเอทานอล และผลิตภัณฑ์สีน้ำเงินจากปฏิกิริยาระหว่างฟอสโฟทังสติกกับกรดยูริก หลังจากผ่านการทดสอบในเบื้องต้นแล้ว จะบรรจุอุปกรณ์ต่างๆ ลงในกล่องอะคริลิกชนิดทึบแสงที่สร้างขึ้นตามรูปทรงที่ได้ออกแบบไว้ แล้วทำการทดสอบความถูกต้องของการอ่านค่าการดูดกลืนแสงอีกครั้งหนึ่ง โดยประเมินความถูกต้องจากค่าความเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกัน

ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา (รูปที่ 2.10)

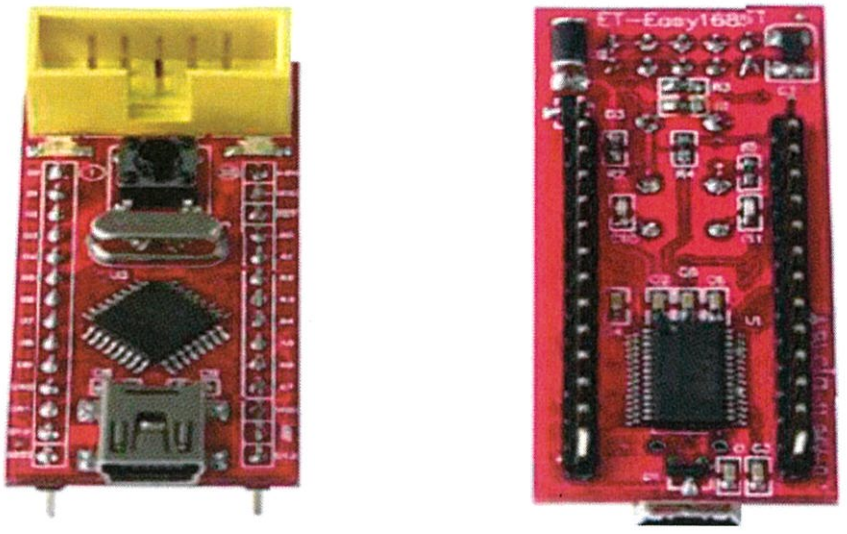


รูปที่ 2.10 แผนภาพแสดงการจัดวางส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2557)

1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ET-EASY168 STAMP)

ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็ก โดยมีขนาดของบอร์ด 2 ซม. x 5 ซม. และใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด ภายในตัวบอร์ดได้รวมเอาไอซี USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232R เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS232 กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB ได้โดยตรง (รูปที่ 2.11)

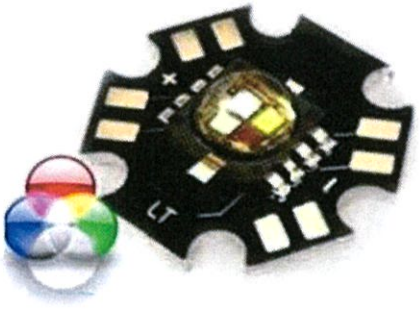
ด้านหน้า ด้านหลัง



รูปที่ 2.11 ลักษณะของบอร์ด ET-EASY168 STAMP (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2557)

2) หลอดกำเนิดแสงแอลอีดี (Light emitting diode, LED)

ใช้หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีพลังงานสูงรุ่น High Power LEDs – Multi-Color XLAMP MCE 80LM RGBW ที่สามารถเปล่งแสงสีเขียว-แดง-น้ำเงิน ได้ภายในหลอดเดียวกัน ข้อมูลจำเพาะและรูปแสดงหลอด LED ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นรูปที่ 2.12 และตารางที่ 2.2



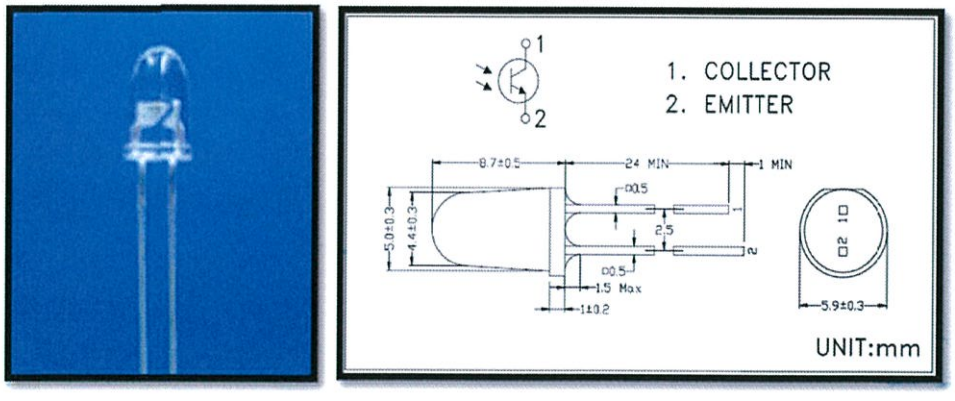
รูปที่ 2.12 หลอดแอลอีดี High Power LEDs – Multi–Color XLAMP MCE 80LM RGBW (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2557)

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลจำเพาะของ High Power LEDs - Multi-Color XLAMP MCE 80 LM RGBW (Mouseer Electronics, หน้า 88, 2015)

รายการ	คุณลักษณะของหลอด
ความสว่างของสี	RGB, Neutral White
กระแสทางตรง	350 mA
แรงดันทางตรง	R: 2.1 V, G: 3.4 V, B: 3.2 V และ W: 3.2 V
ขนาดหลอดไฟ LED	7.5 mm x 7 mm x 4.48 mm
ฟลักซ์ส่องสว่าง/ฟลักซ์การแผ่รังสี	R: 30.6 lm, G: 67.2 lm, B: 8.2 lm และ W: 80 lm
อัตราพลังงาน	9.5 W

3) โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor)

โฟโตทรานซิสเตอร์เป็นทรานซิสเตอร์ที่รวมเอาโฟโต้ไดโอดมาไว้ภายในวงจรเดียวกัน โดยให้โฟโต้ไดโอดทำหน้าที่เป็นตัวไบแอสกระแสให้แก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ดังนั้น เมื่อมีแสงตกระทบที่โฟโต้ไดโอดจะเกิดการนำกระแสที่ขาเบส ทรานซิสเตอร์จึงนำกระแสได้ ซึ่งงานนี้ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ รุ่น WPTS-505 เป็นดีเทคเตอร์ในการตรวจวัดแสง รูปโฟโต้ทรานซิสเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo transistor รุ่น WPTS-505) (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2557)

4) จอแสดงผล

ในส่วนของจอแสดงผลจะใช้หน้าจอ LCD 16x2 Blue on White ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นหน้าจอแสดงผลที่สามารถแสดงผลได้ 2 บรรทัด จำนวน 32 ตัวอักษร



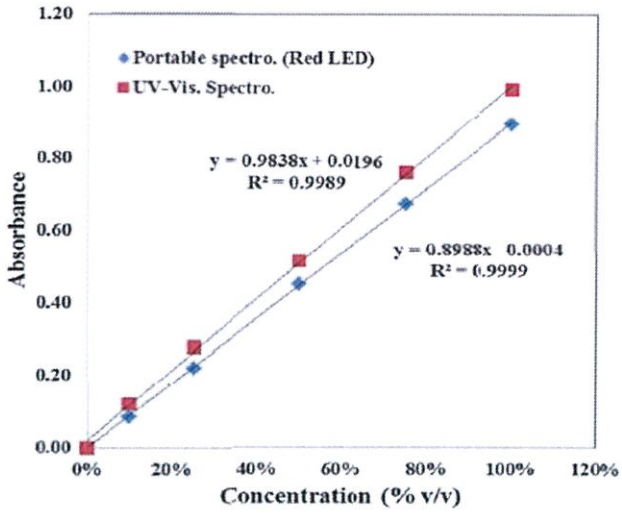
รูปที่ 2.14 หน้าจอ LCD 16x2 Blue on White (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2557)

2.4.2 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่สร้างขึ้นในเบื้องต้น

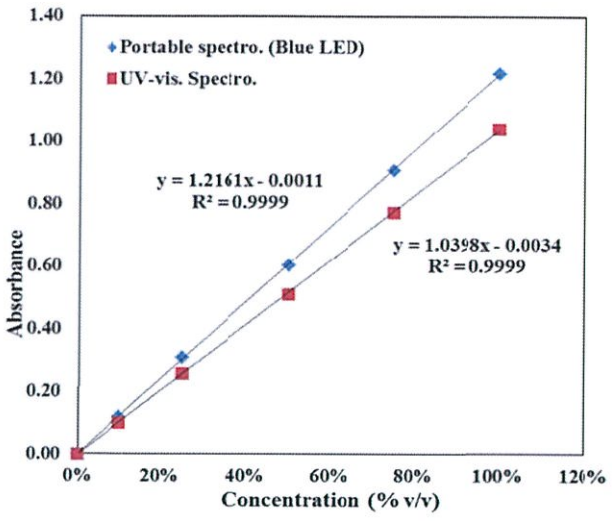
1) การทดสอบหลอด LED สีแดง ด้วยสารละลายสีผสมอาหารน้ำเงิน เตรียมสารละลายน้ำสีน้ำเงิน ความเข้มข้นร้อยละ 10, 25, 50, 75 และ 100 แล้วตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาและเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ บันทึกผล แล้วจึงเปรียบเทียบค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องทั้งสอง

2) การทดสอบหลอด LED สีเขียว ด้วยสารละลายสีผสมอาหารสีแดง เตรียมสารละลายน้ำสีแดง ความเข้มข้นร้อยละ 10, 25, 50, 75 และ 100 แล้วตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาและเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกผล แล้วจึงเปรียบเทียบค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องทั้งสอง

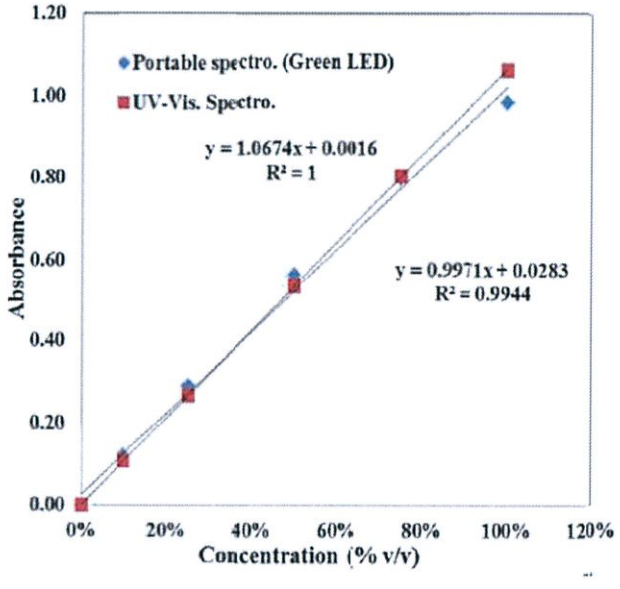
3) การทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายผสมอาหารสีเหลือง เตรียมสารละลายน้ำสีเหลือง ความเข้มข้นร้อยละ 10, 25, 50, 75 และ 100 แล้วตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาและเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และบันทึกผล จึงเปรียบเทียบค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องทั้งสอง ได้ผลดังรูปที่ 2.15



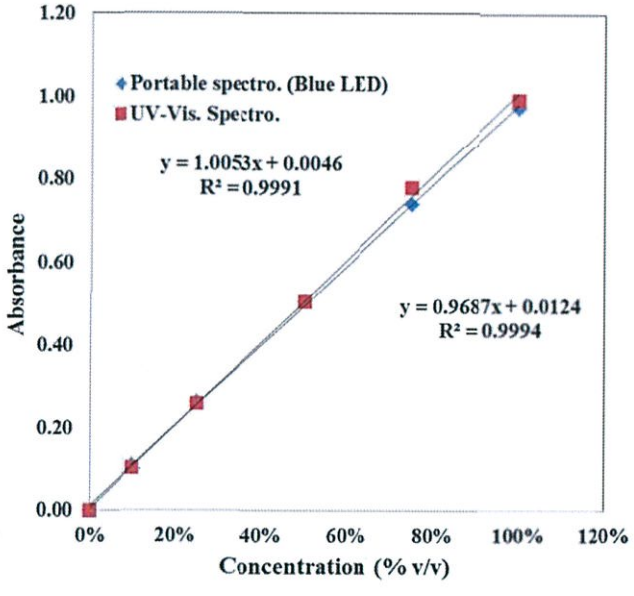
(ก)



(ค)



(ข)



(ง)

รูปที่ 2.15 กราฟมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาด้วยสารละลายสีผสมอาหาร (ก) ทดสอบหลอด LED สีแดง ด้วยสารละลายสีเขียว ,(ข) ทดสอบหลอด LED สีเขียว ด้วยสารละลายสีแดง, (ค) ทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายสีส้ม และ (ง) ทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายสีเหลือง

2.4.3 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่สร้างขึ้นในการวิเคราะห์เอทานอล

2.4.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล

1) ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 0.03 โมลต่อลิตร จำนวน 4 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร จำนวน 1 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาหลอดทดลอง เขย่าด้วยด้วยเครื่อง Vertex พร้อมจับเวลา 1 นาที

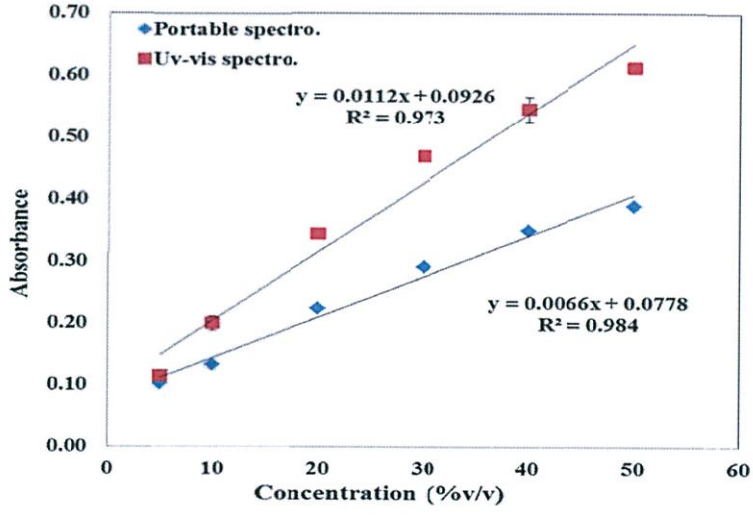
2) นำไปวัดค่าการดูดแสง

3) เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลเป็นร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยปริมาตร

การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล จะอาศัยหลักการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเขียว แสดงปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.42 แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายสีเขียวที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาและเปรียบเทียบผลกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.16

$$3C_2H_2OH_{(aq)} + 2Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 16H^+_{(aq)} \rightarrow 3CH_3COOH_{(aq)} + 4Cr^{3+}_{(aq)} + 11H_2O_{(l)} \qquad (2.42)$$

(Orange) (Green)



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาและเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

จากรูปที่ 2.16 ค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาให้ค่าน้อยกว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เนื่องจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพามีหลอดกำเนิดแสงที่มีค่าความยาวคลื่นที่ตายตัว (แสงสีน้ำเงิน) ซึ่งแสงที่หลอดแอลอีดีเปร่งออกมานั้นอาจไม่ใช่ความยาวคลื่นสูงสุดที่สารละลายสามารถดูดกลืนได้ ซึ่งต่างจากเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่สามารถเลือกความยาวคลื่นสูงสุดของสารละลายในการตรวจวัดได้ จึงส่งผลให้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพามีความไวในการวิเคราะห์ที่ต่ำกว่าเครื่องเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยค่าความชันต่ำกว่าร้อยละ 44.1 แต่ทั้งนี้จากสมการเส้นตรง $y = 0.0066x + 0.0778$ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.984 ของค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้น เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาจึงสามารถที่จะนำไปใช้หาปริมาณเอทานอลได้ และปฏิกิริยาเคมีที่ให้ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงินปฏิกิริยาอื่นๆ ที่ไม่ต้องการความไวในการวิเคราะห์มากนักได้

จากการทดสอบเบื้องต้นจะเห็นว่าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่ได้ออกแบบขึ้นมีประสิทธิภาพที่ดีในการทดสอบ สังเกตได้จากค่าความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงสูง อีกทั้งยังมีค่าความไวในการวิเคราะห์ (ความชันของกราฟ) ที่ใกล้เครื่องกับผลจากเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยได้ค่าความชันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ประมาณร้อยละ 8.6 สำหรับสารละลายสีแดงร้อยละ 6.6 สำหรับสารละลายสีเขียว และ ร้อยละ 3.6 สำหรับสารละลายสีเหลือง ยกเว้นสารละลายสีส้ม ที่มีค่าความชันสูงกว่าร้อยละ 17 เมื่อเทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่สร้างขึ้นนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดค่าดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์เชิงปริมาณต่อไปได้

ข้อดี

1. เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพามีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ทำให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและพกพาออกนอกสนาม ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์โอโซน เนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซที่ต้องวิเคราะห์ทันทีหลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จ

2. เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาทำจากวัสดุที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3. บำรุงรักษาง่าย

ข้อเสีย

1. มีความไว (sensitivity) ในการวิเคราะห์ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2. เมื่อมีแสงภายนอกรบกวนอาจทำให้ค่าการดูดกลืนที่วัดได้ มีความคลาดเคลื่อน

2.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย

ประเทศไทยได้กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 พ.ศ. 2538 (กรมควบคุมมลพิษ, 2555 ค) เรื่องกำหนดคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป แสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพอากาศที่ยอมรับได้ในประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2555 ก)

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป		
สารมลพิษ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	1 ชม.	ไม่เกิน 30 ppb. (34.2 มก./ลบ.ม.)
	24 ชม.	ไม่เกิน 9 ppm. (10.26 มก./ลบ.ม.)
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	1 ชม.	ไม่เกิน 0.17 ppm. (0.32 มก./ลบ.ม.)
ก๊าซโอโซน (O_3)	1 ชม.	ไม่เกิน0.10 ppm. (0.20 มก./ลบ.ม.)
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	1 ปี	ไม่เกิน 0.04 ppm. (0.10 มก../ลบ.ม.)
	24 ชม.	ไม่เกิน 0.12 ppm.(0.30 มก./ลบ.ม.)
	1 ชม.	ไม่เกิน 0.3 ppm.(780 มก./ลบ.ม.)
ตะกั่ว (Pb)	1 เดือน	ไม่เกิน 1.5 มก./ลบ.ม.
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 0.12 มก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม.
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 0.33 มก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 0.10 มก./ลบ.ม.

หมายเหตุ 1. มาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะสั้น (1, 8 และ 24 ชม.) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อ สุขภาพอนามัยอย่างเฉียบพลัน (acute affect)

2. มาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะยาว (1 เดือน และ 1 ปี) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบระยะ ยาว หรือกระทบเรื้อรัง ที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย (Chronic effect)

2.6 แนวทางการประเมินความเสี่ยง (กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

2.6.1 การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification)

- เป็นพื้นที่ที่มีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากฝุ่นละอองขนาดเล็กจนถูกประกาศเป็นเขตควบคุมมลพิษตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547

- ประชาชนอาศัยอยู่ใกล้แหล่งคุกคาม หายใจรับเอาฝุ่น PM10 PM2.5 และ Silica เข้าไปในร่างกายทุกวันทาให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ

2.6.2 การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)

ประเมินจากความเข้มข้นของสารมลพิษ ความถี่การรับสัมผัส ระยะเวลาการสัมผัส และช่องทางการรับสัมผัส

1) ความเข้มข้นของสารมลพิษ คือ ปริมาณสาร PM10 , PM2.5 ,Silica ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม

2) ความถี่การรับสัมผัส คือ ประชาชนหายใจรับสารมลพิษทุกวัน

3) ระยะเวลาที่สัมผัส คือ ระยะเวลาที่ประชาชนอาศัยอยู่ในพื้นที่เสี่ยง (ระยะเวลาที่ประชาชนรับสารมลพิษ)

4) ช่องทางการสัมผัส คือ ทางการหายใจ (Inhalation Route)

โดยใช้สมการสำหรับการประเมินการสัมผัสทางการหายใจ ดังสมการที่ 2.43

$$I\ (mg/kg\text{-}day) = \frac{C \times FR \times FA \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (2.43)$$

โดยที่ I = ปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับ

C = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในอากาศ (mg/ m^3)

FR = Factor of Retention

FA = Factor of Absorption

IR = อัตราการหายใจ (m^3 /hrs)

ET = เวลาในการสัมผัส (hrs/day)

EF = ความถี่ของการสัมผัส (days/year)

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส/ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ (year)

BW = น้ำหนักของร่างกาย (kg)

AT = ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย (days)

ตารางที่ 2.4 ค่าของตัวแปรในการประเมินการสัมผัส

ตัวแปร	ค่า	หน่วย	แหล่งอ้างอิง
C=ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในอากาศ	ค่า PM10,PM2.5 จากกรมควบคุมมลพิษ	mg/m^3	จากสานักการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ
IR= อัตราการหายใจ	0.83 (ค่าเฉลี่ย)	m^3/hrs	ATSDR
FR=Factor of Retention	1	-	ATSDR
FA=Factor of Absorption	1	-	ATSDR
ET= เวลาในการสัมผัส	ค่าเฉลี่ยรายวันใช้ 24	hrs/day	คนหายใจ 24 ชม
	ค่าสูงสุดใช้ 1 วัน		ช่วงที่ค่าสารมลพิษขึ้นสูงสุดต่อวัน
ตัวแปร	ค่า	หน่วย	แหล่งอ้างอิง
EF= ความถี่ของการสัมผัส	365	days/year	คนหายใจทุกวัน 365 วัน
ED= ระยะเวลาที่สัมผัส/ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่	อายุเฉลี่ยของประชาชนในพื้นที่	years	ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เก็บข้อมูล
BW=น้ำหนักของร่างกาย	น้ำหนักเฉลี่ยของประชาชนในพื้นที่	kg	น้ำหนักเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างในกรุงเทพมหานคร จาก Size Thailand
AT = ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย	อายุเฉลี่ยของประชาชนในพื้นที่	days	อายุเฉลี่ยของประชาชนจากการเก็บข้อมูล
RfD PM2.5	0.005	มก./กก./วัน	U.S.EPA

2.6.3 การประเมินขนาดการสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose – Response Assessment) ประเมินขนาดการสัมผัสจาก PM2.5 จากสมการที่ 2.44

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = \frac{\text{Exposure (mg/kg/day)}}{\text{RfD (mg/kg/day)}} \quad (2.44)$$

โดยที่ HQ = ค่าสัดส่วนความเสี่ยง

Exposure = ค่าปริมาณการรับสัมผัสต่อวัน (mg/kg/day)

RfD = ค่ามาตรฐานกำหนด (mg/kg/day)

2.6.4 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)

อธิบายลักษณะความเสี่ยงของสารมลพิษที่ประชาชนได้รับสัมผัส โดยประเมินจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) โดยแปรผล ดังนี้

ค่าสัดส่วนความเสี่ยง ≥ 1 หมายถึง เกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร

ค่าสัดส่วนความเสี่ยง ≤ 1 หมายถึง ค่าที่ยอมรับได้ต่อการรับสัมผัสสาร

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุลธิดา (2547) ศึกษาระดับฝุ่นละอองในการเดินทาง การจราจรในเขตเทศบาลนครราชสีมา และปริมาณฝุ่นที่ได้รับ รวมทั้งประเมินความเสี่ยงของประชากรกลุ่มต่างๆ โดยเก็บตัวอย่างความเข้นข้นของฝุ่นรวม (TSP) และฝุ่นขนาด 10 ไมครอน (PM_{10}) ในรถประจำทางปรับอากาศ รถประจำทางไม่ปรับอากาศ รถประจำทางขนาดเล็ก และรถยนต์ ผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่น PM_{10} ในรถประจำทางปรับอากาศ รถประจำทางไม่ปรับอากาศ รถประจำทางขนาดเล็ก และรถยนต์ มีค่า 144, 56, 30 และ 89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สำหรับฝุ่นรวม มีค่า 306, 188, 51 และ 170 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ การเปรียบเทียบฝุ่นที่บุคคลได้รับระหว่างกลุ่มพบว่ากลุ่มเด็กมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นที่ได้รับมากกว่าผู้ใหญ่อย่างมีนัยสำคัญ กลุ่มผู้ชายมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นที่ได้รับสูงกว่าเพศหญิง กลุ่มพนักงานขับรถประจำทางปรับอากาศได้รับฝุ่นสูงกว่ากลุ่มอาชีพอื่นที่ศึกษา และได้รับปริมาณฝุ่น PM_{10} มากกว่าปริมาณที่อ้างอิง

ศิริพงษ์ (2546) ศึกษาความเข้มข้นของโอโซนในอากาศ เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายค่าความเข้มข้นสูงสุดของโอโซนเฉลี่ยรายชั่วโมงในบรรยากาศ ณ บริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยรามคำแหง โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ระหว่างปีพ.ศ. 2540 – 2545 ทำการหาความสัมพันธ์ด้วยวิธี Multiple Linear Regression โดยมีตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ย ความเร็วลมเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงที่เวลา 10:00 น. ค่าความเข้มข้นสูงสุดของโอโซนเฉลี่ยรายชั่วโมงในวันที่ผ่านมา ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง ที่เวลา 9:00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงที่เวลา 6:00 น. ค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยรายชั่วโมง ที่เวลา 7:00 น. แบบจำลองที่ได้นี้ได้นำไปทดสอบกับข้อมูลการตรวจวัดในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม 2546 ผลจากการนำแบบจำลองไปใช้ทำนายความเข้มข้นสูงสุดของโอโซนเฉลี่ยรายชั่วโมงพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าจริงที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents ประเทศอิตาลี

2. Disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific ประเทศแคนาดา

3. Potassium iodide (KI) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents ประเทศอิตาลี

4. Sodium hydroxide (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents ประเทศอิตาลี

5. Potassium hydrogen diiodate ($KH(IO_3)_2$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents ประเทศอิตาลี

6. Sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย

7. Re-sublimed iodine (I_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหราชอาณาจักร

8. Conc. Sulfuric acid (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents ประเทศอิตาลี

9. Soluble starch บริษัท อี. ที. ซี. เอี๊ยบตงจั่น ประเทศไทย

10. น้ำกลั่น

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Genesys 10S ยี่ห้อ Thermo Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา

2. เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น คณะวิทยาศาสตร์ และ ผศ.ดร. นพดล มณีรัตน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ Air Sampling Apparatus รุ่น 224-PCXR4 และ 224-PCXR8 ยี่ห้อ SKC ประเทศสหรัฐอเมริกา

4. เครื่องสอบเทียบอัตราการไหล Bios รุ่น Defender 520 ยี่ห้อ Bios ประเทศสหรัฐอเมริกา

5. Aluminum Cyclone 37 mm ยี่ห้อ SKC ประเทศสหรัฐอเมริกา

6. Glass Midget Impinger

7. คิวเวตต์เซลล์ชนิดที่ทำจากควอต์ซ

8. pH meter รุ่น C860 ยี่ห้อ Consort ประเทศเบลเยี่ยม

9. เทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิบรรยากาศ

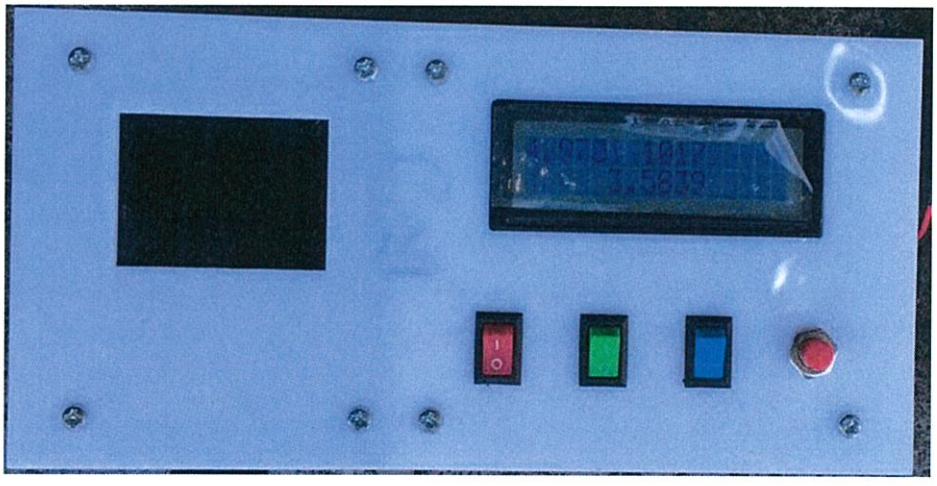
10. บารอมิเตอร์ ยี่ห้อ Barigo ประเทศเยอรมนี

11. hot plate

12. นาฬิกาจับเวลา

13. กระดาษกรอง Polyvinyl Chloride เส้นผ่านศูนย์กลาง 37 mm, ขนาดรูพรุน 5.0 µm ยี่ห้อ SKC ประเทศสหรัฐอเมริกา

14. เครื่องแก้วชนิดต่างๆ



รูปที่ 3.1 เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา

3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศ

เก็บตัวอย่างอากาศในรถโดยสารสาธารณะแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ ยี่ห้อ Sunlong และรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ ยี่ห้อ Mercedes-Benz ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติ (NGV) เส้นทางเริ่มจากบริเวณมหาวิทยาลัยรามคำแหง วิทยาเขตบางนา ไปตามถนนบางนา-ตราด ถนนสุขุมวิท ถนนเพลินจิต ถนนพระราม 1 ถนนกรุงเกษม ถนนหลวง ถนนพลับพลาไชย ถนนบำรุงเมือง ถนนวรจักร ถนนเยาวราช ถนนจักรเพชร ถนนพาหุรัด ถนนตรีเพชร ถนนสนามชัย จนสุดเส้นทางที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร (วัดโพธิ์) ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. และกลับในเส้นทางเดิมในช่วงเวลา 13.30 – 16.30 น. โดยทำการเก็บตัวอย่างระหว่างวันจันทร์ถึงศุกร์ และวันเสาร์อาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 2 กันยายน ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 เป็นเวลา 13 วัน สถานที่ที่รถประจำทางที่ผ่านแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สถานที่ที่รถโดยสารประจำทางวิ่งผ่านขณะทำการเก็บตัวอย่าง

รถโดยสารประจำทางสาย 48	
เวลาเดินรถ	05.00 - 22.00 น.
สถานที่ที่รถวิ่งผ่าน	
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยรามคำแหงวิทยาเขตบางนา, สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ห้างสรรพสินค้า/ศูนย์การค้า	ห้างโลตัสบางแก้ว, ห้างบิ๊กซีบางนา, ห้างเซนทรัลบางนา, ห้างโลตัสอ่อนนุช, ห้างเมเจอร์เอกมัย, ห้างเกตเวย์ เอกมัย, ห้างเทอร์มินอล ทเวนตี้วัน, ห้างเอ็มโพเรียม, ห้างเอ็มควอเทียร์, ห้างเซนทรัลชิดลม, ห้างอัมรินทร์ พลาซ่า, ห้างเกษรพลาซ่า,ห้างสยามแควร์วัน, ห้างสยามพารากอน, ห้างสยามเซ็นเตอร์, ห้างสยามดิสคัฟเวอรี่เซ็นเตอร์, ห้างมาบุญครอง(MBK), ห้างเซ็นทรัลวังบูรพา (พาหุรัด)
โรงพยาบาล	โรงพยาบาลปิยมินทร์, โรงพยาบาลไทยนครินทร์, โรงพยาบาลกล้วยน้ำไท, โรงพยาบาลสัตว์บางจาก, โรงพยาบาลสุขุมวิท, โรงพยาบาลพร้อมมิตร, โรงพยาบาลสายตากรุงเทพ, โรงพยาบาลหัวเฉียว, ศูนย์บริการสาธารณสุข 1, โรงพยาบาลกลาง, โรงพยาบาลยศเส
วัด	วัดบางแก้ว, วัดธาตุทอง, วัดปทุมวนาราม, วัดชัยมงคล, วัดจีน, วัดสระบัว, วัดดิสานุการาม, วัดพระเชตุพนวิมลมังคลาราม, วัดพลับพลาไชย, วัดเทพศิรินทร์

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สถานที่ที่รถโดยสารประจำทางวิ่งผ่านขณะทำการเก็บตัวอย่าง

สถานที่ที่รถวิ่งผ่าน	
ตึก/อาคารสำนักงาน	บางนาทาวเวอร์, เดอร์เนชั่นทาวเวอร์, อะคาเดมีแกรนด์ทาวเวอร์, อาคารไพโรจน์กิจจา, อาคารเดอะเวสต์ติน, อาคารไทมส์สแควร์, อาคารเพลินจิตรเซ็นเตอร์, อาคารโซนี่มิวสิค, อาคารมหาทุนพลาซ่า, อาคารชิดลมคอมเพล็กซ์, อาคารรมณียา, อาคารไดมอนด์เจมส์ อิมเพ็กซ์, อาคารศรีวรจักร
หมู่บ้านจัดสรร	หมู่บ้านเลคไซต์วิลล่า, หมู่บ้านปลาทองการัต
สถานีดับเพลิง	สถานีดับเพลิงบางนา
โรงเรียน	โรงเรียนเทคโนเปรมฤทัย, โรงเรียนประภามนตรี, โรงเรียนพาณิชยการบางนา, โรงเรียนพาแม่มารีพระขโนง, โรงเรียนศรีวิกรม, โรงเรียนวัดธาตุทอง,โรงเรียนมาแตร์เดอี, โรงเรียนสตรีศรีบำรุง, โรงเรียนสวนกุหลาบ, โรงเรียนวัดพลับพลาไชย, โรงเรียนเทพศิรินทร์
สำนักงานเขต	สำนักงานเขตบางนา, สำนักงานเขตพระขโนง
สถานที่จัดแสดง	ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค, ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา (ท้องฟ้าจำลองกรุงเทพ)
สำนักงานไปรษณีย์	สำนักงานไปรษณีย์อุดมสุข, สำนักงานไปรษณีย์พระขโนง, สำนักงานไปรษณีย์สันติสุข, สำนักงานไปรษณีย์นานา
สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส	สถานีรถไฟฟ้าอุดมสุข, สถานีรถไฟฟ้าปุณณวิถี, สถานีรถไฟฟ้าบางจาก, สถานีรถไฟฟ้าอ่อนนุช, สถานีรถไฟฟ้าพระขโนง, สถานีรถไฟฟ้าเอกมัย, สถานีรถไฟฟ้าทองหล่อ, สถานีรถไฟฟ้าพร้อมพงษ์, สถานีรถไฟฟ้าอโศก, สถานีรถไฟฟ้านานา, สถานีรถไฟฟ้าเพลินจิตร, สถานีรถไฟฟ้าชิดลม, สถานีรถไฟฟ้าสยาม
สถานีตำรวจ	สถานีตำรวจนครบาลพระขโนง, สำนักงานตำรวจแห่งชาติ
สถานทูต	สถานทูตฟิลิปปินส์, สถานทูตสวีเดน, สถานทูตโปแลนด์
สวน	สวนเบญจศิริ, สวนสราญรมย์ (พระราชอุทยานสราญรมย์)
รัฐวิสาหกิจ	การไฟฟ้าเพลินจิตร, การรถไฟแห่งประเทศไทย, การไฟฟ้าย่อยสะพานดำ
โรงภาพยนต์	โรงภาพยนต์สยาม, โรงภาพยนต์ลิโด้, โรงภาพยนต์สกาลา
สนามกีฬา	สนามกีฬาแห่งชาติ
กระทรวง/ทบวง/กรม	กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, กรมพละศึกษา, กระทรวงพลังงาน, กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, กรมการรักษาดินแดง
ตลาด	ตลาดแม้นศรี, ตลาดประกอบ, ตลาดวรจักร, ตลาดคลองถม, ตลาดบ้านหม้อ

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. ปิเปตสารละลายไอโอดีนขั้นที่ 1 (I_2 no. 1) 0.0010 M (ดูรายละเอียดภาคผนวก ก) มา 5.11 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2. ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้ความเข้มข้นเทียบเท่ากับมีโอโซน 1 µL ต่อสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จะได้สารละลายไอโอดีนขั้นที่ 2 (I_2 no. 2)

3. ปิเปตสารละลายไอโอดีนขั้นที่ 2 มา 1, 2, 4, 6, 8, 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จนถึงขีดวัดปริมาตร

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร โดยใช้สารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M เป็นแบลงค์

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา โดยทำการเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน, สีแดง, สีเขียว, สีน้ำเงินและสีแดง, สีน้ำเงินและสีเขียว, สีเขียวและสีแดง และ เปิดหลอดกำเนิดแสงทั้ง 3 หลอดพร้อมกัน โดยใช้สารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M เป็นแบลงค์

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 -5 ซ้ำอีก 2 ซ้ำ

7. พล็อตค่าการดูดกลืนแสงจากสารละลายไอโอดีนเทียบเป็นโอโซน ได้กราฟมาตรฐานเป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer's Law) จะได้เส้นตรง โดยแกน Y เป็นค่าแอบซอร์บแบนซ์ และแกน X เป็นความเข้มข้นเทียบเท่าโอโซน (หน่วย µLของโอโซนต่อ 10 มิลลิลิตร ของสารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M)

8. เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วัดค่าการดูดกลืนแสงภายใน 3 นาที ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาและเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ นำไปแทนในสมการมาตรฐานหาความเข้มข้นของโอโซนเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องทั้งสอง

3.3.2 ศึกษาความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ

3.3.2.1 การต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล

1. เทสารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงใน Glass Midget Impinger แล้วหุ้มด้วยฟอยด์

2. ทำการต่อ Glass Midget Impinger กับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล โดยใช้สายยาง Tygon

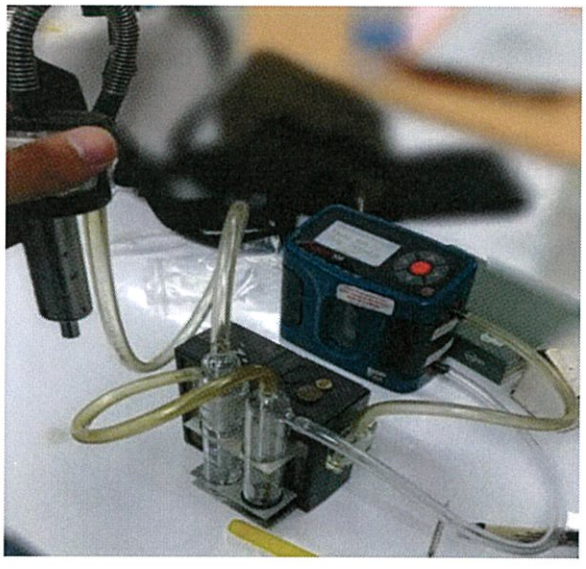
3. นำ Cassette ที่บรรจุกระดาษกรอง Polyvinyl Chloride ที่ผ่านการใส่ในตู้ดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักจนคงที่ 3 ครั้ง ต่อกับ Cyclone แล้วใส่ลงไปใน Holder ต่อเข้ากับ Glass Midget Impinger โดยใช้สายยาง Tygon

4. ใส่ Calibration Adapter เพื่อทำการสอบเทียบเครื่อง

5. ทำการต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลกับเครื่องสอบเทียบอัตราการไหล โดยใช้สายยาง Tygon ดังแสดงในรูปที่ 3.2

6. พันตรงส่วนของข้อต่อทุกส่วนด้วยพาราฟิล์ม

7. ทำการปรับอัตราการไหลให้ได้ 2.5 ลิตรต่อนาที ด้วยเครื่องสอบเทียบอัตราการไหล จำนวน 10 ซ้ำ



รูปที่ 3.2 การต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลขณะทำการสอบเทียบอัตราการไหล

3.3.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน

1) การวัด Background

1. กำหนดตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับวัด Background บริเวณข้างสระน้ำในมหาวิทยาลัยรามคำแหง วิทยาเขตบางนา โดยตั้งอยู่สูงกว่าพื้นอย่างน้อย 1.50 เมตร และอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดมลพิษไม่น้อยกว่า 5 เมตร โดยที่บริเวณรอบ ๆ จะต้องไม่ถูกบดบังโดยสิ่งกีดขวาง

2. ทำการต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.1 ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3. เติมสารดูดซึมสารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงใน Glass Midget Impinger ที่หุ้มด้วยฟอยด์

4. ทำการสอบเทียบอัตราการไหลที่ 2.5 ลิตรต่อนาที ด้วยเครื่องสอบเทียบอัตราการไหล จำนวน 10 ซ้ำ

5. ถอด Calibration Adapter สำหรับการสอบเทียบเครื่องออก

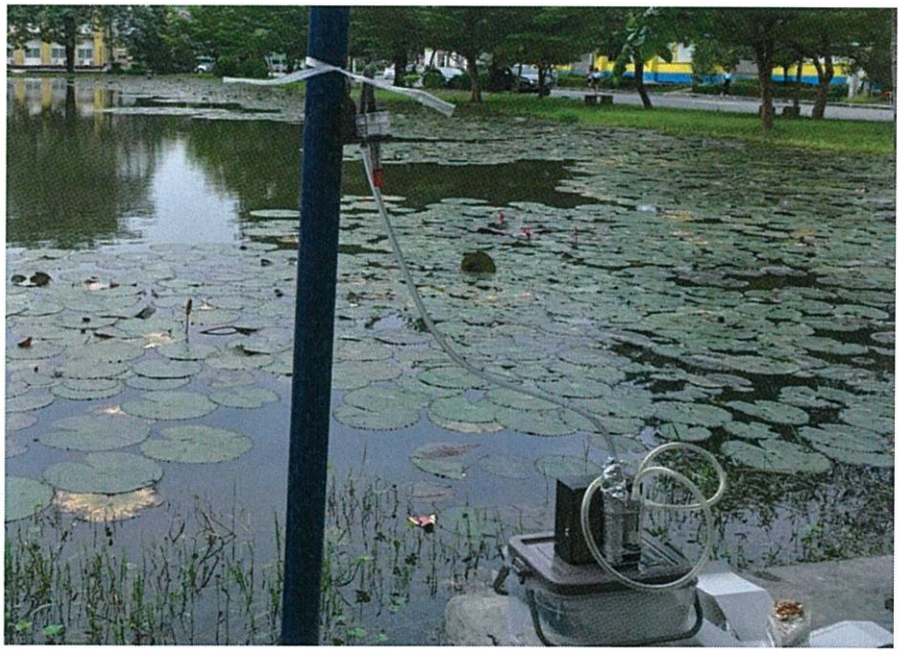
6. ทำการต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล โดยใช้สายยาง Tygon ดังแสดงในรูปที่ 3.3

7. เก็บตัวอย่างอากาศที่อัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

8. วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง

9. วัดอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลหลังเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องสอบเทียบอัตราการไหล

10. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาภายใน 3 นาที โดยทำการเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีที่ได้สมการเส้นตรงที่มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากที่สุด ที่ได้จากการทดลอง 3.3.1 โดยใช้สารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M เป็นแบลงค์



รูปที่ 3.3 การวัด Background

2) การเก็บตัวอย่างโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ

1. ทำการต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.1 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เพื่อเก็บตัวอย่างอากาศบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. และช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. โดยจะนั่งในตำแหน่งเดิมทุกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

2. เติมสารละลาย 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงใน Glass Midget Impinger ที่หุ้มด้วยฟอยด์

3. ทำการสอบเทียบอัตราการไหลที่ 2.5 ลิตรต่อนาที ด้วยเครื่องสอบเทียบอัตราการไหล จำนวน 10 ซ้ำ

4. ถอด Calibration Adapter สำหรับการสอบเทียบเครื่องออก

5. ทำการต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล โดยใช้สายยาง Tygon ดังแสดงในรูปที่ 3.5

6. เก็บตัวอย่างอากาศที่อัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที

7. วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างอากาศ

8. วัดอัตราการไหลหลังจากการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องสอบเทียบอัตราการไหล

9. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงภายในเวลา 3 นาที ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา

10. นำ Cassette ที่บรรจุกระดาษกรอง Polyvinyl Chloride ไปใส่ในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน

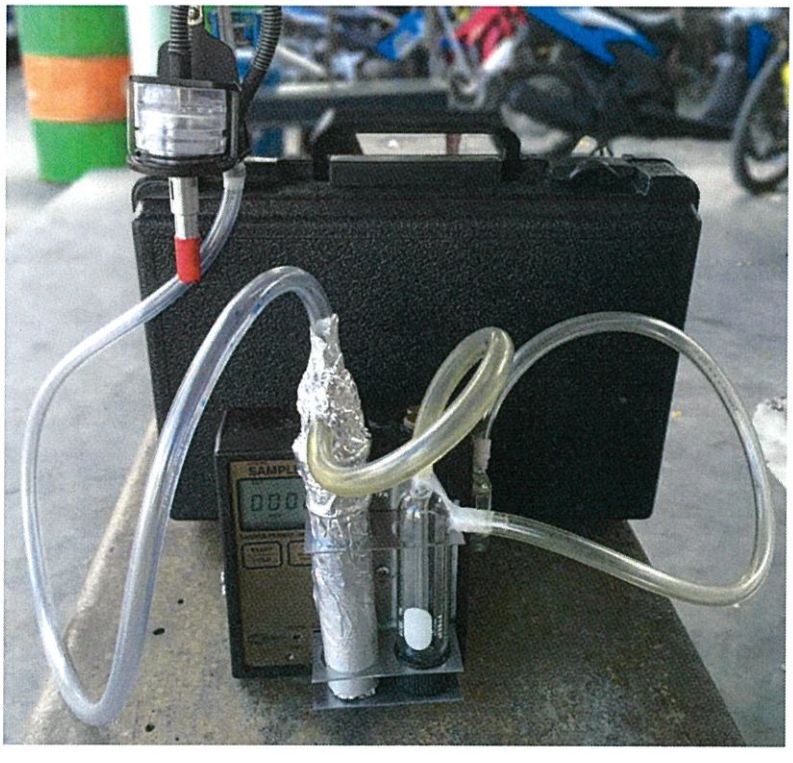
11.คำนวณความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนที่สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐาน (25°C, 1 atm) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)

12. เปรียบเทียบความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน10 ไมครอน ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไท ของกรมควบคุมมลพิษ



(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 ตำแหน่งที่นั่งในการเก็บตัวอย่างอากาศบนรถโดยสารประจำทาง (ก) แบบปรับอากาศ (ข) แบบไม่ปรับอากาศ



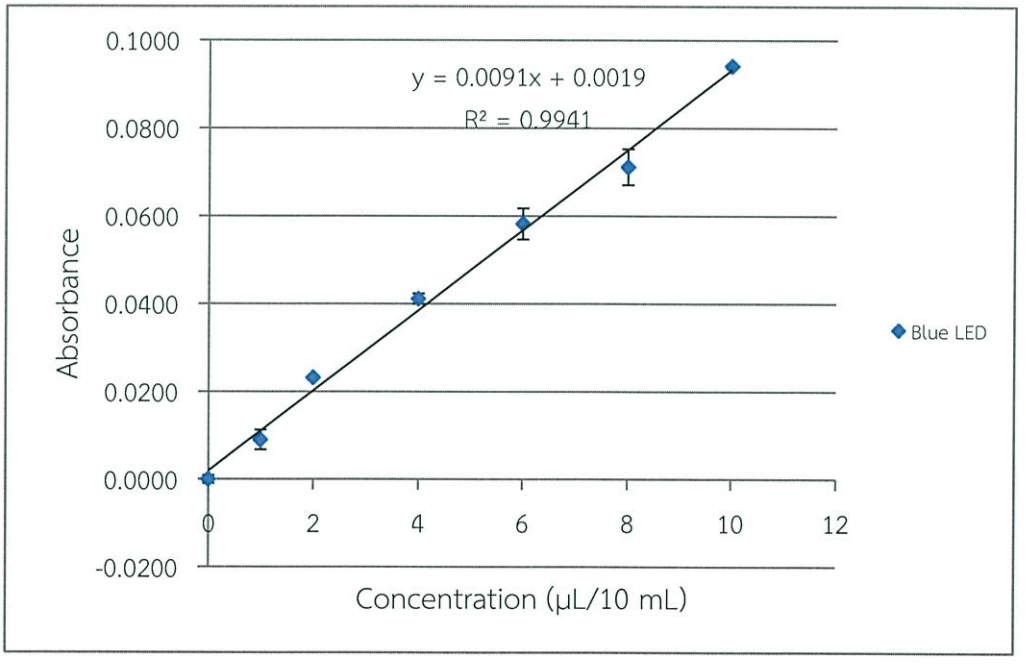
รูปที่ 3.5 การต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลขณะทำการเก็บตัวอย่างอากาศ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่หลอดกำเนิดแสงไฟแอลอีดีสีต่าง ๆ เทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

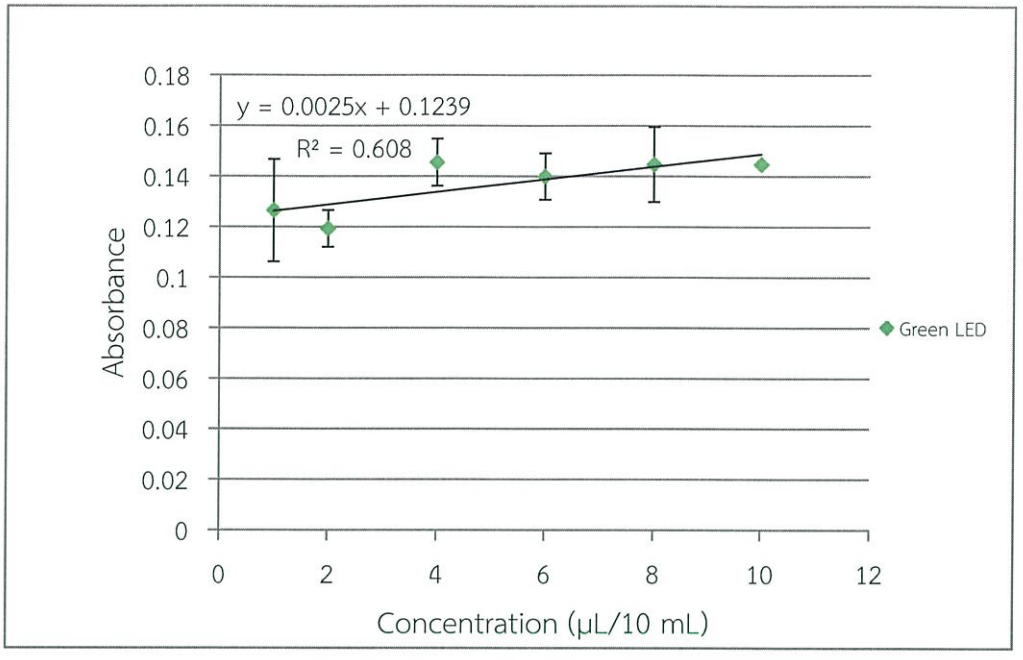
ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีนเทียบเป็นโอโซน ที่ความเข้มข้น 1, 2, 4, 8, 10 µL ต่อ 10 mL ของสารดูดกลืน 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา โดยทำการเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน, สีแดง, สีเขียว, สีน้ำเงินและสีแดง, สีน้ำเงินและสีเขียว, สีเขียวและสีแดง และ เปิดหลอดกำเนิดแสงทั้ง 3 หลอดพร้อมกัน ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.1 - 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข.1 – ข.2 ภาคผนวก ข)



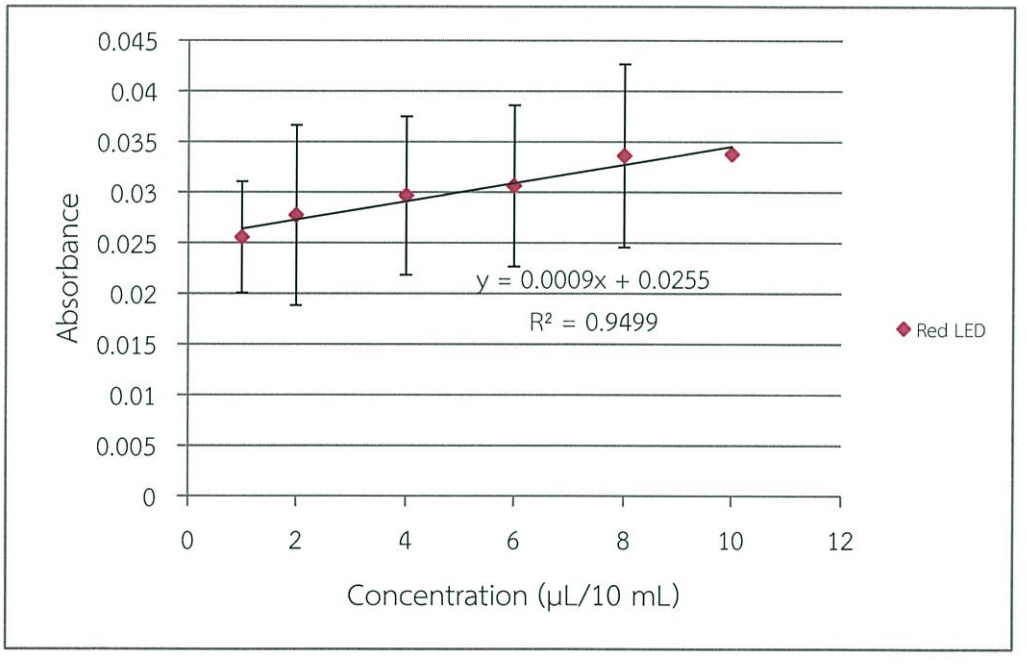
(ก)

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น จากการเปิดหลอดกำเนิด (ก) แสงสีน้ำเงิน (ข) แสงสีเขียว (ค) แสงสีแดง ของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา

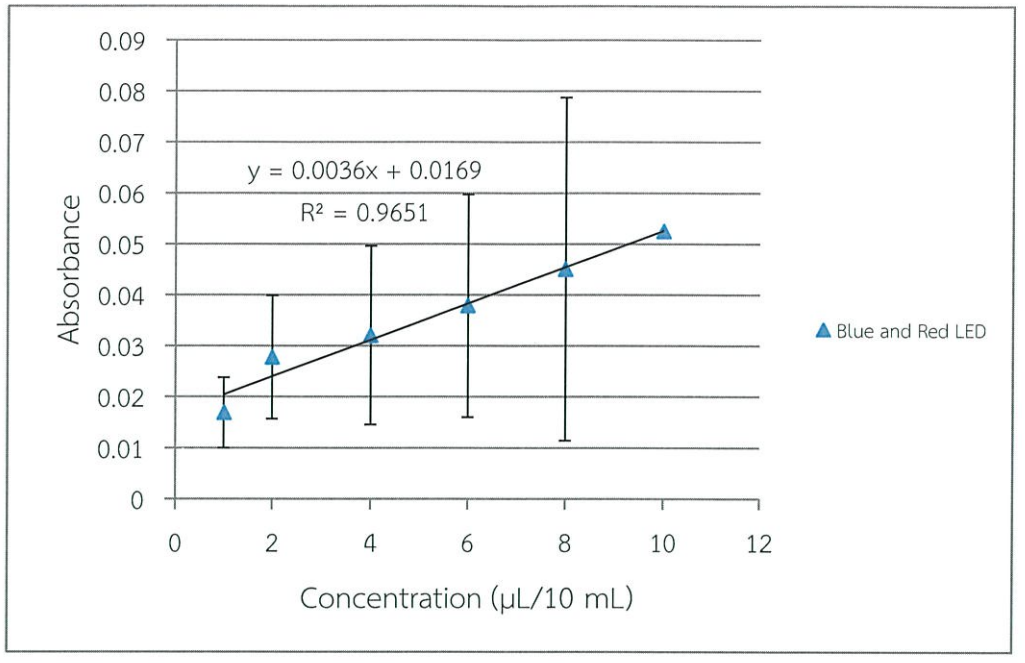
(ข)



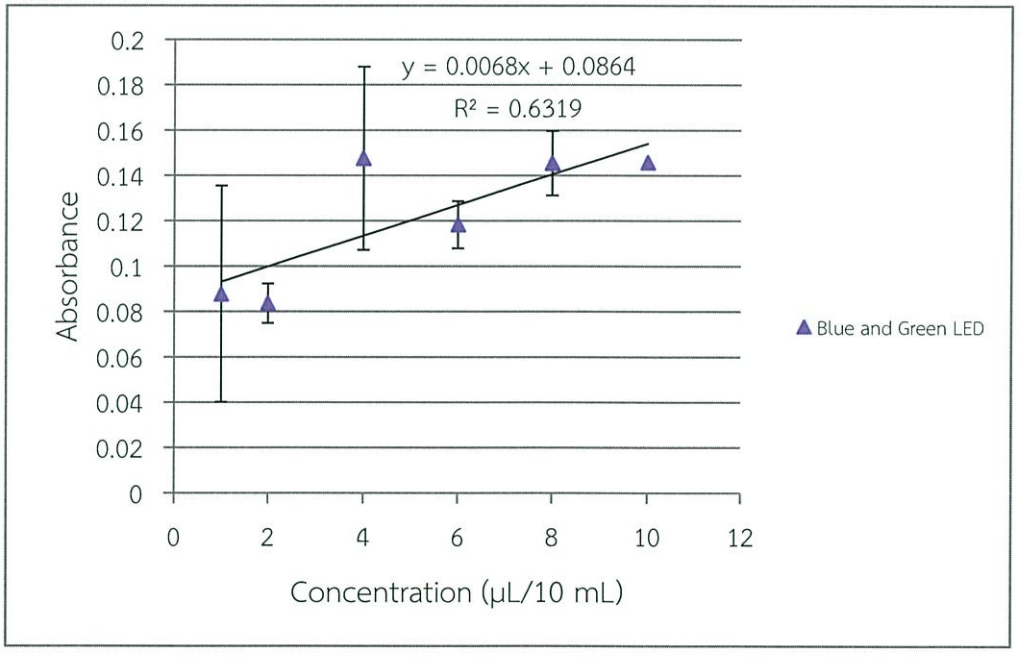
(ค)



รูปที่ 4.1 (ต่อ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น จากการเปิดหลอดกำเนิด (ก) แสงสีน้ำเงิน (ข) แสงสีเขียว (ค) แสงสีแดง ของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา

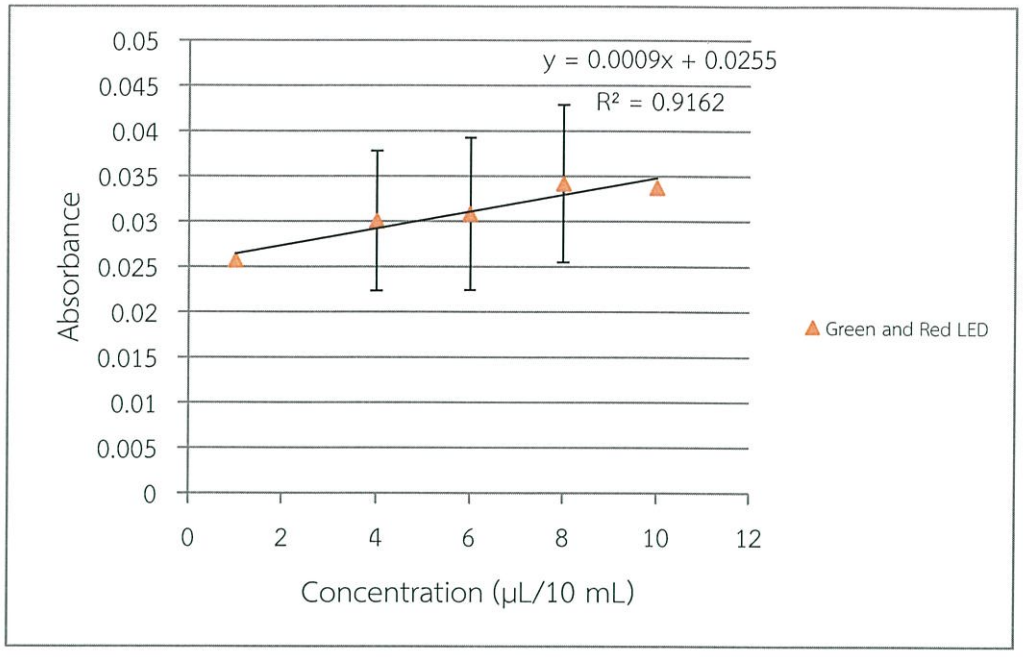


(ก)

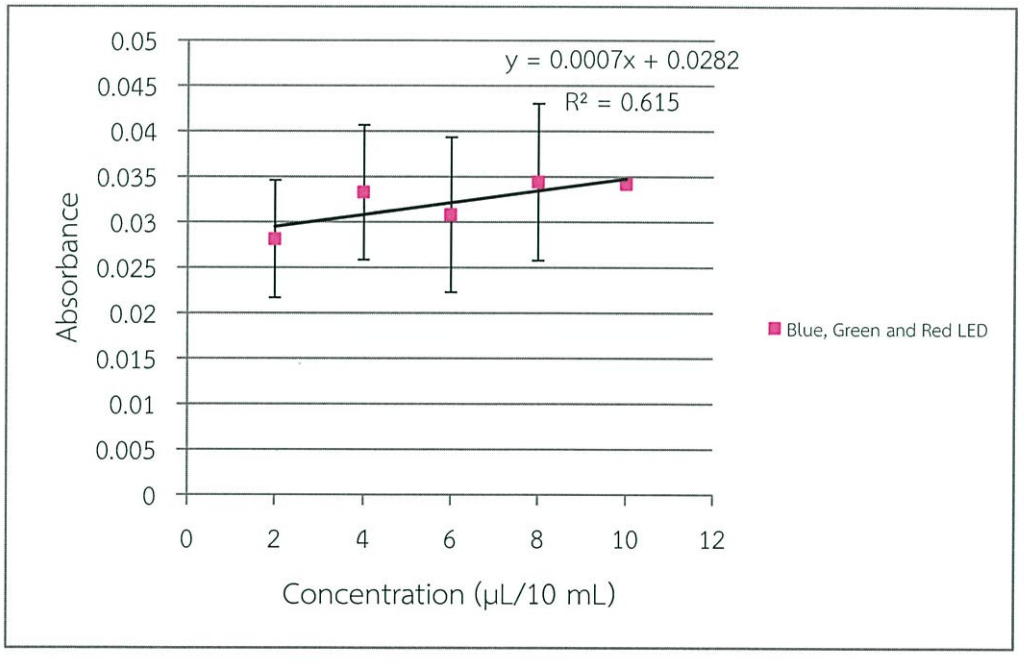


(ข)

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น จากการเปิดหลอดกำเนิด (ก) แสงสีน้ำเงินและสีแดงพร้อมกัน (ข) แสงสีน้ำเงินและสีเขียวพร้อมกัน (ค) แสงสีเขียวและสีแดงพร้อมกัน (ง) แสงสีน้ำเงิน, สีแดงและสีเขียวพร้อมกันของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา



(ค)

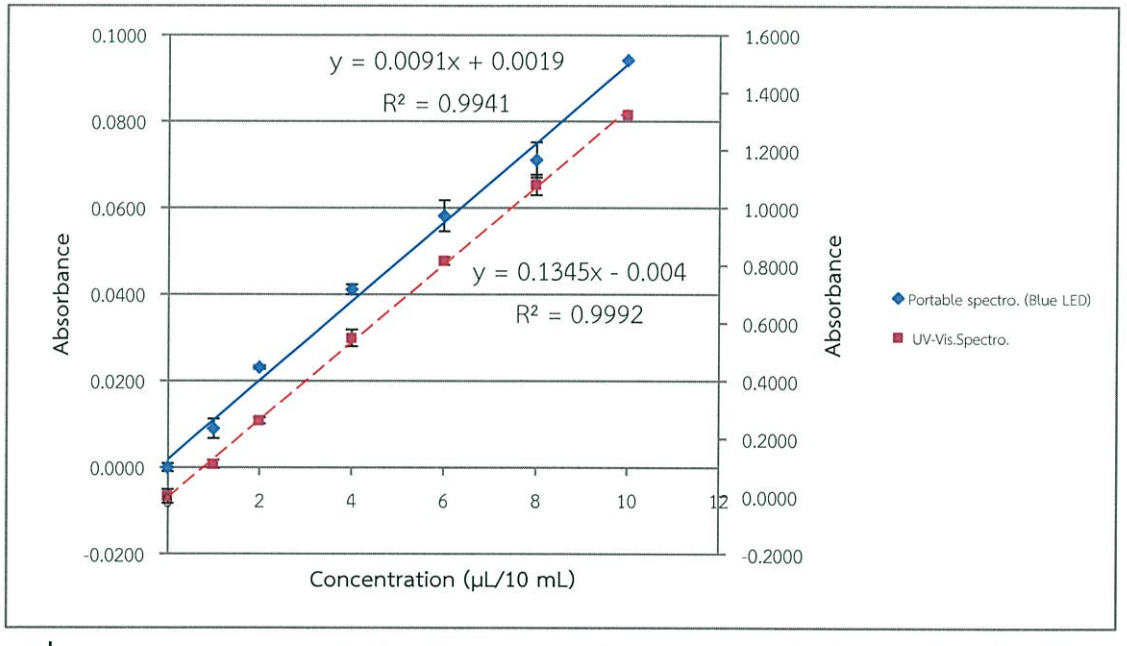


(ง)

รูปที่ 4.2 (ต่อ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น จากการเปิดหลอดกำเนิด (ก) แสงสีน้ำเงินและสีแดงพร้อมกัน (ข) แสงสีน้ำเงินและสีเขียวพร้อมกัน (ค) แสงสีเขียวและสีแดงพร้อมกัน (ง) แสงสีน้ำเงิน, สีแดงและสีเขียวพร้อมกันของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา

จากผลการทดลองพบว่า การเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงินของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) น้อยและมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9941 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากที่สุด และได้สมการเส้นตรง y = 0.0091x + 0.0019 รองลงมาคือการเปิดหลอดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงินและสีแดงพร้อมกัน ส่วนการเปิดหลอดไฟแอลอีดีสีเขียวให้ค่า R^2 ต่ำสุด การที่เปิดแสงสีน้ำเงินแล้วมีค่า R^2 สูงสุด เป็นเพราะการวิเคราะห์โอโซนจะให้สารละลายสีเหลือง ใช้หลักการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร สีที่จะถูกดูดกลืนคือสีม่วง แต่หลอดไฟแอลอีดีของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพามีแต่สีน้ำเงินที่ใกล้เคียงที่สุด ส่งผลให้หลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงินเหมาะสมที่สุด

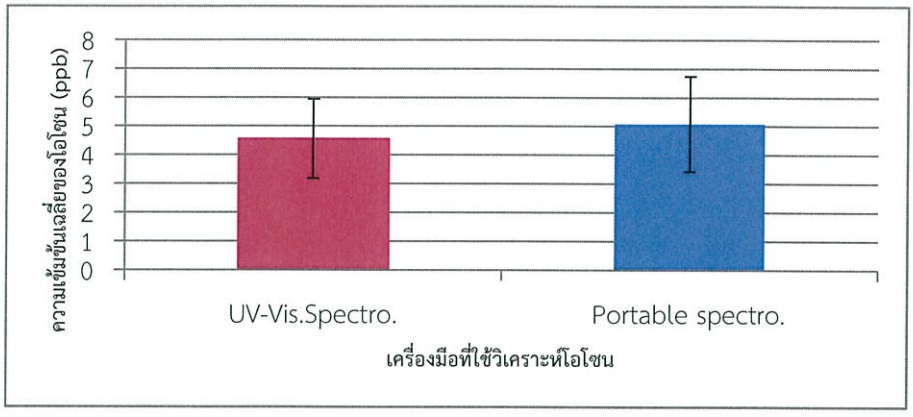
เมื่อนำผลของการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีนที่วัดโดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาไปเปรียบเทียบกับผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข.3 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นของไอโอดีน โดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

จากผลการทดลองพบว่า เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์นี้มีความไวในการวิเคราะห์มากกว่าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดแสงอยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลต และช่วงแสงที่ตามองเห็นได้ที่ความยาวคลื่น 100 – 400 nm และ 400 - 800 nm ตามลำดับ ส่งผลให้สามารถทำการวิเคราะห์ได้ในช่วงแสงที่กว้างกว่า สามารถระบุความยาวคลื่นที่ต้องการได้ ทำให้ได้กราฟมาตรฐานที่มีค่า R^2 มากกว่า คือ R^2 = 0.9992 และได้สมการเส้นตรง y = 0.1345x - 0.004 ส่วนเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพานั้น สามารถเลือกได้แค่สีของหลอดไฟแอลอีดีที่จะมีข้อจำกัดช่วงของความยาวคลื่น ส่งผลให้ได้ค่า R^2 น้อยกว่า คือ R^2 = 0.9941 และได้สมการเส้นตรง y = 0.0091x + 0.0019 จากการเปิดหลอดไฟแอลอีดีสีน้ำเงิน จากผลการทดลองพบว่าเส้นตรงกราฟ

มาตรฐานที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาและเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เป็นเส้นตรงที่ขนานกัน



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโอโซนที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่เปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข.4, ภาคผนวก ข)

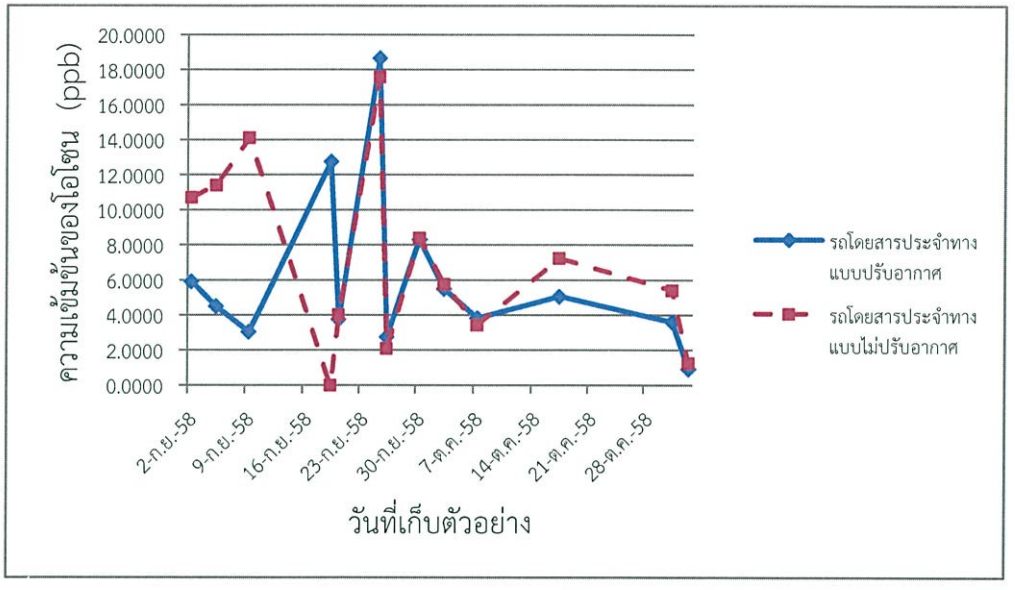
ค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ที่เปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน เทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำไปแทนค่าในกราฟมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าความเข้มข้นของโอโซนที่วัดได้จากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาและเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ให้ผลโดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดที่ข้อ ค.1 ภาคผนวก ค)

4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ

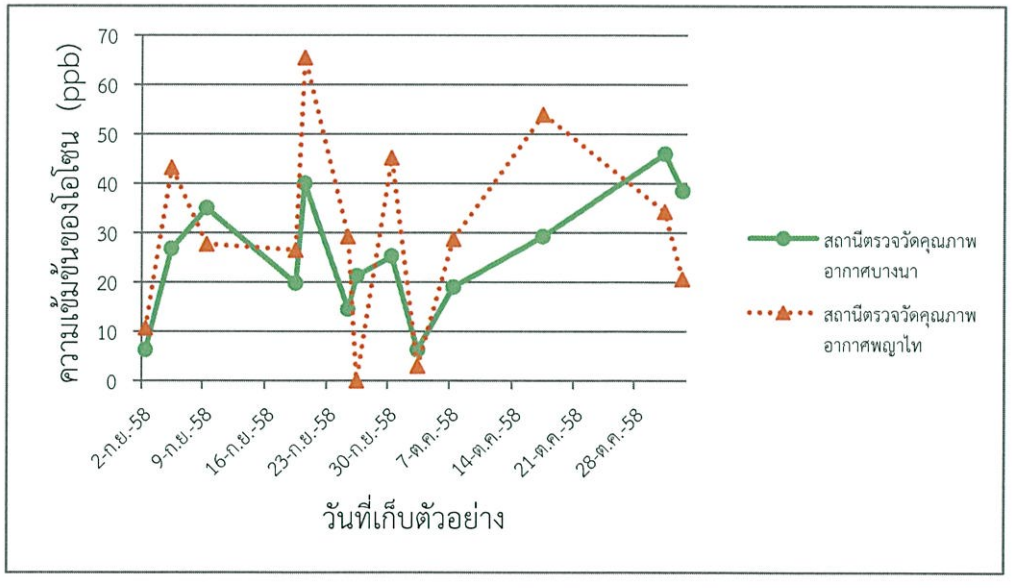
ทำการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลที่อัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก.5 – ก.9, ภาคผนวก ก) ที่ต่อกับ Glass Midget Impinger บรรจุสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์โอโซน และใช้กระดาษกรอง Polyvinyl Chloride ที่บรรจุใน Cassette ต่อกับ Cyclone เพื่อวิเคราะห์ฝุ่นละออง เปรียบเทียบระหว่างรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ ระยะทางจากราม 2 ไปวัดโพธิ์ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. และวัดโพธิ์ไปราม 2 ในช่วงเวลา 13.30 – 16.30 น. โดยเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบวันทำงานจันทร์ถึงศุกร์กับวันหยุดเสาร์อาทิตย์ แล้วทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโอโซนด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่เปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน โดยงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงจำนวนผู้โดยสารในรถโดยสารประจำทาง ได้ผลการศึกษาดังแสดงใน

รูปที่ 4.5ก – 4.6ก (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข.10 – ข.10 ภาคผนวก ข) โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มข้นของโอโซนที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศพญาไท ตรวจวัดโดยกรมควบคุมมลพิษ ดังแสดงในรูปที่ 4.5ข – 4.6ข (ดูรายละเอียดในตารางที่ ง.1 – ง.26 ภาคผนวก ง)

4.2.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ

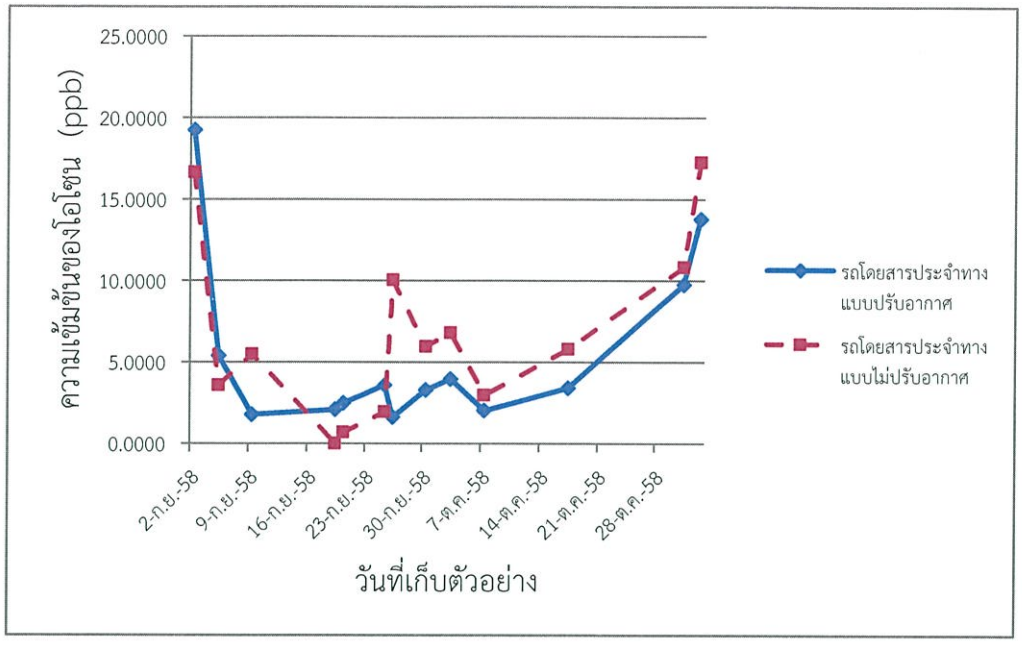


(ก)

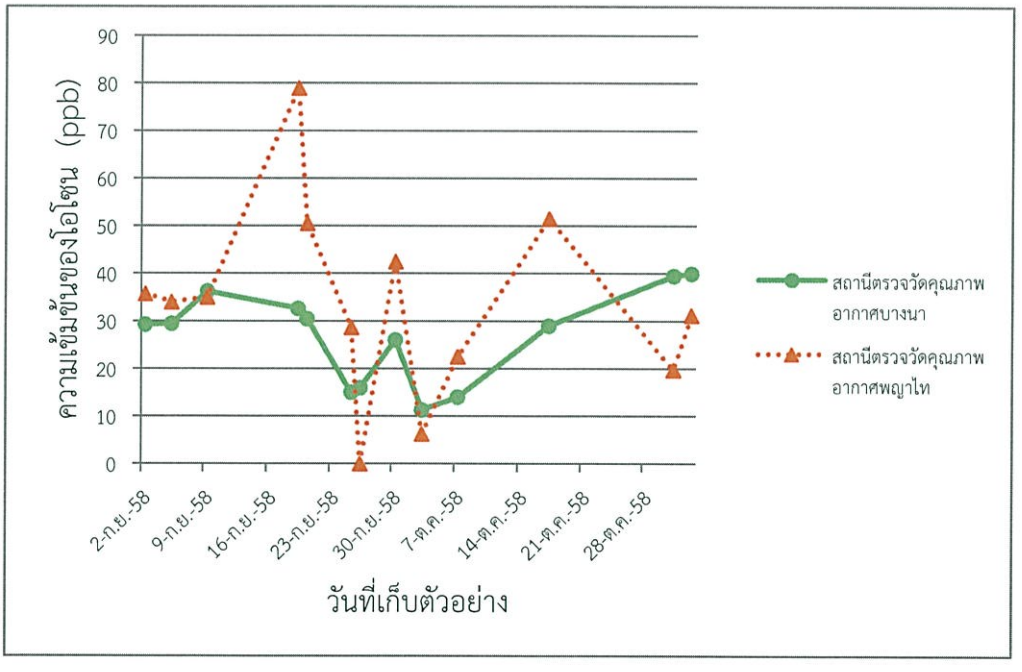


(ข)

รูปที่ 4.5 กราฟระหว่างความเข้มข้นของโอโซนและวันที่เก็บอากาศ ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. (ก) ความเข้มข้นของโอโซนที่ได้จากรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ (ข) ความเข้มข้นของโอโซนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไทของกรมควบคุมมลพิษ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.6 กราฟระหว่างความเข้มข้นของโอโซนและวันที่เก็บอากาศ (ก) ความเข้มข้นของโอโซนที่ได้จากรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. (ข) ความเข้มข้นของโอโซนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไท ของกรมควบคุมมลพิษ ในช่วงเวลา 14.00 - 17.00 น.

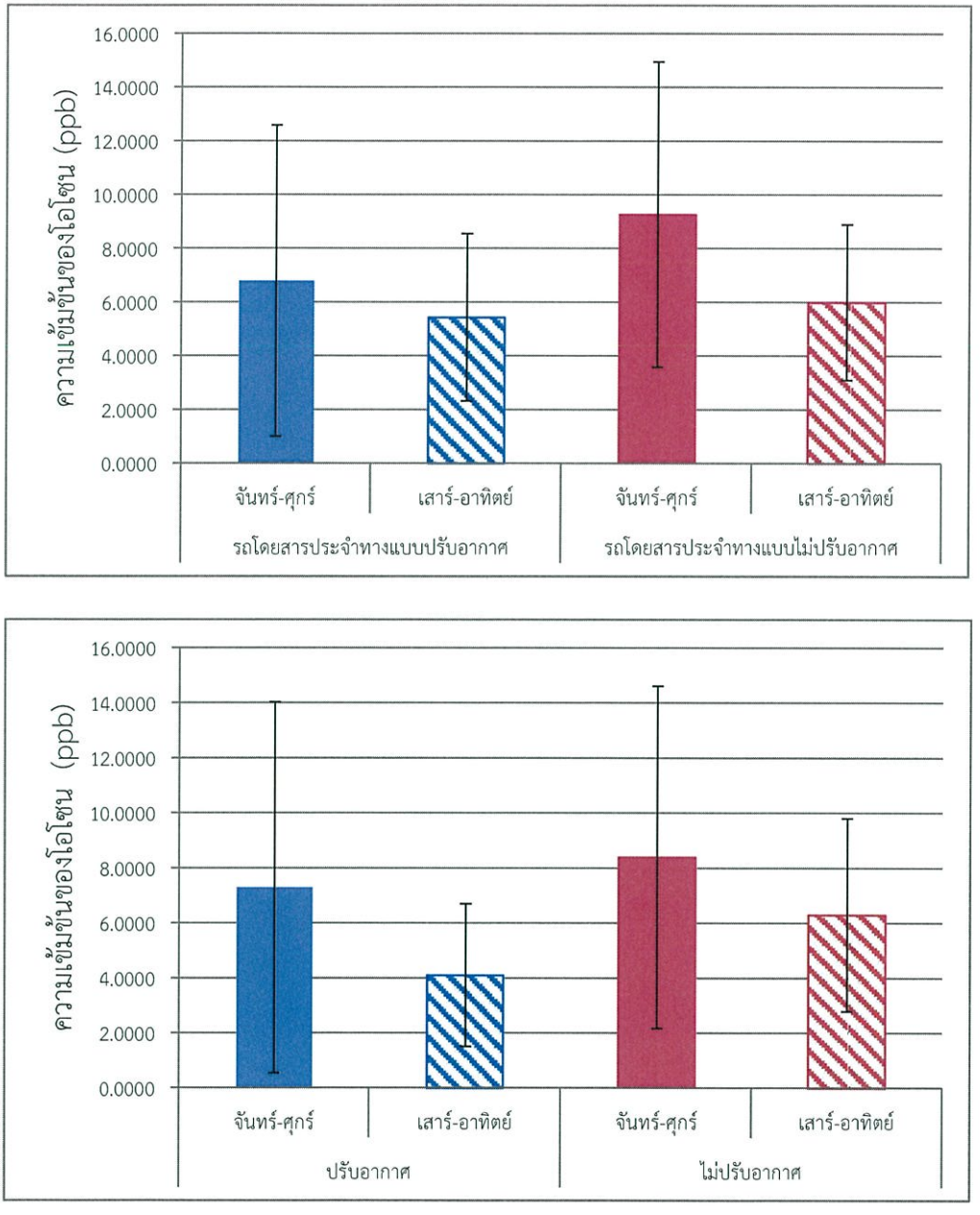
จากผลการทดลอง ความเข้มข้นของโอโซนบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศมีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 0.69 ถึง 17.60 ppb มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.48 ppb และรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศมีค่าความเข้มข้นของโอโซนอยู่ในช่วง 0.94 ถึง 19.24 ppb และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.81 ppb พบว่ารถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศมีแนวโน้มค่าความเข้มข้นของโอโซนสูงกว่ารถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศเล็กน้อย เนื่องจากรถโดยสารแบบไม่ปรับอากาศมีการรับมลพิษโดยตรงจากสภาพแวดล้อม ดังจะเห็นได้จากความเข้มข้นของโอโซนที่วัดได้มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นและลดลงสอดคล้องกับความเข้มข้นของโอโซนที่ตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ทั้ง 2 สถานี คือสถานีบางนาและสถานีพญาไท ซึ่งอยู่ใกล้เคียงพื้นที่เก็บตัวอย่างอากาศมากที่สุดนั้น มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซนในรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ

ความเข้มข้นของโอโซนจากการเก็บตัวอย่างอากาศบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 ถึง 16.30 น. มีค่าความเข้มข้นของโอโซนอยู่ในช่วง 1.61 ถึง 19.24 ppb มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.57 ppb ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยใกล้เคียงกับช่วงเวลา 10.00 ถึง 13.00 น. ที่มีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 0.94 ถึง 18.68 ppb และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.06 ppb ส่วนบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 ถึง 13.00 น. มีค่าความเข้มข้นของโอโซนอยู่ในช่วง 1.26 ถึง 17.60 ppb มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.62 ppb ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยใกล้เคียงกับช่วงเวลา 13.30 ถึง 16.30 น. ที่มีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 0.69 ถึง 17.28 ppb และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.34 ppb

ความเข้มข้นของโอโซนบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในวันทำงานจันทร์ถึงศุกร์มีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 0.94 ถึง 19.24 ppb มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.04 ppb ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของโอโซนสูงกว่าวันหยุดวันเสาร์อาทิตย์ที่มีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 1.61 ถึง 12.77 ppb และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.77 ppb ส่วนบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในวันทำงานจันทร์ถึงศุกร์มีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 1.26 ถึง 17.60 ppb มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.82 ppb ซึ่งมีค่าความเข้มของโอโซนสูงกว่าวันหยุดวันเสาร์อาทิตย์ ที่มีค่าความเข้มข้นโอโซน อยู่ในช่วง 0.69 ถึง 11.42 ppb และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.14 ppb ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ทั้งนี้อาจเกิดจากวันทำงานจันทร์ถึงศุกร์มีปริมาณรถยนต์มากกว่าวันเสาร์อาทิตย์

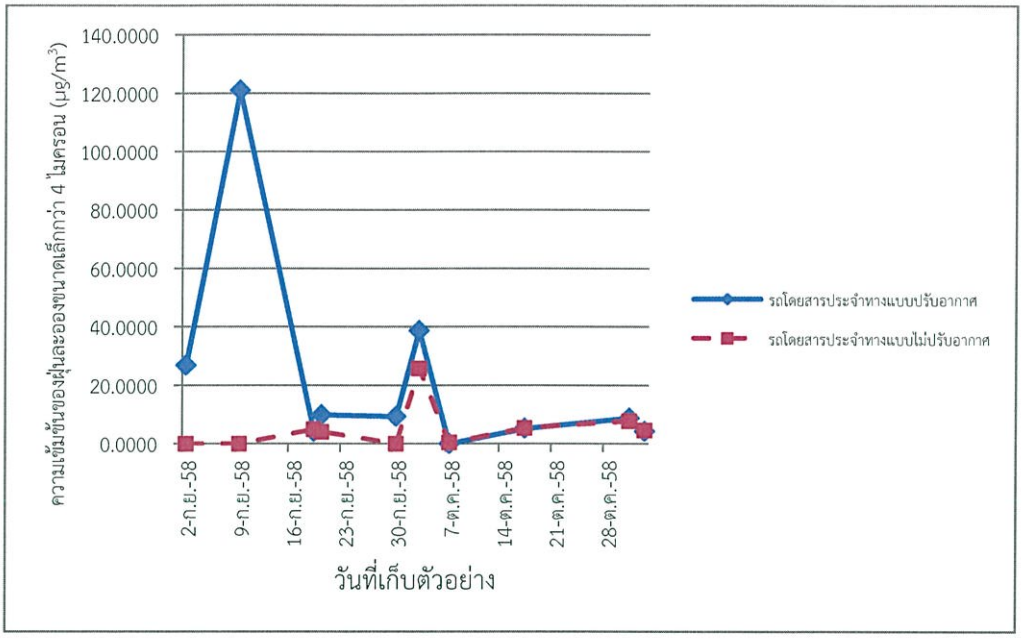
เมื่อนำค่าความเข้มข้นของโอโซนไปคำนวณทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตาราง ค.3 ภาคผนวก ค) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นโอโซนที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งมีค่าค่อนข้างจะแปรผันตลอดเวลา จึงส่งผลให้มีค่า S.D. สูง อันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สภาพทางอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝน อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความเข้มแสง ความเข้มข้นของมลพิษปฐมภูมิ ฯลฯ รวมถึงปริมาณความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละชั่วโมง (ดูรายละเอียดสภาพบรรยากาศในตาราง

ข.10 – ข.14 ภาคผนวก ข) จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของโอโซนบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ จากการเก็บตัวอย่างอากาศ พบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่ยอมรับได้ในประเทศไทยโดยมีค่าไม่เกิน 0.10 ppm (0.20 มก./ลบ.ม.) ของกรมควบคุมมลพิษ (กรมคุมมลพิษ, 2555 ก)

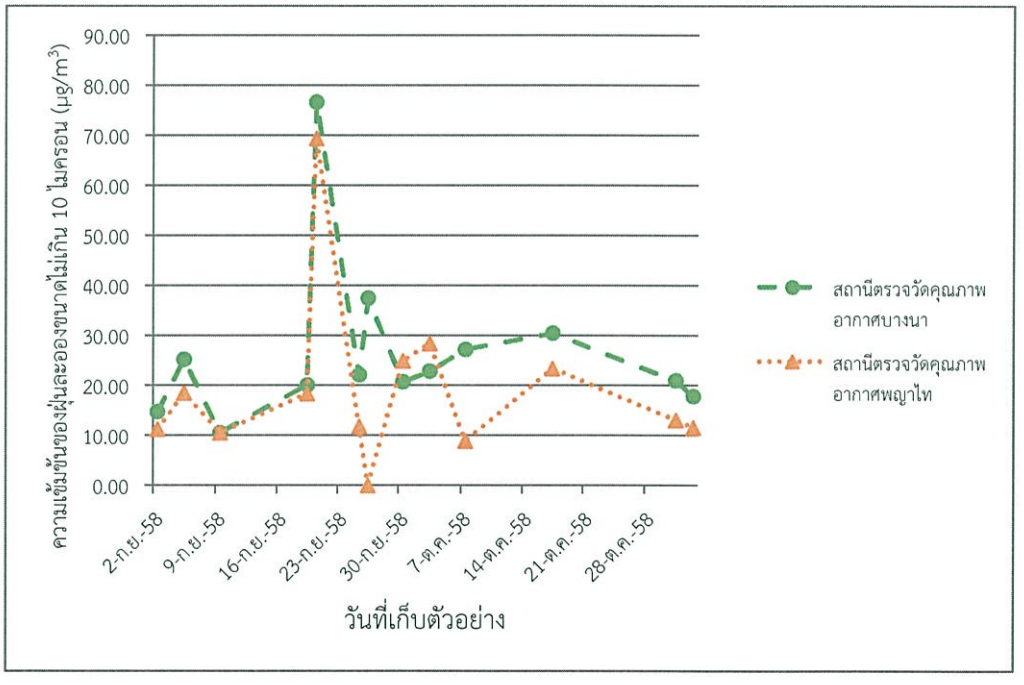


รูปที่ 4.7 กราฟความเข้มข้นเฉลี่ยของโอโซน ของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในวันจันทร์ถึงศุกร์และเสาร์อาทิตย์ (ก) ช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. (ข) ช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.

4.2.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ



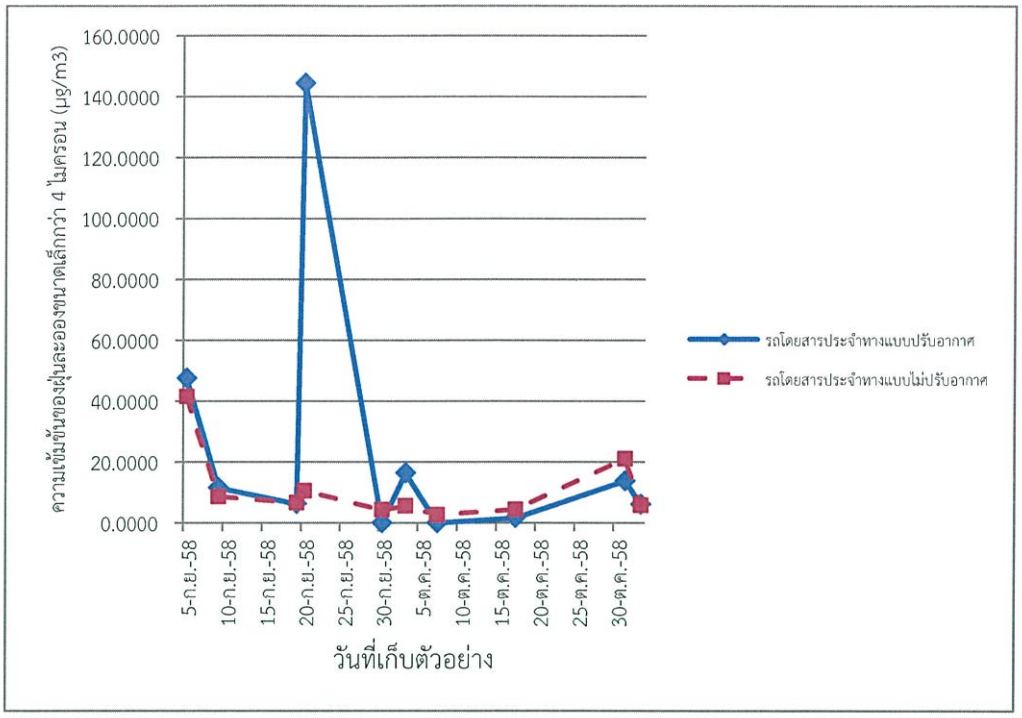
(ก)



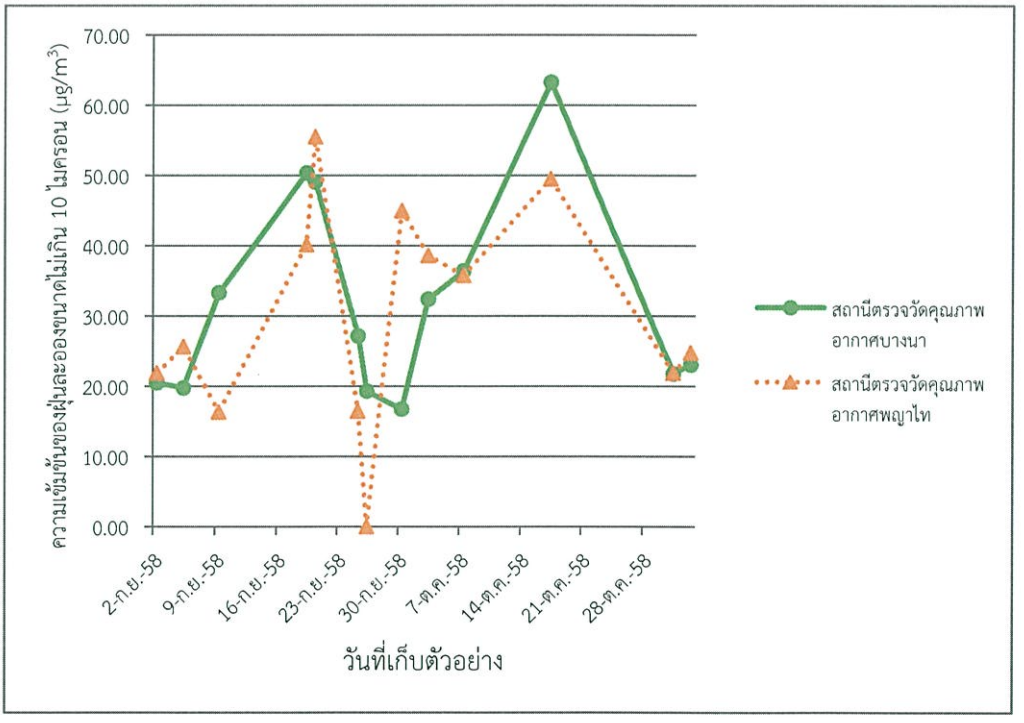
(ข)

รูปที่ 4.8 กราฟระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองและวันที่เก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 10.00-13.00 น. (ก) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนที่ได้จากรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ (ข) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไทของกรมควบคุมมลพิษ

หมายเหตุ : ไม่มีการแสดงข้อมูลในวันที่ 5, 25 และ 26 กันยายน 2558

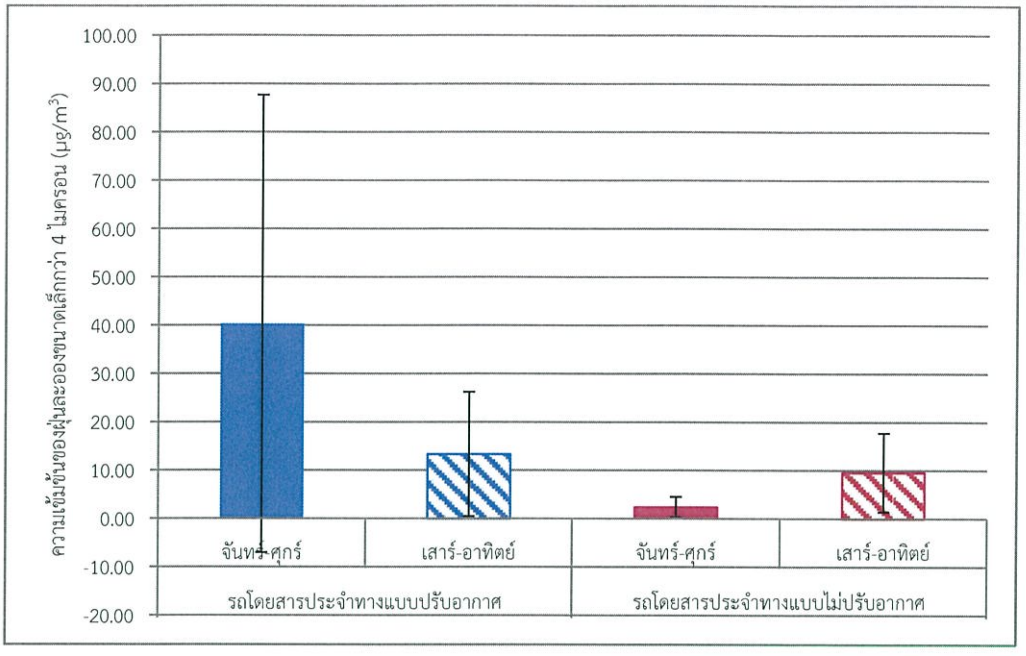


(ก)

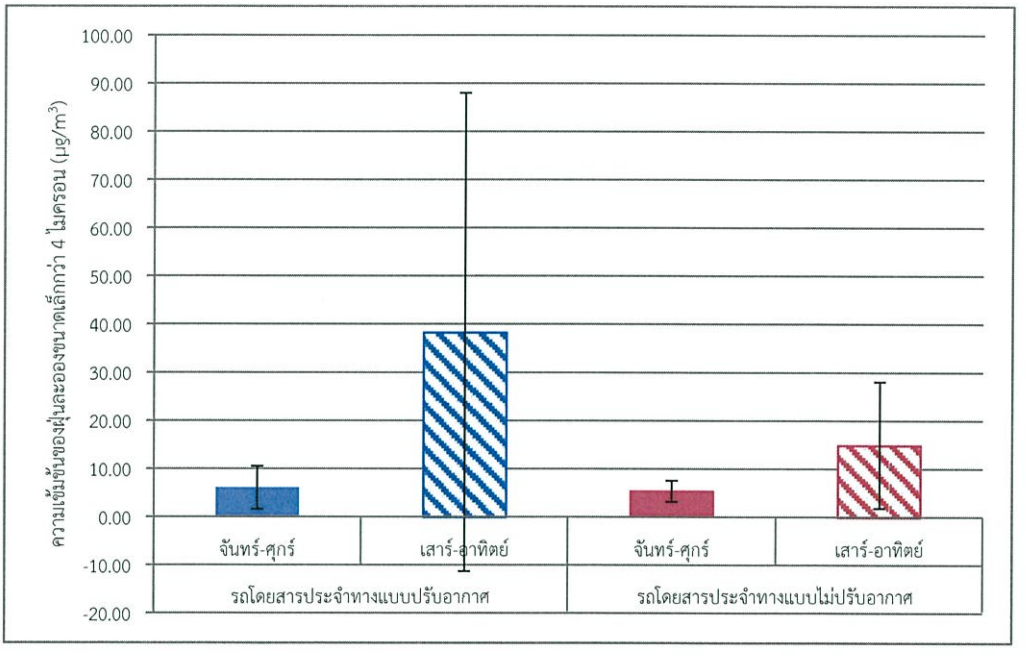


(ข)

รูปที่ 4.9 กราฟระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองและวันที่เก็บอากาศ (ก) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนที่ได้จากรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น. (ข) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไทของกรมควบคุมมลพิษ ในช่วงเวลา 14.00 - 17.00 น.
หมายเหตุ : ไม่มีการแสดงข้อมูลในวันที่ 25 และ 26 กันยายน 2558



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 กราฟความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในวันจันทร์ถึงศุกร์และวันเสาร์อาทิตย์

(ก) ช่วงเวลา 10.00-13.00 น. (ข) ช่วงเวลา 13.30-16.30 น.

หมายเหตุ : ไม่มีการแสดงข้อมูลในวันที่ 25 และ 26 กันยายน 2558

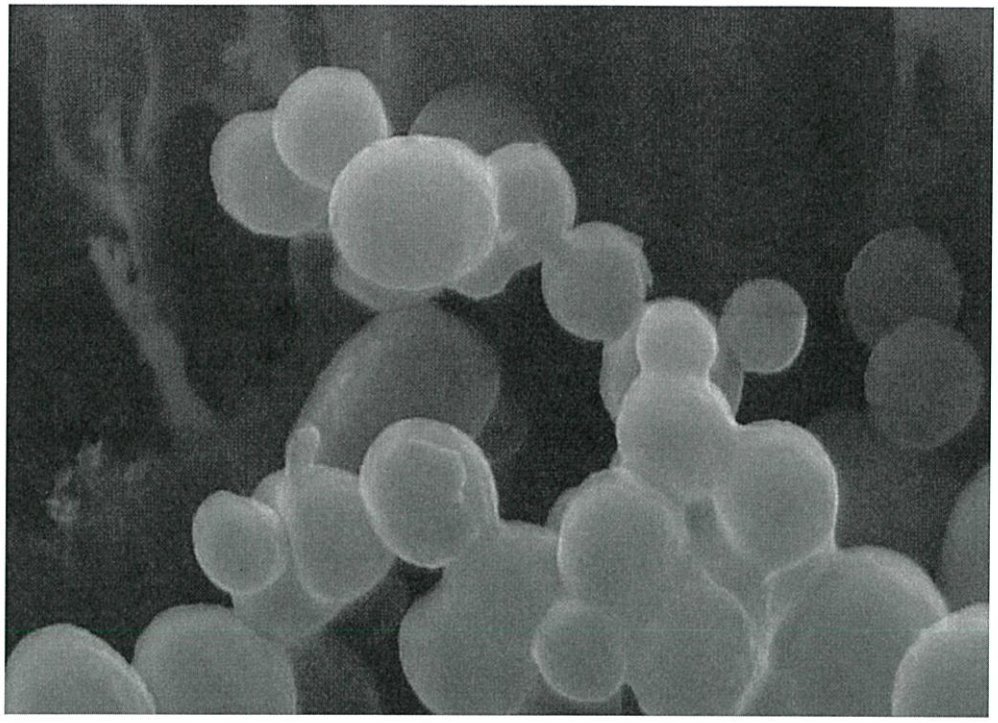
ผลการวิเคราะห์ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ แสดงดังรูปที่ 4.8ก - 4.9ก (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข.10 - ข.14 ภาคผนวก ข) เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ที่ตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไท โดยกรมควบคุมมลพิษ แสดงดังรูปที่ 4.8ข - 4.9ข (ดูรายละเอียดในตารางที่ ง.1 - ง.26 ภาคผนวก ง) จากผลการทดลอง ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.56 ถึง 144.34 $\mu g/m^3$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.44 $\mu g/m^3$ และรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 0.34 ถึง 41.54 $\mu g/m^3$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.31 $\mu g/m^3$ พบว่ารถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศมีแนวโน้มค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน สูงกว่ารถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กุลธิดา (2547) ที่ได้ศึกษาในเรื่องปริมาณฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับจากการเดินทางและการจราจรในเขตเทศบาลนครราชสีมา เนื่องจากรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ มีการกักฝุ่นละอองไว้ในตัวรถ ตามช่องแอร์ต่าง ๆ รวมทั้งไม่มีการหมุนเวียนปั่นกวนอากาศที่รุนแรงมากพอที่จะทำให้ฝุ่นละอองออกไปจากภายในตัวรถ ดังจะเห็นได้จากความเข้มข้นของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ที่วัดได้มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นและลดลงสอดคล้องกับความเข้มข้นของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ที่ตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ทั้ง 2 สถานี คือสถานีบางนาและสถานีพญาไท ซึ่งอยู่ใกล้เคียงพื้นที่เก็บตัวอย่างอากาศมากที่สุด

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน จากการเก็บตัวอย่างอากาศบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 ถึง 16.30 น. มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 0.56 ถึง 144.34 $\mu g/m^3$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.56 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นมากกว่าช่วงเวลา 10.00 ถึง 13.00 น. ที่มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 4.14 ถึง 120.96 $\mu g/m^3$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.32 $\mu g/m^3$ ส่วนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 ถึง 16.30 น. มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 2.63 ถึง 41.54 $\mu g/m^3$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.09 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นมากกว่าช่วงเวลา 10.00 ถึง 13.00 น. ที่มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 0.34 ถึง 25.74 $\mu g/m^3$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.53 $\mu g/m^3$ เนื่องจากในช่วงเวลา 13.30 ถึง 16.30 น. มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสะสมมาจากช่วงเช้าและมีปริมาณรถยนต์เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีความเข้มข้นสูง

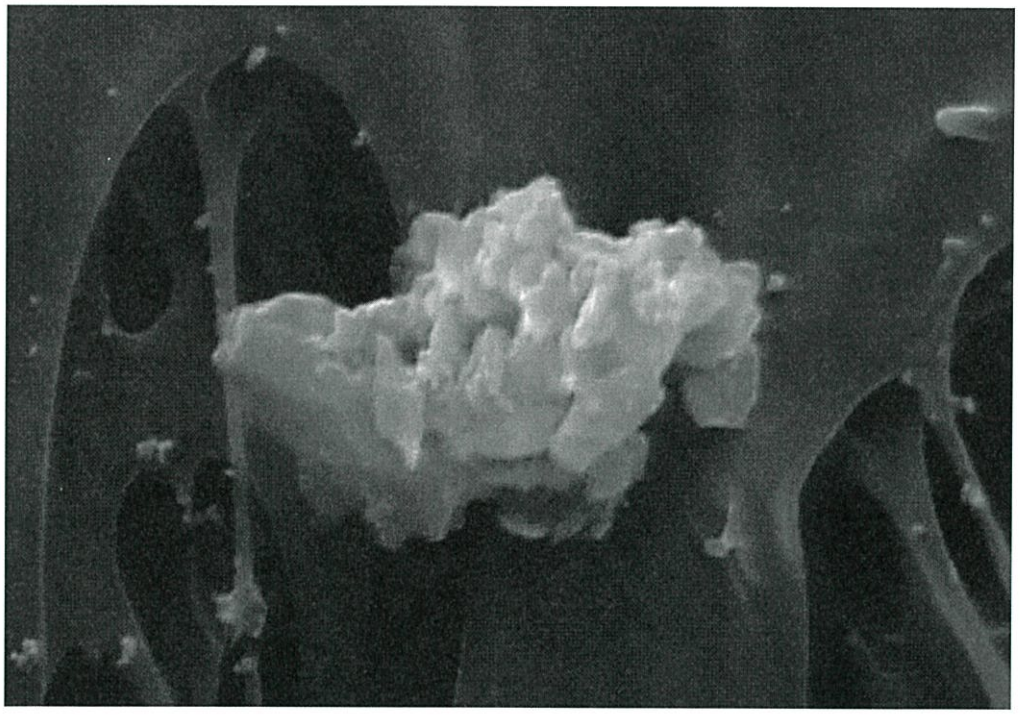
ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน บนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในวันทำงานจันทร์ถึงศุกร์มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.56 ถึง 120.96 $\mu g/m^3$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.63 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน เฉลี่ยใกล้เคียงกับวันหยุดวันเสาร์อาทิตย์ที่มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 1.65 ถึง

144.34 $\mu g/m^3$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.96 $\mu g/m^3$ ส่วนบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในวันทำงานจันทร์ถึงศุกร์มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 0.34 ถึง 8.64 $\mu g/m^3$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนต่ำกว่าวันหยุดวันเสาร์อาทิตย์ มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนอยู่ในช่วง 4.06 ถึง 41.54 $\mu g/m^3$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.49 $\mu g/m^3$ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ไปคำนวณทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) และวิธี Student-Newman-Keuls Procedure (SNK) พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตาราง ค.4 ภาคผนวก ค) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งมีค่าค่อนข้างจะแปรผันตลอดเวลาอันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสภาพทางอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝน อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความเข้มข้นของมลพิษปฐมภูมิ ฯลฯ รวมถึงปริมาณความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละชั่วโมง (ดูรายละเอียดสภาพบรรยากาศในตาราง ข.10 – ข.14 ภาคผนวก ข) โดยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน บนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ จากการเก็บตัวอย่างอากาศมีแนวโน้มที่จะเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศที่ยอมรับได้ในประเทศไทยโดยมีค่าไม่เกิน 0.12 มก./ลบ.ม. (กรมควบคุมมลพิษ, 2555 ก)

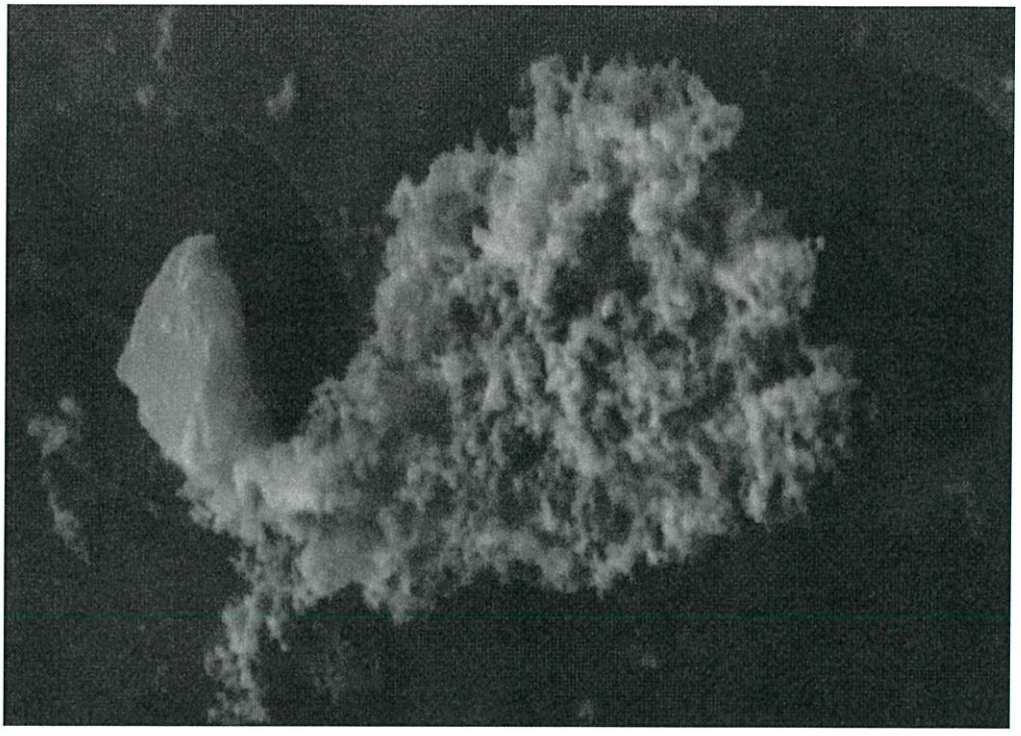


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.11 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน เมื่อวันที่ 30 กันยายน 2558 ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. (ก) ฝุ่นละออง รูปร่าง Solid Sphere จากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) ฝุ่นละอองรูปร่าง Flake จากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ (ค) ฝุ่นละอองรูปร่าง Aggregate จากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ



(ค)

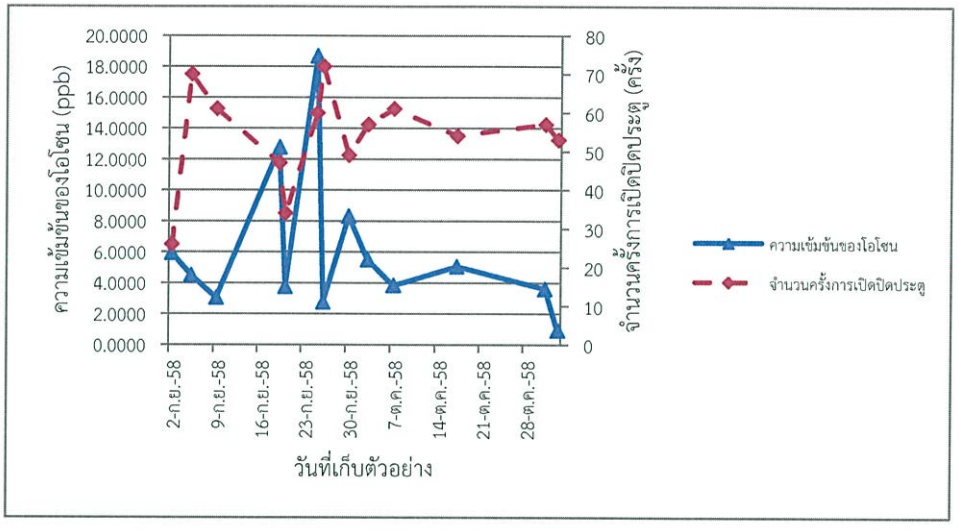
รูปที่ 4.11 (ต่อ) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน เมื่อวันที่ 30 กันยายน 2558 ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. (ก) ฝุ่นละออง รูปร่าง Solid Sphere จากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) ฝุ่นละอองรูปร่าง Flake จากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ (ค) ฝุ่นละอองรูปร่าง Aggregate จากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ

จากผลการทดลองเมื่อนำฝุ่นละอองที่พบจากการเก็บตัวอย่างอากาศบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ scanning electron microscope (SEM) (รูปที่ 4.11) พบฝุ่นรูปร่างแบบ Solid Sphere, แบบ Flake และแบบ Aggregate ซึ่งเป็นฝุ่นละอองที่เกิดจากสินแร่ อีกทั้งฝุ่นส่วนใหญ่นั้นจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกระจายอยู่ทั่วกระดาษกรอง ซึ่งฝุ่นเหล่านี้มีแหล่งกำเนิดมาจากรถยนต์จากการจราจรบนท้องถนน ไม่ว่าจะเป็นล้อรถที่สัมผัสพื้นผิวถนน การฟุ้งของฝุ่นดินบนถนน การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง

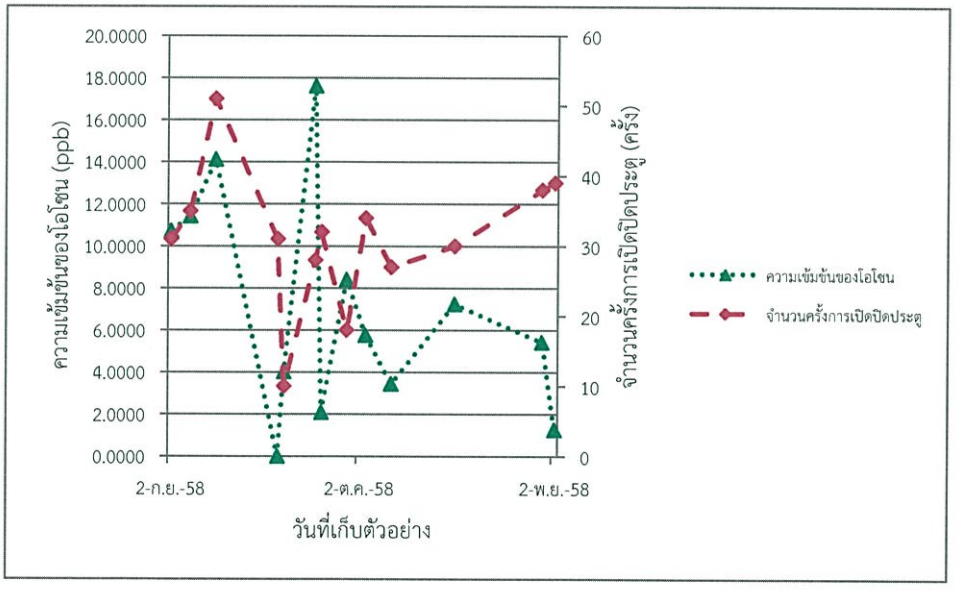
4.2.3 ความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งการเปิดประตูกับความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ที่ตรวจวัดได้ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ

การทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยของการเปิดปิดประตูว่ามีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศหรือไม่ ได้ผลแสดงในรูปที่ 4.12-4.15 (ดูรายละเอียดในตาราง ข.10 – ข.14 ภาคผนวก ข)

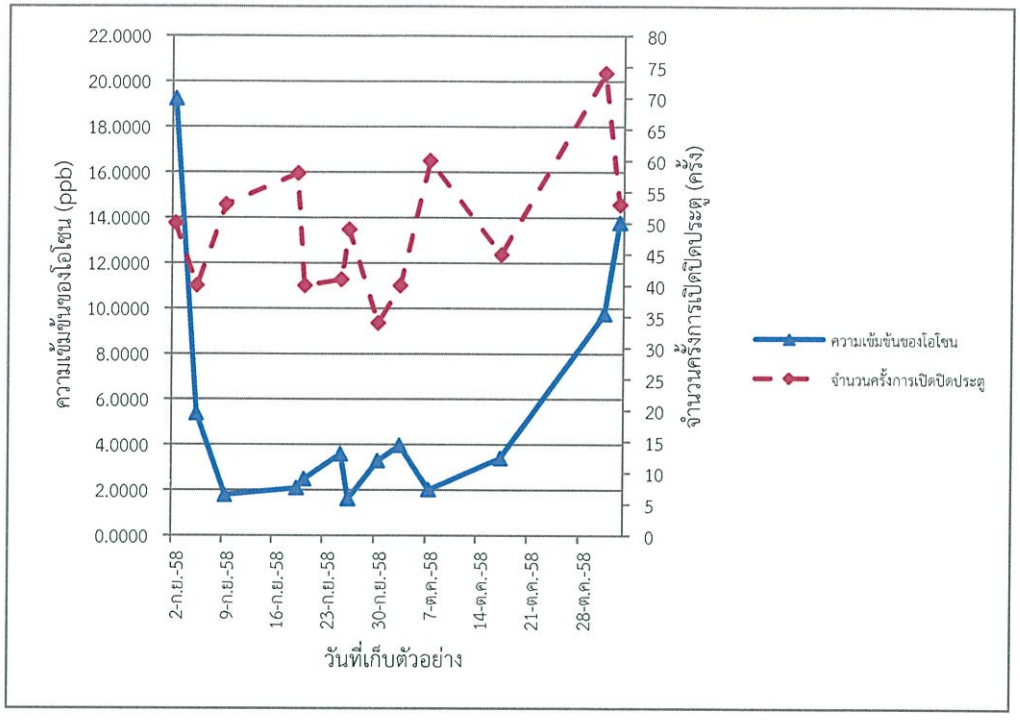
(ก)



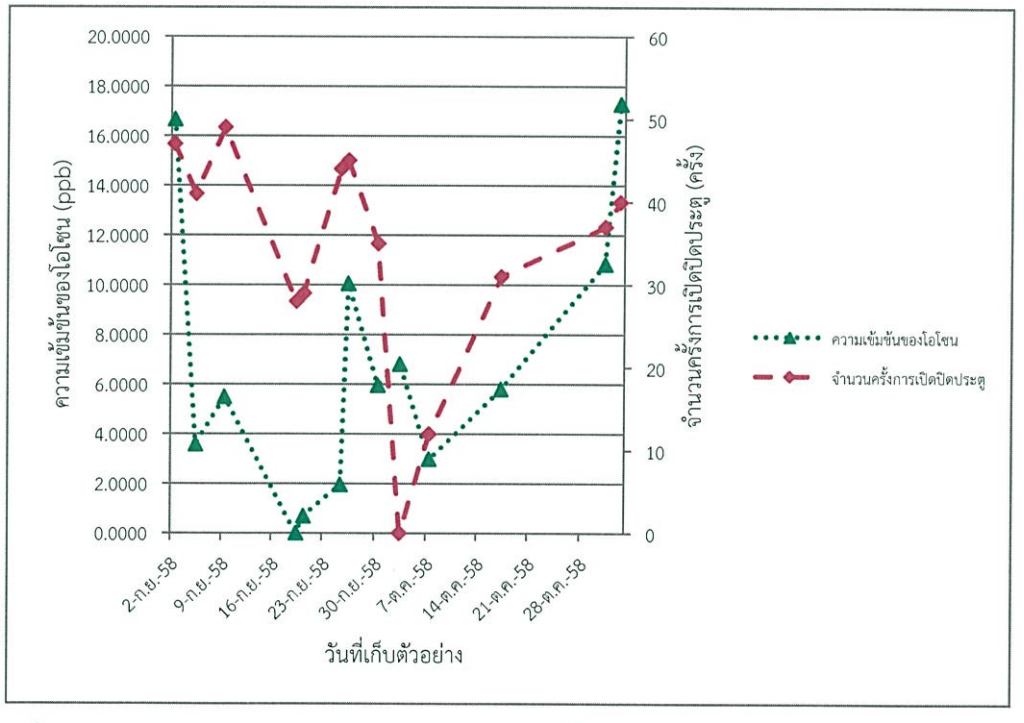
(ข)



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการเปิด-ปิดประตูรถกับความเข้มข้นของโอโซน ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. (ก) รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ

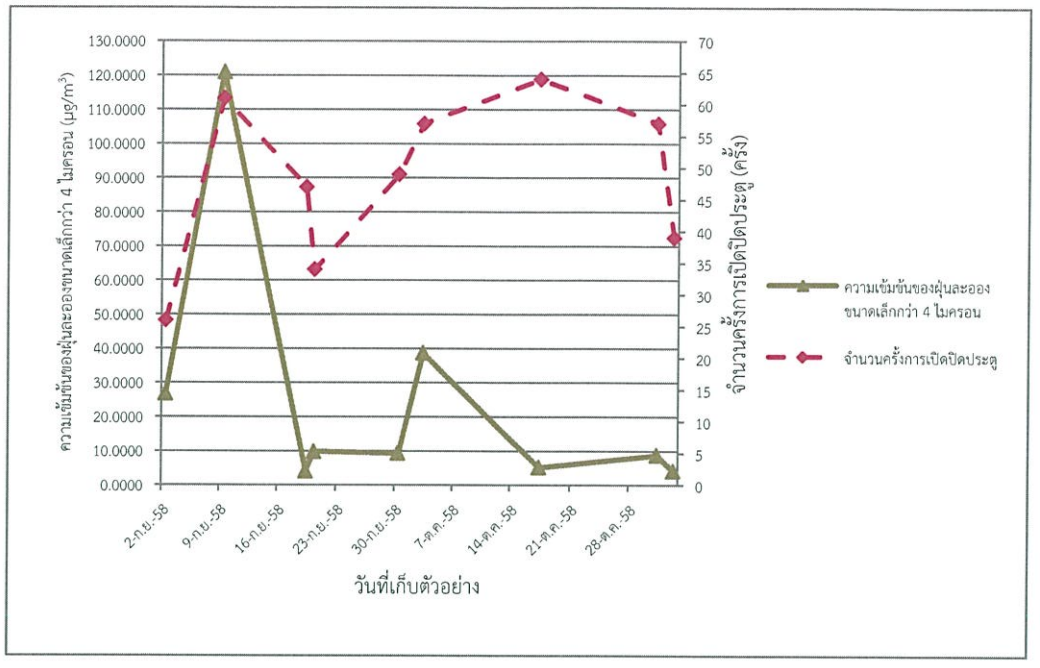


(ก)

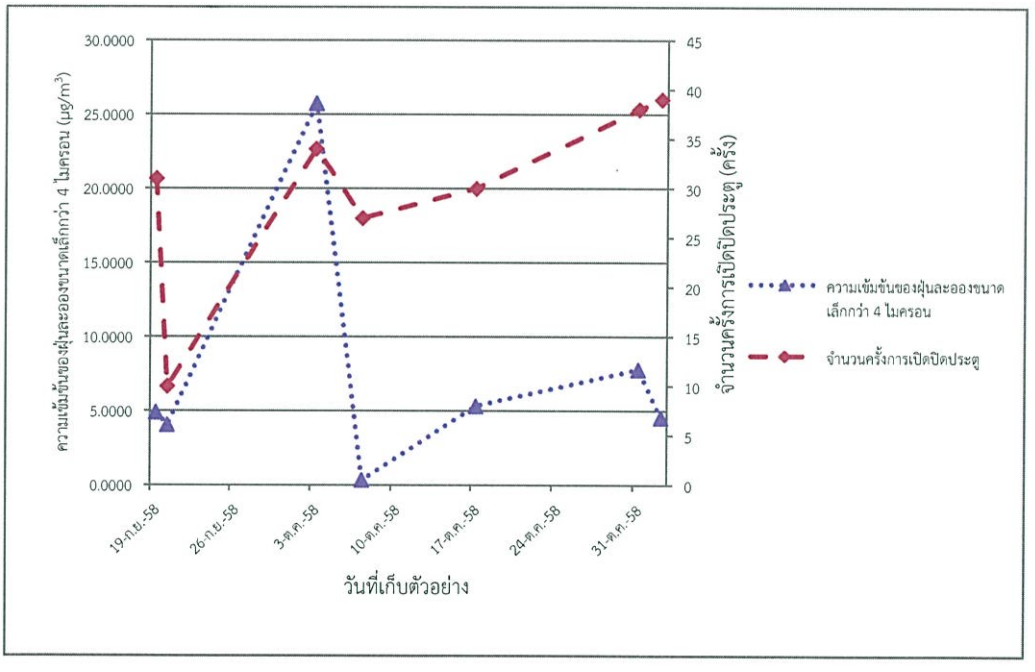


(ข)

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการเปิด-ปิดประตูรถกับความเข้มข้นของโอโซน ในช่วงเวลา 13.30 – 16.30 น. (ก) รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ

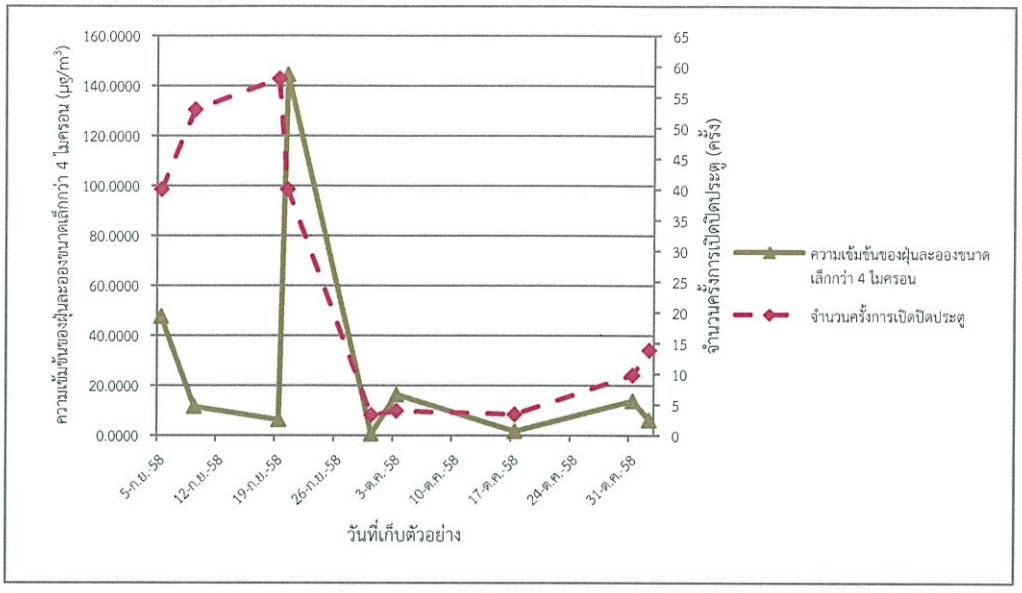


(ก)

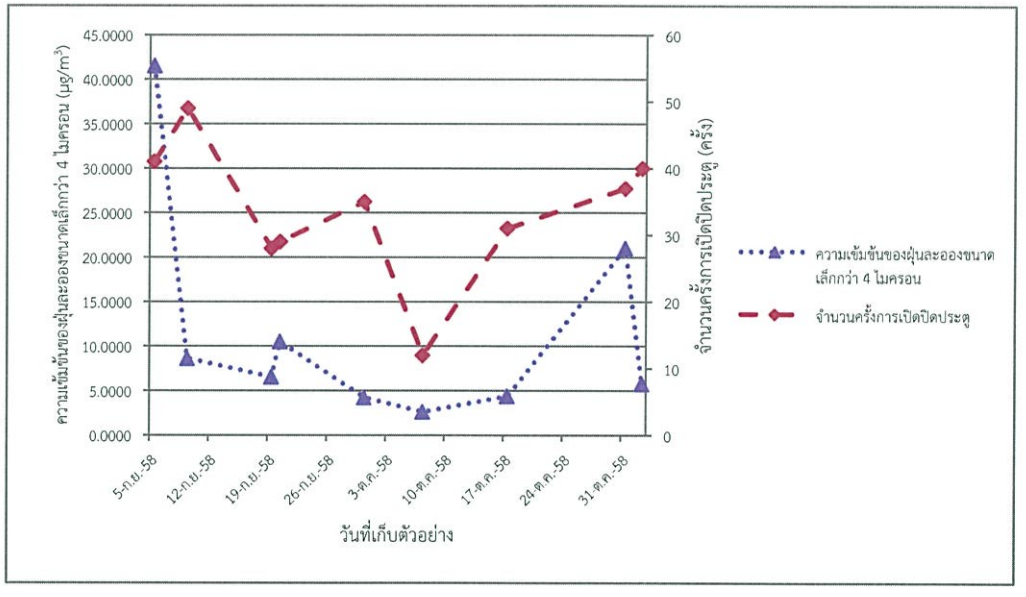


(ข)

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการเปิด-ปิดประตูรถกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. (ก) รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการเปิด-ปิดประตูรถกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ในช่วงเวลา 13.30 – 16.30 น. (ก) รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ (ข) รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ

จากผลการทดลองพบว่า จำนวนครั้งของการเปิดประตูรับ-ส่งผู้โดยสารในแต่ละป้ายรถโดยสารประจำทาง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน บนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ ทั้งนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของโอโซนภายนอกรถที่ทำการเปรียบเทียบกับกรมควบคุมมลพิษจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนาและพญาไทนั้นค่อนข้างสูง มีผลทำให้ เมื่อมีการเปิดประตูรับ-ส่งผู้โดยสารเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของโอโซนส่วนใหญ่ภายในรถโดยสารประจำทางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากการเปิดประตูในแต่ละครั้ง ทำให้โอโซนจากภายนอกรถสามารถแพร่เข้ามาภายในรถโดยสารประจำทางได้ โดยความเข้มข้นของโอโซนจากการตรวจวัด พบว่า ในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศมีค่าต่ำกว่าในรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศที่ได้รับโอโซนจากภายนอกรถโดยตรง

4.3 แนวทางการประเมินความเสี่ยง

ผลการประเมินความเสี่ยงจากค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กในรถโดยสารประจำทางทั้งแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ พบว่า ผู้ที่ใช้บริการรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศทั้งเพศชายและเพศหญิง อยู่ในภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษ โดยเพศชายในช่วงอายุ 16-25 ปี, 26-35 ปี, 36-45ปี, 46-59 ปี, 60 ปีขึ้นไป มีภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษคือ 1.16, 1.21, 1.24, 1.25, 1.37 ตามลำดับ และเพศหญิงในช่วงอายุ 16-25 ปี, 26-35 ปี, 36-45 ปี, 46-59 ปี, 60 ปีไป มีภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษคือ 1.41, 1.51, 1.48, 1.48, 1.57 ตามลำดับ เนื่องมาจากการที่ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศนั้นมีฝุ่นขนาดเล็กที่กักตัวสะสมอยู่ในตัวรถและเครื่องปรับอากาศเป็นเวลานาน มีระบบระบายอากาศที่ไม่ดี การหมุนเวียนของอากาศไม่รุนแรงมากพอที่จะทำให้ฝุ่นละอองออกไปจากภายในตัวรถ ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยเพศหญิงจะมีโอกาสได้รับความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษสูงกว่าเพศชาย เพราะน้ำหนักเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงต่ำกว่าเพศชาย ในขณะที่ผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศทั้งเพศชายและเพศหญิง พบว่า ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ช่วงอายุ(ปี)	ค่า HQ			
	รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ		รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ	
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง
16-25	1.16	1.41	0.46	0.56
26-35	1.21	1.51	0.48	0.60
36-45	1.24	1.48	0.49	0.58
46-59	1.25	1.48	0.49	0.58
60ขึ้นไป	1.37	1.57	0.54	0.62

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่หลอดกำเนิดแสงไฟแอลอีดีสีน้ำเงินมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งมีค่า R^2 ใกล้เคียงกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0091x + 0.0019$, $R^2 = 0.9941$

จากการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศพบว่า ความเข้มข้นของโอโซนภายในรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.69 ถึง 17.60 ppb ซึ่งมีแนวโน้มของความเข้มข้นสูงกว่าแบบปรับอากาศ ความเข้มข้นของโอโซนภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 ถึง 16.30 น. มีความเข้มข้นของโอโซนอยู่ในช่วง 1.61 ถึง 19.24 ppb ซึ่งมีแนวโน้มของความเข้มข้นสูงกว่าช่วงเวลา 10.00 ถึง 13.00 น. ที่มีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 0.94 ถึง 18.68 ppb ส่วนบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 ถึง 13.00 น. มีความเข้มข้นของโอโซนอยู่ในช่วง 1.26 ถึง 17.60 ppb ซึ่งมีแนวโน้มของความเข้มข้นสูงกว่าเวลา13.30 ถึง 16.30 น. ที่มีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 0.69 ถึง 17.28 ppb ความเข้มข้นของโอโซนภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในวันจันทร์ถึงศุกร์มีความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 0.94 ถึง 19.24 ซึ่งมีแนวโน้มของความเข้มข้นสูงกว่าวันเสาร์อาทิตย์ ที่มีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 1.61 ถึง 12.77 ppb ส่วนบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในวันจันทร์ถึงศุกร์มีความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 1.26 ถึง 17.60 ppb ซึ่งมีแนวโน้มของความเข้มข้นสูงกว่าวันเสาร์อาทิตย์ ที่มีค่าความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง 0.69 ถึง 11.42 ppb ความเข้มข้นของโอโซนจากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลง แปรผันตรงกับจำนวนครั้งของการเปิดประตูรับ-ส่งผู้โดยสารในแต่ละป้ายรถโดยสารประจำทาง ส่วนแบบปรับอากาศ พบว่าส่วนใหญ่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของความเข้มข้น แปรผกผันกับจำนวนครั้งของการเปิดประตูรับ-ส่งผู้โดยสารในแต่ละป้ายรถโดยสารประจำทาง

จากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ภายในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศพบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน บนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.56 ถึง 144.34 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีแนวโน้มของความเข้มข้นสูงกว่าแบบไม่ปรับอากาศ ที่มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.34 ถึง 41.54 $\mu g/m^3$ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับ

อากาศในช่วงเวลา 13.30 ถึง 16.30 น. มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.56 ถึง 144.34 $\mu g/m^3$ มีค่าแนวโน้มของความเข้มข้นสูงกว่าช่วงเวลา 10.00 ถึง 13.00 น. ที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 4.14 ถึง 120.96 $\mu g/m^3$ ส่วนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 ถึง 16.30 น. มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 2.63 ถึง 41.54 $\mu g/m^3$ มีค่าแนวโน้มของความเข้มข้นสูงกว่าช่วงเวลา 10.00 ถึง 13.00 น. ที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 0.34 ถึง 25.74 $\mu g/m^3$ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน บนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในวันจันทร์ถึงศุกร์มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.56 ถึง 120.96 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าแนวโน้มของความเข้มข้นต่ำกว่าวันเสาร์อาทิตย์ ที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 1.65 ถึง 144.34 $\mu g/m^3$ ส่วนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในวันจันทร์ถึงศุกร์มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 0.34 ถึง 8.64 $\mu g/m^3$ มีค่าแนวโน้มของความเข้มข้นต่ำกว่าวันเสาร์อาทิตย์ ที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน อยู่ในช่วง 4.06 ถึง 41.54 $\mu g/m^3$ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ที่พบจากการเก็บตัวอย่างอากาศบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ พบฝุ่นรูปร่างแบบ Solid Sphere, แบบ Flake และแบบ Aggregate

จากผลการทดลองพบว่า ผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศทั้งเพศชายและเพศหญิง อยู่ในภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษ โดยเพศหญิงจะมีโอกาสได้รับความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษสูงกว่าเพศชาย ส่วนผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศทั้งเพศชายและเพศหญิง ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็ก เช่น ความเข้มข้นของ NOx และ VOC ซึ่งเป็นสารมลพิษปฐมภูมิ

2. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นโอโซนด้วยเครื่องมืออื่นเทียบกับเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา

3. ศึกษาผลของตำแหน่งที่นั่งบนรถโดยสารประจำทางในการเก็บตัวอย่างอากาศ ว่ามีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

กรมการขนส่งทางบก. 2557. **สถิติกรมขนส่งทางบก.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://apps.dlt.go.th/statistics_web/statistics.html

กรมควบคุมมลพิษ. 2555 ก. **มาตรฐานคุณภาพอากาศและเสียง.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html

กรมควบคุมมลพิษ, 2550 ข. **หลักการตรวจวัดและขั้นตอนการปรับเทียบสำหรับการตรวจวัดคุณภาพ อากาศ. กรุงเทพมหานคร.** สหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิสชิ่ง. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://infofile.pcd.go.th/air/AirDetecNCal.pdf?CFID=4487636&CFTOKEN=93604367

กรมควบคุมมลพิษ. 2555 ค. **ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 28 พ.ศ. 2538 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://infofile.pcd.go.th/law/2_36_air.pdf?CFID=1455021&CFTOKEN=35349181

กรมควบคุมมลพิษ. 2554. **รู้รอบทิศ มลพิษทางอากาศ บทเรียน แนวคิด และการจัดการ.** กรุงเทพมหานคร. กชกร พิบลิสชิ่ง.

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. **เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.pcd.go.th/info_serv/air_dust.htm

กระทรวงสาธารณสุข. 2558. **แผนบูรณาการสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข ประจำปี 2558.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://enhealthplan.anamai.moph.go.th/main.php?filename=index

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2557. **ปริมาณโอโซนในบรรยากาศ.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.tmd.go.th/info/images/ozone/ozone_02.jpg

กุลธิดา ตระสินธุ์. 2547. **มลพิษอากาศที่บุคคลได้รับจากการเดินทาง และการจราจรในเขตเทศบาลนครราชสีมา.** วิศวกรรมศาตรมหาบันฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:

http://203.158.6.11:8080/sutir/bitstream/123456789/1028/2/%E0%B8%81%E0%B8%B8%E0%B8%A5%E0%B8%98%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%B2fulltextpdf

จักรกฤษณ์ จันทโอภาส. 2548. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโอโซน.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.greenwoodozone.com/thai/html/file_about/06.htm

ชัชชัย วิญญารัตน์, ภาณุวิศว์ สถิตเมธี และ อิสระพงษ์ มูลสาร. 2553. **ปริมาณฝุ่นรวมภายในโรงอาหารและศูนย์อาหารโดยรอบมหาวิทยาลัยขอนแก่น.** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20110308162138.pdf

ญัฐวุฒิ เชิงชั้น, นภดล มณีรัตน์, ศานติกรณ์ อำนวยผล และ อาจณรงค์ เมธาวีสรรเสริญ. 2557. **การออกแบบ/สร้างต้นแบบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย.** คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ดนุพล โอสายไหม และ วัชระ พรหมจักร. 2556. **การบำบัดสีน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อกระดาษด้วยวิธีคาร์บอเนชั่น.** วิศกรรมศาสตรบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20140228115406.pdf

ธนิตย์ อินรัตน์. 2554. **การประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศเพื่อการประเมินคุณภาพ**: กรณีศึกษา จังหวัดชลบุรี. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา, ปีที่ 16, หน้า 32-40

บริษัท เอ็นพีซี เซฟตี้ แอนด์ เอ็นไวรอนเมนทอล เซอร์วิส. 2557. **นโยบายVOCs**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.npcse.co.th/read/npc_read_detail.asp?read_id=386&cate_id=1

ไมตรี สุทธจิตต์. 2520. **สารพิษในสิ่งแวดล้อมและการเกิดมะเร็ง เชียงใหม่.** ภาควิชาชีวเคมี. คณะแพทย์ศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพบูลย์ พานิชยการ. 2526. **โรคหืด**. กรุงเทพฯ: พิฆเณศ;

ภิญโญ พานิชพันธ์, พิณทิพ รื่นวงษา, ศศิวิมล แสวงผล, จงดี โตอิ้ม, ยุพา ตั้งสากล. 2548. **ผลกระทบของสารมลพิษทางอากาศ**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter2/chapter2_airpolution8.htm

วนิดา ทรัพย์สุข. 2543. **ผลของฝุ่นขนาดเล็กและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในที่พักอาศัยต่อสุขภาพของแม่บ้านและเด็กในกรุงเทพมหานคร.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://cuirvpn.car.chula.ac.th/proxy/http/192.168.144.6/bitstream/123456789/5448/1/Wanida.pdf

วนิสา สุรพิพิธ 2556. **สูดโอโซนดีจริงหรือ** ส่วนแผนงานและประมวลผล.. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://aqnis.pcd.go.th/node/1920

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. 2528. **มลภาวะอากาศ**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2556. **การขนส่งสินค้าและผู้โดยสารภายในประเทศสถิติกระทรวง คมนาคม.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.mot.go.th/statmot_domestic.html

ศิริพงศ์ สุขทวี. 2546. **การประเมินความเข้มข้นของโอโซนบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมหาวิทยาลัยรามคำแหงโดยใช้วิธี Multiple Linear Regression. มหาวิทยาลัยรามคำแหง**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.ertc.deqp.go.th/ertc/images/stories/user/air/air1/oz.pdf

ศิริวรรณ แก้วงาม. 2543. **สัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในกรุงเทพมหานคร.** บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://cuirvpn.car.chula.ac.th/proxy/http/192.168.144.6/bitstream/123456789/5415/1/Siriwan.pdf

สุชณะ บ่อคำ. 2556. **การศึกษาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจากกิจกรรมของอุตสาหกรรม บ่อดิน-บ่อทรายที่มีต่อสุขภาพของเด็กนักเรียน กรณีศึกษาโรงเรียนในตำบลบ้านสาง อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม.** บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยศิลปากร. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:

http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Suchana_Borkham/fulltext.pdf

หมอหนู. 2558. **หมอกฝุ่นคืออะไร มีมหันต์ภัยต่อสุขภาพของคนแค่ไหน.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://healthwayforlife.blogspot.com/2015/07/smog.html

อรัญ ขวัญปาน. 2553. **การส่งเสริมการท่องเที่ยวกับการฟุ้งกระจายของสภาวะฝุ่นละอองในเส้นทางสู่แหล่งท่องเที่ยวจังหวัดสมุทรสงคราม.** มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/handle/123456789/79?show=full

อาทิตย์ ลูกเงาะ และ อธิจิต วรแสน. 2556. **การหาความเข้มข้นของโอโซนของเครื่องผลิตโอโซนแบบวียูวีสำหรับการทำน้ำดื่ม.** วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20140308094435.pdf

โอโซนอินเตอร์. 2557. **การเกิดโอโซนในชั้นสตาร์โพสเฟียร์.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.ozoneinter.com/img/born_ozone.png

Bisesi M.S. and Kohn J.P. 1995. **Industrial Hygiene Evaluation Methods**, Lewis Punishers.

European Space Agency (ESA). 2014. **What about Ozone.** [Online]. Available: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Clean_Space/What_about_ozone

Ferris CD. **Guide to medical laboratory instruments**. Boston : Little Brown and Company, 1980.

Fowler, D. and the United Kingdom Photochemical Oxidants Review Group. 1997. **Ozone in the United Kingdom. Fourth Report of the Photochemical Oxidants Review Group**, the Air and Environment Quality Division, Department of the Environment, Transport and the Regions

Henson SJ. 1991. **Managing Indoor Air Quality.** Lilburn: The Fairmont ProssInc

McNaught A.D and Wikinson A. 1997. **Compendium of Chemical Terminology**. The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). The Gold Book.

Bisesi M.S. and Kohn J.P. 1995. **Industrial Hygiene Evaluation Methods**, Lewis Punishers.

NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), **NIOSH 0600, Fourth edition. 1998.** [Online]. Available: http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/0600.pdf

SKC.1998 06/07. **Comprehensive Catalog and Sampling Guide**. [Online]. Available: http://www.skcinc.com/catalog/pdf/instructions/1324.pdf

The American Conference of Govermental Industrial Hygienist (ACGIH). 1998. **Air Sampling Instrument Selection Guide: Indoor Air Quality**.

United State Environmental Protection Agency (USEPA). 2015. **Particulate Pollution (PM)**. [Online]. Available: http://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=aqibasics.particle

United State Environmental Protection Agency (USEPA). 1996. **Ozone Generators that are Sold as Air Cleaners : An Assessment of Effectiveness and Health Consequences" U.S. Environmental Protection Agency**. [Online]. Available: http://www.epa.gov/sites/production/files/201408/documents/ozone_generator.pdf

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศและสร้างกราฟมาตรฐานโอโซน

ก.1 วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีพด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล

ทำการสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง ด้วยเครื่องสอบเทียบอัตราการไหล ใช้อัตราการไหลที่ 2.5 ลิตรต่อนาที โดยการหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหล 10 ครั้ง แล้วนำไปหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) โดยอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลทั้งก่อนและหลังไม่ควรต่างกันเกิน 10 % และควรจะมีค่า %RSD ไม่เกิน 10 % เนื่องจากจะมีผลต่อการคำนวณปริมาตรอากาศในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Xi}{N}$$

$$S.D. = \sqrt{\sum_{i=0}^{n} \frac{(Xi - \overline{X})^2}{(n-1)}}$$

$$\%RSD = \frac{S.D. \times 100}{\overline{X}}$$

เมื่อ

$\overline{X}$	=	ค่าเฉลี่ย
$\sum_{i=0}^{n} X_i$	=	ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
N	=	จำนวนข้อมูลจากประชากรทั้งหมด
n	=	จำนวนข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด
S.D.	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
%RSD	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานสัมพัทธ์

ก.2 การสร้างกราฟมาตรฐานโอโซน

1. การเตรียมสารละลาย

1.2 สารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M

ละลายโพแทสเซียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (KH_2PO_4) จำนวน 13.6 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 14.2 กรัม หรือ dodecahydrate salt ($Na_2HPO_2{\cdot}12H_2O$) 35.8 กรัม และ โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 10.0 กรัม เมื่อละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จึงเทใส่ขวดวัดปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนได้ 1 ลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 วันก่อนใช้ วัดค่าพีเอช (pH) และปรับพีเอชให้เป็น 6.8 ± 0.2 ด้วย NaOH หรือ KH_2PO_4 สารละลายนี้สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้หลายเดือนโดยใช้ขวดแก้วสีน้ำตาลที่มีฝาปิด และไม่ให้ถูกแสงแดดส่องโดยตรง

1.3 สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนไดไอโอเดต [$KH(IO_3)_2$] 0.025 N

ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนไดไอโอเดต [$KH(IO_3)_2$] จำนวน 0.8124 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

1.4 สารละลายมาตรฐานสต๊อคโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) 0.1 N

ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3{\cdot}5H_2O$) จำนวน 24.82 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มแล้วทิ้งไว้ให้เย็น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 กรัม เมื่อละลายเป็นเนื้อเดียวกันจึงเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานสต๊อคโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) 0.1 N เมื่อจะใช้งานให้ปิเปตสารละลายมาตรฐานสต๊อคโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) 0.1 N มา 62.5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

1.5 สารละลายมาตรฐานสต๊อคไอโอดีน 0.025 M หรือ 0.05 N

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 16 กรัม และเกล็ดไอโอดีนที่ระเหิดใหม่ (re-sublimed iodine) 3.173 กรัม เมื่อละลายเป็นเนื้อเดียวกันจึงเทใส่ขวดวัดปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนได้ 500 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 วันก่อนใช้

1.6 สารละลายไอโอดีนขั้นที่ 1 (I_2 no. 1) 0.0010 M

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสต๊อคไอโอดีน 0.025 M มา 4 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จนถึงขีดวัดปริมาตร และเก็บให้พ้นแสงจ้า ต้องเททิ้งเมื่อรินมาใช้แล้ว

1.7 น้ำแป้ง

ละลายแป้งมัน (Soluble starch) 1 กรัม ในน้ำ 200 มิลลิลิตร นำไปต้มบน Hot plate จนเดือดเป็นเวลา 2-3 นาที ทิ้งค้างคืนไว้ เทส่วนใสมาใช้งาน โดยเก็บไว้ในตู้เย็น

2. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

2.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานสต็อกโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) 0.0250 N

1. เทสารละลายมาตรฐานสต๊อคโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 N ลงในบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน
4. ปิเปตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนไดไอโอเดต 0.025 N 20 มิลลิลิตร
5. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 6 N 1-2 หยด
6. นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานสต๊อคโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีเหลืองอ่อน
7. เติมน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร จะเกิดสีน้ำเงินคราม ไทเทรตต่อจนได้สารละลายใสไม่มีสี โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง

2.2 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานสต๊อกไอโอดีน 0.025 M

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานสต๊อคไอโอดีน 0.025 M มา 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 6 N 1-2 หยด
4. นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานสต๊อคโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีเหลืองอ่อน
5. เติมน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร จะเกิดสีน้ำเงินคราม ไทเทรตต่อจนได้สารละลายใสไม่มีสี โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง

3. การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายไอโอดีนขั้นที่ 1 (I_2 no. 1) 0.0010 M มา 5.11 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2. ปรับปริมาตรด้วยสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้ความเข้มข้นเทียบเท่าว่ามีโอโซน 1 µL ต่อสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จำนวน 1 มิลลิลิตร จะได้สารละลายไอโอดีนขั้นที่ 2 (I_2 no. 2)

3. ปิเปตสารละลายไอโอดีนขั้นที่ 2 มา 1, 2, 4, 8, 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จนถึงขีดวัดปริมาตร

4. เทสารละลายใส่คิวเวตต์เซลล์ชนิดที่ทำจากควอต์ซ แล้วนำไปวัดค่าแอบซอร์บแบนซ์ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา โดยทำการเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน

5. พล็อตค่าแอบซอร์บแบนซ์จากสารละลายไอโอดีนเทียบเป็นโอโซน ได้กราฟมาตรฐานเป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer's Law) จะได้เส้นตรงผ่านจุดกำเนิดให้สอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด โดยแกน Y เป็นค่าแอบซอร์บแบนซ์ และแกน X เป็นความเข้มข้นเทียบเท่าโอโซน (หน่วย µL ของโอโซนต่อ 10 มิลลิลิตร ของสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1 % KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M)

ก.3 การเก็บตัวอย่างโอโซนและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน

ทำการสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง ด้วยเครื่องสอบเทียบอัตราการไหล โดยใช้อัตราการไหลที่ 2.5 ลิตรต่อนาที แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหล 10 ครั้ง รวมถึงทำการวัดอุณหภูมิและความดันทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ที่อุณหภูมิ 298.155 K และความดัน 101.325 kPa แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ใช้ดูดกลืนจากการเก็บตัวอย่างอากาศบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศและแบบไม่ปรับอากาศ ระยะทางจากราม 2 ไปวัดโพธิ์ ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. และระยะทางจากวัดโพธิ์ไปราม 2 ในช่วงเวลา 13.30 – 16.30 น. ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้แทนลงในสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐาน สุดท้ายจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นของโอโซนในสภาวะก๊าซ และความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Xi}{N}$$

$$\frac{P_s V_s}{T_s} = \frac{P_i V_i}{T_i}$$

$$[O_3] = \frac{\text{ปริมาณโอโซนทั้งหมด } (\mu L/10mL)}{\text{ปริมาตรตัวอย่างอากาศ } (L)}$$

$$C = \frac{(M_f - M_i) \times 10^6}{V_s}$$

เมื่อ

P_s = ความดันของบรรยากาศที่มาตรฐาน (101.325 kPa)

V_s = ปริมาตรอากาศที่มาตรฐาน (L)

T_s = อุณหภูมิที่มาตรฐาน (298.15 K)

P_i = ความดันของบรรยากาศขณะเก็บตัวอย่าง (kPa)

V_i = ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (L)

T_i = อุณหภูมิในขณะเก็บตัวอย่าง (K)

$[O_3]$ = ความเข้มข้นของโอโซน

C = ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (µg/L)

M_f = น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง

M_i = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง

10^6 = เปลี่ยนหน่วยจาก g เป็น µg

ภาคผนวก ข

ข.1 การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่หลอดกำเนิดแสงไฟแอลอีดีสีต่าง ๆ เทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาจากการเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน, หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีเขียวและหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีแดง

Portable spectro. (Blue LED)					
สารละลายมาตรฐานไอโอดีน(µL/10mL)	ครั้งที่			Mean	S.D.
	1	2	3		
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0088	0.0080	0.0102	0.0090	0.0009
2	0.0210	0.0263	0.0222	0.0232	0.0023
4	0.0406	0.0416	0.0412	0.0411	0.0004
6	0.0566	0.0592	0.0588	0.0582	0.0011
8	0.0661	0.0736	0.0737	0.0711	0.0036
10	0.0887	0.0952	0.0985	0.0941	0.0041
Portable spectro. (Green LED)					
สารละลายมาตรฐานไอโอดีน(µL/10mL)	ครั้งที่			Mean	S.D.
	1	2	3		
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.1208	0.1258	0.1328	0.1265	0.0049
2	0.1318	0.0907	0.1353	0.1193	0.0203
4	0.1477	0.1356	0.1530	0.1454	0.0073
6	0.1361	0.1309	0.1527	0.1399	0.0093
8	0.1386	0.1377	0.1577	0.1447	0.0092
10	0.1425	0.1278	0.1640	0.1448	0.0149
Portable spectro. (Red LED)					
สารละลายมาตรฐานไอโอดีน(µL/10mL)	ครั้งที่			Mean	S.D.
	1	2	3		
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0190	0.0215	0.0362	0.0256	0.0076
2	0.0219	0.0262	0.0351	0.0277	0.0055
4	0.0283	0.0195	0.0412	0.0297	0.0089
6	0.0231	0.0274	0.0414	0.0306	0.0078
8	0.0225	0.0375	0.0408	0.0336	0.0080
10	0.0213	0.0375	0.0425	0.0338	0.0090

ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาจากการเปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงินและสีเขียวพร้อมกัน, หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงินและสีแดงพร้อมกัน, หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีเขียวและสีแดงพร้อมกัน และหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน, สีเขียวและสีแดงพร้อมกัน

Portable spectro. (Blue and Green LED)					
สารละลายมาตรฐานไอโอดีน(µL/10mL)	ครั้งที่			Mean	S.D.
	1	2	3		
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.1208	0.0098	0.1328	0.0878	0.0554
2	0.0210	0.0934	0.1365	0.0836	0.0477
4	0.1477	0.1369	0.1581	0.1476	0.0087
6	0.1361	0.0624	0.1565	0.1183	0.0404
8	0.1386	0.1377	0.1602	0.1455	0.0104
10	0.1438	0.1293	0.1640	0.1457	0.0142
Portable spectro. (Blue and Red LED)					
สารละลายมาตรฐานไอโอดีน(µL/10mL)	ครั้งที่			Mean	S.D.
	1	2	3		
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0190	0.0215	0.0102	0.0169	0.0048
2	0.0219	0.0375	0.0240	0.0278	0.0069
4	0.0283	0.0195	0.0484	0.0321	0.0121
6	0.0231	0.0280	0.0625	0.0379	0.0175
8	0.0225	0.0381	0.0746	0.0451	0.0218
10	0.0219	0.0363	0.0994	0.0525	0.0337
Portable spectro. (Green and Red LED)					
สารละลายมาตรฐานไอโอดีน(µL/10mL)	ครั้งที่			Mean	S.D.
	1	2	3		
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0190	0.0221	0.0362	0.0258	0.0075
2	0.0219	0.0934	0.0356	0.0503	0.0310
4	0.0283	0.0201	0.0418	0.0301	0.0089
6	0.0231	0.028	0.0414	0.0308	0.0077
8	0.0225	0.0381	0.0420	0.0342	0.0084
10	0.0219	0.0369	0.0425	0.0338	0.0087
Portable spectro. (Blue, Green and Red LED)					
สารละลายมาตรฐานไอโอดีน(µL/10mL)	ครั้งที่			Mean	S.D.
	1	2	3		
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.1208	0.0221	0.0362	0.0597	0.0436
2	0.0219	0.0280	0.0345	0.0281	0.0051
4	0.0283	0.0291	0.0424	0.0333	0.0065
6	0.0231	0.0285	0.0408	0.0308	0.0074
8	0.0225	0.0387	0.0420	0.0344	0.0085
10	0.0225	0.0369	0.0431	0.0342	0.0086

ตารางที่ ข.3 ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร

UV-Vis.Spectro.					
สารละลายมาตรฐานไอโอดีน(µL/10mL)	ครั้งที่			Mean	S.D.
	1	2	3		
0	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
1	0.087	0.104	0.143	0.1113	0.0234
2	0.257	0.248	0.282	0.2623	0.0144
4	0.563	0.539	0.544	0.5487	0.0103
6	0.803	0.790	0.856	0.8163	0.0285
8	1.079	1.064	1.098	1.0803	0.0139
10	1.319	1.282	1.370	1.3237	0.0361

ตารางที่ ข.4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของโอโซนที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงินกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องมือ	ความเข้มข้นของโอโซน (ppb)			Mean	S.D.
	ครั้งที่				
	1	2	3		
เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	2.76	4.80	6.11	4.56	1.38
เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา (หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน)	2.94	5.33	6.98	5.08	1.66

ตารางที่ ข.5 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (mL/min)											เฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
2/ก.ย./2558	ก่อน	2,539.7	2,511.7	2,538.9	2,512.9	2,514.9	2,514.3	2,542.1	2,516.4	2,517.5	2,520.3	2,522.8	11.6122	0.4603
	หลัง	2,534.9	2,507.2	2,500.7	2,531.1	2,531.2	2,502.8	2,504.1	2,503.8	2,532.2	2,533.2	2,518.0	14.5114	0.5763
5/ก.ย./2558	ก่อน	2,505.9	2,503.2	2,532.3	2,529.0	2,501.1	2,503.0	2,502.8	2,503.6	2,535.0	2,511.9	2,512.7	13.0141	0.5179
	หลัง	2,527.2	2,508.2	2,508.6	2,509.2	2,507.2	2,509.8	2,509.2	2,508.6	2,480.2	2,509.0	2,507.7	10.7201	0.4275
9/ก.ย./2558	ก่อน	2,550.9	2,554.0	2,529.4	2,529.2	2,529.0	2,553.6	2,530.6	2,532.8	2,559.4	2,558.8	2,542.7	12.8181	0.5041
	หลัง	2,438.6	2,519.9	2,525.0	2,557.6	2,556.5	2,531.9	2,557.8	2,548.9	2,536.0	2,535.6	2,530.7	33.3765	1.3189
19/ก.ย./2558	ก่อน	2,539.7	2,567.2	2,541.7	2,557.8	2,541.1	2,540.7	2,541.5	2,564.0	2541.3	2,560.8	2,549.5	10.7526	0.4218
	หลัง	2,531.4	2,638.3	2,630.1	2,626.7	2,626.6	2,625.6	2,629.6	2,622.7	2,621.0	2,630.1	2,618.2	29.2867	1.1186
20/ก.ย./2558	ก่อน	2,552.8	2,583.9	2,562.4	2,562.4	2,586.4	2,564.0	2,565.6	2,566.1	2,592.7	2,587.6	2,572.4	13.0845	0.5086
	หลัง	2,495.2	2,492.2	2,495.4	2,494.1	2,470.5	2494.6	2,494.4	2,493.2	2,495.2	2,495.9	2,492.0	7.2654	0.2915
25/ก.ย./2558	ก่อน	2,562.2	2,534.0	2,532.8	2,537.6	2,532.1	2,539.4	2,540.5	2,538.4	2,531.0	2,531.5	2,537.9	8.7364	0.3442
	หลัง	2,544.5	2,520.1	2,491.2	2,515.7	2,520.8	2,513.7	2,519.2	2,491.3	2,515.7	2,513.7	2,514.5	14.4165	0.5733
26/ก.ย./2558	ก่อน	2,557.0	2,528.0	2,528.0	2,527.4	2,529.0	2,556.2	2,528.2	2,531.0	2,557.0	2,530.6	2,537.2	12.8087	0.5048
	หลัง	2,534.6	2,556.4	2,550.7	2,556.2	2,554.5	2,528.2	2,551.9	2,526.0	2,526.8	2,525.3	2,541.0	13.1956	0.5193

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (mL/min)											เฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
30 กันยายน 2558	ก่อน	2,499.6	2,523.3	2,435.2	2,499.2	2,500.5	2,501.3	2,499.3	2,504.3	2,503.0	2,530.3	2,499.6	23.8519	0.9542
	หลัง	2,556.0	2,556.6	2,558.8	2,536.7	2,559.8	2,558.2	2,560.8	2,559.6	2,560.0	2,563.8	2,557.0	7.0866	0.2771
3 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,518.2	2,544.1	2,536.3	2,531.9	2,532.1	2,537.0	2,535.4	2,540.5	2,538.4	2,539.5	2,535.3	6.7069	0.2645
	หลัง	2,540.9	2,544.1	2,538.5	2,536.9	2,565.5	2,786.6	2,542.7	2,539.0	2,539.5	2,540.3	2,567.4	73.4795	2.8620
7 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,522.9	2,529.2	2,528.2	2,531.8	2,530.8	2,532.2	2,536.0	2,535.4	2,532.8	2,523.9	2,530.7	4.1497	0.1640
	หลัง	2,502.4	2,540.1	2,521.0	2,524.4	2,548.9	2,527.4	2,530.8	2,524.1	2,527.8	2,527.6	2,527.4	11.4940	0.4548
17 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,540.5	2,523.3	2,544.7	2,543.9	2,527.2	2,547.5	2,546.7	2,548.9	2,548.7	2,547.7	2,541.9	8.7128	0.3428
	หลัง	2,517.1	2,544.1	2,521.1	2,513.9	2,521.4	2,519.4	2,513.6	2,512.8	2,513.8	2,513.7	2,519.0	8.9029	0.3534
31 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,508.8	2,543.9	2,544.9	2,537.7	2,519.0	2,546.7	2,547.5	2,546.5	2,549.1	2,531.6	2,537.5	13.0256	0.5133
	หลัง	2,509.0	2,503.6	2,505.7	2,507.1	2,505.1	2,505.0	2,503.6	2,503.6	2,500.2	2,499.0	2,504.1	2.8155	0.1124
2 พฤศจิกายน 2558	ก่อน	2,519.2	2,517.1	2,516.4	2,549.9	2,518.8	2,517.3	2,521.6	2,518.6	2,519.2	2,548.9	2,524.7	12.4267	0.4922
	หลัง	2,522.0	2,513.9	2,496.1	2,518.9	2,500.7	2,515.9	2,516.6	2,516.3	2,517.3	2,516.7	2,513.4	7.8487	0.3123

ตารางที่ ข.6 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (mL/min)											เฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
2 กันยายน 2558	ก่อน	2,497.1	2,504.6	2,504.2	2,531.4	2,533.4	2,533.2	2,511.9	2,536.0	2,536.3	2,539.5	2,522.7	15.4478	0.6124
	หลัง	2,512.1	2,522.9	2,549.7	2,524.5	2,521.9	2,545.1	2,522.9	2,549.6	2,523.8	2,528.2	2,530.0	12.4859	0.4935
5 กันยายน 2558	ก่อน	2,503.6	2,503.4	2,521.9	2,522.9	2,499.0	2,525.3	2,527.8	2,536.7	2,528.4	2,528.8	2,519.7	12.2999	0.4881
	หลัง	2,198.9	2,182.7	2,197.2	2,198.3	2,195.3	2,194.8	2,195.1	2,192.9	2,194.5	2,193.9	2,194.3	4.2912	0.1956
9 กันยายน 2558	ก่อน	2,495.5	2,512.7	2,489.3	2,493.9	2,482.2	2,489.1	2,491.6	2,493.9	2,492.6	2,491.4	2,493.2	7.3871	0.2963
	หลัง	2,215.6	2,381.6	2,380.2	2,385.3	2,384.9	2,381.6	2,382.5	2,383.4	2,383.3	2,387.1	2,366.5	50.3535	2.1278
19 กันยายน 2558	ก่อน	2,549.9	2,538.2	2,537.3	2,535.4	2,560.2	2,558.4	2,533.0	2,530.4	2,554.0	2,553.4	2,545.0	10.6818	0.4197
	หลัง	2,116.8	2,126.1	2,137.5	2,124.1	2,123.5	2,126.1	2,128.2	2,145.4	2,129.4	2,129.7	2,128.6	7.4926	0.3520
20 กันยายน 2558	ก่อน	2,502.1	2,501.7	2,498.6	2,503.2	2,503.0	2,501.5	2,498.4	2,503.6	2,529.4	2,509.4	2,505.0	8.6018	0.3434
	หลัง	2,494.4	2,493.3	2,492.0	2,470.8	2,470.8	2,470.1	2,468.3	2,469.4	2,468.0	2,485.6	2,478.2	10.9097	0.4402
25 กันยายน 2558	ก่อน	2,547.7	2,547.9	2,546.3	2,537.2	2,535.6	2,523.5	2,539.1	2,529.6	2,545.5	2,543.1	2,539.5	7.7952	0.3070
	หลัง	2,364.4	2,511.9	2,498.2	2,500.7	2,521.2	2,507.3	2,526.1	2,527.6	2,548.9	2,532.8	2,503.9	48.7776	1.9481
26 กันยายน 2558	ก่อน	2,533.6	2,588.7	2,573.9	2,570.1	2,565.9	2,565.1	2,586.2	2,585.4	2,559.4	2,559.6	2,568.7	15.6082	0.6076
	หลัง	2,558.6	2,583.1	2,561.2	2,560.0	2,574.0	2,581.4	2,576.1	2,560.4	2,558.4	2,557.8	2,567.1	9.7654	0.3804

ตารางที่ ข.6 (ต่อ) การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (mL/min)											เฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
30 กันยายน 2558	ก่อน	2,534	2,537.8	2,533.4	2,537.8	2,538.9	2,556.2	2,562.8	2,541.7	2,560.6	2,542.1	2,544.5	10.4842	0.4120
	หลัง	2,558.8	2,549.3	2,546.5	2,551.9	2,530.2	2,542.9	2,522.1	2,528.2	2,544.7	2,545.7	2,542.0	10.9602	0.4312
3 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,524.5	2,510.6	2,508.4	2,509.2	2,532.1	2,505.0	2,534.2	2,532.8	2,531.7	2,533.8	2,522.6	11.7231	0.4647
	หลัง	2,610.8	2,613.0	2,611.2	2,618.3	2,619.9	2,629.0	2,615.5	2,611.9	2,616.7	2,618.9	2,616.5	5.2138	0.1993
7 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,541.3	2,547.7	2,518.4	2,518.6	2,523.5	2,548.9	2,524.9	2,554.1	2,524.3	2,524.9	2,532.6	13.0366	0.5148
	หลัง	2,522.9	2,524.9	2,530.8	2,533.0	2,533.0	2,526.8	2,529.2	2,538.0	2,511.5	2,539.5	2,528.9	7.6917	0.3042
17 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,519.8	2,521.7	2,521.7	2,509.6	2,524.9	2,504.2	2,503.2	2,505.4	2,511.1	2,502.4	2,512.4	8.3331	0.3317
	หลัง	2,495.1	2,496.7	2,496.5	2,493.3	2,497.4	2,498.6	2,498.0	2,495.1	2,497.5	2,493.4	2,496.1	1.7642	0.0707
31 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,499.6	2,502.5	2,501.3	2,505.1	2,504.8	2,504.7	2,525.1	2,524.7	2,498.4	2,497.3	2,506.3	9.6227	0.3839
	หลัง	2,521.5	2,525.1	2,524.2	2,522.9	2,522.7	2,522.3	2,504.4	2,523.7	2,523.1	2,522.3	2,521.2	5.6917	0.2258
2 พฤศจิกายน 2558	ก่อน	2,495.7	2,485.2	2487.6	2,488.0	2,487.8	2,472.1	2,491.6	2,492.0	2,493.0	2,492.0	2,488.5	6.2258	0.2502
	หลัง	2,535.5	2,457.9	2,477.7	2,478.8	2,477.7	2,477.8	2,479.4	2,482.5	2,496.8	2,480.2	2,484.4	19.1785	0.7720

ตารางที่ ข.7 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (mL/min)											เฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
2 กันยายน 2558	ก่อน	2,523.1	2,517.8	2,523.7	2,503.2	2,526.5	2,497.3	2,528.6	2,529.0	2,528.4	2,530.4	2,520.8	10.9325	0.4337
	หลัง	2,472.6	2,479.6	2,478.1	2,470.7	2,442.4	2,464.5	2,469.6	2,470.5	2,441.3	2,464.0	2,465.3	12.6453	0.5129
5 กันยายน 2558	ก่อน	2,500.2	2,502.5	2,527.6	2,498.4	2,529.9	2,499.6	2,501.1	2,499.4	2,501.3	2,530.0	2,509.0	13.2591	0.5285
	หลัง	2,509.9	2,511.9	2,516.6	2,518.6	2,496.1	2,518.8	2,520.0	2,519.2	2,520.1	2,517.6	2,514.8	7.0573	0.2806
9 กันยายน 2558	ก่อน	2,532.0	2,546.5	2,553.1	2,570.1	2,557.8	2,556.2	2,549.3	2,552.7	2,548.3	2,554.9	2,552.0	9.1660	0.3592
	หลัง	2,490.6	2,484.0	2,462.8	2,493.7	2,482.3	2,489.5	2,459.1	2,490.8	2,459.1	2,459.7	2,,477.1	14.2447	0.5751
19 กันยายน 2558	ก่อน	2,508.4	2,504.8	2,538.8	2,512.5	2,536.4	2,515.5	2,536.5	2,558.0	2,529.5	2,556.6	2,529.7	18.0822	0.7148
	หลัง	2,535.1	2,533.4	2,532.4	2,531.7	2,508.0	2,532.3	2,534.0	2,532.2	2,507.4	2,531.3	2,527.7	10.0971	0.3995
20 กันยายน 2558	ก่อน	2,497.7	2,499.6	2,501.1	2,496.7	2,480.6	2,473.3	2,499.0	2,499.0	2,501.1	2,497.6	2,494.5	9.0605	0.3632
	หลัง	2,533.8	2,562.8	2,565.9	2,539.0	2,536.3	2,555.6	2,536.2	2,533.4	2,536.6	2,535.7	2,543.5	12.0440	0.4735
25 กันยายน 2558	ก่อน	2,489.7	2,512.7	2,507.0	2,514.1	2,514.3	2,508.2	2,488.6	2,513.8	2,508.8	2,489.2	2,504.6	10.4216	0.4161
	หลัง	2,543.5	2,502.8	2,506.5	2,508.3	2,527.0	2,509.5	2,531.7	2,536.4	2,512.8	2,511.3	2,518.9	13.5995	0.5399
26 กันยายน 2558	ก่อน	2,521.2	2,518.4	2,519.4	2,542.3	2,546.9	2,547.9	2,520.0	2,521.5	2,546.5	2,543.0	2,532.7	12.7347	0.5028
	หลัง	2,575.3	2,574.3	2,578.9	2,578.4	2,570.9	2,569.9	2,569.9	2,571.3	2,600.4	2,551.1	2,574.0	11.4762	0.4458

ตารางที่ ข.7 (ต่อ) การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (mL/min)											เฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
30 กันยายน 2558	ก่อน	2,566.4	2,570.3	2,561.0	2,563.6	2,569.5	2,561.2	2,537.7	2,561.8	2,559.2	2,568.5	2,561.9	8.8840	0.3468
	หลัง	2,535.0	2,536.2	2,538.4	2,566.8	2,538.7	2,560.9	2,538.7	2,538.6	2,561.8	2,538.0	2,545.3	11.8308	0.4648
3 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,523.7	2,504.2	2,505.1	2,506.5	2,506.9	2,504.0	2,505.7	2,509.2	2,508.0	2,508.2	2,508.1	5.4346	0.2167
	หลัง	2,568.7	2,535.6	2,531.9	2,512.3	2,529.7	2,528.0	2,535.0	2,524.3	2,533.0	2,531.9	2,533.0	13.5193	0.5337
7 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,533.2	2,538.0	2,535.0	2,537.6	2,555.4	2,558.2	2,538.2	2,539.5	2,540.3	2,540.5	2,541.5	7.9244	0.3118
	หลัง	2,497.8	2,544.5	2,566.2	2,566.4	2,568.7	2,568.1	2,566.4	2,567.9	2,567.0	2,564.7	2,557.7	21.1057	0.8252
17 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,549.7	2,546.3	2,546.9	2,546.7	2,518.4	2,546.1	2,546.4	2,546.1	2,546.5	2,525.9	2,541.9	10.0657	0.3960
	หลัง	2,433.0	2,424.5	2,436.8	2,435.8	2,409.9	2,437.2	2,438.0	2,411.3	2,439.5	2,437.2	2,430.3	10.6289	0.4373
31 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,508.1	2,502.8	2,504.7	2,504.2	2,503.4	2,504.9	2,536.1	2,507.7	2,510.6	2,508.0	2,509.0	9.3198	0.3715
	หลัง	2,554.0	2,535.0	2,554.3	2,553.5	2,553.2	2,555.4	2,555.5	2,556.4	2,553.8	2,556.6	2,552.7	6.0301	0.2362
2 พฤศจิกายน 2558	ก่อน	2,537.8	2,518.4	2,519.2	2,518.8	2,517.5	2,517.8	2,515.9	2,534.4	2,515.3	2,512.3	2,520.7	7.9539	0.3155
	หลัง	2,541.1	2,565.3	2,544.9	2,544.7	2,544.3	2,545.4	2,545.1	2,545.3	2,545.6	2,546.7	2,546.8	6.3051	0.2476

ตารางที่ ข.8 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (mL/min)											เฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
2 กันยายน 2558	ก่อน	2,511.3	2,511.7	2,508.6	2,517.7	2,509.0	2,508.3	2,512.1	2,511.9	2,514.7	2,509.4	2,511.1	2.8054	0.1117
	หลัง	2,426.3	2,471.4	2,476.0	2,475.8	2,450.3	2,473.7	2,473.6	2,474.4	2,473.1	2,450.5	2,464.5	15.8236	0.6421
5 กันยายน 2558	ก่อน	2,507.6	2,509.4	2,510.4	2,511.5	2,512.1	2,512.1	2,512.7	2,512.7	2,486.9	2,487.3	2,506.2	9.7042	0.3872
	หลัง	2,522.3	2,554.7	2,526.8	2,524.1	2,486.2	2,495.9	2,511.5	2,465.6	2,484.2	2,493.5	2,506.3	24.8663	0.9921
9 กันยายน 2558	ก่อน	2,546.5	2,547.7	2,525.9	2,544.1	2,549.9	2,542.1	2,543.3	2,543.5	2,545.5	2,522.5	2,541.1	8.7585	0.3447
	หลัง	2,583.9	2,603.5	2,605.5	2,612.0	2,641.9	2,633.8	2,615.7	2,642.2	2,612.0	2,614.3	2,616.4	17.3311	0.6624
19 กันยายน 2558	ก่อน	2,496.1	2,515.7	2,495.2	2,497.2	2,497.3	2,497.1	2,498.6	2,500.2	2,498.2	2,486.7	2,498.2	6.7756	0.2712
	หลัง	2,577.9	2,586.8	2,585.5	2,586.6	2,583.9	2,583.9	2,581.8	2,581.2	2,580.4	2,581.4	2,582.9	2.7431	0.1062
20 กันยายน 2558	ก่อน	2,544.9	2,523.3	2,522.3	2,523.5	2,530.2	2,547.1	2,522.7	2,526.2	2,522.5	2,523.1	2,528.5	9.0129	0.3565
	หลัง	2,430.4	2,493.9	2,489.0	2,488.6	2,505.9	2,497.8	2,490.1	2,495.2	2,477.9	2,492.4	2,486.1	19.7804	0.7956
25 กันยายน 2558	ก่อน	2,538.2	2,538.9	2,539.3	2,545.7	2,547.5	2,544.3	2,563.1	2,562.6	2,565.0	2,542.9	2,548.7	10.1209	0.3971
	หลัง	2,530.7	2,528.6	2,531.0	2,543.3	2,521.7	2,540.3	2,536.4	2,543.5	2,544.3	2,542.5	2,536.2	7.4239	0.2927
26 กันยายน 2558	ก่อน	2,547.9	2,530.8	2,531.3	2,530.7	2,531.2	2,531.2	2,531.0	2,530.5	2,556.8	2,531.5	2,535.2	8.7637	0.3457
	หลัง	2,509.4	2,536.8	2,531.3	2,530.2	2,536.5	2,542.1	2,543.1	2,566.9	2,546.9	2,571.4	2,540.4	16.9749	0.6682

ตารางที่ ข.8 (ต่อ) การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (mL/min)											เฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
30 กันยายน 2558	ก่อน	2,532.8	2,540.7	2,522.5	2,536.8	2,521.1	2,540.9	2,520.8	2,519.4	2,523.3	2,540.9	2,529.9	8.8514	0.3499
	หลัง	2,538.2	2,546.1	2,548.5	2,546.9	2,527.4	2,545.3	2,543.9	2,519.2	2,544.1	2,544.9	2,540.4	9.1313	0.3594
3 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,554.8	2,545.3	2,541.5	2,550.9	2,556.4	2,546.9	2,526.8	2,557.6	2,533.0	2,557.0	2,547.0	10.0695	0.3953
	หลัง	2,458.3	2,471.3	2,472.5	2,473.7	2,474.1	2,474.6	2,489.0	2,493.9	2,472.6	2,493.7	2,477.3	10.7424	0.4336
7 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,520.8	2,521.9	2,514.7	2,514.9	2,521.0	2,515.3	2,540.3	2,519.0	2,541.9	2,516.2	2,522.6	9.5968	0.3804
	หลัง	2,528.7	2,528.4	2,524.3	2,522.1	2,521.5	2,535.0	2,512.7	2,532.6	2,511.0	2,511.5	2,522.8	8.2729	0.3279
17 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,526.2	2,508.6	2,528.0	2,509.2	2,509.8	2,512.5	2,526.0	2,507.7	2,507.9	2,507.1	2,514.3	8.2737	0.3291
	หลัง	2,489.7	2,492.4	2,486.5	2,486.1	2,489.4	2,470.7	2,491.2	2,488.4	2,490.5	2,485.6	2,487.0	5.8545	0.2354
31 ตุลาคม 2558	ก่อน	2,525.4	2,507.5	2,526.8	2,503.6	2,517.8	2,499.0	2,494.7	2,498.0	2,496.5	2,519.2	2,508.8	11.7482	0.4683
	หลัง	2,500.7	2,512.1	2,512.5	2,513.6	2,514.7	2,513.9	2,517.7	2,513.9	2,514.0	2,511.9	2,512.2	4.2320	0.1685
2 พฤศจิกายน 2558	ก่อน	2,547.3	2,547.3	2,548.7	2,530.9	2,552.7	2,562.8	2,554.4	2,536.6	2,523.9	2,559.0	2,546.3	11.7509	0.4615
	หลัง	2,668.9	2,682.7	2,669.9	2,684.6	2,672.6	2,670.2	2,684.6	2,673.5	2,674.2	2,686.2	2,676.7	6.5855	0.2460

ตารางที่ ข.9 การสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของการวัด Background

วันที่เก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล (mL/min)											เฉลี่ย	S.D.	%RSD
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
6 ตุลาคม 2558 (ช่วงเวลา 10.06 - 12.07 น.)	ก่อน	2505.9	2505.1	2506.9	2507.3	2505.7	2508.1	2506.9	2509.6	2510.2	2510.1	2507.5	1.7628	0.0703
	หลัง	2438.4	2434.2	2436.9	2436.7	2437.4	2435.0	2433.7	2435.9	2437.0	2455.5	2438.0	5.9746	0.2451
6 ตุลาคม 2558 (ช่วงเวลา 14.06 - 16.06 น.)	ก่อน	2510.2	2481.4	2509.9	2509.2	2513.1	2508.8	2486.5	25505.9	2515.9	2509.0	2504.9	6900.3119	275.4725
	หลัง	2496.5	2538.9	2534.8	2513.8	2541.3	2515.5	2436.3	2518.2	2517.3	2543.1	2525.5	29.9908	1.1875

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณการสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2558

1. หาอัตราการไหลเฉลี่ย

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Xi}{N}$$

$$\overline{X} = \frac{2{,}539.7 + 2{,}511.7 + 2{,}538.9 + 2{,}512.9 + 2{,}514.9 + 2{,}514.3 + 2{,}542.1 + 2{,}516.4 + 2{,}517.5 + 2{,}520.3}{10}$$

$$\overline{X} = 2{,}522.8$$

2. หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

$$S.D. = \sqrt{\sum_{i=0}^{n} \frac{(Xi - \overline{X})^2}{(n-1)}}$$

$$S.D. = \sqrt{\sum_{i=0}^{n} \frac{(16.9)^2 + (-11.1)^2 + (16.1)^2 + (-9.9)^2 + (-7.9)^2 + (-8.5)^2 + (19.3)^2 + (-6.4)^2 + (-5.3)^2 + (-2.5)^2}{(10-1)}}$$

$$S.D. = 11.6122$$

3. หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

$$\%RSD = \frac{S.D. \times 100}{\overline{X}}$$

$$\%RSD = \frac{11.6122 \times 100}{2{,}522.8}$$

$$\%RSD = 0.4603$$

จากการคำนวณพบว่า รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศระยะทางจากราม 2 ไปวัดโพธิ์มีค่า %RSD อยู่ระหว่าง 0.1124 – 2.8620 รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศระยะทางจากราม 2 ไปวัดโพธิ์มีค่า %RSD อยู่ระหว่าง 0.0707 – 2.1278 รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศระยะทางจากวัดโพธิ์ไปราม 2 มีค่า %RSD อยู่ระหว่าง 0.2167 – 0.8252 และรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศระยะทางจากวัดโพธิ์ไปราม 2 มีค่า %RSD อยู่ระหว่าง 0.1062 – 0.9921 จึงถือว่าเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลมีอัตราการไหลที่คงที่ สามารถนำไปคำนวณหาปริมาตรอากาศได้ถูกต้อง แสดงรายละเอียดที่ภาคผนวก ก

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.																		
	อุณหภูมิ (°C)			ความดัน (kPa)			เวลา (น.)		เวลาที่เก็บ	จำนวนครั้งการ	ปริมาตรอากาศที่	เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา	ความเข้มข้นของ	น้ำหนักฝุ่นละออง (g)			ความเข้มข้นของ	จำนวน	สภาพบรรยากาศและการจราจร
	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ตัวอย่าง (min)	เปิดประตู (ครั้ง)	สภาวะมาตรฐาน (L)	ค่าการดูดกลืนแสง	โอโซน (ppb)	ก่อน	หลัง	สุทธิ	ฝุ่นละออง ($\mu g/m^3$)	ผู้โดยสาร (คน)	
2 กันยายน 2558	25.0	24.0	24.3	100.8	100.7	100.75	10.13	12.00	107	26	268.8286	0.0164	5.93	20.9202	20.9274	0.0072	26.78	21	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรติดขัด เป็นบางช่วง คนขับขับรถเร็ว
5 กันยายน 2558	29.5	26.0	27.8	101.1	101.1	101.10	10.00	11.46	106	70	263.0639	0.0127	4.51	20.7355	20.7903	0.0548	208.31	N/A	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรติดขัด
9 กันยายน 2558	27.5	27.5	27.5	100.4	100	100.40	10.03	12.16	133	61	331.5213	0.0111	3.05	20.8776	20.9177	0.0401	120.96	21	แสงแดดจ้า มีเมฆปานกลาง การจราจรไม่ติดขัด
19 กันยายน 2558	29.0	27.0	28.0	101.2	101.1	101.15	10.10	12.13	123	47	314.1041	0.0384	12.77	20.8742	20.8755	0.0013	4.14	N/A	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรไม่ติดขัด คนขับขับรถเร็ว
20 กันยายน 2558	28.0	26.5	27.25	101.1	101	101.05	9.30	10.55	85	34	213.237	0.0092	3.76	20.5132	20.5153	0.0021	9.85	N/A	แสงแดดน้อย มีเมฆน้อย การจราจรไม่ติดขัด
25 กันยายน 2558	24.0	23.0	23.5	100.8	100.6	100.70	10.01	12.24	143	60	391.8774	0.0685	18.68	20.9018	20.7053	-0.197	N/A	68	แสงแดดแรงมาก มีเมฆมาก การจราจรติดขัด คนขับขับรถเร็ว
26 กันยายน 2558	24.0	28.5	26.25	100.8	100.7	100.75	10.02	12.13	131	72	329.3536	0.0102	2.77	20.7053	20.9017	0.1964	596.32	96	แสงแดดจ้า มีเมฆไม่มาก การจราจรติดขัด
30 กันยายน 2558	27.0	26.5	26.8	101.1	101	101.05	10.05	12.22	137	49	343.4213	0.0279	8.32	20.8368	20.8400	0.0032	9.32	65	มีเมฆมาก แดดน้อย การจราจรติดขัด
3 ตุลาคม 2558	25.5	25.0	25.3	101.1	101	101.05	10.32	12.35	117	57	297.4484	0.0168	5.50	20.7318	20.7433	0.0115	38.66	62	แสงแดดน้อย มีเมฆมากการจราจรติดขัดมาก ฝนตกหนัก พายุมูจิแกเข้า
7 ตุลาคม 2558	26.5	25.5	26.0	101.2	101	101.1	9.58	11.59	124	61	311.8598	0.0128	3.84	20.8746	20.8206	-0.005	N/A	87	มีเมฆน้อย แดดร้อนมาก
17 ตุลาคม 2558	26.5	26.0	26.25	101.5	101.5	101.4	11.16	13.18	122	64	307.6536	0.0161	5.07	20.7529	20.7545	0.0016	5.20	55	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรติดขัด
31 ตุลาคม 2558	25.5	27.0	26.3	101.3	101.2	101.25	9.44	11.33	109	57	273.4175	0.0109	3.62	20.8221	20.8245	0.0024	8.78	77	แสงแดดแรงมาก ไม่มีเมฆ การจราจรไม่ติดขัด
2 พฤศจิกายน 2558	19.5	22.5	21.0	101.4	100.9	101.00	9.40	11.38	118	39	286.6906	0.0052	0.94	20.6445	20.6452	0.0012	4.19	60	แสงแดดปานกลาง มีเมฆมาก การจราจรติดขัด

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น.																		
	อุณหภูมิ (°C)			ความดัน (kPa)			เวลา (น.)		เวลาที่เก็บตัวอย่าง (min)	จำนวนครั้งการเปิดประตู (ครั้ง)	ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (L)	เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของโอโซน (ppb)	น้ำหนักฝุ่นละออง (g)			ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (μ g/m3)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	สภาพบรรยากาศและการจราจร
	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	เริ่มต้น	สิ้นสุด						ก่อน	หลัง	สุทธิ			
2 กันยายน 2558	35	35.5	35.25	100.8	100.7	100.75	10.18	12.20	122	31	296.2799	0.0308	10.72	20.8945	20.8874	-0.007	N/A	N/A	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรไม่ติดขัด
5 กันยายน 2558	31	35	33	101.2	101.1	101.15	10.07	12.00	113	35	258.9333	0.0288	11.42	20.8144	20.7881	-0.025	N/A	40	ไม่มีแสงแดด มีเมฆมาก การจราจรไม่ติดขัด คนขับขับรถเร็ว
9 กันยายน 2558	35	35.5	35.25	100.8	100.7	100.75	10.10	12.20	130	51	303.6489	0.0409	14.11	20.7933	20.7942	-0.003	N/A	68	แสงแดดจ้า มีเมฆเป็นกลาง การจราจรไม่ติดขัด
19 กันยายน 2558	31.5	34.5	33	101.3	101.2	101.25	10.20	12.17	134	31	305.2766	N/A	N/A	20.7691	20.7706	0.0015	4.91	79	แสงแดดจ้า ไม่มีเมฆ การจราจรติดขัดมาก คนขับขับรถเร็ว
20 กันยายน 2558	33	35	34	101.1	101	101.05	9.52	11.34	102	10	246.0268	0.0109	4.02	20.7587	20.7597	0.001	4.06	87	แสงแดดจ้า ไม่มีเมฆ การจราจรไม่ติดขัด
25 กันยายน 2558	33	34.5	33.75	101.2	101.1	101.15	10.13	12.27	134	28	327.7067	0.0544	17.60	20.4937	0.705	0.2133	650.89	54	แสงแดดแรงมาก มีเมฆน้อย การจราจรติดขัด
26 กันยายน 2558	35.5	36.5	36	101.2	101.1	101.15	9.38	11.58	140	32	346.1154	0.0085	2.10	20.7056	20.4901	-0.216	N/A	90	แสงแดดแรงมาก มีเมฆมาก การจราจรติดขัด
30 กันยายน 2558	32	34	33	101.1	100.9	101	9.58	12.00	120	18	296.2617	0.0245	8.41	20.7748	20.7733	-0.002	N/A	25	ไม่มีแสงแดด มีเมฆมาก การจราจรติดขัด
3 ตุลาคม 2558	26	28	27	101.2	101	101.1	12.29	13.53	124	34	318.6242	0.0186	5.76	20.756	20.7642	0.0082	25.74	72	ไม่มีแสงแดด มีเมฆมาก ฝนตกหนัก พายุมูจิแกเข้า การจราจรติดขัดมาก
7 ตุลาคม 2558	34	35	34.5	101.2	101	101.1	10.03	11.23	120	27	293.6587	0.0111	3.44	20.5378	20.5389	0.0001	0.34	59	แสงแดดแรงมาก มีเมฆมาก การจราจรติดขัดเป็นบางช่วง คนขับขับรถเร็ว
17 ตุลาคม 2558	35	34.5	34.75	101.1	100.8	100.95	11.50	14.02	132	30	318.9088	0.0229	7.24	20.959	20.9607	0.0017	5.33	86	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรติดขัด
31 ตุลาคม 2558	33	36.5	34.75	101.3	100.9	101.1	9.53	11.44	111	38	269.5906	0.0152	5.42	20.6432	20.6453	0.0021	7.79	85	แสงแดดแรงมาก ไม่มีเมฆการจราจรไม่ติดขัด
2 พฤศจิกายน 2558	29	33	31	101.1	100.9	101	9.4	11.38	118	39	286.6906	0.0052	1.26	20.5603	20.562	0.0013	4.53	61	แสงแดดจ้า มีเมฆน้อยการจราจรไม่ติดขัด

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ ในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.																		
	อุณหภูมิ (°C)			ความดัน (kPa)			เวลา (น.)		เวลาที่เก็บตัวอย่าง (min)	จำนวนครั้งการเปิดประตู (ครั้ง)	ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (L)	เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของโอโซน (ppb)	น้ำหนักฝุ่นละออง (g)			ความเข้มข้นของฝุ่นละออง ($\mu g/m^3$)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	สภาพบรรยากาศและการจราจร
	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	เริ่มต้น	สิ้นสุด						ก่อน	หลัง	สุทธิ			
2 กันยายน 2558	26	27	26.5	100.6	100.5	100.55	13.23	15.19	116	50	285.5453	0.0519	19.24	20.9327	20.9026	-0.03	N/A	17	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรติดขัดเป็นบางช่วง คนขับขับรถช้า
5 กันยายน 2558	27	25.5	26.25	100.9	100.8	100.85	13.23	15.15	109	40	271.3758	0.0152	5.39	20.8176	20.8305	0.0129	47.54	N/A	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรติดขัดเป็นบางช่วง
9 กันยายน 2558	29	28.8	28.9	100.5	100.4	100.45	13.37	15.37	120	53	295.2778	0.0067	1.79	20.6824	20.689	0.0034	11.51	50	ไม่มีแสงแดด มีเมฆมาก การจราจรติดขัด คนขับขับรถเร็ว
19 กันยายน 2558	29	27	28	100.9	100.8	100.85	14.10	17.30	154	58	383.7331	0.0092	2.09	20.8374	20.8398	0.0024	6.25	N/A	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรติดขัดมาก
20 กันยายน 2558	27.5	26	26.75	100.8	100.6	100.7	12.55	14.37	103	40	256.3365	0.0077	2.49	20.7903	20.794	0.037	144.34	47	แสงแดดจ้า มีเมฆน้อย การจราจรไม่ติดขัด
25 กันยายน 2558	26	25	25.5	100.4	100.3	100.35	14.00	16.23	143	41	355.1284	0.0135	3.59	20.7583	20.6766	-0.082	N/A	52	แสงแดดจ้า มีเมฆมาก การจราจรติดขัดมาก
26 กันยายน 2558	26.5	25.5	26	100.8	100.7	100.75	14.00	13.12	132	49	334.0093	0.0068	1.61	20.6774	20.7566	0.0792	237.12	61	แสงแดดแรง มีเมฆน้อย การจราจรติดขัด
30 กันยายน 2558	27	26	26.5	100.7	100.6	100.65	13.59	16.07	128	34	354.3999	0.0125	3.29	20.8855	20.8857	0.0002	0.56	39	ไม่มีแสงแดด มีเมฆมาก ฝนตกปรอย ๆ เล็กน้อย การจราจรติดขัดเป็นบางช่วง คนขับขับรถเร็ว
3 ตุลาคม 2558	25.5	24.5	25	100.9	100.7	100.8	13.35	14.40	105	40	263.2864	0.0144	3.97	20.7383	20.7426	0.0043	16.33	52	แสงแดดน้อย มีเมฆมาก การจราจรไม่ติดขัด
7 ตุลาคม 2558	26	24	25	100.9	100.8	100.85	13.01	15.18	137	60	347.6577	0.0083	2.02	20.8789	20.8801	-0.028	N/A	56	ไม่มีแสงแดด มีเมฆมาก ฝนตกหนักมาก การจราจรติดขัดมาก คนขับขับรถช้า
17 ตุลาคม 2558	25	27	26	100.7	100.6	100.65	14.10	16.13	123	45	302.7378	0.0113	3.41	20.8142	20.8152	0.0005	1.65	65	ไม่มีแสงแดด มีเมฆมาก ฟ้าครึ้มเหมือนฝนกำลังจะตก การจราจรติดขัดมาก
31 ตุลาคม 2558	27	28.5	27.75	100.9	100.9	100.9	12.29	14.28	119	74	297.167	0.0283	9.76	20.8135	20.8166	0.0041	13.80	94	แสงแดดแรงมาก มีเมฆ การจราจรติดขัด
2 พฤศจิกายน 2558	28	24.5	26.25	101	100.8	100.9	13.04	1436	92	53	231.1581	0.0309	13.79	20.8872	20.8886	0.0014	6.06	72	แสงแดดจ้ามีเมฆน้อย การจราจรไม่ติดขัด

ตารางที่ ข.13 ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างบนรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.

วันที่เก็บตัวอย่าง	รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 13.30 - 16.30 น.																		
	อุณหภูมิ (°C)			ความดัน (kPa)			เวลา (น.)		เวลาที่เก็บตัวอย่าง (min)	จำนวนครั้งการเปิดประตู (ครั้ง)	ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (L)	เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของโอโซน (ppb)	น้ำหนักฝุ่นละออง (g)			ความเข้มข้นของฝุ่นละออง ($\mu g/m^3$)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	สภาพบรรยากาศและการจราจร
	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	เริ่มต้น	สิ้นสุด						ก่อน	หลัง	สุทธิ			
2 กันยายน 2558	37	35.5	36.3	100.7	100.5	100.6	13.17	14.57	97	47	230.8783	0.0369	16.66	20.5744	20.5698	-0.005	N/A	N/A	แสงแดดแรงมาก มีเมฆมาก การจราจรไม่ติดขัด
5 กันยายน 2558	34.5	36.5	35.5	100.8	100.7	100.75	14.02	16.08	126	41	303.3136	0.0118	3.59	20.7314	20.7408	0.0126	41.54	N/A	แสงแดดแรงมาก มีเมฆมากการจราจรติดขัด
9 กันยายน 2558	37	36.5	36.8	100.7	100.7	100.7	13.32	15.2	108	49	266.2926	0.0152	5.49	20.6946	20.6969	0.0023	8.64	N/A	ไม่มีแสงแดด มีเมฆมาก การจราจรติดขัด คนขับขับรถเร็ว
19 กันยายน 2558	34.5	35	34.8	100.9	100.8	100.85	14.40	16.02	162	28	396.6978	N/A	N/A	20.7598	20.7624	0.0026	6.55	56	แสงแดดจ้า ไม่มีเมฆ การจราจรติดขัดมาก ติดไฟแดงทุกแยก คนขับขับรถช้า
20 กันยายน 2558	37	36.5	36.8	100.8	100.7	100.75	12.59	14.39	99	29	237.456	0.0034	0.69	20.8176	20.8201	0.0025	10.53	70	แสงแดดจ้า ไม่มีเมฆ การจราจรติดขัดเป็นบางช่วง มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น คนขับขับรถเร็ว
25 กันยายน 2558	35.5	34.5	35	100.8	100.7	100.75	14.13	16.21	129	44	315.5318	0.0075	1.95	20.7766	20.7400	-0.037	N/A	88	มีเมฆน้อย แดดแรงมาก การจราจรติดขัด
26 กันยายน 2558	37	35	36	100.4	100.3	100.35	13.37	16.09	152	45	368.4405	0.0356	10.05	20.741	20.7754	0.0344	93.37	173	แสงแดดแรงมาก ไม่มีเมฆ การจราจรติดขัดมาก
30 กันยายน 2558	34.6	35.5	35.1	101	101	101	13.44	16.08	144	35	352.0246	0.021	5.96	20.5017	20.5032	0.0015	4.26	50	มีเมฆมาก แดดน้อย การจราจรติดขัดมาก คนขับขับรถเร็ว
3 ตุลาคม 2558	29	31.5	30.3	100.8	100.7	100.75	13.44	15.49	125	เปิดตลอดเวลา	306.8338	0.0209	6.80	20.509	20.5107	0.0017	5.54	92	มีแสงแดด เล็กน้อย มีเมฆมาก การจราจรติดขัด
7 ตุลาคม 2558	33	32.5	33	100.9	100.7	100.8	13.08	16.15	187	12	457.0373	0.0143	2.98	20.8495	20.8213	0.0012	2.63	70	มีเมฆน้อย แดดร้อนมาก
17 ตุลาคม 2558	33.3	32.5	32.9	101.2	101	101.1	14.17	16.56	159	31	386.48	0.0233	5.80	20.9817	20.9834	0.0017	4.40	83	แสงแดดน้อย มีเมฆมาก การจราจรติดขัดมาก
31 ตุลาคม 2558	34	35	34.5	100.8	100.7	100.75	12.2	14.19	114	37	275.7855	0.0291	10.84	20.7564	20.7622	0.0058	21.03	99	แสงแดดแรงมาก มีเมฆ การจราจรติดขัด
2 พฤศจิกายน 2558	34	33.5	33.8	101.1	101	101.05	13.08	14.45	96	40	242.8952	0.0401	17.28	20.8872	20.8886	0.0014	5.76	93	แสงแดดจ้า ไม่มีเมฆ การจราจรติดขัด

ตารางที่ ข.14 ข้อมูลจากการวัด Background

วันที่เก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)			ความดัน (kPa)			เวลา (น.)		เวลาที่เก็บตัวอย่าง (min)	ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (L)	เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของโอโซน (ppb)	น้ำหนักฝุ่นละออง (g)			ความเข้มข้นของฝุ่นละออง ($\mu g/m^3$)	สภาพบรรยากาศ
	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	เริ่มต้น	สิ้นสุด					ก่อน	หลัง	สุทธิ		
6 ตุลาคม 2558	28.5	27	27.75	101.3	101.20	101.25	10.06	12.07	120	293.8005	0.0195	6.58	20.8675	20.8791	0.0116	39.48	ฝนตกหนัก มีเมฆมาก ลมแรง ต้องเข้ามาหลบฝนในโรงยิม
	28.5	29.5	29	100.9	100.8	100.85	14.06	16.06	120	296.4321	0.0049	1.11	20.7916	20.7961	0.0045	15.18	มีแสงแดดเล็กน้อย มีเมฆ ไม่มีลม

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณการสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลของรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2558

1. หาอัตราการไหลเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Xi}{N}$$

$$\bar{X}_{ก่อน} = \frac{2,539.7 + 2,511.7 + 2,538.9 + 2,512.9 + 2,514.9 + 2,514.3 + 2,542.1 + 2,516.4 + 2,517.5 + 2,520.3}{10}$$

$$\bar{X}_{ก่อน} = 2,522.8 \text{ mL/min}$$

$$\bar{X}_{หลัง} = \frac{2,534.9 + 2,507.2 + 2,500.7 + 2,531.1 + 2,531.2 + 2,502.8 + 2,504.1 + 2,503.8 + 2,532.2 + 2,533.2}{10}$$

$$\bar{X}_{หลัง} = 2,518.0 \text{ mL/min}$$

$$\text{อัตราการไหลเฉลี่ย} = \frac{2,522.8 + 2,518.0}{2} = 2,520.40 \text{ mL/min}$$

2. หาอุณหภูมิเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{25 + 23.5}{2} = 24.25\ ^{\circ}C$$

3. หาความดันเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{100.8 + 100.7}{2} = 100.75\ kPa$$

4. หาผลรวมปริมาตรอากาศ

จากระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง 107 min

รวมปริมาตรอากาศ = 107 min × 2,520.40 mL/min = 259.6828 L

5. หาปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

$$\frac{P_s V_s}{T_s} = \frac{P_i V_i}{T_i}$$

$$\frac{101.325\ kPa \times V_s}{298.15\ K} = \frac{100.75\ kPa\ \times 269.6828\ L}{(273.15 + 24.25\ )K}$$

ปริมาตรอากาศ = 268.8286 L

6. หาความเข้มข้นของโอโซนในสภาวะก๊าซ

จากค่าการดูดกลืนแสงของหลอดไฟสีน้ำเงิน = 0.0164

จากกราฟมาตรฐานจะได้สมการเส้นตรง y = 0.0091X + 0.0019 , R^2 = 0.9941

$$0.0164 = 0.0091X + 0.0019$$

$$X = 1.59034\ \mu L \text{ ใน } 10\ mL$$

$$[O_3] = \frac{\text{ปริมาณโอโซนทั้งหมด } (\mu L/10mL)}{\text{ปริมาตรตัวอย่างอากาศ } (L)}$$

$$[O_3] = \frac{1.5934\ (\mu L/10mL)}{268.8286\ (L)}$$

$$[O_3] = 0.0059\ ppm\ = 5.92\ ppb$$

7. หาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน

$$C = \frac{(M_f - M_i) \times 10^6}{V_s}$$

$$C = \frac{(20.9274 - 20.9202) \times 10^6}{268.8286} = 26.78\ \mu g/m^3$$

ภาคผนวก ค

การคำนวณทางสถิติ

ค.1 การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของโอโซน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่เปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงินกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ในการทดลองเครื่องมือในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนทั้ง 2 ชนิด คือ เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา ต้องการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโอโซนว่าเครื่องวิเคราะห์โอโซนแบบใดวิเคราะห์ความเข้มข้นโอโซนได้ดีกว่า จึงมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) และทำการทดลองได้ผลดังนี้

ตารางที่ ค.1 ความเข้มข้นของโอโซนเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาที่เปิดหลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน และเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องมือ	ความเข้มข้นของโอโซน (ppb)			ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	2.76	4.80	6.11	13.67	4.56
เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา	2.94	5.33	6.98	15.25	5.08
				28.92	4.82

ผู้ทดลองได้ตั้งระดับนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

สมมติฐานทางการวิจัยของการศึกษาในครั้งนี้คือ
1.เครื่องมือวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนทั้ง2แบบให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนโดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

วิธีทำ

1. ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามข้อกำหนดของการวิเคราะห์แล้ว จึงนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนี้
2. ตั้งสมมติฐานทางสถิติของการทดลอง

$H_0=\mu_1 = \mu_2$

H_a= มีค่าเฉลี่ยของประชากรอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

3. ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบสมมติฐานของการทดลองนี้

3.1 หา CT $= \frac{(28.92)^2}{2\times3} = 139.39$

3.2 หา Total SS $= (2.76^2 + 4.80^2 + 6.11^2 + 2.94^2 + 5.33^2 + 6.98^2 - CT)$

$= 153.76 - 139.39$

$= 14.37$

3.3 หา Treatments SS $= \frac{(13.67)^2 + (15.25)^2}{3} - CT$

$= 0.42$

3.4 หา Error SS $= 14.37 - 0.42 = 13.95$

3.5 หา Treatments MS $= \frac{0.42}{1} = 0.42$

3.6 หา Error MS $= \frac{13.95}{2(3-1)} = 3.49$

3.7 หาค่า F_c $= \frac{0.42}{3.49} = 0.12$

3.8 หาค่า F_t $= F_{0.05,1,4} = 7.71$

3.9 สรุปผลเนื่องจาก $F_c < F_t$ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐานหลัก แสดงว่าความเข้มข้นของโอโซนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทั้ง 2 แบบโดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4.แสดงตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

S.V.	df	SS	MS	F
Treatments	1	0.42	0.42	0.12
Error	4	13.95	3.49	
Total	5	14.37		

สรุปผลการทดลองได้ว่า

5. จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติสรุปได้ว่า เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโอโซนทั้ง 2 ชนิด สามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนโดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงไม่ต้องทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อน

ค.2 การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นของโอโซนและความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน

ตารางที่ ค.3 ความเข้มข้นของโอโซน ด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) และวิธีStudent-Newman-Keuls Procedure (SNK)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: yield

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	17.510[a]	3	5.837	.211	.888
Intercept	2104.216	1	2104.216	76.107	.000
Treatment	17.510	3	5.837	.211	.888
Error	1327.113	48	27.648		
Total	3448.838	52			
Corrected Total	1344.622	51			

a. R Squared = .013 (Adjusted R Squared = -.049)

Yield

	Treatment	N	Subset 1
Student-Newman-Keuls[a,b]	2	13	5.571431
	1	13	6.058323
	4	13	6.776892
	3	13	7.038415
	Sig.		.892
Tukey HSD[a,b]	2	13	5.571431
	1	13	6.058323
	4	13	6.776892
	3	13	7.038415
	Sig.		.892

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 27.648.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13.000.

b. Alpha = 0.05.

ตารางที่ ค.4 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน ด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อน ด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) และ วิธี Student-Newman-Keuls Procedure (SNK)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: yield

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	28270.029[a]	3	9423.343	.572	.636
Intercept	113145.079	1	113145.079	6.871	.012
Treatment	28270.029	3	9423.343	.572	.636
Error	790419.530	48	16467.074		
Total	931834.638	52			
Corrected Total	818689.559	51			

a. R Squared = .035 (Adjusted R Squared = -.026)

Yield

	Treatment	N	Subset 1
Student-Newman-Keuls[a,b]	4	13	15.711362
	2	13	37.320500
	3	13	54.122769
	1	13	79.430123
	Sig.		.589
Tukey HSD[a,b]	4	13	15.711362
	2	13	37.320500
	3	13	54.122769
	1	13	79.430123
	Sig.		.589

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 16467.074.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13.000.

b. Alpha = 0.05.

เมื่อ Treatment 1 = รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น.
Treatment 2 = รถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ ในช่วงเวลา 13.30 – 16.30 น.
Treatment 3 = รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น.
Treatment 4 = รถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ ในช่วงเวลา 13.30 – 16.30 น.

ภาคผนวก ง

คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ ง.1 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 2 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (°C)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	14	14.32	4.71	34.17	758.44	0.00	12.17	2	13.90
11.00	17	14.9	5.51	34.34	758.37	0.00	11.62	3	14.92
12.00	23	10.47	7.08	34.94	757.92	0.00	7.02	3	14.25
13.00	27	8.92	8.13	35.01	757.35	0.00	5.57	3	15.9
เฉลี่ย	**20.25**	**12.15**	**6.36**	**34.62**	**758.02**	**0.00**	**9.10**	**2.75**	**14.74**
14.00	35	7.03	10.27	35.55	756.71	0.00	3.74	3	18.79
15.00	36	5.91	10.53	35.60	756.15	0.00	2.39	4	17.41
16.00	27	8.09	7.99	33.68	755.89	0.00	3.5	5	26.62
17.00	19	4.69	5.54	31.86	756.06	0.00	3.43	1	19.12
เฉลี่ย	**29.25**	**6.43**	**8.58**	**34.17**	**756.20**	**0.00**	**3.27**	**3.25**	**20.49**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.2 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 2 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^{O}C)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	20	16.73	0.00	32.13	5.17	0.00	6.26	10	3.51
11.00	28	16.41	0.00	31.72	4.23	0.00	4.76	12	10.43
12.00	36	21.53	0.00	33.23	8.65	0.00	9.69	12	15.93
13.00	31	60.22	0.00	34.16	11.24	0.00	37.93	25	15.22
เฉลี่ย	**28.75**	**28.72**	**0.00**	**32.81**	**7.32**	**0.00**	**14.66**	**14.75**	**11.27**
14.00	39	17.96	0.00	34.34	8.43	0.00	6.48	11	18.00
15.00	42	11.50	0.00	33.51	10.33	0.00	2.40	9	18.22
16.00	40	19.30	0.00	32.45	6.96	0.00	2.47	17	21.66
17.00	22	13.01	0.00	30.98	9.82	0.00	2.80	10	29.63
เฉลี่ย	**35.75**	**15.44**	**0.00**	**32.82**	**8.89**	**0.00**	**3.54**	**11.75**	**21.88**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.3 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 5 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (°C)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	14	29.39	5.65	30.97	760.45	0.00	19.07	10	40.00
11.00	21	16.78	6.78	32.47	760.57	0.00	10.83	6	29.33
12.00	30	13.24	9.24	34.33	759.90	0.00	7.14	6	18.27
13.00	42	8.60	12.29	36.14	759.17	0.00	4.12	4	13.20
เฉลี่ย	**26.75**	**17.00**	**8.49**	**33.48**	**760.02**	**0.00**	**10.29**	**6.50**	**25.20**
14.00	48	7.08	13.69	34.91	758.46	0.00	2.77	4	30.27
15.00	29	3.15	8.42	35.21	758.05	0.00	1.94	1	19.34
16.00	23	4.40	6.64	33.24	757.44	0.00	3.43	1	10.33
17.00	18	4.55	5.34	31.20	757.83	0.00	3.80	1	19.09
เฉลี่ย	**29.50**	**4.80**	**8.52**	**33.64**	**757.95**	**0.00**	**2.99**	**1.75**	**19.76**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.4 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 5 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^oC)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	16	23.99	0.00	30.69	12.56	0.00	8.41	16	14.78
11.00	36	19.06	0.00	31.83	12.24	0.00	4.19	15	12.68
12.00	56	16.14	0.00	32.74	13.22	0.00	2.79	13	21.29
13.00	65	14.22	0.00	32.47	17.69	0.00	2.25	12	25.28
เฉลี่ย	**43.25**	**18.35**	**0.00**	**31.93**	**13.93**	**0.00**	**4.41**	**14**	**18.51**
14.00	62	13.68	0.00	33.50	20.82	0.00	2.43	11	28.72
15.00	47	19.21	0.00	33.38	18.38	0.00	3.11	16	25.07
16.00	17	21.26	0.00	32.00	14.03	0.00	6.38	15	25.78
17.00	10	19.59	0.00	31.00	13.07	0.00	5.66	14	23.00
เฉลี่ย	**34**	**18.44**	**0.00**	**32.47**	**16.58**	**0.00**	**4.40**	**14**	**25.64**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.5 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 9 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP ($^{\circ}C$)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	31	9.94	9.27	35.72	758.04	0.00	5.46	4	16.84
11.00	35	7.34	10.02	35.95	757.84	0.00	3.87	3	8.57
12.00	36	7.17	10.37	36.46	756.99	0.00	3.67	3	10.23
13.00	38	6.33	10.98	36.61	756.44	0.00	3.54	3	6.42
เฉลี่ย	**35**	**7.70**	**10.16**	**36.19**	**757.33**	**0.00**	**4.14**	**3.25**	**10.52**
14.00	42	4.94	11.87	36.72	755.48	0.00	2.83	2	10.58
15.00	40	6.47	11.54	35.17	754.88	0.00	1.87	5	41.66
16.00	35	14.42	10.82	34.04	754.49	0.00	3.70	11	41.72
17.00	28	15.68	8.81	33.23	754.76	0.00	3.51	12	39.33
เฉลี่ย	**36.25**	**10.38**	**10.76**	**34.79**	**754.90**	**0.00**	**2.98**	**7.50**	**33.32**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.6 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 9 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^{o}C)	PM2.5 (µg/m^3)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 (µg/m^3)
10.00	22	12.07	0.00	33.00	3.70	0.00	4.37	8	7.53
11.00	29	8.89	0.00	33.64	6.10	0.00	3.02	6	13.93
12.00	29	7.11	0.00	34.78	3.89	0.00	2.45	5	12.63
13.00	31	7.11	0.00	34.80	4.32	0.00	2.28	5	8.08
เฉลี่ย	**27.75**	**8.80**	**0.00**	**34.06**	**4.50**	**0.00**	**3.03**	**6**	**10.54**
14.00	34	6.81	0.00	34.58	4.64	0.00	2.03	5	9.00
15.00	33	12.19	0.00	34.50	6.05	0.00	4.13	8	10.35
16.00	38	8.93	0.00	33.50	13.40	0.00	1.85	7	26.40
17.00	N/A	N/A	0.00	33.05	16.61	0.00	N/A	N/A	19.60
เฉลี่ย	**35**	**9.31**	**0.00**	**33.91**	**10.18**	**0.00**	**2.67**	**6.67**	**16.34**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.7 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 19 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (°C)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	11	19.02	4.18	32.42	760.81	0.00	9.33	10	9.09
11.00	14	14.94	4.84	33.88	760.68	0.00	6.44	9	16.63
12.00	23	10.82	7.11	34.52	760.08	0.00	3.51	7	19.81
13.00	31	8.84	9.14	34.61	759.32	0.00	2.06	7	34.72
เฉลี่ย	**19.75**	**13.41**	**6.32**	**33.86**	**760.22**	**0.00**	**5.34**	**8.25**	**20.06**
14.00	36	7.3	10.48	33.35	758.72	0.00	1.81	6	29.75
15.00	36	10.54	10.79	33.57	758.08	0.00	0.76	10	64.23
16.00	26	21.67	8.51	33.30	757.73	0.00	3.10	19	53.69
17.00	N/A	N/A	5.96	31.69	757.48	0.00	N/A	N/A	53.76
เฉลี่ย	**32.67**	**13.17**	**8.94**	**32.98**	**758.00**	**0.00**	**1.89**	**11.67**	**50.36**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.8 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 19 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^oC)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	20	25.03	0.00	30.59	11.06	0.20	8.37	17	3.45
11.00	33	20.87	0.00	31.72	18.75	0.00	4.91	16	20.24
12.00	N/A	N/A	0.00	31.66	21.37	0.00	N/A	N/A	23.24
13.00	N/A	N/A	0.00	31.52	26.84	0.00	N/A	N/A	26.56
เฉลี่ย	**26.5**	**22.95**	**0.00**	**31.37**	**19.51**	**0.05**	**6.64**	**16.50**	**18.37**
14.00	71	17.03	0.00	31.78	25.68	0.00	0.24	17	33.16
15.00	86	15.80	0.00	31.14	33.74	0.00	0.09	16	35.56
16.00	89	17.34	0.00	31.10	38.21	0.00	0.04	17	42.56
17.00	70	17.98	0.00	30.67	40.78	0.00	0.02	18	49.4
เฉลี่ย	**79**	**17.04**	**0.00**	**31.17**	**34.60**	**0.00**	**0.098**	**17**	**40.17**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.9 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 20 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (°C)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 (µg/m^3)
10.00	27	21.08	8.72	35.4	759.48	0.00	5.12	16	74.39
11.00	44	16.28	13.22	36.67	758.98	0.00	2.33	14	82.07
12.00	51	12.77	15.18	36.92	758.50	0.00	1.48	11	80.99
13.00	38	10.99	11.31	35.87	757.60	0.00	1.69	9	69.14
เฉลี่ย	**40**	**15.28**	**12.11**	**36.22**	**758.64**	**0.00**	**2.66**	**12.5**	**76.648**
14.00	30	10.55	9.09	36.37	756.88	0.00	2.06	8	32.73
15.00	33	9.45	9.9	36.4	756.53	0.00	0.73	9	58.74
16.00	33	12.45	10.07	34.89	756.11	0.00	1.99	10	52.02
17.00	26	14.43	8.04	33.78	755.90	0.00	2.07	12	52.77
เฉลี่ย	**30.5**	**11.72**	**9.28**	**35.36**	**756.36**	**0.00**	**1.71**	**9.75**	**49.07**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.10 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 20 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^oC)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	65	8.98	0.00	32.95	64.32	0.00	0.39	9	53.33
11.00	76	5.94	0.00	33.49	70.03	0.00	0.07	6	78.33
12.00	68	5.43	0.00	34.4	64.11	0.00	0.08	5	71.33
13.00	53	5.67	0.00	33.84	55.04	0.00	0.17	6	74.67
เฉลี่ย	**65.5**	**6.51**	**0.00**	**33.67**	**63.38**	**0.00**	**0.18**	**6.5**	**69.42**
14.00	57	5.51	0.00	34.43	44.84	0.00	0.1	5	68.92
15.00	57	5.14	0.00	34.01	43.92	0.00	0.04	5	46.67
16.00	50	5.49	0.00	33.07	47.92	0.00	0.02	5	53.92
17.00	38	9.99	0.00	32.00	41.61	0.00	0.01	10	52.50
เฉลี่ย	**50.5**	**6.53**	**0.00**	**33.38**	**44.57**	**0.00**	**0.04**	**6.25**	**55.50**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.11 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 25 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^{o}C)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 (µg/m^3)
10.00	8	20.59	3.44	32.99	757.51	0.00	12.29	8	25.07
11.00	13	14.45	4.41	34.76	756.95	0.00	7.34	7	21.61
12.00	17	12.83	5.53	34.66	756.15	0.00	4.72	8	19.64
13.00	20	14.27	6.41	34.88	755.23	0.00	4.01	10	22.08
เฉลี่ย	**14.5**	**15.54**	**4.95**	**34.32**	**756.46**	**0.00**	**7.09**	**8.25**	**22.10**
14.00	17	14.61	5.69	34.75	754.51	0.00	4.19	10	37.40
15.00	16	12.03	5.19	33.26	754.19	0.00	2.62	9	24.51
16.00	15	10.18	4.77	31.56	753.74	0.00	2.75	7	29.99
17.00	12	8.16	3.65	30.82	753.84	0.00	2.81	5	16.70
เฉลี่ย	**15**	**11.25**	**4.83**	**32.60**	**754.07**	**0.00**	**3.09**	**7.75**	**27.15**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.12 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 25 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^{0}C)	PM2.5 (µg/m^3)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 (µg/m^3)
10.00	25	6.43	0.00	32.03	10.17	0.00	2.74	4	10.92
11.00	27	3.69	0.00	32.81	9.66	0.20	1.91	2	10.49
12.00	30	5.01	0.00	32.63	5.42	0.00	1.89	3	14.67
13.00	35	5.24	0.00	32.67	4.87	0.00	1.38	4	11
เฉลี่ย	**29.25**	**5.09**	**0.00**	**32.54**	**7.53**	**0.05**	**1.98**	**3.25**	**11.77**
14.00	40	3.38	0.00	32.55	4.48	0.00	0.82	3	11.33
15.00	28	7.25	0.00	31.32	11.06	3.00	0.92	6	15.5
16.00	18	9.85	0.00	26.77	5.58	0.60	1.41	8	22.58
17.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
เฉลี่ย	**28.67**	**6.83**	**0.00**	**30.21**	**7.04**	**1.20**	**1.05**	**5.67**	**16.47**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.13 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 26 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (°C)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 (µg/m^3)
10.00	16	16.16	5.43	35.42	757.46	0.00	6.39	10	41.8
11.00	23	12.27	6.99	35.71	757.02	0.00	3.20	9	35.92
12.00	23	13.18	7.33	34.99	756.23	0.00	2.89	10	30.68
13.00	23	8.61	7.01	35.95	755.49	0.00	2.06	7	41.28
เฉลี่ย	**21.25**	**12.56**	**6.69**	**35.5175**	**756.55**	**0.00**	**3.64**	**9**	**37.42**
14.00	20	8.44	5.94	35.44	754.78	0.00	2.37	6	22.92
15.00	17	9.06	5.36	34.25	754.31	0.00	2.12	7	23.51
16.00	15	13.25	5.06	33.03	753.84	0.00	3.55	10	19.73
17.00	12	9.62	3.80	31.56	753.72	0.00	2.91	7	11.04
เฉลี่ย	**16**	**10.09**	**5.04**	**33.57**	**754.16**	**0.00**	**2.74**	**7.5**	**19.30**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

หมายเหตุ : คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 26 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร ไม่สามารถสืบค้นหาข้อมูลได้

ตารางที่ ง.14 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 30 กันยายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (°C)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 (µg/m^3)
10.00	15	17.79	5.26	32.74	759.55	0.00	6.86	11	4.01
11.00	24	13.08	7.52	33.71	759.14	0.00	3.52	10	4.81
12.00	28	17.25	8.82	33.39	758.49	0.00	2.65	15	36.29
13.00	34	10.04	10.16	34.31	757.84	0.00	1.90	8	37.56
เฉลี่ย	**25.25**	**13.46**	**7.94**	**33.54**	**758.76**	**0.00**	**3.73**	**11**	**20.67**
14.00	34	9.14	10.11	34.86	757.24	0.00	2.31	7	14.32
15.00	28	8.53	8.37	34.67	756.90	0.00	1.19	7	21.08
16.00	23	9.09	6.91	32.86	756.93	0.00	1.99	7	16.23
17.00	19	21.20	6.70	30.64	756.86	0.00	2.59	19	15.22
เฉลี่ย	**26**	**11.99**	**8.02**	**33.26**	**756.98**	**0.00**	**2.02**	**10**	**16.71**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.15 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 30 กันยายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP ($^{\circ}C$)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	26	19.76	0.00	31.03	19.49	0.00	4.77	15	20.69
11.00	41	13.73	0.00	32.01	13.73	0.00	1.68	12	28.78
12.00	54	11.02	0.00	32.32	22.22	0.20	0.66	10	25.98
13.00	60	9.94	0.00	32.94	29.71	0.00	0.53	9	24.23
เฉลี่ย	**45.25**	**13.61**	**0.00**	**32.08**	**21.29**	**0.05**	**1.91**	**11.50**	**24.92**
14.00	68	N/A	0.00	31.17	27.96	0.00	N/A	N/A	45.13
15.00	56	24.51	0.00	30.34	29.31	0.00	0.58	24	56.81
16.00	39	25.92	N/A	27.70	21.50	0.20	0.43	25	39.98
17.00	7	62.15	N/A	27.50	28.18	0.00	7.49	55	37.92
เฉลี่ย	**42.50**	**37.53**	**0.00**	**29.18**	**26.74**	**0.05**	**2.83**	**34.67**	**44.96**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.16 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 3 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (°C)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	5	33.04	3.39	23.33	759.16	1.25	13.86	19	15.2
11.00	6	34.07	3.58	23.69	758.56	0.25	15.69	18	20.13
12.00	6	49.76	4.59	24.37	758.1	0.00	27.02	23	32.07
13.00	8	37.36	4.58	25.88	757.63	0.00	16.49	21	23.84
เฉลี่ย	**6.25**	**38.56**	**4.04**	**24.32**	**758.36**	**0.38**	**18.27**	**20.25**	**22.81**
14.00	12	24.71	4.67	28.19	757.14	0.00	9.2	16	22.11
15.00	13	26.51	5.28	29.02	756.95	0.00	6.62	20	31.49
16.00	9	29.66	4.23	28.19	757.02	0.00	8.03	22	43.63
17.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
เฉลี่ย	**11.33**	**26.96**	**4.73**	**28.47**	**757.04**	**0.00**	**7.95**	**19.33**	**32.41**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.17 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 3 ตุลาคม 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP ($^{\circ}C$)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	3	31.94	N/A	23.6	8.35	0.80	5.93	26	27.92
11.00	2	52.00	N/A	23.78	9.96	0.00	23.22	29	22.1
12.00	2	63.73	N/A	24.24	8.33	0.00	31.07	33	29.08
13.00	5	69.16	N/A	25.36	13.64	0.00	31.96	37	34.51
เฉลี่ย	**3**	**54.21**	**N/A**	**24.25**	**10.64**	**0.00**	**28.75**	**31.25**	**28.40**
14.00	6	70.70	N/A	26.82	19.92	0.00	26.33	44	N/A
15.00	9	54.78	N/A	27.32	20.05	0.00	10.87	44	N/A
16.00	5	45.34	N/A	26.63	N/A	0.00	4.81	41	14.68
17.00	5	48.23	N/A	26.37	17.76	0.00	6.20	42	62.57
เฉลี่ย	**6.25**	**54.76**	**N/A**	**26.79**	**19.24**	**0.00**	**12.05**	**42.75**	**38.63**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.18 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 6 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP ($^{\circ}C$)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	-	-	38.26	28.11	760.56	0.50	-	-	30.41
11.00	6	26.34	3.41	28.26	759.84	0.75	15.25	11	28.77
12.00	7	24.17	3.42	28.26	759.31	0.25	12.57	12	29.58
13.00	8	13.91	2.96	29.18	758.49	0.25	7.47	6	17.45
เฉลี่ย	**7**	**21.47**	**12.01**	**28.45**	**759.55**	**0.44**	**11.76**	**9.67**	**26.55**
14.00	7	13.86	2.77	29.87	757.82	0.00	8.59	5	24.53
15.00	8	10.87	2.76	30.07	757.41	0.00	5.44	5	13.97
16.00	9	11.31	3.06	29.73	756.96	0.00	5.14	6	22.47
17.00	7	14.45	2.77	28.74	757.17	0.00	6.07	8	24.99
เฉลี่ย	**7.75**	**12.62**	**2.84**	**29.60**	**757.34**	**0.00**	**6.31**	**6**	**21.49**

หมายเหตุ : ทำการวัด Background บริเวณมหาวิทยาลัยรามคำแหง วิทยาเขตบางนา

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.19 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 7 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP ($^{\circ}C$)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	N/A	N/A	3.78	33.74	760.32	0.00	N/A	N/A	11.24
11.00	N/A	N/A	36.58	34.12	759.76	0.00	N/A	N/A	36.19
12.00	20	10.85	6.18	29.92	758.15	0.75	2.36	8	46.22
13.00	18	14.18	5.95	29.78	757.75	0.00	2.38	12	15.11
เฉลี่ย	**19**	**12.52**	**13.12**	**31.89**	**759.00**	**0.19**	**2.37**	**10**	**27.19**
14.00	17	17.97	5.78	27.16	757.37	0.25	4.18	14	13.63
15.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
16.00	13	21.44	4.91	29.9	756.74	0.00	4.08	17	52.18
17.00	12	20.02	4.60	29.26	757.07	0.00	3.37	17	43.38
เฉลี่ย	**14**	**19.81**	**5.10**	**28.77**	**757.06**	**0.08**	**3.88**	**16**	**36.40**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.20 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 7 ตุลาคม 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP ($^{\circ}C$)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	16	31.61	N/A	31.54	19.23	0.00	9.07	23	N/A
11.00	26	25.98	N/A	31.89	17.22	0.20	4.86	21	N/A
12.00	39	16.28	N/A	31.90	20.39	0.00	0.95	15	12.85
13.00	34	27.05	N/A	29.05	28.48	0.00	0.67	26	4.92
เฉลี่ย	**28.75**	**25.23**	**N/A**	**31.10**	**21.33**	**0.00**	**3.89**	**21.25**	**8.89**
14.00	22	27.68	N/A	27.64	23.66	0.00	3.19	24	58.92
15.00	18	40.1	N/A	29.82	17.28	0.00	7.39	33	53.22
16.00	29	32.55	N/A	30.21	17.04	0.00	1.57	31	7.27
17.00	21	39.17	N/A	29.20	28.22	0.00	0.73	38	23.63
เฉลี่ย	**22.5**	**34.88**	**N/A**	**29.22**		**0.00**	**3.22**	**31.50**	**35.76**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.21 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 17 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^{o}C)	ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	25	7.78	7.26	34.3	759.78	0.00	2.01	6	29.63
11.00	28	6.34	8.24	34.54	759.12	0.00	1.85	4	32.37
12.00	31	5.45	8.84	35.38	758.29	0.00	1.63	4	29.53
13.00	33	5.19	9.32	35.11	757.49	0.00	1.53	4	30.18
เฉลี่ย	**29.25**	**6.19**	**8.415**	**34.83**	**758.67**	**0.00**	**1.76**	**4.5**	**30.43**
14.00	32	5.92	9.19	34.42	756.96	0.00	1.55	4	28.51
15.00	31	10.92	9.33	32.6	756.35	0.00	0.82	10	83.14
16.00	29	23.04	9.55	32.11	756.50	0.00	2.01	21	81.68
17.00	24	30.69	8.60	30.47	756.51	0.00	2.66	28	59.77
เฉลี่ย	**29**	**17.64**	**9.17**	**32.4**	**756.58**	**0.00**	**1.76**	**15.75**	**63.28**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.22 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 17 ตุลาคม 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP ($^{\circ}C$)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	33	19.84	N/A	32.15	32.22	0.00	1.64	18	0.38
11.00	N/A	N/A	N/A	31.81	32.04	0.00	N/A	N/A	17.58
12.00	62	15.68	N/A	32.79	31.56	0.00	1.40	14	42.78
13.00	67	10.29	N/A	32.48	29.52	0.00	0.95	9	32.93
เฉลี่ย	**54**	**15.27**	**N/A**	**32.31**	**31.34**	**0.00**	**1.33**	**13.67**	**23.42**
14.00	73	12.76	N/A	33.55	26.64	0.00	1.04	12	30.11
15.00	61	15.17	N/A	31.45	30.41	0.00	1.02	14	35.64
16.00	45	23.56	N/A	29.61	28.21	0.00	1.15	22	64.09
17.00	27	36.41	N/A	28.30	37.40	0.00	1.29	35	68.22
เฉลี่ย	**51.5**	**21.98**	**N/A**	**30.73**	**30.67**	**0.00**	**1.125**	**20.75**	**49.52**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.23 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 31 ตุลาคม 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (°C)	BP ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	N/A	N/A	45	34.66	761.33	0.00	N/A	N/A	19.91
11.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12.00	47	5.67	13.46	34.90	759.74	0.00	1.51	4	24.20
13.00	45	5.38	12.85	35.10	758.63	0.00	1.47	4	18.68
เฉลี่ย	**46**	**5.525**	**23.77**	**34.89**	**759.90**	**0.00**	**1.49**	**4**	**20.93**
14.00	45	5.24	12.93	35.10	758.14	0.00	1.45	4	18.06
15.00	45	3.93	12.99	33.66	757.59	0.00	0.37	4	23.01
16.00	40	6.25	11.63	33.49	757.60	0.00	1.17	5	24.33
17.00	28	11.22	8.42	32.39	757.90	0.00	1.42	10	21.70
เฉลี่ย	**39.5**	**6.66**	**11.49**	**33.66**	**757.81**	**0.00**	**1.10**	**5.75**	21.78

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.24 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 31 ตุลาคม 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^{0}C)	PM2.5 (µg/m^3)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 (µg/m^3)
10.00	42	8.52	0.57	33.11	17.08	0.00	1.37	7	0.23
11.00	39	7.87	0.75	32.86	18.15	0.00	1.24	7	9.45
12.00	N/A	N/A	0.88	33.83	22.32	0.00	N/A	N/A	26.73
13.00	22	6.69	0.50	34.31	18.21	0.00	1.03	6	15.88
เฉลี่ย	**34.33**	**7.69**	**0.68**	**33.53**	**18.94**	**0.00**	**1.21**	**6.67**	**13.07**
14.00	21	6.72	0.65	34.45	12.67	0.00	1.03	6	11.28
15.00	21	7.82	0.47	33.74	16.39	0.00	1.02	7	22.28
16.00	20	7.56	0.54	33.24	26.75	0.00	0.84	7	32.70
17.00	17	11.79	0.13	32.14	20.72	0.00	0.76	11	21.25
เฉลี่ย	**19.75**	**8.47**	**0.45**	**33.39**	**19.13**	**0.00**	**0.91**	**7.75**	**21.88**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.25 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558 สถานี 05t แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (°C)	BP ความกดอากาศ (mmHg)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 ($\mu g/m^3$)
10.00	31	8.39	9.05	29.58	761.66	0.00	2.61	6	15.11
11.00	N/A	N/A	10.24	30.33	761.22	0.00	N/A	N/A	15.85
12.00	N/A	N/A	40.51	31.18	760.52	0.00	N/A	N/A	17.11
13.00	46	6.44	13.34	31.48	759.85	0.00	1.81	5	23.2
เฉลี่ย	**38.5**	**7.42**	**18.29**	**30.64**	**760.81**	**0.00**	**2.21**	**5.50**	**17.82**
14.00	47	5.84	13.45	31.87	759.13	0.00	1.56	4	20.74
15.00	44	4.94	12.71	31.2	758.65	0.00	0.54	4	17.96
16.00	39	6.85	11.30	30.63	758.60	0.00	1.46	5	18.24
17.00	30	12.65	9.11	29.52	758.55	0.00	1.56	11	35.24
เฉลี่ย	**40**	**7.57**	**11.6425**	**30.81**	**758.73**	**0.00**	**1.28**	**6**	**23.05**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ตารางที่ ง.26 คุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558 สถานี 59t แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

เวลา(น.)	O_3 (ppb)	NOx (ppb)	ความเร็วลม (m/s)	TEMP (^{o}C)	PM2.5 (µg/m^3)	Rain (mm)	NO (ppb)	NO_2 (ppb)	PM10 (µg/m^3)
10.00	N/A	N/A	0.52	29.94	13.72	0.00	N/A	N/A	N/A
11.00	18	7.9	0.51	29.98	9.49	0.00	1.54	6	N/A
12.00	20	7.47	0.54	30.57	4.39	0.00	1.35	6	11.03
13.00	24	8.24	0.53	30.83	6.56	0.00	2.06	6	12.06
เฉลี่ย	**20.67**	**7.87**	**0.53**	**30.33**	**8.54**	**0.00**	**1.65**	**6.00**	**11.55**
14.00	23	13.57	0.45	31.04	6.62	0.00	4.89	9	14.25
15.00	29	8.26	0.26	31.05	8.52	0.00	1.51	7	23.17
16.00	33	11.26	0.36	30.70	5.24	0.00	0.62	11	29.08
17.00	40	17.79	0.80	30.02	17.13	0.00	0.56	17	32.50
เฉลี่ย	**31.25**	**12.72**	**0.47**	**30.70**	**9.38**	**0.00**	**1.90**	**11.00**	**24.75**

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ภาคผนวก จ

แนวทางการประเมินความเสี่ยง

จ.1 การประเมินการสัมผัส

สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I\ (mg/kg\text{-}day) = \frac{C \times FR \times FA \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

เมื่อ

I = ปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับ

C = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในอากาศ (mg/ m^3)

FR = Factor of Retention

FA = Factor of Absorption

IR = อัตราการหายใจ (m^3 /hrs)

ET = เวลาในการสัมผัส (hrs/day)

EF = ความถี่ของการสัมผัส (days/year)

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส/ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ (year)

BW = น้ำหนักของร่างกาย (kg)

AT = ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย (days)

ตารางที่ จ.1 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการประเมินการสัมผัส

ตัวแปร	ค่า	หน่วย	แหล่งอ้างอิง
C=ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในอากาศ	ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM2.5 จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นตั้งแต่วันที่ 2 กันยายน- 2 พฤศจิกายน 2558 ในรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ 0.0099 และแบบปรับอากาศ 0.025	mg/m^3	
IR= อัตราการหายใจ	0.83 (ค่าเฉลี่ย)	m^3/hrs	ATSDR
FR=Factor of Retention	1	-	
FA=Factor of Absorption	1	-	
ET= เวลาในการสัมผัส	ค่าเฉลี่ยรายวันใช้ 24	hrs/day	คนหายใจ 24 ชม
	ค่าสูงสุดใช้ 1 วัน		ช่วงที่ค่าสารมลพิษขึ้นสูงสุดต่อวัน
EF= ความถี่ของการสัมผัส	365	days/year	คนหายใจทุกวัน 365 วัน
ED= ระยะเวลาที่สัมผัส/ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่	อายุเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง	years	ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เก็บข้อมูล
BW=น้ำหนักของร่างกาย	น้ำหนักเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง	kg	น้ำหนักเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างในกรุงเทพมหานครจาก Size Thailand
AT = ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย	อายุเฉลี่ยของประชาชนในพื้นที่	days	อายุเฉลี่ยของประชาชนจากการเก็บข้อมูล
RfD PM2.5	0.005	มก./กก./วัน	US.EPA

ตารางที่ จ.2 น้ำหนักเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างทั้งชายและหญิงทั่วประเทศ จำนวน 13,442 คน โดยแบ่งตามช่วงอายุ

ช่วงอายุ(ปี)	น้ำหนักเฉลี่ยเพศชาย (kg)	น้ำหนักเฉลี่ยเพศหญิง (kg)	อายุเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง (days)	ระยะเวลาที่กลุ่มตัวอย่างอาศัยอยู่ในพื้นที่ (years)
16-25	64.24	52.70	7300	15
26-35	70.22	56.25	12775	30
36-45	71.01	59.79	16425	40
46-59	71.07	60.05	20440	50
60ขึ้นไป	66.75	58.58	23725	60

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณการประเมินการสัมผัสทางการหายใจของเพศชายในช่วงอายุ 16-25 ปี ในรถโดยสารประจำทางแบบปรับอากาศ

$$\text{I (mg/kg-day)} = \frac{\text{C} \times \text{FR} \times \text{FA} \times \text{IR} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

$$\text{I} = \frac{0.025\ (\text{mg/m3}) \times 1 \times 1 \times 0.83(\text{m3/hrs}) \times 24\ (\text{hrs/day}) \times 365(\text{days/year}) \times 15(\text{year})}{64.24(\text{kg}) \times 7300(\text{days})}$$

I = 0.0058 (mg/kg-day)

จ.2 การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง

อธิบายลักษณะความเสี่ยง

สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = \frac{\text{Exposure (mg/kg/day)}}{\text{RfD (mg/kg/day)}}$$

เมื่อ

HQ = ค่าสัดส่วนความเสี่ยง

Exposure = ค่าปริมาณการรับสัมผัสต่อวัน (mg/kg/day)

RfD = ค่ามาตรฐานกำหนด (mg/kg/day)

การแปลผล

ค่าสัดส่วนความเสี่ยง ≥ 1 หมายถึง เกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร

ค่าสัดส่วนความเสี่ยง ≤ 1 หมายถึง ค่าที่ยอมรับได้ต่อการรับสัมผัสสาร

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณการประเมินการสัมผัสทางการหายใจของเพศชาย ในช่วงอายุ 16-25 ปี ในรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = \frac{\text{Exposure (mg/kg/day)}}{\text{RfD (mg/kg/day)}}$$

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = \frac{0.0058}{0.005}$$

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = 1.16$$

การแปลผล

ค่าสัดส่วนความเสี่ยง ≥ 1 หมายถึง เกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร