การเฝ้าระวังก๊าซโอโซนด้วยอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพโดยจำลองบรรยากาศ

OZONE MONITORING BY PASSIVE AIR SAMPLER IN STIMULATED ATMOSPHERE

ธิดารัตน์ ศิริชัย
พิธวัชร์ สุขแก้ว
สุธิดา ปิติโภค

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การเฝ้าระวังก๊าซโอโซนด้วยอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพโดยจำลองบรรยากาศ

OZONE MONITORING BY PASSIVE AIR SAMPLER IN STIMULATED ATMOSPHERE

ธิดารัตน์ ศิริชัย
พิธวัชร์ สุขแก้ว
สุธิดา ปิติโภค

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

OZONE MONITORING BY PASSIVE AIR SAMPLER IN STIMULATED ATMOSPHERE

THIDARAT SIRICHAI
PITTAWAT SUKKEAW
SUTHIDA PITIPOK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเฝ้าระวังก๊าซโอโซนด้วยอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพโดยจำลองบรรยากาศ Ozone Monitoring by Passive Air Sampler in Stimulated Atmosphere
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธิดารัตน์ ศิริชัย รหัสนักศึกษา 56050703 นายพิธวัชร์ สุขแก้ว รหัสนักศึกษา 56050731 นางสาวสุธิดา ปิติโภค รหัสนักศึกษา 56050779
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการ	
ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเฝ้าระวังก๊าซโอโซนด้วยอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพ โดยจำลองบรรยากาศ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธิดารัตน์ ศิริชัย รหัสนักศึกษา 56050703
	นายพิธวัชร์ สุขแก้ว รหัสนักศึกษา 56050731
	นางสาวสุธิดา ปิติโภค รหัสนักศึกษา 56050779
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาการเฝ้าระวังก๊าซโอโซนแบบพาสสีพ โดยจำลองบรรยากาศ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทรกราฟเทียบกับแบบแอคทีพด้วยเครื่องยูวี-วิส สเปคโตรมิเตอร์ เพื่อนำมาทำนายความเข้มข้นของโอโซน โดยศึกษาผลของเวลาต่อการเก็บตัวอย่างโอโซนแบบพาสสีพที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง และ 7 วันต่อเนื่อง โดยทำการจำลองสถานการณ์โอโซนภายในตู้ดูดควัน และทำการศึกษาผลของการตรวจวัดโดยเทียบกับสถานีตรวจวัดลาดกระบัง ของกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร โดยทำการวางอุปกรณ์เก็บตัวอย่างพาสสีพ บริเวณใกล้กับเครื่องตรวจวัดอากาศของสถานีตรวจวัดฯ จากนั้นเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ได้ เพื่อหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซน จาก 2 วิธี ผลการทดลองพบว่าโอโซนที่เก็บด้วยวิธีการแบบพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพนาน 24 ชั่วโมง และแบบ 7 วันต่อเนื่อง ในตู้ดูดควัน มีความสัมพันธ์มีดังสมการ $y = 1.4002x + 61.065$ และ $y = -0.1078x + 113.15$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.7866 และ 0.8495 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพนี้ไม่เหมาะกับการเก็บตัวอย่างในระยะเวลาน้อยกว่า 24 ชั่วโมง สภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ และมีตัวรบกวนอื่น ๆ ทำให้ค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีความคลาดเคลื่อนมาก และผลของการศึกษาการเฝ้าระวังโอโซนโดยเทียบกับสถานีตรวจวัดฯ ต่อเนื่องนาน 7 วัน พบว่าความสัมพันธ์อยู่ในระดับที่ดี ดังสมการ $y = 1.4076x - 69.7$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8691

คำสำคัญ : อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพ, โอโซน, ไอออนโครมาโทรกราฟี, การเฝ้าระวัง

Title	Ozone Monitoring by Passive Air Sampler in Stimulated Atmosphere
Students	Miss Thidarat Sirichai Student ID 56050703
	Mr. Pittawat Sukkeaw Student ID 56060731
	Miss Suthida Pitipok Student ID 56060779
Degree	Bachelor of Science (Environmantal Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Asst. Prof. Krongkaew Tippayasak

Abstract

The development of ozone (O_3) monitoring by the passive air sampler in stimulated atmosphere was the purpose of this study. The relation of ozone concentration between passive and active sampling were determined. Passive samples were analyzed by Ion chromatograph and active samples were analyzed by UV-Vis Spectrophotometer for ozone prediction. The sampling times were varied in stimulated ozone atmosphere. Then, passive samplers were also placed for 7 consecutive days near the Ladkrabang monitoring station (Air and Noise Management Division, Environmental Department, BKK). The O_3 concentration from passive sampler and station were compared. The results of O_3 concentration by passive and active sampling in hood for 24 hours and 7 consecutive days showed medium relation as the following equations: $y = 1.4002x + 61.065$ and $y = -0.1078x + 113.15$ ($R^2 = 0.7786$ and 0.8495), respectively. The results stated that passive sampler was not suitable for sampling time less than 24 hours. The unstable environment has an interference that might artifact ozone concentration. In field result, O_3 concentration compared with O_3 from Environmental Department station was fitted as well as the following equation: $y = 1.4076x – 69.7$, $R^2 = 0.8691$.

Keywords: Passive Sampler, Ozone, Ion Chromatography, Monitoring

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาโครงงานในเรื่องที่สนใจ ทั้งยังมอบความรู้ พร้อมทั้งความเอาใจใส่ ตลอดการทำโครงงานพิเศษจนสำเร็จลุลวงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ และผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ประธานกรรมการและกรรมการผู้คุมสอบที่ได้เสียสละเวลาในการเข้าร่วมรับฟังโครงงานพิเศษนี้ พร้อมทั้งยังให้ข้อแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขให้โครงงานพิเศษเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์ อาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ ที่ได้ให้ข้อแนะนำและความรู้ทางด้านสถิติ เพื่อนำมาวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขอขอบพระคุณสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร และคุณทิพย์ญาณี สุวรรณวิจิตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาเก็บตัวอย่างก๊าซโอโซนในบรรยากาศเทียบ ณ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างของสำนักสิ่งแวดล้อม ณ สถานีตรวจวัด ลาดกระบัง พร้อมทั้งข้อมูล และคำแนะนำเป็นอย่างดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณสถานีตำรวจนครบาลจรเข้น้อย และสำนักงานเขตลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และช่วยเฝ้าระวังอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี คุณชัชชัย ลัทธิลักขณา คุณสาคร สอนพงษ์ คุณณัฐพล ไกรธรรม คุณปราณี บุญวัฒน์ และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ในการดำเนินโครงงานพิเศษและช่วยจัดทำเอกสารเกี่ยวกับการดำเนินงาน ทำให้การจัดทำโครงงานพิเศษนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนเกี่ยวกับการทำโครงงานพิเศษ

ธิดารัตน์ ศิริชัย
พิธวัชร์ สุขแก้ว
สุธิดา ปิติโภค

สารบัญ

สารบัญ

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญรูป

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
B	แบลงค์
D	วัน
IN	ภายในตู้ดูดควัน
OUT	ภายนอก
H	ชั่วโมง
IC	ion chromatography
K	เก็บรักษา
KPa	กิโลปาสคาล
M	โมลาร์
mM	มิลลิโมลาร์
N	นอร์มอล
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mL	มิลลิลิตร
mol/L	โมลต่อลิตร
mL/min	มิลลิลิตรต่อนาที
MPa	เมกะปาสคาล
pH	ค่าที่แสดงความเป็นกรดเป็นเบส
ppb	ส่วนในพันล้านส่วน
ppm	ส่วนในล้านส่วน
%RSD	ระดับความแม่นยำ
S	ตัวอย่าง
SD	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
STD	ค่ามาตรฐาน
TSP	ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate)
UV/VIS	UV/VIS Spectrophotometer
uS/cm	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
μL	ไมโครลิตร
$\mu g/m^3$	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
GF	กระดาษกรองใยแก้ว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในสถานการณ์ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมนับเป็นปัญหาที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะปัญหาจากมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นภาวะอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติเป็นเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินต่าง ๆ อีกทั้งยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ยานพาหนะ โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น มลพิษทางอากาศที่สำคัญ ได้แก่ อนุภาคฝุ่น (TSP และ PM10) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซโอโซน (O_3) และสารตะกั่ว (Pb)

ก๊าซโอโซน (O_3) ที่อยู่ในระดับพื้น เป็นสารมลพิษทุติยภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical Reaction) ระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและสามารถเกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้ ก๊าซโอโซนส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การขนส่งหรือกระบวนการผลิตจากแหล่งอุตสาหกรรม เกิดได้ง่ายบนท้องถนนในเวลากลางวัน เพราะการจราจรก่อให้เกิดสารไฮโดรคาร์บอนและก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน

จากผลการตรวจวัดก๊าซโอโซนระดับพื้นผิวโดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ บ่งชี้ว่าเกินระดับมาตรฐานคุณภาพอากาศในบางชั่วโมง ถึงแม้ว่าชั่วโมงที่เกินมาตรฐานยังเป็นส่วนน้อย แต่แนวโน้มค่าเฉลี่ยของก๊าซโอโซนในบางพื้นที่ เพิ่มสูงขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) โดยกรมควบคุมมลพิษกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซโอโซนตามค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา 1 ชั่วโมงและ 8 ชั่วโมง ต้องไม่เกิน 0.01 ppm และ 0.07 ppm ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) ซึ่งถ้าเราได้รับก๊าซโอโซนเป็นเวลานานโดยการสูดดมจะส่งผลกระทบต่อร่างกาย ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตาและระบบทางเดินหายใจ ลดความสามารถในการทำงานของปอดลง (ปารยะ, 2557)

อีกทั้งการดำเนินการในการตรวจวัดก๊าซโอโซนจะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาค่อนข้างสูง สามารถตรวจวัดได้ในจำนวนจำกัด ต้องใช้แหล่งพลังงานจากไฟฟ้า ทำให้เกิดความยุ่งยากในการตรวจวัด และอาจเนื่องจากเครื่องมือที่มีราคาค่อนข้างสูงจึงมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงตามด้วย วิธีการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศมีทั้งวิธีมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ และวิธีการเทียบเท่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาวิธีการเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดโดยใช้ “อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ (Passive Sampler)” เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างและตรวจวัดสารมลพิษ โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากไฟฟ้า มีขนาดเล็กสามารถนำไปติดตั้งได้สะดวก และราคาต้นทุนในการผลิตต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาการเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดก๊าซโอโซนแบบพาสสีพให้ดีขึ้น
2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซโอโซนที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสีพซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทรกราฟเทียบกับวิธีแอคทีพซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีการดูดซึม
3) เพื่อศึกษาผลของการเก็บรักษาการเก็บตัวอย่างโอโซนแบบพาสสีพ
4) เพื่อศึกษาผลของการตรวจวัดโดยเทียบกับการตรวจวัดของสำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1) ผลิตอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพและแปรค่าปัจจัย คือ
   - การจำลองสถานการณ์ของตู้ดูดควันที่เหมาะสมต่อการทำงานของอุปกรณ์
   - แปรค่าระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศเป็น 3 ช่วง
2) หาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซโอโซนที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสีพซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทรกราฟีเทียบกับวิธีแอคทีพซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีการดูดซึม (Lodge, 1991)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) สามารถพัฒนาอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างแบบพาสสีพในการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศที่มีต้นทุนต่ำได้
2) สามารถหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างอากาศได้
3) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังก๊าซโอโซน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารมลพิษทางอากาศ

ศิวพันธุ์ (2553) อ้างถึง Wark. *et al.* (1998) อธิบายถึง สารมลพิษทางอากาศ (Air Pollutant) ว่าหมายถึง "สารปนเปื้อนหรือเจือปนอยู่ในอากาศตั้งแต่ 1 สารหรือมากกว่า ที่มีปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาที่นานพอที่จะมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ พืช หรือสัตว์"

สารมลพิษทางอากาศที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศมีมากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่มีการปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศทั่วไป และส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต ต่อสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อมมี 7 ชนิด เรียกสารมลพิษทางอากาศในกลุ่มนี้ว่า "สารมลพิษทางอากาศหลัก (Citeria Air Pollutant : CAPs)" ซึ่งประกอบด้วยสารมลพิษทางอากาศ ดังนี้

1. อนุภาคฝุ่น (Particulate Matter, PM) หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณอยู่ระหว่าง 0.001 ไมครอน (1 ไมครอน = 0.000001 เมตร) ซึ่งเป็นขนาดของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจนถึง 500 ไมครอน ซึ่งเป็นขนาดเทียบเท่าขนาดของทรายหยาบ เวลาที่อนุภาคมลสารเหล่านี้สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศมีค่าตั้งแต่ไม่กี่วินาทีจนถึงหลาย ๆ เดือนขึ้นอยู่กับขนาด นอกจากนี้อนุภาคมลสารจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่น ๆ ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคมลสารและสารเคมีที่จับอยู่บนอนุภาคมลสาร ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่สามารถกัดกร่อนโลหะหรือเป็นอันตรายต่อพืชต่าง ๆ และยังมีผลกระทบต่อสุขภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์อีกด้วย
2. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น สามารถคงตัวอยู่ในบรรยากาศได้นาน 2 ถึง 4 เดือน โดยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลักซึ่งมีผลต่อสุขภาพ โดยจะเข้าไปรวมกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง เป็นผลให้ความสามารถในการจับออกซิเจนของเม็ดเลือดแดงลดลง ทำให้เซลล์ในร่างกายขาดออกซิเจนซึ่งอาจนำไปสู่การเสียชีวิตได้
3. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide, SO_2) ในบรรยากาศจะพบมากในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่ติดไฟและไม่ระเบิด อาจก่อให้เกิดรสได้ถ้ามีในปริมาณสูง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อนานเข้าจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟิวริกและเกลือซัลเฟต โดยปฏิกิริยา Catalytic หรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical Reaction) ในอากาศ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มักเกิดจากการเผาไหม้ของซัลเฟอร์ที่ปรากฏอยู่ในเชื้อเพลิงที่มาจากปิโตรเลียมและถ่านหิน เป็นก๊าซมลพิษที่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากโรงงานอุตสาหกรรมและเครื่องยนต์ดีเซล
4. ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide, NO_2) สารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ก๊าซไนตริกออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เกิดจากการสันดาปที่อุณหภูมิสูงและ

เป็นสารหลักในกลุ่มนี้ที่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยาในละอองน้ำเกิดเป็นกรดไนตริก (HNO_3) ที่สามารถกัดกร่อนโลหะได้ นอกจากนั้นสามารถทำปฏิกิริยาเคมีแสง ซึ่งจะลดความสามารถในการมองเห็นในบรรยากาศลง ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความเป็นพิษมากกว่าก๊าซไนตริกออกไซด์

5. ก๊าซโอโซน (Ozone, O_3) โอโซนเป็นสารโฟโตเคมีคอลออกซิแดนท์ประเภทหนึ่ง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมี Photochemical Oxidation ระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารโฟโตเคมีคอลตัวอื่น ๆ ได้แก่ สารประกอบพวกอัลดีไฮด์ คีโตน และ Peroxyacetyl Nitrate (PAN) ก่อให้เกิดสภาพที่เรียกว่า Photochemical Smog ซึ่งมีลักษณะเหมือนหมอกสีขาวปกคลุมอยู่ทั่วไปในอากาศ โดยทั่วไปแล้วก๊าซโอโซนจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตาและระบบทางเดินหายใจ ลดความสามารถในการทำงานของปอดลง

6. สารตะกั่ว (Lead, Pb) ตะกั่วที่อยู่ในอากาศโดยเฉพาะในเขตเมืองจะมาจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันเบนซิน เนื่องจากในน้ำมันเบนซินจะมีสาร Tertrathyl Lead หรือ Tetramethyl Lead ผสมอยู่เพื่อเพิ่มค่าออกเทนให้แก่น้ำมันเบนซินสำหรับป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์ ตะกั่วจะถูกระบายออกมาทางท่อไอเสียในรูปของอนุภาคของแข็ง ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูงและจะรุนแรงมากในเด็ก ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้หลายอย่าง เช่น ทำลายไขกระดูกและเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง สามารถถูกถ่ายทอดจากมารดาผ่านรกไปยังทารกที่อยู่ในครรภ์ได้

7. คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulfide, CS_2) ก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์ในอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบประสาท ระบบหัวใจและหลอดเลือด และระบบไหลเวียนโลหิต ทั้งนี้ไม่พบรายงานว่าก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

สารมลพิษทางอากาศชนิดดังกล่าวจัดเป็นสารมลพิษทางอากาศระดับพื้นผิว (Local Air Pollutant) กลุ่มของสารมลพิษทางอากาศสามารถแบ่งตามลำดับของการเกิดได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. สารมลพิษปฐมภูมิ (Primary Pollutant) หมายถึง "สารมลพิษทางอากาศที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดโดยตรงไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยาอื่นใด

2. สารมลพิษทุติยภูมิ (Secondary Pollutant) หมายถึง "สารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ โดยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารมลพิษปฐมภูมิหรือกับกลุ่มของสารที่ปรากฏอยู่ในบรรยากาศ"

2.2 โอโซน (Ozone)

โอโซน (Ozone หรือ O_3) มีสถานะเป็นก๊าซในโมเลกุลประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม พบอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก เกิดจากรังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงแดดเปลี่ยนโมเลกุลของออกซิเจน ซึ่งโดยปกติโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความแรงจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จากปัญหามลพิษทางอากาศที่ปล่อย NO_x ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์และจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม (สารในกลุ่ม NO_x เช่น NO_2, NO เป็นต้น) ซึ่งจะสลายตัวเป็น Nitric oxide (NO) และอนุมูลอิสระของออกซิเจนที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยามาก จะเกิดการทำปฏิกิริยาต่อไป ซึ่งก๊าซโอโซนนี้เองถือเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา Photochemical Smog ดังสมการ 2.1 - 2.4

$$NO_2(g) \xrightarrow{\text{sunlight}} NO(g) + O^{\cdot}(g) \quad (2.1)$$

$$O^{\cdot} + O_2 \longrightarrow O_3 \quad (2.2)$$

$$O_3 \longrightarrow O_2 + O^{\cdot} \quad (2.3)$$

$$O^{\cdot} + H_2O \longrightarrow 2HO \quad (2.4)$$

ก๊าซโอโซนบริสุทธิ์จะมีสีน้ำเงินแก่ มีกลิ่นคล้ายคลอรีนจาง ๆ ถ้าดมเข้าไปมาก ๆ ทำให้ปวดศีรษะ โอโซนมีสมบัติในการละลายน้ำได้มากกว่าก๊าซออกซิเจน มีจุดเดือดที่ -111.5 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวที่ -251.0 องศาเซลเซียส เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นก๊าซบริสุทธิ์มีความเสถียรดีพอสมควร แต่ถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่ในน้ำแล้วโอโซนสามารถสลายตัวเป็นก๊าซออกซิเจนได้ง่าย ถ้าผสมอยู่กับอากาศจะค่อย ๆ กลายเป็นออกซิเจน ถ้าอุณหภูมิถึง 300.0 องศาเซลเซียสเกิดจากสลายตัวอย่างรวดเร็ว

2.2.1 แหล่งที่มาของโอโซน

โอโซนสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ดังนี้

1. เกิดตามธรรมชาติ เช่น เกิดจากการรวมตัวกันของโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน โดยมีรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 242 นาโนเมตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดพลังงานที่จะดึงเอาโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนให้แตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอม และเมื่ออะตอมของออกซิเจน 1 อะตอมพบกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนจะเกิดการรวมตัวดังสมการ 2.5 - 2.6

$$O_2 \xrightarrow[\lambda < 242\text{ nm}]{h\nu} 2O \quad (2.5)$$

$$O_2 + O \longrightarrow O_3 \quad (2.6)$$

2. เกิดจากการกระทำของมนุษย์ โอโซนถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การบำบัดน้ำเสียและใช้ฆ่าเชื้อ การเตรียมก๊าซโอโซนที่สะดวกที่สุดคือการใช้ไฟฟ้ากระทำกับอากาศหรือ

กับก๊าซออกซิเจน (Silent electrical discharge) ซึ่งก๊าซออกซิเจนบางส่วนเท่านั้นที่กลายเป็นโอโซน ถ้าใช้อากาศเรียกก๊าซผสมนี้ว่า ไอโอไนซ์แอร์ (Ozonised Air) ถ้าใช้ก๊าซออกซิเจนก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นจะปนอยู่กับก๊าซออกซิเจนที่เหลือเรียกว่า Ozonised Oxygen เครื่องมือที่ใช้เตรียมก๊าซโอโซนด้วยวิธีนี้เรียกว่า โอโซไนเซอร์ (Ozonizer)

2.2.2 สมบัติของโอโซน

โอโซนจัดเป็นตัวออกซิไดส์ (Oxidizing Agent) ที่แรง นำมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน โดยมีฤทธิ์สูงกว่าก๊าซคลอรีนถึง 51% และมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้เร็วกว่า 3.125 เท่า โอโซนสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ส่วนใหญ่รวมทั้งสารอนินทรีย์ ทำให้เกิดการแตกตัวและสลายตัวในกระบวนการสลายตัวทางชีวภาพได้ง่าย สารอินทรีย์บางชนิดทำปฏิกิริยากับโอโซนอย่างสมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โอโซนสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ ราเมือก ราน้ำค้าง เชื้อราอะมีบา และเชื้อที่อยู่ในรูปของถุงน้ำ ตามปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้

ชั้นโอโซนในบรรยากาศมีประโยชน์ในการปกป้องอันตรายที่เกิดจากรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet หรือ UV) จากดวงอาทิตย์ ก๊าซโอโซนส่วนใหญ่บนพื้นผิวโลกเกิดจากการทำปฏิกิริยาของแสงแดดกับของเสียจากเครื่องยนต์ โรงงานผลิตพลังงาน เครื่องผลิตไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานผลิตเคมีภัณฑ์ รวมไปถึงจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เป็นต้นเหตุของมลภาวะ มีการนำโอโซนไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศและน้ำ ใช้ประโยชน์ในกระบวนการกำจัดของเสียในอุตสาหกรรม ทำให้สารเคลือบไม้และหมึกพิมพ์แห้งเร็วขึ้น ขจัดกลิ่นในขนนก รวมทั้งใช้ในการกำจัดราเมือกและแบคทีเรียในห้องเย็น

โอโซนเป็นส่วนประกอบของบรรยากาศส่วนหนึ่งที่ปกคลุมผิวโลก ซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ บริเวณที่อยู่แปรผันอยู่ระหว่างระดับน้ำทะเลขึ้นไปถึงระยะ 60 กิโลเมตร โอโซนส่วนใหญ่อยู่ที่ชั้นบรรยากาศสตาร์โตสเฟียร์ซึ่งพบประมาณร้อยละ 89 – 90 ส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ชั้นโทรโพสเฟียร์และเมโซสเฟียร์ ชั้นโอโซนจะทำหน้าที่กรองแสงอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์โดยสามารถดูดแสง UV-B ความยาวคลื่นระหว่าง 280 – 320 นาโนเมตร ไว้ได้ประมาณ ร้อยละ 70 – 90 ซึ่งรังสี UV-B นี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โอโซนยังมีบทบาทสำคัญในการกำหนดหรือควบคุมอุณหภูมิของโลก และบรรยากาศโดยสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดซึ่งสะท้อนจากผิวโลกและจากชั้นสตราโตสเฟียร์ได้ ทำให้อุณหภูมิบรรยากาศโลกชั้นนี้สูงขึ้น มีผลต่อสภาพภูมิอากาศของผิวโลก

2.2.3 การใช้ประโยชน์ของโอโซน

มีการใช้ประโยชน์ของโอโซนในด้านต่าง ๆ ทั้งในด้านระบบสาธารณูปโภค ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านสิ่งแวดล้อม ดังนี้

1. โอโซนช่วยในการขจัดกลิ่นเหม็น กลิ่นไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ โดยส่วนประกอบไอระเหยของสารอินทรีย์จะถูกโอโซนเข้าทำลาย ส่งผลให้กลิ่นไม่พึงประสงค์หรือกลิ่นอับชื้นต่าง ๆ ถูกขจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

2. โอโซนช่วยในการทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค เซลล์โปรตีนที่ห่อหุ้มและหล่อเลี้ยงเชื้อโรคต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ หรือเชื้อรา จะถูกโอโซนเข้าไปทำลาย ทำให้เชื้อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้

3. โอโซนช่วยในการสลายก๊าซพิษ โดยจะเข้าไปทำลายโครงสร้างของก๊าซพิษต่าง ๆ ทำให้เกิดการสลายตัวหรือเปลี่ยนรูปไป

4. โอโซนมีสมบัติในการฟอกสี ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีโอโซนเข้ามาใช้ในการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด การบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากโอโซนมีสมบัติในการฟอกสีและบำบัดน้ำ ทำให้น้ำเสียที่เคยก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทั้งทางน้ำและอากาศสามารถกลับมาเป็นน้ำที่ใสและคุณลักษณะของน้ำที่ดีขึ้น ไม่เป็นพิษต่อสภาพแวดล้อม

2.2.4 อันตรายของโอโซน

โอโซนจัดเป็นก๊าซพิษ การมีปริมาณโอโซนสูงมากกว่าปกติในบางพื้นที่ จะเป็นผลเสียต่อสุขภาพมากกว่าที่จะเป็นผลดี มีการกำหนดเกณฑ์ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ได้รับโดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.1 ppm (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) ในช่วงระยะเวลาของการทำงานนาน 8 ชั่วโมง อันตรายจากการได้รับโอโซนเป็นประจำอาจเป็นอันตรายต่อปอด โดยเฉพาะในวัยเด็กที่ปอดกำลังพัฒนา อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสืบพันธุ์และพันธุกรรม อาจเป็นอันตรายต่อเด็กในครรภ์ ทำให้เกิดโรคปอดกำเริบ เช่น กลีบปอดพองลมและโรคหลอดลมอักเสบ ทำให้ภูมิคุ้มกันในระบบหายใจลดลง อาการหอบหืดและโรคหัวใจกำเริบ ลดปริมาณลมหายใจ รวมทั้งทำให้ปริมาณของเหลวในปอดเพิ่มขึ้น ทำให้หายใจติดขัด เป็นต้น ถ้าโอโซนอยู่ในสภาพของเหลวที่มีความเข้มข้นสูงที่ผิวหนังหรือดวงตา อาจจะทำให้เกิดอาการระคายเคือง เกิดการไหม้อย่างรุนแรงและเกิดอาการปวดแสบปวดร้อนได้

2.3 การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีเทียบเท่า

สำหรับสารมลพิษทางอากาศในบรรยากาศทั่วไป มีวิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศตามมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งได้กำหนดวิธีการตรวจวัดโดยวิธีมาตรฐานและวิธีเทียบเท่า ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศวิธีการมาตรฐานและวิธีเทียบเท่า

สารมลพิษ	วิธีการมาตรฐาน	วิธีเทียบเท่า
1. ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	- Chemiluminescence	- Sodium – Arsenite - TGS – ANSA
2. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	- Pararosaniline	- UV-fluorescence
3. โอโซน (O_3)	- KI method	- UV photometric
4. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	- Non-Dispersive Infared Detection	-
5. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (TSP)	- Gravimetric High Volume	-
6. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM-10)	- Gravimetric High Volume	- Beta Ray - Tapered Element Oscillating Microbalance - Dichotomus

ที่มา : ศิวพันธุ์ (2549) , กรมควบคุมมลพิษ (2558)

จากประกาศกรมควบคุมมลพิษ (2550) ได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศสำหรับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง เท่ากับ 0.32 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตรวจวัดโดยวิธีเคมีลูมิเนสเซนส์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง เท่ากับ 0.78 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตรวจวัดโดยวิธีพาราโรซานิลีนและก๊าซโอโซน ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง เท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 8 ชม. ไม่เกิน 0.07 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตรวจวัดโดยวิธีเคมีลูมิเนสเซนส์ ซึ่งถือว่าวิธีที่กล่าวมานี้เป็นการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีพและนำไปทำการวิเคราะห์ต่อ

2.4 การเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพ

การเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อนำไปศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาหรือวิธีการป้องกันผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตนั้นมีด้วยกัน 2 แบบ คือการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีพ (Active Sampling) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปโดยใช้ปั๊มดูดอากาศใส่ถุงเก็บอากาศ ในกรณีที่มลสารมีปริมาณสูงหรืออาจจะเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์โดยดูดอากาศผ่านหลอดบรรจุสารดูดซับ (Absorption Tube) หรือหลอดแก้วบรรจุสารเคมีตัวดักจับก๊าซตัวอย่าง

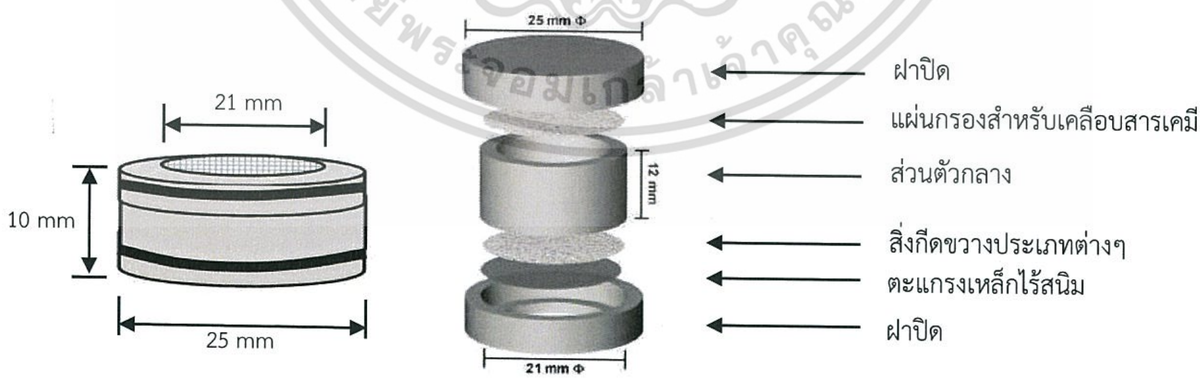
(Impregnated Filter) เป็นต้น ซึ่งวิธีการนี้มีข้อเสียคือการใช้ปั๊มดูดอากาศจำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้า เครื่องมือมีขนาดใหญ่ ราคาแพง ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ต่าง ๆ

อีกวิธีการหนึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพ (Passive Sampling) ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ต้องใช้ปั๊มดูดอากาศ หลักการทำงานโดยอาศัยหลักการแพร่ของโมเลกุลของมลสาร มลสารจะถูกจับบนกระดาษกรองที่อิ่มตัวด้วยสารเคมีที่มีความเฉพาะเจาะจงกับมลสารที่ต้องการตรวจวัด การแพร่ของโมเลกุลก๊าซเป็นไปตามกฎการแพร่ของฟิกด์ (Fick's law of distribution) (วนิดา, 2551) ข้อดีของการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพคือ อุปกรณ์มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูกและไม่ต้องใช้ไฟฟ้าทำให้สามารถนำไปติดตั้งเพื่อตรวจสอบได้ง่ายแม้ในสถานที่ที่ไม่มีไฟฟ้า โดยเรียกอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างมลสารด้วยวิธีนี้ว่า พาสสีพแซมเปลอร์ (Passive Sampler)

สำหรับเทคนิคพาสสีพแซมเปลอร์ได้มีการใช้ครั้งแรกโดย Palmes และ Gunison ในการตรวจวัดปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ ปี 1973 และในปีเดียวกัน Reiszner และ West ได้ใช้เทคนิคนี้ในการตรวจวัดปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ หลังจากนั้นก็มีผู้สนใจนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น การตรวจวัดโอโซน เบนซีน แอมโมเนียม ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นต้น เริ่มแรกเทคนิคนี้ใช้ในการตรวจวัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในอากาศเท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้ในการตรวจสารมลพิษที่ปนเปื้อนทั้งในน้ำและดิน

2.4.1 พาสสีพแซมเปลอร์

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างมลสารในอากาศชนิดนี้อาศัยหลักการทำงานอย่างง่าย โดยใช้กระดาษกรองชุบสารเคมีที่มีความเหมาะสมเพื่อดูดซับก๊าซไว้และมีตาข่าย (Screen) ที่ทำจากเหล็กไร้สนิมเพื่อกันฝุ่นและแมลง นอกจากนี้ยังสามารถลดการผันผวนของอากาศ (Turbulent) ได้อีกด้วย เนื่องจากตาข่ายมีขนาดตะแกรงที่ค่อนข้างละเอียดจึงทำหน้าที่ช่วยกรองอากาศที่ผ่านเข้ามา ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของพาสสีพแซมเปลอร์

ที่มา : เกรียงไกร (2546) อ้างถึง Ayers. *et al.* (1998)

ส่วนประกอบสำคัญของพาสสีพแซมเปลอร์มี 3 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างของพาสสีพแซมเปลอร์ เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ประกอบส่วนอื่นเข้าด้วยกัน ขนาดพื้นที่หน้าตัดและความยาวของส่วนที่ทำเป็นโครงสร้างในส่วนของการแพร่ของพาสสีพแซมเปลอร์มีผลต่ออัตราเก็บตัวอย่าง (Sampling Rate ,S) ของพาสสีพแซมเปลอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับสมการที่ 2.7

$$S = \frac{D \times A}{L} \qquad (2.7)$$

โดย S = อัตราการเก็บตัวอย่างอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

L = ความยาวของเส้นทางการแพร่ (Diffusion Path) ของพาสสีพแซมเปลอร์ (เมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของพาสสีพแซมเปลอร์ (ตารางเมตร)

D = สัมประสิทธ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) (ตารางเมตรต่อวินาที)

ดังนั้น พาสสีพแซมเปลอร์ที่มีรูปแบบที่แตกต่างกันจะมีอัตราการเก็บตัวอย่างและประสิทธิภาพในการตรวจวัดมลสารที่แตกต่างกัน สำหรับวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างพาสสีพแซมเปลอร์อาจทำจากโพลิเทนหรือพลาสติก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบของแต่ละบริษัทที่จัดทำขึ้นมา เรียกส่วนประกอบนี้ว่า คลาสเส็ต (Cassette) หรือแคสเคด (Cascade)

2. แผ่นที่ถูกดูดซับด้วยสารเคมีที่ใช้ในการดักจับมลสาร (Impregnated Absorbing Pad) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (Sample Filter) เป็นส่วนประกอบด้วยกระดาษกรองและสารเคมีที่ใช้ในการดูดจับมลสาร กระดาษกรองโดยทั่วไปมักใช้กระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter) เพราะทนต่อสารเคมี ส่วนสารเคมีที่ใช้ดักจับจะแตกต่างกันตามชนิดของมลสารที่ต้องการทำการตรวจวัด เช่น การตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ การตรวจวัดแอมโมเนียมใช้กรดซิตริก การตรวจวัดโอโซนใช้สารละลายโซเดียมไนไทรต์กับโซเดียมคาร์บอเนต นอกจากนี้การตรวจวัดมลสารชนิดหนึ่งอาจใช้สารเคมีดักจับหลายชนิด เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์อาจใช้ไตรเอทานอลามีน หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมไอโอไดด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพและปฏิกิริยาที่ใช้ในการดูดจับคล้ายกัน (วนิดา, 2551 อ้างถึง Hooper, 2001)

- กระดาษกรองในการดูดซับสารเคมี

กระดาษกรอง (Filter Paper) คือ กระดาษที่มีคุณสมบัติที่คัดเลือกอนุภาค หรือสิ่งเจือปนออกจากสารละลาย หรืออากาศโดยการวางแบบตั้งฉากกับทิศทางการไหลของสารละลายที่ต้องการกรอง กระดาษกรองมีขนาดของช่องว่างแตกต่างกันไปหลายขนาดด้วยกัน การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะงานแต่

ละชนิด คุณสมบัติที่สำคัญของกระดาษกรองประกอบด้วย ความคงทนเมื่อเปียก ขนาดของช่องว่าง ความสามารถในการกรองอนุภาค อัตราการไหลของสารที่ต้องการกรอง ประสิทธิภาพและความจุ

กลไกที่สำคัญในการกรองด้วยกระดาษกรองจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ ปริมาตร (Volume) และผิว (Surface) โดยแบบปริมาตร อนุภาคจะถูกดักไว้ชั้นในหรือในตัวของกระดาษกรอง ส่วนแบบผิว อนุภาคจะถูกดักไว้ที่ผิวของกระดาษกรอง สำหรับกระดาษกรองที่ใช้ในห้องปฏิบัติการก็มีมากมายหลายแบบ แบบจำเพาะกับงานและแบบที่ใช้ทั่วไป วัสดุที่นำมาใช้ทำกระดาษกรอง เช่น เส้นใยจากไม้ คาร์บอน หรือเส้นใยแก้วควอทซ์ กระดาษกรองใยแก้วของ Whatman (ชนิด GF/A และ GF/C) ตัดเป็นรูปวงกลม ดังรูปที่ 2.2 โดยใช้กระดาษกรองร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการกรอง คือ กรวยกรองหรือกรวยบุชเนอร์

กระดาษกรองเกรด GF/A มีการเก็บรักษาอนุภาคได้ดีและอัตราการไหลสูงเช่นเดียวกับกำลังโหลดความจุที่ดี มีประสิทธิภาพการกรองสูงในห้องปฏิบัติการหรือใช้กรองได้อย่างอเนกประสงค์ รวมทั้งการตรวจสอบมลพิษทางน้ำของน้ำเสีย สำหรับการกรองน้ำที่มีสาหร่าย แบคทีเรีย อาหาร หรือโปรตีน ควรศึกษากราวิเมทริก (Gravimetric) ของอนุภาคในอากาศในกรณีที่มีการเก็บตัวอย่างในปริมาณและลักษณะการดูดซึมของมลพิษทางอากาศ มีคุณสมบัติดังนี้

- เหมาะกับการใช้งานที่หลากหลายในการกรองอนุภาคจากของเหลวและอนุภาคในอากาศ
- สามารถกรองอนุภาคที่มีขนาด 1.6 ไมครอน
- มีอัตราในการกรองที่ค่อนข้างเร็ว

กระดาษกรองเกรด GF/C มีความจุในการเก็บรักษาอนุภาคสูงและมีอัตราในการกรองที่รวดเร็วเหมาะสำหรับการวิเคราะห์อนุภาคที่มีความวาวและอนุภาคของแข็งแขวนลอย มีคุณสมบัติดังนี้

- มีความจุในการกรองอนุภาคสูง
- กระดาษกรองมีความเหนียวและทนความชื้นได้สูง
- มีความเร็วในการกรองอนุภาคปานกลาง
- สามารถกรองอนุภาคที่มีขนาด 1.2 ไมครอน

รูปที่ 2.2 กระดาษกรองชนิด GF/A และ GF/C

3. ส่วนกั้นการแพร่ (Diffusion Barrier) เป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการกักเก็บปริมาตรอากาศภายในพาสสีพแซมเปลอร์ช่วยในการควบคุมอัตราการเก็บตัวอย่างให้คงที่ และเป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการป้องกันแมลงและฝุ่นละออง ซึ่งวัสดุที่ใช้อาจจะแตกต่างกันไปในแต่ละบริษัท เช่น อาจใช้ตะแกรงสแตนเลส (Stainless Steel Mesh) และแผ่นเมมเบรนเทฟลอน (Teflon Membrane Filter) หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง เป็นต้น

2.4.2 ประเภทของพาสสีพแซมเปลอร์

พาสสีพแซมเปลอร์สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆตามมลสารที่ตรวจวัด เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S), สารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), สารประกอบซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x), โอโซน (O_3), แอมโมเนีย (NH_3) และกรดอินทรีย์ (Organic acid) เป็นต้น มลสารที่แตกต่างกันก็จะถูกจับด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันและมีวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารเคมีที่ใช้ในการจับสารมลพิษและวิธีการวิเคราะห์

มลสาร	สารเคมีที่ใช้ดักจับสารมลพิษ	วิธีการวิเคราะห์
SO_2	1.0×10^{-2} mol/L Na_2CO_3	Ion Chromatography
O_3	1.5×10^{-1} mol/L $NaNO_2$/ 2.0×10^{-2} mol/L Na_2CO_3/ 1.0 mol/L Glycerol	Ion Chromatography
NO_2	5.0×10^{-1} mol/L KI/ 2.0×10^{-1} mol/L KOH in methanol	Molecular spectrophotometry UV-VIS
H_2S	5.5×10^{-1} mol/L Zinc acetate/ 1.0×10^{-1} mol/L NaOH/ 1.0×10^{-2} mol/L trisodium citrate	Molecular spectrophotometry UV-VIS

ที่มา : Compos. *et al.* (2010)

ศิวพันธุ์ (2553) อ้างถึง Chang (2008) ได้สรุปวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการแบบพาสสีพ ไว้ดังนี้

1. Palmes Tubes : ผลิตโดย Palmes และคณะ เมื่อปี 1976 เหมาะสำหรับเก็บตัวอย่างในระยะเวลานาน เช่น 1 สัปดาห์ สามารถเก็บตัวอย่างได้ทั้งภายนอกและภายในอาคาร แต่ไม่เหมาะในการเก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคล ดังรูปที่ 2.3 ภาพ ก)

2. Gradko Sampler : เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตเพื่อการค้า ดังรูปที่ 2.3 ภาพ ข) สามารถเก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคลได้ ทำการผลิตโดยสอบเทียบความถูกต้องโดยการเทียบกับผลที่ได้จากวิธี Chemiluminescence สามารถตรวจวัดได้ถึง 0.5 ppb

3. Passam Ag Sampler : เป็นการออกแบบโดยใช้ท่อโพลีโพรไพลีน ดังรูปที่ 2.3 ภาพ ค) สามารถเก็บตัวอย่างได้ทั้งระยะสั้น (8 – 48 ชั่วโมง) และระยะยาว (1 – 4 สัปดาห์)

4. Analyst ™ : พัฒนาโดย Italian National Research Council ในปี 2000 โดยอาศัยพื้นฐานของ Plames Tubes โครงสร้างเป็นท่อแก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.3 ภาพ ง) สามารถใช้เก็บตัวอย่างและสกัดสารได้ เหมาะสำหรับเก็บตัวอย่างนานเป็นเดือนทั้งภายในและภายนอกอาคาร

5. Filter Badges : ปรับปรุงและพัฒนาโดย Yanagisawa และ Nishimusa ในปี 1982 โดยเป็นจาก Palmes Tube เป็น Badge ดังรูปที่ 2.3 ภาพ จ) สามารถเก็บตัวอย่างในระยะเวลา 1 วัน ส่วนใหญ่ใช้เก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคลและภายในอาคาร

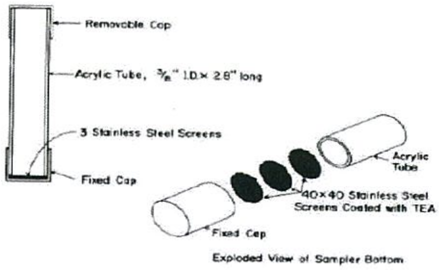
6. Ogawa Passive Sampler : พัฒนาโดย Ogawa โดยให้ Badge 2 แผ่นประกบกัน ดังรูปที่ 2.3 ภาพ ฉ) ใช้อย่างแพร่หลายในการเก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคลและสามารถใช้เก็บตัวอย่างได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

7. IVL Sampler : พัฒนาโดย Swedish Environmental Research Institute ในปี 1980 ออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงผลของความเร็วลม เหมาะสำหรับเก็บตัวอย่างในอาคาร สามารถเก็บตัวอย่างได้ดีในระยะเวลานาน 1 เดือน หรือ 2 สัปดาห์ ดังรูปที่ 2.3 ภาพ ช)

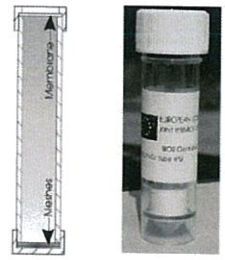
8. Willems Badges : พัฒนาโดยมหาวิทยาลัย Wageningen ประเทศเนเธอร์แลนด์ ดังรูปที่ 2.3 ภาพ ซ) ใช้เก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคลในระยะเวลาสั้น 1 และ 8 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างในบรรยากาศในระยะเวลา 48 ชั่วโมง

9. Radiello : พัฒนาโดยบริษัทในประเทศอิตาลี โดยอาศัยการแพร่ในแนวดิ่งมากกว่าการแพร่ในแนวนอน ภายในท่อขนาดเล็กที่ภายในบรรจุสารดูดซับไว้ มีน้ำหนักน้อยกว่า 15 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลางคือ 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.3 ภาพ ฌ) เหมาะสำหรับในการเก็บตัวอย่างใน ระยะเวลานาน 2 วัน ทั้งที่ตัวบุคคล ภายในและภายนอกอาคาร

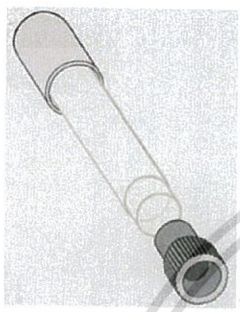
10. EMD Sampler : เป็นรูปแบบที่พัฒนาใหม่สุด ในปี 2006 โดย Ecole des Mines de Bouai (EMD) ภายในอุปกรณ์ประกอบด้วยแผ่นที่มีรูพรุนและเคลือบด้วย TEA ซึ่งบรรจุอยู่ในกล่อง สามารถนำไปใช้เก็บตัวอย่างได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 2.3 ภาพ ญ)



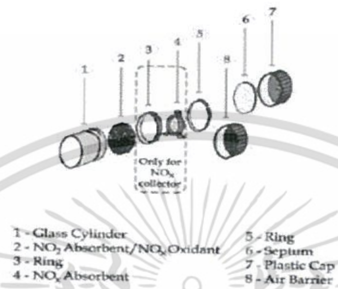
ก) แบบ Plames tubes



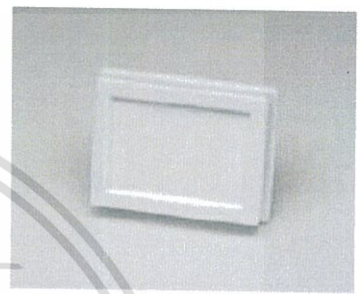
ข) แบบ Gradko Sampler



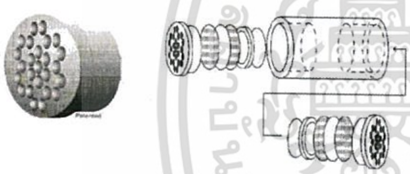
ค) แบบ Passam Ag Sampler



ง) แบบ Analyst ™

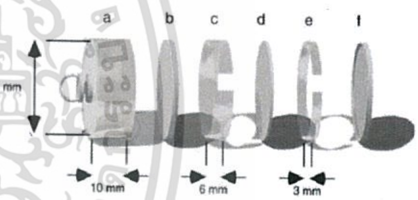


จ) แบบ Filter Badges

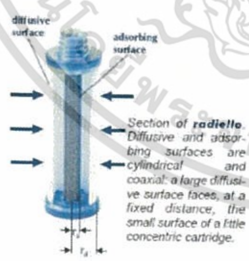


ฉ) แบบ Ogawa Passive

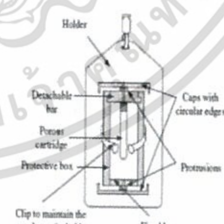
ช) แบบ IVL Sampler



ซ) แบบ Willems Badges



ฌ) แบบ Radiello



ญ) แบบ EMD Sampler

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างอุปกรณ์แบบพาสสีพ

ที่มา : ศิวพันธุ์ (2553) อ้างถึง Chang (2008)

กรมควบคุมมลพิษ (2547) กล่าวถึงวิธีการตรวจวัดก๊าซโดยใช้ Passive Sampler เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในต่างประเทศ โดยนิยมใช้ตรวจวัดโอโซนบริเวณป่าไม้หรืออุทยานแห่งชาติ ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า การใช้วิธีตรวจวัดแบบต่อเนื่อง สำหรับความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีตรวจวัดแบบต่อเนื่องแล้ว พบว่าสามารถตรวจวัดค่าได้ใกล้เคียงกัน สารมลพิษที่ต้องการตรวจวัดในอากาศถูกดูดซึมไว้ใน Filter ที่เคลือบสารเคมีที่ไวต่อสารมลพิษแต่ละชนิด โดยใช้หลักการแพร่กระจาย

อุปกรณ์แบบพาสสีพแสดงดังรูปที่ 2.4 ภาพ ก) ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดพลาสติก Teflon ปลายเปิดทั้ง 2 ข้าง ขนาดยาว 3 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 2 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 1.4 เซนติเมตร โดยแต่ละข้างประกอบด้วยกระดาษใยแก้ว (Glass Fiber) ที่มีการเคลือบสารเคมีที่จะทำปฏิกิริยากับสารมลพิษที่ต้องการตรวจวัด ในการติดตั้งนั้นจะทำการติดตั้งสูงจากพื้นดิน 1.5 –2 เมตร ดังรูปที่ 2.4 ข) ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ถึง 1 เดือนก็ได้ เมื่อครบเวลานำมาเติมสารละลายลงไปเพื่อชะล้างหรือทำปฏิกิริยากับมลพิษ แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อโดยอาจใช้เครื่อง GC เครื่อง GC/MS หรือเครื่อง Spectrophotometer ค่าที่วิเคราะห์ได้จะมีหน่วยเป็นค่าเฉลี่ยพีพีบีหรือพีพีเอ็มต่อหนึ่งหน่วยเวลา

ก) รูปแบบของอุปกรณ์แบบพาสสีพ

ข) การติดตั้งอุปกรณ์แบบพาสสีพเพื่อตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศ

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างอุปกรณ์พาสสีพ

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2547)

กรมควบคุมมลพิษ (2547) ได้ประเมินงบประมาณในการเก็บตัวอย่าง โดยอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง Passive Sampler มีราคาเริ่มต้นประมาณ 4,000 บาท ส่วนการตรวจวัดในครั้งต่อไปสามารถเปลี่ยนแผ่น Filter ได้ โดยราคาประมาณ 4,000 บาท ต่อ 40 แผ่น นอกจากนี้ยังต้องมีการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการซึ่งอาจมีค่า 2,000 – 4,000 บาทต่อตัวอย่าง

2.5 การแปลงข้อมูลผลการวิจัยโดยวิธีทางสถิติ

เนื่องด้วยในปัจจุบันมีผลงานการวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์หลากหลายด้าน และจำนวนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ ก่อให้เกิดความรู้และเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่อสังคม สามารถนำมาปรับปรุงแก้ไขปัญหาต่าง ๆ จนกระทั่งสามารถเป็นส่วนหนึ่งในการนำมาพัฒนาประเทศได้ ซึ่งการที่งานวิจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะได้รับการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ออกมานั้น ต้องมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ (ทรงพล, 2555) มีวิธีการดำเนินการได้หลากหลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีหนึ่งที่มีการยอมรับและน่าเชื่อถือเป็นอย่างมาก คือ การวิจัยที่อาศัยข้อมูลทางสถิติ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการหาข้อสรุปและการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล ประกอบกับการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ และวิธีดังกล่าวเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในวงการวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ทุกสาขา วิธีการทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ มีขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอน คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection) การประมวลผลและการนำเสนอข้อมูล (Data Processing and Presentation) การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) และการตีความหมายข้อมูล (Data Interpretation)

หลังจากการรวบรวมข้อมูลและการประมวลผลข้อมูล ขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งนั้นก็คือการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผู้วิจัยจะต้องทราบว่างานของผู้วิจัยมีข้อมูลลักษณะอย่างไรและต้องการสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบไหน เพื่อที่จะได้เลือกใช้วิธีทางสถิติที่ถูกต้องและเหมาะสมในงานวิจัย โดยทั่วไปจะมุ่งศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวิธีการทดลองหรือทรีทเมนต์ (Treatment) ที่ให้กับหน่วยทดลอง (Experiment Unit) ว่ามีอิทธิพลต่างกันหรือไม่ ซึ่งผู้วิจัยจะต้องมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยอย่างชัดเจนและต้องมีความเข้าใจในเรื่องการศึกษา และต้องมีการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพได้เป็นอย่างดี ในการศึกษาเพื่อทดสอบค่าเฉลี่ยประชากรของแต่ละทรีทเมนต์มีค่าเท่ากันหรือไม่หรือทดสอบอิทธิพลของ ทรีทเมนต์มีนัยสำคัญหรือไม่นั้น มีข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่มมาจากประชากรเดียวกันที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยศูนย์และความแปรปรวนเท่ากันในทุกทรีทเมนต์ และแต่ละตัวก็เป็นอิสระซึ่งกันและกัน หากพบว่าข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นและทดสอบด้วยวิธีการทางสถิติ จะทำให้ประสิทธิภาพของการทดสอบลดลง นำไปสู่การสรุปผลการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดและขาดความน่าเชื่อถือ วิธีการแก้ปัญหาในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติและความแปรปรวนมีค่าไม่เท่ากัน นั้นก็คือ การแปลงข้อมูล (Data Transformation) เพื่อให้ข้อมูลที่เรามีนั้นแปลงไปตามข้อตกลงเบื้องต้น การแปลงข้อมูลกระทำได้ดังนี้

1) การแปลงโดยใช้รากที่สอง (Square Root Transformation) ถ้าข้อมูลมีความแปรปรวน (σ_i^2) และค่าเฉลี่ย (μ_i) เป็นสัดส่วนกัน นั่นคือ $\sigma_i^2 = k\mu_i$ จะทำให้ความแปรปรวนไม่เป็นอิสระจากค่าเฉลี่ย การแปลงข้อมูล ดังสมการ 2.8

$$y_{ij}^{*} = \sqrt{y_{ij}} \qquad (2.8)$$

เมื่อ y_{ij} คือ ค่าสังเกตเดิม และ k คือ ค่าคงที่

2) การแปลงโดยใช้ลอการิทึม (Logarithmic transformation) ถ้าข้อมูลมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_i) และค่าเฉลี่ยเป็นสัดส่วนกัน นั่นคือ $\sigma_i = k\mu_i$ การแปลงข้อมูล ดังสมการ 2.9

$$y_{ij}^{*} = \log(y_{ij}) \qquad (2.9)$$

3) การแปลงโดยใช้รากที่สองของการกลับเศษส่วน (Reciprocal square root transformation) ถ้าข้อมูลมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยยกกำ ลังสามส่วนสองเป็นสัดส่วนกัน นั่นคือ $\sigma_i = k\mu_i^{3/2}$ การแปลงข้อมูล ดังสมการ 2.10

$$y_{ij}^{*} = \frac{1}{\sqrt{y_{ij}}} \qquad (2.10)$$

4) การแปลงโดยใช้เศษส่วน (Reciprocal transformation)ถ้าข้อมูลมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยยกกำลังสองเป็นสัดส่วนกัน นั่นคือ $\sigma_i = k\mu_i^2$ การแปลงข้อมูล ดังสมการ 2.11

$$y_{ij}^{*} = \frac{1}{\sqrt{y_{ij}}} \qquad (2.11)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรองแก้ว (2548) ทำการศึกษาอุปกรณ์พาสสีพในการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ โดยทำการวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์แบบพาสสีพ การเก็บรักษาและทดสอบการใช้งานในบรรยากาศทั่วไปและในการเฝ้าระวังการสัมผัสส่วนบุคคล สารเคมีที่เหมาะสมในการเคลือบแผ่นกรอง คือ สารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมไอโอไดด์ในเมธานอล โดยใช้แผ่นกรองใยแก้วเป็นสิ่งกีดขวางฝุ่นหรือสารมลพิษอื่น ๆ สามารถตรวจวัดสารมลพิษที่ถูกดักจับไว้บนแผ่นกรองในรูปไนไทรต์ด้วยวิธียูวีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ อุปกรณ์พาสสีพมีอายุการใช้งานได้ดีภายใน 1 เดือนโดยสามารถเก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิปกติ จากการทดลองการใช้งานอุปกรณ์พาสสีพจากการเปรียบเทียบวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แบบแอคทีพภายในอาคารได้ผลสอดคล้องกันอย่างดีเมื่อใช้เวลาสัมผัส 290 และ 360 นาที ผลจากการนำอุปกรณ์พาสสีพที่ผลิตตามวิธีที่เหมาะสมไปวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เทียบกับการตรวจวัดโดยวิธีเคมิลูมิเนสเซนต์ในบรรยากาศทั่วไป ณ บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะแห่งชาติ และรามคำแหงของกรมควบคุมมลพิษโดยสัมผัสตัวอย่างอากาศ 24 ชั่วโมง รวม 14 วัน พบว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะแห่งชาติ ($y = 1.2035x - 0.3291$, $R^2 = 0.6477$) ส่วนความสัมพันธ์ ณ สถานีตรวจวัดรามคำแหงพบว่ามีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย ($y = 0.59x + 9.8699$, $R^2 = 0.6016$) ทั้งนี้เนื่องมาจากการตรวจวัดจริงใน

ภาคสนามมีปัจจัยอื่น ๆ ส่งผลต่อการดูดซับสารมลพิษบนอุปกรณ์พาสสีพ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ เมื่อวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่บุคคลกลุ่มตัวอย่างรับสัมผัสด้วยวิธีพาสสีพในช่วง 5 วันต่อเนื่อง สามารถนำมาใช้งานได้ดีเพราะมีขนาดเล็ก และไม่รบกวนกิจกรรมปกติของกลุ่มตัวอย่าง

วรางคณา (2554) ศึกษาการนำเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบพาสสีพมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และโอโซน (O_3) ในอากาศ โดยทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพชนิดหลอด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการหาปริมาณก๊าซซึ่งเป็นสารมลพิษ โดยเปรียบเทียบชนิดของหลอดแพร่กระจาย ตัวดูดซับ และสารเคมีที่ใช้ในการดูดซับ นอกจากนี้ได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดตัวอย่างและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของ 2 เทคนิค คือ เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี และสเปกโตรเมทรี ส่วนความน่าเชื่อถือของการพัฒนาวิธีทำ โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าจากเครื่องตรวจวัดแบบแอคทีพของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมควบคุมมลพิษ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่แบบพาสสีพประกอบด้วยหลอดโพลีเอทีลีนซึ่งมีตัวดูดซับเป็นกระดาษกรองยี่ห้อ whatman (GF/A) และทำการติดตั้งอุปกรณ์ในวัตถุกำบังเพื่อลดผลกระทบจากสภาพอุตุนิยมวิทยา สิ่งที่ควรระวังในการวางตัวอย่างเพื่อตรวจวัดโอโซน คือ ต้องหุ้มหลอดแพร่กระจายด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อลดผลกระทบจากแสง สารเคมีที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์โอโซนด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี คือสารละลายผสมของโซเดียมไนไทรต์ โซเดียมไบคาร์บอเนตและเอทิลีนไกลคอล สำหรับสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับใช้ดูดซับโอโซนในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี คือ สารละลาย 1,2-ได-(เตตระไพริดิล)เอทิลีนใน เมทานอล ในการศึกษาเพื่อทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการวางตัวอย่างเพื่อตรวจวัดปริมาณโอโซน พบว่าระยะเวลา 24 ชั่วโมงเพียงพอที่จะตรวจวัดก๊าซได้ และในการวิเคราะห์โอโซนพบว่าความเข้มข้นที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการตรวจวัดแบบแอคทีพ โดยที่ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟีให้ทั้งค่าสูงและค่าต่ำกว่าค่าจากเครื่องตรวจวัดแบบแอคทีพ (ความแตกต่างน้อยกว่าร้อยละ 21.1) ในขณะที่ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรีนั้น มีเฉพาะค่าที่ต่ำกว่าค่าจากเครื่องตรวจวัดแบบแอคทีพ โดยค่าที่แตกต่างอยู่ในช่วงร้อยละ 13.00 - 40.00 สรุปได้ว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำมาประยุกต์เพื่อวิเคราะห์หาสารมลพิษทางอากาศได้

สุนทรี (2555) ทำการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดสัมพันธ์กับวิธีการตรวจวัดแบบแอคทีพแซมเปลอร์ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ชนิดของกระดาษดูดซับสารเคมี จำนวนด้านที่อากาศไหลเข้า อัตราส่วนระหว่างพื้นที่อากาศไหลเข้าต่อพื้นที่หน้าตัดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง และการใส่ตาข่ายเพื่อลดความปั่นป่วนของกระแสอากาศ ผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่เหมาะสมที่จะพัฒนาของกระแสอากาศจากนั้นเป็นอุปกรณ์พาสสีพแซมเปลอร์ต้นแบบ ได้แก่ การใช้กระดาษกรอง GF/A เป็นกระดาษดูดซับสารเคมี การเจาะรูตลับพลาสติกให้อากาศไหลเข้า – ออก 2 ด้าน อัตราส่วนพื้นที่อากาศไหลเข้าต่อ

พื้นที่หน้าตัดที่ทำปฏิกิริยาเท่ากับ 0.94 : 1 และไม่ใช่ตาข่ายลดความปั่นป่วนของกระแสอากาศ จากนั้นขั้นตอนที่ 2 เป็นการนำพาสซีพแซมเปลอร์นี้ไปตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เปรียบเทียบกับวิธีการมาตรฐานเคมีลูมิเนสเซนต์ของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 2 สถานี ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมประชาสัมพันธ์ กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นตัวแทนบริเวณที่มีความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สูง และสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมวิศวกรรมการแพทย์ที่ 1 จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นตัวแทนบริเวณที่มีความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ต่ำ ซึ่งได้ทำการทดลองในฤดูฝนระหว่างวันที่ 29 กันยายน – 7 พฤศจิกายน 2554 และฤดูแล้งระหว่างวันที่ 17 มกราคม – 25 กุมภาพันธ์ 2555 ผลการทดลองของฤดูฝนและฤดูแล้งพบว่าสถานีกรมประชาสัมพันธ์ กรุงเทพมหานคร ความเข้มข้นซึ่งวัดด้วยพาสซีพแซมเปลอร์และวิธีมาตรฐานเคมิลูมิเนสเซนต์มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ (α = 0.05) ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.834 และ 0.855 ตามลำดับ ส่วนสถานีกรมวิศวกรรมการแพทย์ที่ 1 ราชบุรี มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ (α = 0.05) ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.940 และ 0.778)

Scheeren and Adema (1996) การศึกษาการตรวจวัดก๊าซโอโซนด้วยวิธีการแบบพาสสีพ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีราคาถูก มีความถูกต้องและไวต่อการได้รับสัมผัส โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับสาร Indigo Carmine ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสีที่สามารถวิเคราะห์ด้วยการดูดกลืนแสงหลังจากการได้รับสัมผัส ทำการเก็บตัวอย่างโดยหยดสารเคลือบลงบนกระดาษกรองใยแก้วแล้วนำไปประกอบกับตัวอุปกรณ์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์พาสสีพแบบแผ่นทำจาก polystyrene ตัวกรองเทฟลอนเมมเบรนทำหน้าที่กรองอากาศที่แพร่เข้ามา จากการทดลองในช่องลมพบว่ามีความเข้มข้นในความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดี ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้อยู่ที่ 23 ppb สำหรับการตรวจวัด 1 ชั่วโมง การทดสอบกับสารรบกวน เช่น peroxyacetyl nitrate และ NO_2 ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสภาพแวดล้อมโดยทั่วไป ไม่มีผลกระทบจากความชื้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน 20 – 80% อัตราการดูดซึมของตัวอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับความเร็วลม โดยทั่วไปแล้วความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.5 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้แน่ใจว่าอัตราการจัดเก็บโอโซนนั้นมีความเสถียร จึงจำเป็นต้องวัดควาเร็วลมระหว่างที่รับสัมผัสหรือการวางตัวอย่างในที่ที่มีกระแสลมเพียงเล็กน้อย วิธีนี้เหมาะสำหรับการตรวจวัดเป็นรายชั่วโมงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยรายวันของโอโซนในบรรยากาศ โดยมีค่าความถูกต้อง 11 ± 9% (การทดลอง 40 ครั้ง) เมื่อเทียบกับการตรวจวัดความเข้มข้นของการดูดกลืนแสงอย่างต่อเนื่อง

Zhou and Smith (1997) ทำศึกษาการตรวจวัดก๊าซโอโซนด้วยอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างแบบพาสสีพชนิดแผ่น และทำการศึกษาสารดักจับที่มีผลต่อการตรวจวัด โดยสารดักจับหรือสารเคลือบที่นำมาศึกษามี 4 ชนิด คือโซเดียมไนไทรต์ ($NaNO_2$), 3 - methyl-2 - benzothiazolinon hydrazinehydrochloride (3-MBTH), พาราอซีอมิโนฟีนอล (p-acetamidophenol, P-ATP) และอินดีโก้คาร์มีน (Indigo carmine) จากการทดลองการรับสัมผัสกับอากาศในแชมเบอร์นั้น สารเคลือบที่

หยดลงไปในตัวพาสสีพแสดงความสัมพันธ์ของการตอบสนองเชิงเส้นและมีความไวต่อการตรวจวัดมีเพียง 2 ชนิด คือ $NaNO_2$ และ MBTH แต่ในขณะเดียวกันเมื่อทำการตรวจวัดออกมาจะได้ค่าที่มีความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นของบรรยากาศรอบนอกหรือสถานที่บรรยากาศจริง ในการตรวจวัดด้วยสาร $NaNO_2$ และ MBTH โดยใช้อุปกรณ์ที่เป็นการแพร่เพียงชั้นเดียว จะให้ความเข้มข้นของโอโซนที่มากอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนใหญ่แล้วในการตรวจวัดโดยการแพร่แบบหลายๆ ชั้น จะนิยมใช้ $NaNO_2$ เพื่อป้องกันผลกระทบจากลม แต่แทบจะไม่มีผลต่อการตรวจวัด สำหรับสารดูดซึมของ MBTH จะเกิดการรบกวนหากพบการปนเปื้อนของ NO_2 ดังนั้นได้ข้อสรุปว่า การใช้ $NaNO_2$ เป็นสารเคลือบควบคู่กับการตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์ที่มีการแพร่หลายๆ ชั้น จะสามารถตรวจวัดโอโซนในบรรยากาศได้ดีและมีความถูกต้องที่ ±16

Santis. *et al.* (2001) ทำการศึกษาการตรวจวัดก๊าซโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยอาศัยการแพร่ผ่านของก๊าซในระดับความเข้มข้นส่วนในพันล้านส่วน (ppb) ในการตรวจวัดโอโซนใช้สารไนไทรต์ ขณะที่การตรวจวัดไนโตรเจนออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ใช้ถ่านกัมมันต์เคลือบกับโซเดียมคาร์บอเนต ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของไนเทรต และไนไทรต์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามลำดับ จากการทดลองจะได้สมการเส้นตรงของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เท่ากับ y= 1.0063x และไนโตรเจนออกไซด์เท่ากับ y= 1.0203x ความลาดชันของสมการถดถอยเชิงเส้นตรงมีค่า 1.01, 1.02 ตามลำดับ เปอร์เซ็นท์ความผิดพลาดสัมพันธ์จะมากกว่า ± 15% และค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร ของไนโตรเจนไดออกไซด์ , ไนโตรเจนออกไซด์และไนโตรเจนมอนนอกไซด์เท่ากับ 3% , 4% , 10% ตามลำดับ การใช้หลอดที่อาศัยการแพร่ผ่านของก๊าซมีข้อดีคือ มีค่าใช้จ่ายต่ำ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกในการทำแผนที่การกระจายเชิงพื้นที่และทำการตรวจสอบแนวโน้มความเข้มข้นของโอโซนและออกไซด์ของไนโตรเจนในระยะยาว วิธีการตรวจวัดนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการประเมินความเข้มข้นในระยะยาว เช่น การหาค่าเฉลี่ยรายปีของไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยพื้นที่ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจะเป็นพื้นที่บริเวณในเมือง การตรวจวัดความเข้มข้นของโอโซนกับไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบผลกระทบทางระบบนิเวศได้

Helaleh. *et al.* (2002) ทำการศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ เพื่อใช้สำหรับการตรวจวัดก๊าซโอโซน และนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาสารมลพิษในอากาศสำหรับภายในอาคาร และภายนอกอาคาร ทำการทดลองโดยใช้กระดาษกรองใยแก้วที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ประกอบด้วย $NaNO_2$, Na_2CO_3 และ ethylene glycol ผลจากลมที่พัดมากระทบและการวางตัวอย่างในพื้นที่ที่แตกต่างกันทำให้ก๊าซโอโซนเกิดการแพร่ผ่านกระดาษกรอง โดย NO_2^- ที่อยู่บนกระดาษกรองจะทำปฏิกิริยากับ O_3 โดย O_3 จะออกซิไดซ์ NO_2^- เกิดเป็น NO_3^- จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ion Chromatography ผลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการเก็บตัวอย่างในพื้นที่จริงโดยเก็บในช่วงเวลาเดียวกันให้ความสัมพันธ์

ที่ดีเยี่ยม ระหว่างวิธีการเก็บแบบพาสสีพกับการตรวจวัดโอโซนด้วยวิธีมาตรฐาน ตัวแปรที่ต้องกำหนดเนื่องจากมีพัดลม คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (30 – 80%), อุณหภูมิ (10 – 20°C) และความเร็วลม (0.5 – 1.5 เมตร) ที่ความเข้มข้นของโอโซนปกติ (1- 40 ppb) ตัวแปรข้างต้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่าง ขีดจำกัดความเข้มข้นต่ำสุดของโอโซนสำหรับการตรวจวัดทั้งภายในและภายนอกอาคารอยู่ที่ 0.1 ppb การเปรียบเทียบทางสถิติกับวิธีอ้างอิง ทำการทดลองโดยตรวจวัดภายในอาคาร ความถูกต้องของวิธีที่แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเมื่อเทียบกับวิธีอ้างอิงมาตรฐาน พบว่าดีกว่าถึง ± 3.5% ความคลาดเคลื่อนของวิธีมาตรฐานนของวิธีการเก็บตัวอย่างโอโซนแบบพาสสีพมี %RSD อยู่ที่ 2.0 – 6.0%

Campos. *et al.* (2010) ศึกษาการตรวจวัดสารมลพิษในอากาศเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการจัดการด้านมลภาวะทางอากาศที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยของชุมชนในแต่ละพื้นที่ การแก้ไขปัญหาในระยะยาวจำเป็นต้องมีการตรวจวัดสารมลพิษอย่างต่อเนื่อง เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไนโตรเจนไดออกไซด์, ไฮโดรเจนซัลไฟด์และโอโซน การใช้เครื่องมือหรือการตรวจวัดแบบดั้งเดิมมีขีดจำกัดในกรณีที่สถานที่ตรวจวัดอยู่ไกลหรือไม่มีแหล่งพลังงานไฟฟ้า การศึกษาการแพร่กระจายของสารมลพิษด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระดับภูมิภาคหรือพื้นที่ขนาดใหญ่ จึงใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแบบพาสสีพเพื่อติดตามสถานการณ์สารมลพิษดังกล่าว ที่มีการใช้สารเคลือบที่จำเพาะต่อการดูดซับสารมลพิษและสามารถใช้ในพื้นที่ป่าที่อยู่ห่างไกล พื้นที่เมือง หรือบริเวณใกล้มหาสมุทร พื้นที่อุตสาหกรรม ผู้วิจัยความแม่นยำของการวัดขึ้นอยู่กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งจะอยู่ในช่วง ±25% ตามที่ยุโรปยูเนียนกำหนดสำหรับชนิดของอุปกรณ์ และความถูกต้องภายใต้ค่าสูงสุด 20% การอ้างอิงจากหนังสือกับการเปลี่ยนแปลงจาก 2-16 % ในกรณีนี้ อุปกรณ์พาสสีพมีความสามารถในการวัดความเข้มข้นต่ำมากบริเวณป่า (0.58± 0.05 μg m^{-3} SO_2 และ1.10±0.07 μg m^{-3} NO_2) และพบความเข้มข้นสูงในบริเวณพื้นที่อุตสาหกรรม (20.0±1.3 μg m^{-3} SO_2 21.0±1.3 μgm^{-3} NO_2)

Bari. *et al.* (2015) การประเมินผลการปฏิบัติงานด้านการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพได้ดำเนินการสำหรับความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซโอโซนที่ระดับพื้น เป็นการตรวจวัดตัวอย่างอากาศโดยรอบสถานที่ทำงานอย่างต่อเนื่องในอัลเบอร์ตา ประเทศแคนนาดา ทั้งแบบรายเดือนและรายชั่วโมง ระยะเวลามากกว่า 5 ปี ความเข้มข้นของรายเดือนมีความสัมพันธ์ที่ระดับต่ำ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซโอโซน อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1 - 3.9, 0.2 - 18.1 และ 10.1 - 56.1 ppb ตามลำดับ และมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 17.9%, 14.8%, 4.7% ตามลำดับ ความผิดพลาดสัมพันธ์เฉลี่ยของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับ 30% (เฉลี่ยเท่ากับ 33% และช่วงห่างระหว่างควอร์ไทล์ (IQR) ที่หนึ่งและควอร์ไทล์ที่สามเท่ากับ 15 - 63%), ไนโตรเจนไดออกไซด์เท่ากับ 32% (เฉลี่ยเท่ากับ 40%, IQR เท่ากับ 25 - 64%) ส่วนโอโซนที่ตรวจวัดจะมีความถูกต้องและความผิดพลาดน้อยกว่า ได้ค่าเฉลี่ยสัมพันธ์ 12% (เฉลี่ยเท่ากับ 17%, IQR เท่ากับ 8 - 27%) และอยู่

ในระดับที่ยอมรับได้ของสถาบันความปลอดภัยและสุขภาพของสหรัฐอเมริกา (NIOSH) และข้อกำหนด ± 25% ของสหภาพยุโรป (EU) จากการวิเคราะห์หลักๆ โดยคิดเพื่อลดความผิดพลาด เป็นการแสดงให้เห็นของอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างพาสสีพของ Maxxam ในภาคสนาม เป็นค่าที่ประเมินได้คือความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน สูงกว่าความเป็นจริง แต่กรณีของไนโตรเจนไดออกไซด์ พบว่าค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีฟต่ำกว่าความเป็นจริง จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างต่อเนื่อง ฤดูกาลมีผลต่อการตรวจวัดโดย การตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยอุปกรณ์พาสสีพในฤดูหนาวได้ผลไม่ค่อยถูกต้อง แต่กรณีก๊าซโอโซนมักเป็นช่วงที่อากาศร้อน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟ (Ion Chromatograph) ยี่ห้อ Metrohm , ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
   - คอลัมน์สำหรับแยกแอนไอออน (METROSER ASUPP5_150)
2. เครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลรุ่น Universal PCXR8, บริษัท SKC, ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ ยี่ห้อ BIOS รุ่น Defender 520, บริษัท Brandt-Instruments, ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. เครื่อง ยูวี-วิสสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UH5300, บริษัท HITACHI, ประเทศไทย
5. เครื่องวัดพีเอช รุ่น pH/Ion meter S220, บริษัท Mettler-Toledo AG ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
6. เครื่องชั่ง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) รุ่น TC-254, บริษัท Danver Instrument Company, ประเทศเยอรมนี
7. เครื่องให้ความร้อนและปั่นกวน รุ่น CB162, บริษัท Braloworld Scientific Ltd., ประเทศอังกฤษ
8. เครื่องผลิตโอโซน รุ่น SUNNY, บริษัท OZONIC GROUP CO.,LTD., ประเทศไทย
9. สายยาง ยี่ห้อ Tygon, บริษัท Saint Gobain, ประเทศสหรัฐอเมริกา
10. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพที่มีการวิจัยและพัฒนาโดย Ayers. *et al.* (1998) และปรับปรุงโดย The Gippsland Centre for Environmental Science, Monash University, Australia
11. กระดาษกรองใยแก้วที่มีรูพรุน 1 ไมโครเมตร ยี่ห้อ Alltech
12. ไมโครปิเปตขนาด 100 ไมโครลิตร
13. ไมโครปิเปตขนาด 1,000 ไมโครลิตร
14. หัวพ่นอากาศ
15. ท่อนำก๊าซ
16. เทอร์โมมิเตอร์
17. มานอมิเตอร์
18. ปากคีบสแตนเลส
19. ถุงซิปล็อค

20. กระดาษฟอยล์
21. เทปพันสายไฟ
22. เทปกาว
23. กรรไกร
24. จุกยาง
25. เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.2 สารเคมี

1. โซเดียมไนไทรต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
2. โซเดียมคาร์บอเนต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
3. กลีเซอรอล เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
4. กรดซัลฟิวริก 96% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
5. โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
7. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
8. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
9. โพแทสเซียมไอโอไดด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
10. โพแทสเซียมไอโอเดต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
11. โซเดียมไทโอซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
12. เกล็ดไอโอดีนที่ระเหิดใหม่ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents , ประเทศเยอรมนี
13. น้ำความบริสุทธิ์สูง (Ultra-pure Water)
14. น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)
15. น้ำกลั่น
16. น้ำแป้ง

3.3 การเตรียมสารเคมี

1) เตรียมสารเคมีสำหรับเคลือบกระดาษกรอง

1. โซเดียมไนไทรต์ ($NaNO_2$) 1.5×10^{-1} mol/L โดยชั่งโซเดียมไนไทรต์ 0.1035 กรัม (g) ละลายด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูง แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร (mL)

2. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 2.0×10^{-1} mol/L โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 0.2120 กรัม (g) ละลายด้วยน้ำละลายด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูง แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร (mL)

3. กลีเซอรอล ($C_3H_8O_3$) ที่ความเข้มข้น 1.0 mol/L โดยชั่งกลีเซอรอล 0.9210 กรัม (g) ละลายด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูง แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร (mL)

2) เตรียมสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M สำหรับการเก็บตัวอย่างโอโซนแบบแอคทีพ

ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 13.6 g ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 14.2 g และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 10.0 g เมื่อละลายเป็นเนื้อเดียวกันจึงเทใส่ขวดวัดปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 วัน ก่อนใช้ ปรับค่า pH ให้เป็น 6.8±0.2 ด้วย NaOH 1 M เก็บสารละลายใส่ขวดสีชาที่มีฝาปิดและไม่ให้ถูกแสงแดดส่องโดยตรง

3) สารเคมีสำหรับทำกราฟมาตรฐานไอโอดีน

1. สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไอโอเดต KIO_3 เข้มข้น 0.0250 N

นำโพแทสเซียมไอโอเดตมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 - 110°C นาน 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งสารมาตรฐาน KIO_3 จำนวน 0.0900 g ด้วยเครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง (ใกล้เคียง 0.09 g) ละลายในน้ำกลั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน เทใส่ขวดวัดปริมาตรและปรับปริมาตรให้ได้ 100 mL

2. สารละลายมาตรฐานสต็อคโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เข้มข้น 0.1 N

ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) จำนวน 24.82 g ในน้ำกลั่นที่ต้มและทำให้เย็นแล้ว เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 g ปรับปริมาตรให้ได้ 1 L ในขวดปรับปริมาตร

3. สารละลายสต็อกไอโอดีนเข้มข้น 0.0250 M หรือ 0.0500 N

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 16.00 g และเกล็ดไอโอดีนที่ระเหิดใหม่ (Resublimed Iodine) 3.173 g เจือจางและปรับให้ปริมาตรสุทธิแน่นอนเป็น 500 mL ด้วยน้ำกลั่น เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 วันก่อนนำมาใช้งาน

4. สารละลายไอโอดีนขั้นที่ 1 (I_2 no.1) เข้มข้น 0.0010 M หรือ 0.0020 N

ปิเปตสารละลายสต็อกไอโอดีน 0.0250 M มา 4 mL ลงในขวดวัดปริมาตร 100 mL เจือจางด้วยสารละลาย 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตและเก็บให้พ้นแสง

5. การปรับเทียบสารละลายไอโอดีน

เตรียมสารละลายไอโอดีนสำหรับใช้งาน (Working Solution) โดยปิเปตสารละลาย I_2 no.1 มา 5.11 mL หรือ 5,110 µL ลงในขวดวัดปริมาตร 100 mL ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตและเก็บรักษาให้พ้นจากแสง

6. น้ำแป้ง

ละลายแป้งมัน (Soluble Starch) 1 g ในน้ำ 200 mL ต้มให้เดือด 2 -3 นาที ทิ้งค้างคืนไว้ นำส่วนใสมาใช้

4) สารเคมีสำหรับทำกราฟมาตรฐานไนไทรต์และไนเทรต

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไทรต์เข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม (ppm) ทำการเจือจาง 10 เท่า โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ปริมาตร 2.5 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูง จะได้สารละลายมาตรฐานไนไทรต์เข้มข้น 100 ppm

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบเข้มข้น 100 ppm ที่เตรียมได้มาจำนวน 0.00, 0.01, 0.20, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00 และ 3.50 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูง

3. ปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบเข้มข้น 1,000 ppm ทำการเจือจาง 10 เท่า โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบมาปริมาตร 5.00 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูง จะได้สารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบเข้มข้น 100 ppm

4. เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรต ปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบเข้มข้น 100 ppm ที่เตรียมได้มา 0.00, 0.02, 0.40, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00 และ 7.00 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูง

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพ

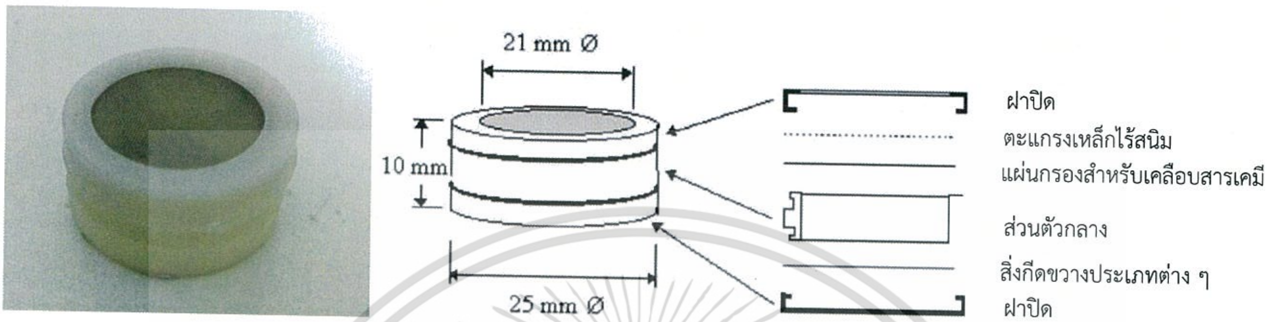
1) การทำความสะอาดแผ่นกรองและคลาสเล็ต

1. อุปกรณ์แบบ Cassette สำหรับเก็บโอโซน ไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สำหรับโครงงานพิเศษนี้ใช้อุปกรณ์พาสสีพตามรูปแบบที่มีการวิจัยและพัฒนา โดย Ayers. *et al.* (1998) และปรับปรุงโดย The Gippsland Centre for Environmental Science, Monash University, Australia

2. ล้างแผ่นกระดาษกรองใยแก้วและตลับคลาสเส็ตด้วยน้ำปราศจากไอออนจำนวน 2 ครั้ง แล้วนำแผ่นกระดาษกรองและคลาสเส็ตที่ทำความสะอาดแล้ววางบนกระดาษฟอยล์ จากนั้นปิดด้วยกระดาษฟอยล์เพื่อป้องกันฝุ่น ทิ้งไว้ให้แห้งในเดซิเคเตอร์

2) วิธีประกอบอุปกรณ์พาสสีพและเก็บรักษา

1. นำตะแกรงสแตนเลสใส่ลงฝาด้านบน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ

2. ทำการเคลือบกระดาษกรองใยแก้วด้วยสารละลายเคลือบกระดาษกรองปริมาตร 50 ไมโครลิตร (μL) โดยใช้ไมโครปิเปต แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง

3. ใส่แผ่นกระดาษกรองที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายสำหรับเคลือบ คือ 1.5×10^{-1} mol/L $NaNO_2$, 2.0×10^{-1} mol/L Na_2CO_3, 1.0 mol/L $C_3H_8O_3$ ลงในฝาด้านล่างและประกอบเข้ากับวงแหวน

4. เก็บรักษาโดยใส่ในถุงพลาสติกซิปล็อค 2 ชั้น ติดฉลากที่ระบุวันที่เตรียมและเก็บในกล่องที่มีฝาปิดใช้เทปใสพันปิดรอบฝาอีกครั้ง เพื่อให้อุปกรณ์พาสสีพสัมผัสกับอากาศน้อยที่สุด

3.4.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีพ

1) การตรวจสอบอัตราการไหลของเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล

การตรวจสอบอัตราการไหลของเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล โดยใช้เครื่องเก็บอากาศที่อัตราการไหล 900 mL/min (Lodge, 1991) ขณะทำการเทียบอัตราการไหลให้ต่ออุปกรณ์เข้ากับขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL โดยขวดที่ 1 นำมาใช้แทนแทรปเปอร์ และขวดที่ 2 นำมาใช้แทนอิมพิงเจอร์ โดยบรรจุน้ำกลั่น 50 mL ทำการป้องกันการรั่วไหลของอากาศระหว่างข้อต่อของสายยางด้วยการพันแผ่นพาราฟิน และป้องกันการรั่วไหลของอากาศบริเวณปากขวดรูปชมพู่กับจุกยางด้วยการพันเทปพันสายไฟและเทปกาว ทำการบันทึกค่าอัตราการไหลก่อนเก็บตัวอย่าง

2) การติดตั้งเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล

1. นำเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล ส่วนของสายยางสำหรับเก็บอากาศต่อเข้ากับกรวยเก็บอากาศ และฟลาสก์

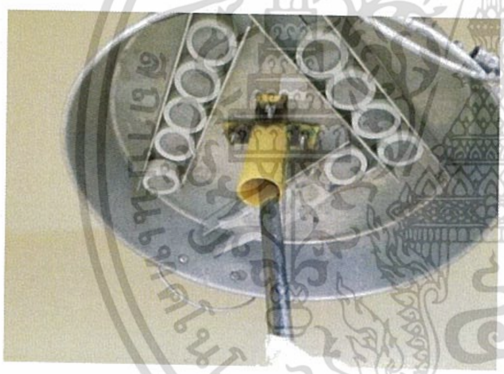
2. ทำการห่อฟลาสก์ที่ใช้แทนอิมพินเจอร์ด้วยกระดาษฟอลย์ พันแผ่นพาราฟินระหว่างข้อต่อของสายยาง และบริเวณฟลาสก์กับจุกยางพันด้วยเทปพันสายไฟและเทปกาว

3. ตั้งอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลไว้ที่ 900 mL/min ตั้งเวลาเก็บอากาศไว้ที่ 480 นาทีและเวลาที่ปั๊มทำงาน 240 นาที สำหรับระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมง และตั้งเวลาเก็บอากาศที่ 1,440 นาทีและเวลาที่ปั๊มทำงาน 240 นาที สำหรับระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง

3.4.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพ

1) การเก็บตัวอย่างโอโซนด้วยวิธีพาสสีพ

1. เตรียมอุปกรณ์พาสสีพตามวิธีในข้อ 3.4.1-1)
2. ทำการติดตั้งอุปกรณ์พาสสีพลงในถาดอะลูมิเนียมและนำไปวางในตู้ดูดควัน ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์พาสสีพ

3. นำเทอร์โมมิเตอร์วางในตู้ดูดควัน จากนั้นปิดกระจกตู้ดูดควัน บันทึกอุณหภูมิและความดันบรรยากาศทั้งก่อนและหลังทำการทดลอง
4. เปิดเครื่องผลิตโอโซนในสัดส่วน 40/20 คือ ผลิตโอโซนนาน 40 นาทีและหยุด 20 นาที
5. ทำการเก็บตัวอย่างโอโซนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยเริ่มในช่วงเวลา 8.00 – 16.00 น.
6. เมื่อครบกำหนดเวลา เปิดกระจกตู้ดูดควัน นำอุปกรณ์พาสสีพออกมาเก็บรักษาสภาพตามข้อ 3.4.1-2)

2) การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพ

1. นำกระดาษกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างอากาศแล้วมาสกัด โดยแช่ลงในน้ำความบริสุทธิ์สูงปริมาตร 4 mL เขย่าเบา ๆ แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

2. กรองด้วยแผ่นกรองที่มีรูพรุน 0.45 μm ใส่ลงในภาชนะพลาสติกขนาดเล็กสำหรับฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

3. นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟที่สภาวะแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

ข้อมูลทางเทคนิค	แอนไอออน (Anion)
คอลัมน์ที่ใช้แลกเปลี่ยนประจุลบ	METROSER ASUPP5_150 (6.1006.220)
อัตราการไหล	0.7 mL/min
ความดันที่คอลัมน์รองรับได้	15 MPa
ตัวชะ (Mobile Phase)	สารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่สำหรับประจุลบ โดยเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) กับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ที่มีความเข้มข้น 3.2 และ 1.0 mM
วัสดุที่ใช้เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับหมู่ควอเทอนารีแอมโมเนีย
ค่าการนำไฟฟ้า	13-15 uS/cm.

3.4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีแอคทีพ

1) การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแอคทีพ

1. เตรียมอุปกรณ์แอคทีพตามวิธีในข้อ 3.4.2-1)

2. เติมสารละลายที่ใช้ดูดซึม 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M ปริมาตร 50 mL ลงในอิมพิงเจอร์ที่ทำด้วยขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL ต่อเข้ากับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล

3. นำเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลทำการติดตั้งตามวิธีในข้อ 3.4.2-2)

2) การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีแอคทีพ

1. ปรับปริมาตรสารดูดซึมที่ได้หลังจากเก็บตัวอย่างอากาศแล้ว ด้วยสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M จนครบ 50 mL

2. จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร

3) การทำกราฟมาตรฐานของวิธีแอคทีพ

1. ปิเปตสารละลายไอโอดีนสำหรับใช้งานเป็นอนุกรมมา 0.00, 8.00, 16.00, 20.00, 24.00, 28.00, 32.00, 36.00, 40.00 และ 44.00 mL ทำการปรับปริมาตรด้วยสารละลายดูดกลืน 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL

2. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร

3. ทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีน จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

4. นำความค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาปริมารโอโซนของตัวอย่าง

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.5.1 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเก็บตัวอย่างก๊าซโอโซนแบบพาสสีพ

ทำเหมือนการทดลองหัวข้อ 3.4.1 – 3.4.2 แต่แปรระยะเวลาเป็นการเก็บตัวอย่างเป็น 8 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมงและ 7 วันต่อเนื่อง ทำการทดลองจำนวน 21 ซ้ำ แบลงค์ 14 ซ้ำ และ 9 ซ้ำ แบลงค์ 3 ซ้ำ สำหรับ 7 วันต่อเนื่อง

3.5.2 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

1. น้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ ต้องเป็นน้ำมีความบริสุทธิ์สูงตามมาตรฐานของ ASTM type I เมื่อฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทรกราฟี เพื่อทดสอบก่อนทำกราฟมาตรฐาน และการใช้สกัดตัวอย่าง โครมาโทแกรมที่ได้ต้องไม่มีพีคอื่นแปลกปลอม

2. ในการวิเคราะห์กราฟมาตรฐานที่ได้ต้องมีระดับของสารไม่น้อยกว่า 5 ระดับและมีค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear correlation coefficient, R^2) เข้าใกล้ 1 และค่า R_t ของสารมาตรฐานคงที่

3. ฉีดน้ำที่ความบริสุทธิ์สูง ล้างสารที่อาจตกค้างในคอลัมน์ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีไอออนค้างอยู่ภายในคอลัมน์ก่อนทำการวิเคราะห์ตัวอย่างครั้งต่อไป

4. การวิเคราะห์เมื่อเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีพ โดยการไทเทรตหากวิเคราะห์ซ้ำในตัวอย่างเดียวกัน เพื่อทดสอบความแม่นยำของผู้ทดสอบ โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกัน 2 – 3 ซ้ำ ผลที่ได้ควรต่างกันไม่เกิน ±0.1

5. อัตราการไหลของเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล ช่วงการวัดอัตราการดูด 1,000 ถึง 5,000 ml/min มาตรฐาน MSHA %RSD ของอัตราการไหลน้อยกว่า ±10.0

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษาและผลิตอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างก๊าซโอโซนแบบพาสสีพในห้องปฏิบัติการ โดยทำการผลิตก๊าซโอโซนด้วยเครื่องผลิตโอโซน ทำการเก็บโอโซนในตู้ดูดควัน โดยเปรียบเทียบการเก็บแบบพาสสีพและแบบแอคทีพ ซึ่งแบบแอคทีพนั้นจะทำการเก็บด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล ทำการศึกษาตัวแปร คือ ระยะเวลารับสัมผัสต่อการเก็บตัวอย่างโอโซนแบบพาสสีพ ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซโอโซนที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสีพซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีเทียบกับวิธีแอคทีพซึ่งวิเคราะห์โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถนำไปใช้ในภาคสนามได้ เช่น การเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณสถานที่ทำงาน เป็นต้น และนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการดูดซึม (Lodge, 1991)

จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพ และการวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี โดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบกระดาษกรอง คือ $NaNO_2$, Na_2CO_3 และ Glycerol ที่ความเข้มข้น 0.15 M, 0.20 M และ 1.0 M ตามลำดับ สารเคมีแต่ละชนิดมีบทบาทต่างกัน โดย $NaNO_2$ ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์เมื่อรับสัมผัสกับโอโซน Na_2CO_3 ทำหน้าที่ในการรักษาค่าพีเอช (pH) ของสารละลาย ช่วยควบคุมช่วงของ pH ให้อยู่ในช่วงเบสเล็กน้อย เพราะที่ช่วง pH นี้เกิดปฏิกิริยาได้ และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไนไทรต์ (NO_2^-) กับ โอโซน (O_3) จะขึ้นอยู่กับ pH เมื่อ pH เพิ่ม ทำให้ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และ Glycerol เติมลงไปเพื่อช่วยรักษาความชื้น ทำให้สารเคลือบทำงานได้ในสภาวะที่มีความชื้นคงที่ นอกจากนี้โมเลกุลของน้ำที่ผิวหน้าของสารเคลือบยังช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ NO_2^- กับ O_3 ได้อีกด้วย (Helaleh. *et al.*, 2002) ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟฟีนั้น ทำการตรวจวัดปริมาณโอโซนออกมาในรูป NO_3^- โดย $NaNO_2$ เมื่อได้รับสัมผัสกับ O_3 จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปเป็น NO_3^- ดังสมการ 4.1

$$NO_2^- + O_3 \longrightarrow NO_3^- + O_2 \qquad (4.1)$$

ผลของปริมาณโอโซนต่อจากนี้ วิเคราะห์โดยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ไอออนประจุบวก (Cation) ที่ละลายน้ำได้ เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ และไอออนลบ (Anion) เช่น F^-, Cl^-, NO_2^-, NO_3^-, SO_4^{2-} เป็นต้น และสารที่นำมาวิเคราะห์คือประจุลบอยู่ในรูปของ NO_3^- ถือว่าสารเคลือบกระดาษกรองที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการดักจับโอโซนในบรรยากาศ มีความสัมพันธ์ต่อการตอบสนองแบบเชิงเส้นและมีความไวต่อการตรวจวัด (Zhou and Smith, 1997)

ส่วนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีแอคทีพ วิเคราะห์ด้วยวิธีการดูดซึม (Lodge, 1991) ดังสมการ 4.2

$$O_3 + 3KI + H_2O \rightarrow KI_3 + 2KOH + O_2 \quad (4.2)$$

กรณีที่เก็บตัวอย่างเป็นเวลานาน เช่น การศึกษาการเก็บตัวอย่างแบบพาสสีพเทียบกับแบบแอคทีพ 24 ชั่วโมง และการเก็บแบบพาสสีพเทียบกับแอคทีพ 7 วันต่อเนื่อง สามารถตรวจสอบการ Breakthrough ที่เกิดขึ้น โดยทำการเพิ่มขวดรูปชมพู่ใส่สารดูดซึมเป็น 2 ขวด เพื่อตรวจสอบการ Breakthrough เนื่องจากเป็นการเก็บตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลานาน ถ้ามีการ Breakthrough เกิดขึ้น เป็นผลมาจากระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสโอโซนหรือเป็นผลมาจากสารดูดกลืน 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอตเฟสที่ใช้ ซึ่งพบว่าปริมาณสารดูดกลืนที่ 50 mL เพียงพอกับปริมาณโอโซนที่ถูกผลิตขึ้น จากการคำนวณปริมาณสัมพันธ์ของโอโซนกับไอโอดีนที่อัตราส่วนโมล 1.25:1 แต่ประสิทธิภาพในการดักจับอาจไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดการ Breakthrough มายังขวดที่ 2 และเมื่อพบว่าเกิดการ Breakthrough มายังขวดที่ 2 จะทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วนำค่าที่ได้มารวมกับขวดที่ 1 และทำการคำนวณเพื่อหาความเข้มข้นของโอโซนต่อไป จากการเก็บแบบพาสสีพเทียบแอคทีพ 7 วันต่อเนื่องนั้น ด้วยขีดจำกัดของเครื่องมือ ทำให้ไม่สามารถเก็บต่อเนื่องกันในระยะเวลานานถึง 7 วันได้ จึงทำการเก็บแบบแอคทีพเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 7 วันติดต่อกัน และในแต่ละวันทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของไอโอดีนภายในวันนั้นเพื่อป้องกันการสูญหายของไอโอดีนที่เกิดขึ้น โดยใช้สารดูดกลืนขวดใหม่แทน และนำความเข้มข้นของโอโซนที่ได้ในแต่ละวันมารวมกัน

ในส่วนของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน (Ozone Generator) จากประสิทธิภาพของเครื่องโดยอ้างอิงจากคู่มือพบว่าเครื่องสามารถผลิตก๊าซโอโซนได้ 200 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง แต่เนื่องจากเครื่องมีอายุการใช้งานมานาน สภาสะแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ปริมาณฝุ่นละออง และสภาพความชื้นในแต่ละวันไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น อาจทำให้การผลิตก๊าซโอโซนในแต่ละวันนั้นไม่เท่าหรือใกล้เคียงกัน เพื่อความถูกต้องจึงหาความเข้มข้นและปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จากวิธีแอคทีพโดยตรง

4.1 การผลิตอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซโอโซนในอากาศ

ในการเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างแบบพาสสีพนั้น เริ่มจากการทำความสะอาดกระดาษกรองและคลาสเส็ต เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากอนุภาคต่าง ๆ ในบรรยากาศ ซึ่งอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์

4.1.1 การเตรียมอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ

การทำความสะอาดกระดาษกรองและคลาสเส็ต ในการทดลองเบื้องต้นนั้นพบว่ามีการปนเปื้อนของกระดาษกรองที่นำมาวิเคราะห์เป็นแบลงค์นั้น มีปริมาณของไนเทรตที่วิเคราะห์ได้มากกว่าปริมาณของไนเทรตในตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.1 จึงมีการทำความสะอาดทั้งกระดาษกรองและคลาสเส็ตก่อนทำการทดลอง ทำโดยการนำกระดาษกรองมาแช่ด้วยเมธานอล จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 15 นาทีและ

แช่ต่อด้วยน้ำปราศจากไอออน จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 30 นาทีแล้วนำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ที่มีแต่กระดาษกรองเท่านั้น เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากอนุภาคอื่นๆ จากการวิเคราะห์กระดาษกรองด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟพบว่าพบการปนเปื้อนของ NO_3^- น้อยมาก (ต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ที่ 0.100 ppm) และการทำความสะอาดคลาสเส็ต ทำโดยการนำคลาสเส็ตแช่ด้วยน้ำปราศจากไอออนจำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที และทำการเช็ดด้วยเมธานอล แล้วนำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการปนเปื้อนของกระดาษกรองในการทดลองเบื้องต้น

รายการ	ครั้งที่	ผลการวิเคราะห์ NO_3^- ด้วย IC (mg/L)	
		ก่อนล้าง	หลังล้าง
แบลงค์	1	0.989	0.109
	2	0.321	0.042
	เฉลี่ย	**0.655**	**0.075**
ตัวอย่าง	1	0.244	1.952
	2	0.265	2.183
	3	1.239	1.225
	เฉลี่ย	**0.583**	**1.786**

4.1.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีพ

เพื่อป้องกันการสลายตัวของสารละลายดูดกลืนสารดูดกลืน 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอตเฟส จากสภาวะโดยรอบได้ทำการหุ้มขวดรูปชมพู่ที่ใช้แทนอิมพินเจอร์ด้วยกระดาษฟอยล์ และในส่วนของจุกยางที่ต่อท่อด้านบนขวดนั้น ทำการพันด้วยเทปพันสายไฟและพันด้วยเทปกาวทั้งในและนอกจุกยางอีกชั้น และก่อนทำการเก็บตัวอย่างอากาศทุกครั้ง จะทำการสอบเทียบเครื่องเก็บอากาศที่อัตราการไหล 900 mL/min จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหล 10 ครั้ง แล้วนำไปหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) โดยอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลทั้งไม่ควรต่างกันเกิน 10% และควรจะมีค่า %RSD ไม่เกิน 10% เนื่องจากจะมีผลต่อการคำนวณปริมาตรอากาศในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโอโซน

4.2 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่างโอโซนแบบพาสสีพ

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธีพาสสีพกับวิธีแอคทีพ โดยการพลอตกราฟเส้นตรง จากนั้นเทียบความสัมพันธ์โดยใช้การทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination : R^2)

โดยให้ แกน x คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซโอโซนจากวิธีแอคทีพ
แกน y คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซโอโซนจากวิธีพาสสีพ

4.2.1 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนระหว่างวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพ ซึ่งใช้ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมง โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้ว ดังตารางที่ 4.2 ข้อมูลผลการทดลอง ภาคผนวก ค-1 การคำนวณผลการทดลองภาคผนวก ง และข้อมูลทางสถิติ ภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.2 การเก็บตัวอย่างโอโซนด้วยวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพระยะเวลา 8 ชั่วโมง

ครั้งที่	ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความดัน (kPa)	วิธีพาสสีพ		วิธีแอคทีพ	
				$[NO_3^-]$ (mg/L)	$[O_3]$ (ppb)	ค่า Abs ของ I_2	$[O_3]$ (ppb)
1	480	30.0	100.5	2.117	287.54	0.801	322.03
2		30.0	100.5	1.870	250.86	0.790	317.59
3		30.0	100.5	1.848	247.60	-	-
เฉลี่ย	480	30.0	100.5	1.945	262.00	0.796	319.81

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นตัวอย่างผลการทดลองจาก 1 ชุดการทดลอง ดูรายละเอียดเพิ่มในภาคผนวก ค-1 และภาคผนวก ง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนระหว่างวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพในเชิงเส้นตรง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ได้โดยวิธีการทางสถิติ คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : R^2) ด้วยโปรแกรม SPSS และพบว่าค่า R^2 ที่มีค่าเท่ากับ 0.0259 ซึ่งมีค่าไม่เข้าใกล้ 1 ความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถบอกได้ว่าตัวแปรสองตัวนี้ไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง จากความสัมพันธ์ทางสถิติที่ได้ พบว่าความสัมพันธ์ที่อยู่ในระดับต่ำนั้นอาจเกิดจากสภาวะแวดล้อมในแต่ละวันแตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความแปรปรวนจากการกระจายตัวของโอโซนในอากาศภายในตู้ดูดควัน ทำการทดลองโดยปิดหน้าต่างตู้ดูดควัน ทำให้ไม่มีลมในการช่วยให้การกระจายตัวของโอโซนภายในตู้ดูควันให้สม่ำเสมอ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Helaleh. *et al.* (2002) ทำการศึกษาความเข้มข้นของโอโซน ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ผู้วิจัยสรุปว่า ความเร็วลมมีผลต่อการตรวจวัดโอโซนด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ ทำให้ความเข้มข้นของ

โอโซนที่ตรวจวัดได้ก็แตกต่างกันออกไป เป็นผลให้ความแปรปรวน (S^2) ของการทดลองแตกต่างกันมากอีกด้วย ทำให้ประสิทธิภาพของการทดสอบลดลง นำไปสู่การสรุปผลการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดและขาดความน่าเชื่อถือ ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติและความแปรปรวนมีค่าไม่เท่ากัน คือ การแปลงข้อมูล (Data Transformation) (ทรงพล, 2555)

เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยของโอโซนมาทำการแปลงข้อมูล เป็น 3 แบบ ดังนี้

1. การแปลงโดยใช้รากที่สอง (Square Root Transformation)
2. การแปลงโดยลอการิทึม (Logarithmic Transformation)
3. การแปลงโดยใช้รากที่สองของการกลับเศษส่วน (Reciprocal Square Root Transformation)

ผลจากการแปลงข้อมูลพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยโอโซนวิธีพาสสีพเทียบกับความเข้มข้นเฉลี่ยวิธีแอคทีพอยู่ในระดับต่ำ และผลของการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี มีค่า R^2 ไม่แตกต่างกันมาก

โดยความเข้มข้นโอโซนของวิธีพาสสีพมากกว่าวิธีแอคทีพประมาณ 1.52 เท่า ซึ่งจากความเข้มข้นโอโซนเฉลี่ยของวิธีพาสสีพที่มากกว่าวิธีแอคทีพนั้น ตามทฤษฎีแล้ววิธีแอคทีพควรมีค่ามากกว่าวิธีพาสสีพ เพราะเป็นการใช้พลังงานในการดูดโอโซนเข้าไป แต่วิธีพาสสีพใช้หลักของการแพร่ผ่านตัวกลาง ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการแพร่ ดังนั้นในการทดลองที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง การรับสัมผัสของก๊าซโอโซนภายในกระดาษกรองยังไม่ถึงสภาวะคงตัวหรือสม่ำเสมอ ทำให้ผลที่ได้แตกต่างจากวิธีแอคทีพ แต่สามารถทำการยืนยันได้ว่าความเข้มข้นของโอโซนที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสีพ ตรวจวัดออกมาในรูปของไนไทรต์ไม่มีตัวรบกวนหรือจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่จะทำให้ไนไทรต์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วเปลี่ยนไปเป็นไนเทรต เพราะการเก็บตัวอย่างถูกจำลองในสถานการณ์ของตู้ดูดควัน เกือบที่จะเป็นระบบปิด และด้วยความจำเพาะเจาะจงของสารเคลือบที่มี Na_2CO_3 ช่วยทำหน้าที่ในการรักษา pH ของสารละลาย โดย pH ของสารละลายจะอยู่ที่เบสเล็กน้อย ทำให้เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หรืออาจเกิดจากการเก็บแบบพาสสีพนั้นเป็นการแพร่ผ่านของอนุภาคก๊าซเข้าไปยังตัวกลาง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการทำนายความเข้มข้นของก๊าซ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัด

4.2.2 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพ 24 ชั่วโมงเทียบกับวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนระหว่างวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพ ซึ่งใช้ระยะเวลาเก็บตัวอย่างวิธีพาสสีพที่ 24 ชั่วโมงและวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่

ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้ว ดังตารางที่ 4.3 ข้อมูลผลการทดลอง ภาคผนวก ค-2 การคำนวณผลการทดลองภาคผนวก ง และข้อมูลทางสถิติ ภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.3 การเก็บตัวอย่างโอโซนด้วยวิธีพาสสีพระยะเวลา 24 ชั่วโมงและวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

ครั้งที่	ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	วิธีพาสสีพ		วิธีแอคทีพ	
				$[NO_3^-]$ (mg/L)	$[O_3]$ (ppb)	ค่า Abs ของ I_2	$[O_3]$ (ppb)
1	1,440	30.0	100.6	2.216	106.29	0.583	124.16
2		30.0	100.6	2.355	113.17	0.539	114.48
3		30.0	100.6	2.112	101.14	-	-
เฉลี่ย	1,440	30.0	100.6	2.228	106.87	0.561	119.32

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นตัวอย่างผลการทดลองจาก 1 ชุดการทดลอง ดูรายละเอียดเพิ่มในภาคผนวก ค-2 และภาคผนวก ง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนระหว่างวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพในเชิงเส้นตรง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ได้โดยวิธีการทางสถิติ คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : R^2) ด้วยโปรแกรม SPSS และพบว่าค่า R^2 ที่มีค่าเท่ากับ 0.0003 ซึ่งมีค่าไม่เข้าใกล้ 1 ความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ จึงทำการแปลงข้อมูลแล้วพบว่าความสัมพันธ์ที่ได้เป็นเช่นเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างโอโซนด้วยวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพระยะเวลา 8 ชั่วโมง และด้วยเหตุผลคล้ายคลึงกันทำให้การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพในระยะเวลาที่น้อยไม่มีความสัมพันธ์กัน

อัตราส่วนของความเข้มข้นโอโซนโดยเฉลี่ยระหว่างวิธีพาสสีพกับแอคทีพมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งวิธีพาสสีพความเข้มข้นโอโซนน้อยกว่าวิธีแอคทีพประมาณ 2 เท่า และการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บด้วยวิธีพาสสีพและแอคทีพแตกต่างกันนั้น เพื่อจำลองเสมือนว่าโอโซนที่เกิดขึ้นในภาคพื้น เกิดแค่ในช่วงระยะเวลากลางวันด้วยปฏิกิริยาโฟโตเคมี และนำมาคิดเฉลี่ยเป็น 24 ชั่วโมง

4.2.3 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 24 ชั่วโมง

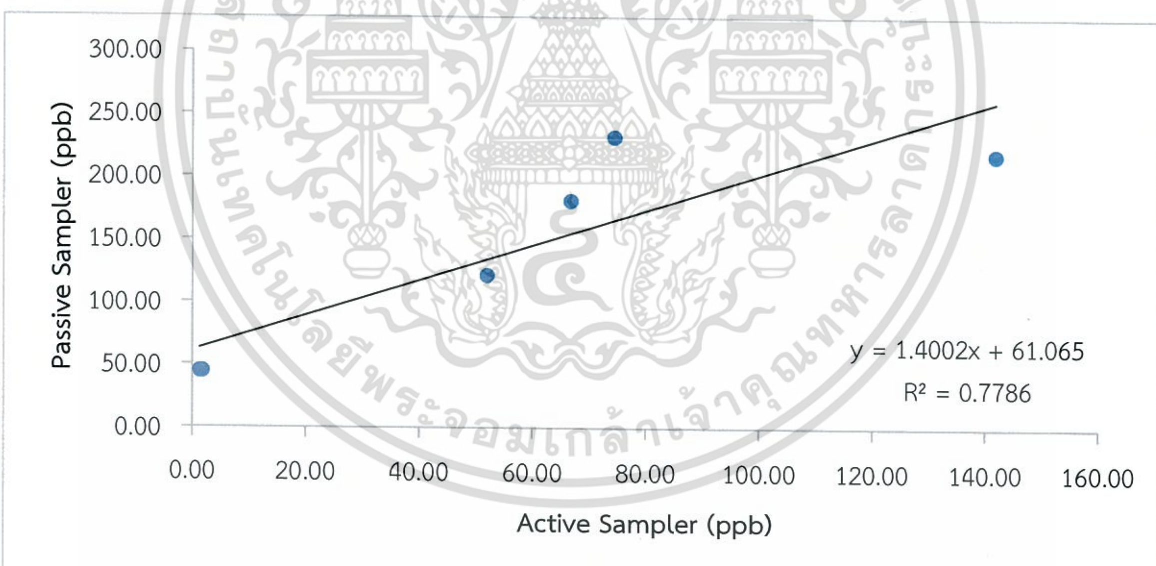
การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนระหว่างวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพ ซึ่งใช้ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้ว ดังตารางที่ 4.4 ข้อมูลผลการทดลอง ภาคผนวก ค-2 การคำนวณผลการทดลองภาคผนวก ง และข้อมูลทางสถิติ ภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.4 การเก็บตัวอย่างโอโซนด้วยวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ครั้งที่	ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	วิธีพาสสีพ		วิธีแอคทีพ	
				$[NO_3^-]$ (mg/L)	$[O_3]$ (ppb)	ค่า Abs ของ I_2	$[O_3]$ (ppb)
1	1,440	30.0	100.8	3.854	184.24	0.220	52.23
2		30.0	100.8	3.868	184.94	0.373	81.47
3		30.0	100.8	3.625	172.91	-	-
เฉลี่ย	1,440	30.0	100.8	3.782	180.70	0.296	66.85

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นตัวอย่างผลการทดลองจาก 1 ชุดการทดลอง ดูรายละเอียดเพิ่มใน ภาคผนวก ค-2 และภาคผนวก ง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนระหว่างวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพในเชิงเส้นตรง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ได้โดยวิธีการทางสถิติ คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : R^2) ด้วยโปรแกรม SPSS ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของการเก็บตัวอย่างระหว่างวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพที่ 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.1 พบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสีพกับแอคทีพมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับดี โดยทราบได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่มีค่าเท่ากับ 0.7786 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 และพบว่าอัตราส่วนของความเข้มข้นโอโซนเฉลี่ยระหว่างวิธีพาสสีพกับแอคทีพมีความใกล้เคียง

กัน ซึ่งวิธีพาสสีพความเข้มข้นโอโซนมากกว่าวิธีแอคทีพประมาณ 2.48 เท่า และจากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถบอกได้ว่าตัวแปรสองตัวนี้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และสามารถบอกได้ว่าระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่นานขึ้นสามารถทำให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นดีขึ้นตามด้วย

4.2.4 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 7 วันต่อเนื่อง

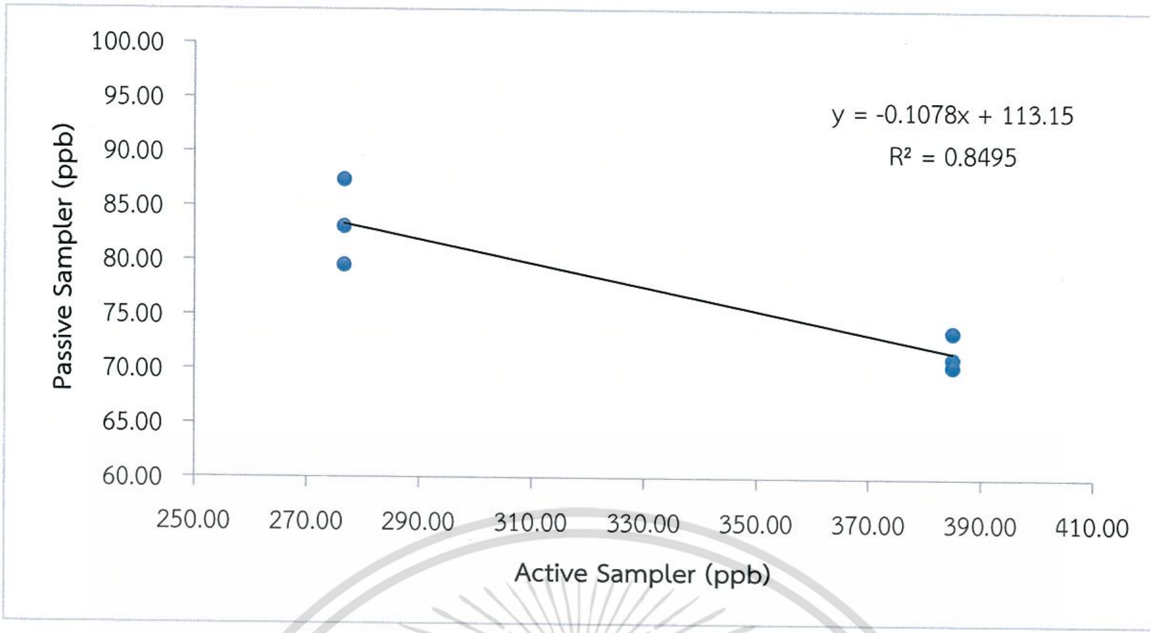
การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนระหว่างวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพ ซึ่งใช้ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 7 วันต่อเนื่อง แต่เนื่องจากเรื่องข้อจำกัดของเครื่องมือคือ เครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลนั้นมีจำนวนเพียง 2 เครื่อง ขีดจำกัดของแบตเตอรี่ในตัวเครื่องเก็บอากาศเองไม่เพียงพอต่อการเก็บต่อเนื่องกัน 7 วัน ดังนั้นผลการเก็บด้วยวิธีแอคทีพนั้นนำมาจากผลรวมของการเก็บระยะเวลา 24 ชั่วโมง และทำให้ได้ข้อมูลผลการทดลองเพียง 2 ชุดการทดลอง จึงทำการหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นโอโซนจากตัวอย่างของการเก็บแบบพาสสีพจำนวน 3 ตัวอย่างเทียบกับความเข้มข้นของโอโซนเฉลี่ยการเก็บแบบแอคทีพ และจากจำนวนซ้ำที่ไม่เท่ากันนั้น ในทางสถิติสามารถหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงได้ (Rodriguez, 2016) โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้ว ดังตารางที่ 4.5 ข้อมูลผลการทดลอง ภาคผนวก ค-3 การคำนวณผลการทดลองภาคผนวก ง และข้อมูลทางสถิติ ภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.5 การเก็บตัวอย่างโอโซนด้วยวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพระยะเวลา 7 วันต่อเนื่อง

ครั้งที่	ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิ (^{o}C)	ความดัน (kPa)	วิธีพาสสีพ		วิธีแอคทีพ	
				$[NO_3^-]$ (mg/L)	$[O_3]$ (ppb)	ค่า Abs ของ I_2	$[O_3]$ (ppb)
1	1,440	30.0	100.8	10.154	71.08	3.974	290.64
2		30.0	100.8	10.497	73.50	2.156	85.51
3		30.0	100.8	10.055	70.38	-	-
เฉลี่ย	1,440	30.0	100.8	10.235	71.65	3.065	188.08

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นตัวอย่างผลการทดลองจาก 1 ชุดการทดลอง ดูรายละเอียดเพิ่มใน ภาคผนวก ค-3 และภาคผนวก ง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนระหว่างวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพในเชิงเส้นตรง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ได้โดยวิธีการทางสถิติ คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : R^2) ด้วยโปรแกรม SPSS ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของการเก็บตัวอย่างระหว่างวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพที่ 7 วันต่อเนื่อง

จากรูปที่ 4.2 พบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสีพกับแอคทีพมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับดี โดยทราบได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่มีค่าเท่ากับ 0.8495 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 ในรูปของสมการเชิงเส้นตรง และพบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นของโอโซนโดยเฉลี่ยระหว่างวิธีแอคทีพกับพาสสีพมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งวิธีพาสสีพมีความเข้มข้นโอโซนโดยเฉลี่ยน้อยกว่าวิธีแอคทีพประมาณ 4.27 เท่า และจากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถบอกได้ว่าตัวแปรสองตัวนี้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และเป็นไปตามทฤษฎี แต่จากการทดลองการเก็บด้วยวิธีพาสสีพเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ความเข้มข้นของไนไทรต์ที่ใช้เป็นสารเคลือบบนกระดาษกรองนั้นเหลือน้อยซึ่งอาจไม่เพียงพอถ้าทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลานานมากกว่า 7 วันต่อเนื่อง

จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์หลังจากแปลงข้อมูลแล้ว พบว่าการแปลงข้อมูลแบบรากที่สองของการกลับเศษส่วนให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูงที่สุด จากการแปลงข้อมูลผลการทดลองการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพเทียบวิธีแอคทีพที่ 8 ชั่วโมง และวิธีพาสสีพ 24 ชั่วโมง เทียบวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง พบว่าผลของการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี มีค่า R^2 ไม่แตกต่างกันมาก และจากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถบอกได้ว่าตัวแปรสองตัวนี้ไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความสัมพันธ์จากการแปลงข้อมูล

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง		ค่า R^2 จากการแปลงข้อมูล			
วิธีพาสสีพ	วิธีแอคทีพ	แบบปกติ	แบบรากที่สอง	แบบลอการิทึม	แบบรากที่สองของการกลับเศษส่วน
8 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	0.0259	0.0669	0.1393	0.2454
24 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	0.0003	0.0103	0.0375	0.0800
24 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	0.7786	0.9053	0.9502	0.9522
7 วัน	7 วัน	0.8495	0.8556	0.8613	0.8655

ดังนั้นจากกราฟสรุปได้ว่า ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับแอคทีพ 7 วันต่อเนื่องมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด เมื่อเทียบกับการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพ 24 ชั่วโมงเทียบกับวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.1 – 4.2 และตารางที่ 4.2 – 4.5 สามารถเรียงลำดับความสัมพันธ์ผลของระยะเวลาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ได้ดังนี้ คือ ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 7 วันต่อเนื่อง มีความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงเส้นตรงกันมากที่สุด โดยมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 รองลงมาคือ ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 24 ชั่วโมง ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ และลำดับสุดท้ายผลของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพ 24 ชม. เทียบกับวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมงมีความสัมพันธ์กันน้อยที่สุด

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าอัตราส่วนของวิธีพาสสีพกับวิธีแอคทีพแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งอัตราส่วนในการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพที่มากกว่าวิธีแอคทีพหรือการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพที่น้อยกว่าวิธีแอคทีพ อาจขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง สภาวะแวดล้อมภายนอกในแต่ละวันที่แตกต่างกัน แต่สภาวะภายในตู้ดูดควันที่จำลองสถานการณ์ขึ้นนั้น มีความใกล้เคียงจนกระทั่งเกือบเป็นระบบปิด และเมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของสารเคลือบที่ออกซิไดซ์ไนไทรต์ไปเป็นไนเทรตเมื่อรับสัมผัสโอโซนแล้ว ตามสมการที่ 4.1 ตัวของไนไทรต์ซึ่งอยู่ในสารละลายโซเดียมไนเทรตเมื่อสัมผัสกับแสงอาจมีการสลายตัวได้เอง แต่จากการศึกษาพบว่า $NaNO_2$ มีครึ่งชีวิตของการออกซิไดซ์ด้วยแสงอยู่ที่ 82.3 วัน (NPCA, 2012) ดังนั้นจากระยะเวลาการทดลองที่มากที่สุดเพียง 7 วัน การสลายตัวของไนไทรต์มีน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลยจึงถือว่าไม่รบกวนต่อการวิเคราะห์

จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแอคทีพโดยใช้สารดูดกลืน 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต ที่ทำการป้องกันการดูดกลืนแสงจากภายนอกแล้ว แต่อาจมีการสลายตัวได้เองทำให้ความเข้มข้น

โอโซนที่ตรวจวัดได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น เมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและการเกิดปฏิกิริยาเมื่อรับสัมผัสโอโซนแล้ว ดังสมการที่ 4.2 และศึกษาการสลายตัวของไอโอดีน (I_2) สมการที่ 4.3

$$I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^- \quad (4.3)$$

จากสมการ 4.3 พบว่าเมื่อไอโอดีนทำปฏิกิริยากับไอโอไดด์ไอออน (I^-) แล้วเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับ แล้วได้ผลิตภัณฑ์คือ ไตร-ไอโอไดด์ไอออน (I_3^-) ซึ่งมีความเสถียร และมีค่าคงที่สมดุลของการเกิดปฏิกิริยา (K_{eq}) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (°C) เท่ากับ 698±10 (Donald, 1984) จากค่า K_{eq} ของ I_3^- มีค่ามากกว่า 1 สามารถบอกได้ว่าเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าย้อนกลับ และจากการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับนั้น ทำให้ความเข้มข้นโอโซนที่ตรวจวัดได้อาจน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

และจากผลการทดลองที่ได้นั้น ไม่สามารถบอกความเข้มข้นที่แน่นอนของโอโซนที่ตรวจวัดได้หลังจากการเก็บตัวอย่าง แต่สามารถยืนยันความเข้มข้นของโอโซนได้ จากการเทียบมาตรฐานของปริมาณโอโซนกับไอโอดีน หลังทราบความเข้มข้นที่แน่นอนของสต็อคไอโอดีนแล้ว จากการไทเทรตกับโซเดียมไธโอซัลเฟตซึ่งเป็นสารทุติยภูมิ และสารโพแทสเซียมไอโอเดตซึ่งเป็นสารปฐมภูมิ ตามลำดับ

เนื่องจากงานวิจัยในลักษณะนี้มีผู้ทำการทดลองหลายการทดลอง จึงนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้ ได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายการ	โครงงานพิเศษนี้	กรองแก้ว และ วงศ์พันธ์	วรางคณา	สุนทรี	Scheeren and Adema	Zhou and Smith	Helaleh. *et al.*	Campos. *et al.*
ลักษณะอุปกรณ์	ชนิดตลับ (Cassette)	ชนิดตลับ (Cassette)	ชนิดหลอด (Tube)	ชนิดตลับ (Cassette)	ชนิดตลับ (Cassette)	ชนิดแผ่น (Badge)	ชนิดตลับ (Cassette)	ชนิดแผ่น (Badge)
สารมลพิษ	O_3	NO_2	O_3	NO_2	O_3	O_3	O_3	O_3
สิ่งกีดขวาง	GF	GF	GF	GF	GF	GF	GF	Cellulose
สารเคลือบ	$NaNO_2$, Na_2CO_3, $C_3H_8O_3$	NaOH, NaI	$NaNO_2$, Na_2CO_3, $C_2H_6O_2$	-*	Indigo Carmine	$NaNO_2$, Na_2CO_3, $C_3H_8O_3$	$NaNO_2$, Na_2CO_3,$C_2H_6O_2$	$NaNO_2$, Na_2CO_3, $C_3H_8O_3$
ระยะเวลารับสัมผัส	8, 24 ชั่วโมงและ 7 วันต่อเนื่อง	24 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	-*	1 ชั่วโมง	8 – 72 ชั่วโมง	1 – 2 สัปดาห์	7 วัน
เทคนิคที่ใช้ทำการวิเคราะห์	IC	UV-Vis spectrophoto-metry	IC	UV-Vis spectrophoto-metry	UV-Vis spectrophoto-metry	IC	IC	IC
ค่า R^2	(1)0.7786 0.8495	0.6477(2) 0.6016(3)	-	0.834(4) 0.855(4) 0.940(5) 0.778(5)	-	-	-	-
ผลการทดลอง	30 – 110 ppb 90 – 110 ppb	-	-	-	23 ppb	15 – 230 ppb	1 – 40 ppb	0.60 ppb

หมายเหตุ : - ไม่มีข้อมูล * ข้อมูลเป็นตัวแปรที่ทำการศึกษา

(1) ทำการตรวจวัดโดยเทียบกับสถานีตรวจวัดลาดกระบัง สำนักสิ่งแวดล้อม กทม. โดยเรียงลำดับเป็น 24 ชั่วโมง และ 7 วันต่อเนื่อง

(2) ทำการตรวจวัดโดยเทียบกับสถานีตรวจวัดมหาวิทยาลัยรามคำแหง

(3) ทำการตรวจวัดโดยเทียบกับสถานีตรวจวัดการเคหะแห่งชาติ (คลองจั่น)

(4) ทำการตรวจวัดโดยเทียบกับสถานีกรมประชาสัมพันธ์ กรุงเทพมหานคร ในฤดูฝน และฤดูแล้ง ตามลำดับ

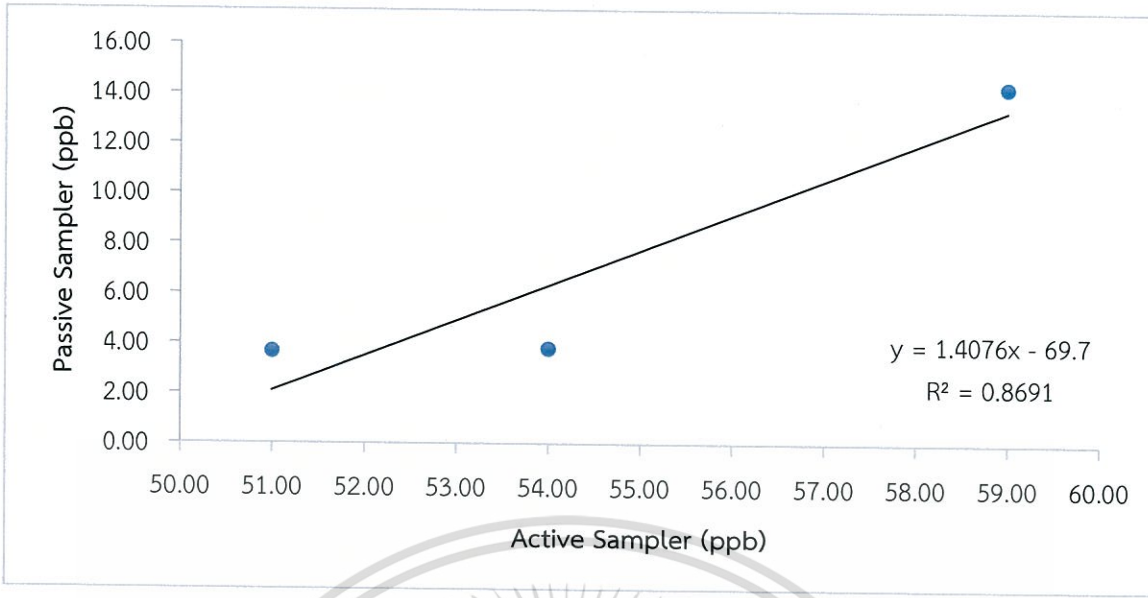
(5) ทำการตรวจวัดโดยเทียบกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมวิศวกรรมการแพทย์ที่ 1 ในฤดูฝน และฤดูแล้ง ตามลำดับ

ที่มา : กรองแก้วและวงศ์พันธ์ (2548), วรางคณา (2554), สุนทรี (2555), Scheeren and Adem (1996), Zhou and Smith (1997), Helaleh. *et al.* (2002), Campos. *et al.* (2010)

จากการเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าโครงงานพิเศษนี้สามารถเก็บตัวอย่างและทำการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซโอโซนที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงและ 7 วันต่อเนื่องได้ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับดี ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างได้ในระยะเวลาที่สั้นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ และอีกปัจจัยที่แตกต่างกันในงานวิจัยอื่น นั้นคือชนิดสิ่งกีดขวางหรือกระดาษที่นำมาใช้เป็นตัวกลาง ซึ่งมีทั้งกระดาษกรองใยแก้ว (GF) และเซลลูโลส เมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษกรองทั้งสองชนิดพบว่า กระดาษกรองใยแก้วสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดเล็ก มีความเหนียว ทนความชื้นได้สูง และมีความจุในการกรองอนุภาคสูง แต่สำหรับกระดาษกรองเซลลูโลสนั้นมีรูพรุนของกระดาษมากกว่ากระดาษกรองใยแก้ว รวมทั้งโดยทั่วไปยังเป็นที่นิยมอีกด้วย

4.3 ผลของการตรวจวัดโดยเทียบกับการตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดลาดกระบัง

จากผลการตรวจวัดโดยเทียบกับการตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดลาดกระบัง ของกองการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์พาสสีพกับการตรวจวัดของสถานีซึ่งเป็นวิธีแอคทีพ และเป็นการนำเอาอุปกรณ์พาสสีพที่ผลิตขึ้นไปใช้ในภาคสนาม ซึ่งมีปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น ความเร็มลม ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ตัวรบกวนต่างๆ ในบรรยากาศโดยรอบ เป็นต้น ดัง ข้อมูลผลการทดลอง ภาคผนวก ค-4 การคำนวณผลการทดลองภาคผนวก ง และข้อมูลทางสถิติ ภาคผนวก จ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ด้วยการเก็บวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ ณ สถานีตรวจวัดลาดกระบัง

จากรูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยระหว่างวิธีพาสสีพและวิธีแอคทีพของการตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดลาดกระบังเป็นเวลา 7 วันต่อเนื่อง

จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสีพกับแอคทีพมีสมการความสัมพันธ์ $y = 1.4076x - 69.7$ และความสัมพันธ์อยู่ในระดับดี โดยทราบได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่มีค่าเท่ากับ 0.8691 ในรูปของสมการเชิงเส้นตรง และพบว่าอัตราส่วนของความเข้มข้นโอโซนโดยระหว่างวิธีพาสสีพกับแอคทีพแตกต่างกัน โดยวิธีพาสสีพมีความเข้มข้นโอโซนโดยน้อยกว่าวิธีแอคทีพประมาณประมาณ 7.54 เท่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมภายนอก ความสูงของบริเวณที่ทำการติดตั้งตัวอย่าง โดยความสูงของสถานีตรวจวัดลาดกระบังอยู่ที่ประมาณ 5 เมตร แต่ขีดจำกัดในการติดตั้งอุปกรณ์พาสสีพอยู่เพียงแค่ประมาณ 2 เมตร ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลมที่แตกต่างกันในแต่วัน สารรบกวนต่างๆ เช่น Peroxyacetylnitrate (PAN) ซึ่งเป็นสารโฟโตเคมิคอล ออกซิแดนท์จำพวกเดียวกับโอโซน (ถาวร, ม.ป.ป.) อีกทั้ง PAN ยังเป็นสารที่มีความสามารถในการออกซิไดส์สูงมาก (ปรีชา, ม.ป.ป.) อาจมีการรบกวนโดยการเข้ามาแย่งอิเล็กตรอนจากไนไทรต์ ทำให้ไนไทรต์เปลี่ยนเป็นไนเทรตเมื่อได้รับสัมผัสโอโซนได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งการตรวจวัดทั้งสองวิธีนั้นความเข้มข้นโอโซนไม่เกินค่ามาตรฐานที่ 0.07 ppm (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและผลิตอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างก๊าซโอโซนแบบพาสสีพ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่างโอโซนแบบพาสสีพ โดยทำการแปรระยะเวลาออกเป็น 4 ค่า เพื่อเทียบหาความสัมพันธ์กับการเก็บแบบแอคทีพ ได้แก่ การเก็บแบบพาสสีพเทียบกับแบบแอคทีพ 8 ชั่วโมง แบบพาสสีพ 24 ชั่วโมงเทียบกับแบบแอคทีพ 8 ชั่วโมง แบบพาสสีพเทียบกับแบบแอคทีพ 24 ชั่วโมง และแบบพาสสีพเทียบกับแบบแอคทีพ 7 วันต่อเนื่อง ส่วนที่สองเป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นกับการเก็บตัวอย่างก๊าซโอโซนที่สถานีตรวจวัดลาดกระบัง ของสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร

5.1.1 การศึกษาผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่างโอโซนแบบพาสสีพ

พบว่าการเก็บแบบพาสสีพเทียบกับแบบแอคทีพ 7 วันต่อเนื่อง มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มากที่สุด ที่ 0.7786 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับดี โดยสังเกตได้จากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 ในรูปของสมการเชิงเส้นตรง เมื่อเทียบกับระยะเวลาการเก็บตัวอย่างอื่น ๆ

5.1.2 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นกับการเก็บตัวอย่างก๊าซโอโซนที่สถานีตรวจวัดลาดกระบัง

พบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสีพกับแอคทีพมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง จากการวางตัวอย่างต่อเนื่องนาน 7 วัน โดยทราบได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่มีค่าเท่ากับ 0.8691 และพบว่าอัตราส่วนของปริมาณโอโซนโดยระหว่างวิธีพาสสีพกับแอคทีพแตกต่างกัน แต่ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ไม่เกินค่ามาตรฐาน 0.07 ppm (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรบันทึกอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลากลางวันขณะทำการเก็บตัวอย่างด้วย

2. ควรศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอุปกรณ์พาสสีพ

3. ควรศึกษาชนิดของสิ่งกีดขวางหรือกระดาษกรองอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ได้ดียิ่งขึ้น

4. ควรทำการทดลองในบริเวณหรือในภาชนะปิด ที่สามารถบอกปริมาตรของอากาศอย่างถูกต้องและควรทำการทดลองโดยสามารถควบคุมความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ผลิตขึ้น เพื่อนำมาเทียบกับความเข้มข้นของโอโซนที่ทำการตรวจวัดว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่

5. ควรตรวจสอบการ Breakthrough ของการเก็บโอโซนด้วยวิธีแบบพาสสีพ โดยอาจทำการตรวจวัดที่ระยะเวลาต่างกัน เช่น ทำการตรวจวัดที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน ถ้าหากความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ของวันที่ 5 และ 7 เท่ากัน แสดงให้เห็นว่ามีการ Breakthrough เกิดขึ้น ควรทำการศึกษาความเข้มข้นและปริมาณของสารเคลือบที่ใช้นั้น เพียงพอต่อการเก็บในระยะเวลานานหรือไม่

6. ควรมีการสร้างการหมุนวนของอากาศเล็กน้อยภายในตู้ดูดควัน เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของก๊าซโอโซนที่ผลิตขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. **คู่มือการตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างง่าย คุณภาพอากาศในบรรยากาศและระดับเสียง.** [Online]. Available : infofile.pcd.go.th/water/inspect_water.pdf

กรมควบคุมมลพิษ. 2550. **มาตรฐานคุณภาพอากาศและเสียง.** [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html

กรมควบคุมมลพิษ. 2554. **รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศและเสียงประเทศไทย.** [Online]. Available : http://aqnis.pcd.go.th/node/320

กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป. **วิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศตามมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ตามประกาศ.** [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/contact/FAQs_air.html

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และวงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์. 2546. **อุปกรณ์พาสสีพกับการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในเขตเมือง.** เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 15. กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์. 2548. “ทางเลือกใหม่ : เครื่องมืออย่างง่ายในการเฝ้าระวังอากาศเขตเมือง.” *วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม.* 1(27) : 31-38.

เกรียงไกร ตั้งประเสริฐสุข. 2546. **การพัฒนาและทดสอบการใช้ได้ของแพสซีพแซมเปลอร์สำหรับก๊าซ NO_2 และ SO_2.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลนีพระจอมเกล้าธนบุรี

ถาวร เพ็ชรบัว. ม.ป.ป. **ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับโอโซน.** [Online]. Available : www.reo3.go.th/newversion/images/stories/KM/mix/k024.pdf

ทรงพล รดิศพงศ์. 2555. “การแปลงข้อมูลผลการวิจัยโดยวิธีทางสถิติ.” *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ.* 60(189) : 16-19.

ปารยะ อาศนะเสน. 2557. **มลพิษในอากาศกับปัญหาสุขภาพ.** [Online]. Available : http://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/e-pl/articledetail.asp?id=1110

ปรีชา วงศ์ทิพย์. ม.ป.ป. **สุขวิทยาส่วนบุคคล.** [Online]. Available : http://www.human.cmu.ac.th/home/hc/ebook/006103/lesson4/03.htm

วนิดา จีนศาสตร์. 2551. **มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

วรางคณา เขาดี. 2554. **“การพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟสำหรับการหาปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และโอโซนในอากาศโดยรอบ ”** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สุนทรี ศิรรัตน์ประภา. 2555. **“การพัฒนาแพสซีฟแซมเปลอร์สำหรับตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนได-ออกไซด์.”** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ . 2549. **เอกสารประกอบการสอนวิชามลพิษทางอากาศ.** กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2553. **การพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณสารมลพิษทางอากาศด้วยวิธีการแบบพาสสีพ.** [Online]. Available : http://ssruir.ssru.ac.th/handle/ssruir/877

Ayers, G.P. *et al.* “Validation of Passive Diffusion Samplers for SO_2 and NO_2.” *Atmospheric Environment.* 32(20) : 3587-3592.

Bari, A. Md. *et al.* 2015. “Field performance evaluation of Maxxam passive samplers for regional monitoring of ambient SO_2, NO_2 and O_3 concentrations in Alberta, Canada.” *Atmospheric Environment.* 114(1) : 39-47.

Campos, V. P. *et al.* 2010. “Development and validation of passive samplers for atmospheric monitoring of SO_2, NO_2, O_3 and H_2S in tropical areas.” *Microchemical Journal.* 96(1) : 132-138.

Helaleh, I. H. *et al.* 2002. “Development of passive sampler technique for ozone monitoring. Estimation of indoor and outdoor ozone concentration.” *Talanta.* 58(1) : 649-659.

Lodge, J. P. 1989. **Methods of Air Sampling and Analysis.** 3rd Edition. New York : Lewis.

NPCA. 2012. **Questions & Answers on Sodium Nitrite.** [Online]. Available : www.epa.govt.nz/search.../ERMA200570_QA%20sodium%20nitrite.pdf

Rodriguez, J. 2015. **CAPA in the Pharmaceutical and Biotech Industries.** 1st Edition. Cambridge : Woodhead.

Santis, F. D. *et al.* 2001. "The Use of a New Passive Sampler for Ozone and Nitrogen Oxides Monitoring in Ecological Effects Research." *The Scientific World.* 2001(1) : 475-482.

Scheeren, B. A. and Adema, E. H. 1994. "Monitoring ambient ozone with a passive measurement technique method, field results and strategy." *Journal of Environmental Pollution.* 91(3) : 335-350.

Zhou, J. and Smith, S. 1997. "Measurement of Ozone Concentrations in Ambient Air Using a Badge-Type Passive Monitor." *Journal of the Air & Waste Management Association.* 47(6) : 697-703.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

ตารางที่ ก-1 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป			
สารมลพิษ	**ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา**	**ค่ามาตรฐาน**	**ที่มา**
1. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	1 ชม.	ไม่เกิน 30 ppm. (34.20 มก./ลบ.ม.)	1
	8 ชม.	ไม่เกิน 9 ppm. (10.26 มก./ลบ.ม.)	
2. ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	1 ชม.	ไม่เกิน 0.17 ppm. (0.32 มก./ลบ.ม.)	1,3,4
	1 ปี	ไม่เกิน 0.03 ppm. (0.057 มก./ลบ.ม.)	
3. ก๊าซโอโซน (O_3)	1 ชม.	ไม่เกิน 0.10 ppm. (0.20 มก./ลบ.ม.)	
	8 ชม.	ไม่เกิน 0.07 ppm. (0.14 มก./ลบ.ม.)	
4. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	1 ปี	ไม่เกิน 0.04 ppm. (0.10 มก./ลบ.ม)	1,2
	24 ชม.	ไม่เกิน 0.12 ppm. (0.30 มก./ลบ.ม)	
	1 ชม.	ไม่เกิน 0.30 ppm. (780 มคก./ลบ.ม)	
5. ตะกั่ว (Pb)	1 เดือน	ไม่เกิน 1.50 มคก./ลบ.ม	1
6. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 0.33 มก./ลบ.ม.	1,2
	1 ปี	ไม่เกิน 0.10 มก./ลบ.ม.	
7. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 0.12 มก./ลบ.ม	1,2
	1 ปี	ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม	
8. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม.	5
	1 ปี	ไม่เกิน 0.025 มก./ลบ.ม.	

หมายเหตุ : 1. มาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะสั้น (1, 8 และ 24 ชม.) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยอย่างเฉียบพลัน (acute effect)

2. มาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะยาว (1 เดือน และ 1 ปี) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบยาวหรือผลกระทบเรื้อรัง ที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย (chronic effect)

ที่มา : 1. ดัดแปลงจากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในกิจจานุเบกษา เล่ม 112 ตอนที่ 52ง. วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2538

2. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 104 ง. วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2547

3. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 28 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 124 ตอนพิเศษ 58ง วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2550

4. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2552) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126 ตอนพิเศษ 114ง วันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2552

5. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 127 ตอนพิเศษ 37ง วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2553

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานไนไทรต์

1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ความเข้มข้น 100 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ 1000 mg/L จำนวน 2.5 mL

↓

ใส่ในขวดวัดปริมาตร 25 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์สูง

ได้สารละลายมาตรฐานไนไทรต์ ความเข้มข้น 100 mg/L

1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ความเข้มข้น 0.00, 1.00, 2.50, 5.00, 7.50, 10.00, 12.50, 15.00 และ 17.50 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ 100 mg/L

จำนวน 0.00, 0.01, 0.20, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00 และ 3.5 mL

ใส่ในขวดวัดปริมาตร 10 mL

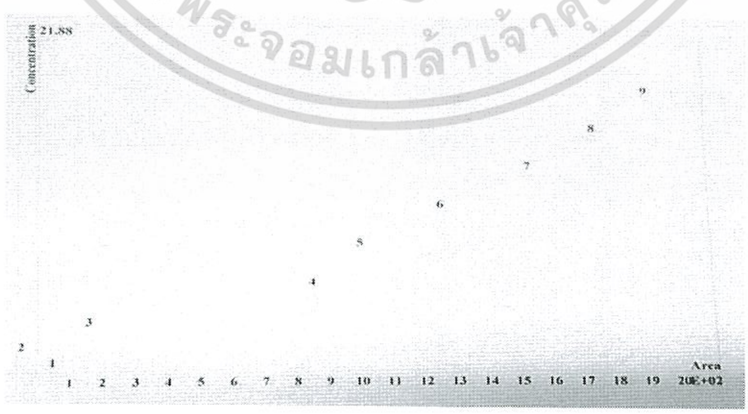
↓

ปรับปริมาตรด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูง จะได้สารละลายมาตรฐานไนไทรต์

ที่ความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้

↓

ตรวจวัดโดยเครื่อง Ion Chromatograph, IC



รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานไนไทรต์

ได้สมการความสัมพันธ์ Q = 0.170039A และมีค่า R^2 = 0.990770

มีช่วงเส้นตรงที่ตรวจวัดได้ เริ่มจาก 0 – 35 ppm

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตความเข้มข้น

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตความเข้มข้น 100 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบ 1000 mg/L จำนวน 5 mL

↓

ใส่ในขวดวัดปริมาตร 50 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์สูง

ได้สารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบความเข้มข้น 100 mg/L

2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตความเข้มข้น 0.00, 1.00, 2.50, 5.00, 7.50, 10.00, 12.50, 15.00 และ 17.50 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบ 100 mg/L

จำนวน 0.00, 0.02, 0.40, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00 และ 7.00 mL

ใส่ในขวดวัดปริมาตร 10 mL

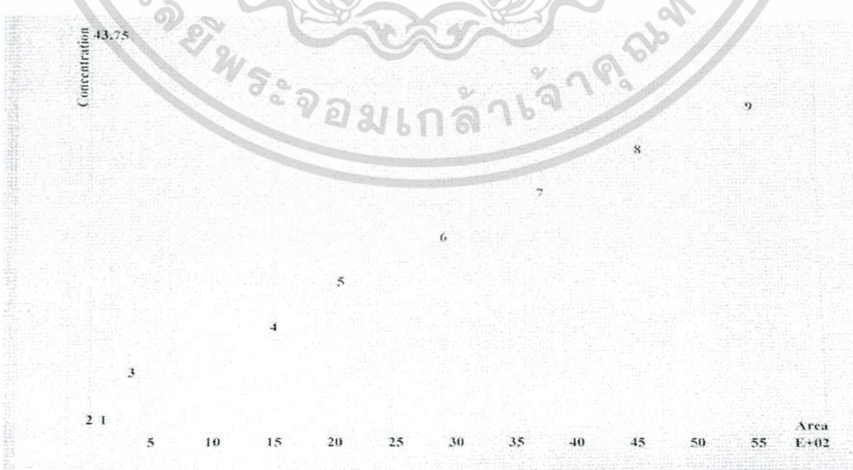
↓

ปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์สูง จะได้สารละลายมาตรฐานไนเทรต

ที่ความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้

↓

ตรวจวัดโดยเครื่อง Ion Chromatography, IC



รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานไนเทรต

ได้สมการความสัมพันธ์ Q = 0.131872A และมีค่า R^2 = 0.998134

มีช่วงเส้นตรงที่ตรวจวัดได้ เริ่มจาก 0 – 35 ppm

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานไอโอดีน

3.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไทโอซัลเฟต

ชั่ง KI 2 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL
ปิเปต 0.0250 N KIO_3 20 mL

↓

ไทเทรตกับ 0.1 N $Na_2S_2O_3$ จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีเหลืองคล้ายสีน้ำชาอ่อน เติมน้ำแป้ง 2 mL และไทเทรตต่อจนได้สารละลายใส

↓

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ไปทั้งหมด
คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ $Na_2S_2O_3$

3.2 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสต็อกไอโอดีน

ปิเปตสารละลายสต็อกไอโอดีน 20 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL
และ 6 N H_2SO_4 1 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL

↓

ไทเทรตกับ 0.1 N $Na_2S_2O_3$ จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีเหลืองคล้ายสีน้ำชาอ่อน เติมน้ำแป้ง 2 mL และไทเทรตต่อจนได้สารละลายใส

↓

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ไปทั้งหมด
คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของ Stock.I_2

3.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานไอโอดีนความเข้มข้น 0.00, 4.00, 8.00, 10.00, 12.00, 14.00, 16.00, 18.00, 20.00 และ 22.00 μg/mL

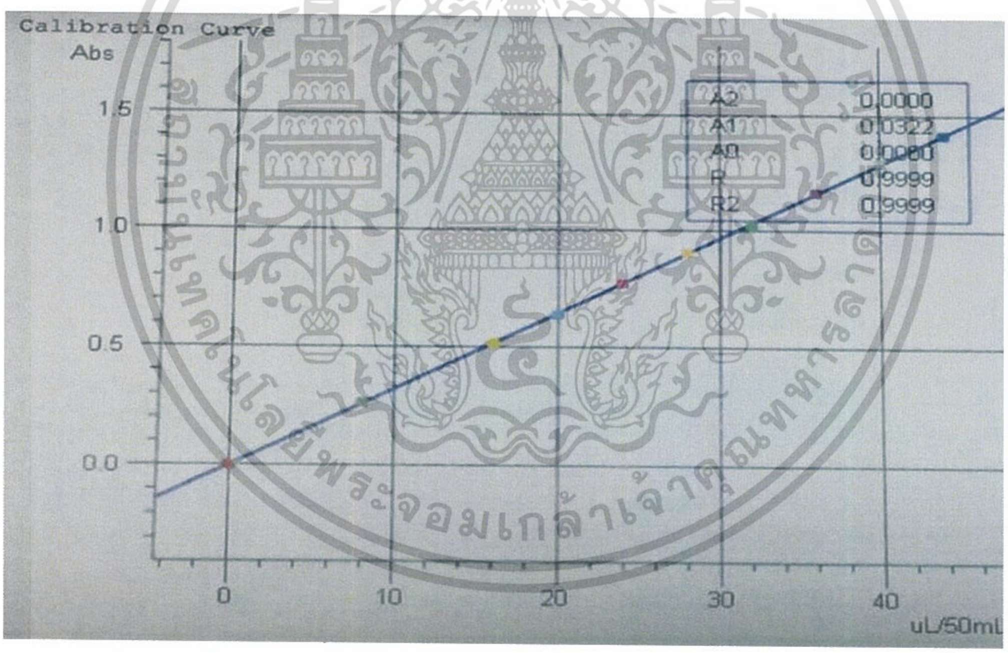
ปิเปตสารละลายไอโอดีนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน
จำนวน 0.00, 4.00, 8.00, 10.00, 12.00, 14.00, 16.00, 18.00, 20.00 และ 22.00 mL
ใส่ในขวดวัดปริมาตร 50 mL

↓

ปรับปริมาตรด้วยสารดูดกลืน 1% KI ในสารละลายบัฟเฟอร์
จะได้สารละลายมาตรฐานไอโอดีน

↓

ตรวจวัดโดยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer



ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้น $y = 0.0322x - 0.0002$ และมีค่า $R^2 = 0.9999$
มีช่วงเส้นตรงที่ตรวจวัดได้ เริ่มจาก 0 – 44 μL/50 mL สารดูดซึม

ภาคผนวก ค
ข้อมูลผลการทดลอง

1. ข้อมูลผลการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพ

1.1 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่างโอโซนแบบพาสสีพ

ตารางที่ ค-1 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนด้วยวิธีพาสสีพที่ 8 ชั่วโมง

ว/ด/ป	ระยะเวลารับสัมผัส (min)	ชื่อ	$[NO_3^-]$ ที่วัดได้ (mg/L)	$[NO_3^-]$ (mg/L)	ปริมาณ NO_3^- ทั้งหมด (μg)	ปริมาณ O_3 ที่คำนวณได้ ppb	ปริมาณ O_3 ที่คำนวณได้ เฉลี่ย
13 ต.ค. 59	480	B1-H8	0.109				
		B2-H8	0.042				
		S1-H8	1.952	1.877	5.811	278.63	
		S2-H8	2.183	2.108	6.526	312.93	254.08
		S3-H8	1.225	1.150	3.560	170.68	
17 ต.ค. 59	480	B1-H8	0.082				
		B2-H8	0.614				
		S1-H8	1.165	0.817	2.530	121.31	
		S2-H8	1.178	0.830	2.570	123.24	104.68
		S3-H8	0.816	0.468	1.449	69.49	
18 ต.ค. 59	480	B1-H8	0.090				
		B2-H8	0.111				
		S1-H8	1.256	1.156	3.578	171.57	170.01
		S2-H8	1.235	1.135	3.513	168.45	
19 ต.ค. 59	480	B1-H8	0.301				
		B2-H8	0.060				
		S1-H8	2.117	1.937	5.997	287.54	
		S2-H8	1.870	1.690	5.232	250.86	262.00
		S3-H8	1.848	1.668	5.164	247.60	
20 ต.ค. 59	480	B1-H8	0.099				
		B2-H8	0.090				
		S1-H8	2.628	2.534	7.846	376.18	
		S2-H8	2.918	2.824	8.744	419.24	376.18
		S3-H8	2.338	2.244	6.948	333.12	

ตารางที่ ค-1 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนด้วยวิธีพาสสีพที่ 8 ชั่วโมง (ต่อ)

ว/ด/ป	ระยะเวลารับสัมผัส (min)	ชื่อ	$[NO_3^-]$ ที่วัดได้ (mg/L)	$[NO_3^-]$ (mg/L)	ปริมาณ NO_3^- ทั้งหมด (μg)	ปริมาณ O_3 ที่คำนวณได้	
						ppb	เฉลี่ย
22 ต.ค. 59	480	B1-H8	0.091				
		B2-H8	0.038				
		S1-H8	1.331	1.267	3.922	188.05	
		S2-H8	0.869	0.805	2.491	119.45	162.91
		S3-H8	1.285	1.221	3.780	181.22	
23 ต.ค. 59	480	B1-H8	0.075				
		B2-H8	0.034				
		S1-H8	2.059	2.005	6.207	297.63	
		S2-H8	2.614	2.560	7.926	380.04	361.73
		S3-H8	2.799	2.745	8.499	407.51	

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-2 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนด้วยวิธีพาสสีพที่ 24 ชั่วโมง

ว/ด/ป	ระยะเวลารับสัมผัส (min)	ชื่อ	$[NO_3^-]$ ที่วัดได้ (mg/L)	$[NO_3^-]$ (mg/L)	ปริมาณ NO_3^- ทั้งหมด (μg)	ปริมาณ O_3 ที่คำนวณได้	
						ppb	เฉลี่ย
13 ต.ค. 59	1140	B1-H24-A	0.099				
		B2-H24-A	0.038				
		S1-H24-A	2.216	2.148	6.650	106.29	
		S2-H24-A	2.355	2.287	7.081	113.17	106.87
		S3-H24-A	2.112	2.044	6.328	101.14	
17 ต.ค. 59	1140	B1-H24-A	0.025				
		B2-H24-A	0.023				
		S1-H24-A	0.799	0.775	2.400	38.36	
		S2-H24-A	0.790	0.766	2.372	37.91	36.46
		S3-H24-A	0.693	0.669	2.072	33.11	
18 ต.ค. 59	1140	B1-H24-A	0.195				
		B2-H24-A	0.128				
		S1-H24-A	1.184	1.023	3.166	50.61	
		S2-H24-A	0.619	0.458	1.417	22.64	35.68
		S3-H24-A	0.844	0.683	2.114	33.78	
19 ต.ค. 59	1140	B1-H24-A	0.065				
		B2-H24-A	1.766				
		S1-H24-A	2.609	1.694	5.244	83.82	
		S2-H24-A	2.358	1.443	4.467	71.40	74.37
		S3-H24-A	2.287	1.372	4.247	67.88	
20 ต.ค. 59	1140	B1-H24-A	0.062				
		B2-H24-A	0.080				
		S1-H24-A	1.585	1.514	4.689	74.93	
		S2-H24-A	1.537	1.466	4.540	72.56	95.14
		S3-H24-A	2.858	2.787	8.631	137.94	
22 ต.ค. 59	1140	B1-H24-A	0.070				
		B2-H24-A	0.019				
		S1-H24-A	1.633	1.589	4.919	78.62	
		S2-H24-A	1.279	1.235	3.823	61.10	72.09
		S3-H24-A	1.591	1.547	4.789	76.54	

ตารางที่ ค-2 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนด้วยวิธีพาสสีพที่ 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ว/ด/ป	ระยะเวลารับสัมผัส (min)	ชื่อ	$[NO_3^-]$ ที่วัดได้ (mg/L)	$[NO_3^-]$ (mg/L)	ปริมาณ NO_3^- ทั้งหมด (μg)	ปริมาณ O_3 ที่คำนวณได้	
						ppb	เฉลี่ย
23 ต.ค. 59	1140	B1-H24-A	0.104				
		B2-H24-A	0.066				
		S1-H24-A	3.552	3.467	10.737	171.60	
		S2-H24-A	2.098	2.013	6.234	99.63	131.24
		S3-H24-A	2.560	2.475	7.665	122.50	
1 พ.ย. 59	1140	B1-H24-B	0.085				
		B2-H24-B	0.111				
		S1-H24-B	0.745	0.647	2.004	32.02	
		S2-H24-B	1.310	1.212	3.753	59.99	44.41
		S3-H24-B	0.931	0.833	2.580	41.23	
2 พ.ย. 59	1140	B1-H24-B	0.071				
		B2-H24-B	0.086				
		S1-H24-B	0.866	0.788	2.439	38.98	
		S2-H24-B	1.028	0.950	2.940	46.99	44.54
		S3-H24-B	1.041	0.963	2.981	47.64	
3 พ.ย. 59	1140	B1-H24-B	0.029				
		B2-H24-B	0.036				
		S1-H24-B	5.435	5.403	16.730	267.39	
		S2-H24-B	2.989	2.957	9.156	146.33	217.87
		S3-H24-B	4.879	4.847	15.009	239.87	
5 พ.ย. 59	1140	B1-H24-B	0.229				
		B2-H24-B	0.124				
		S1-H24-B	4.383	4.207	13.027	208.20	
		S2-H24-B	4.784	4.608	14.268	228.05	231.58
		S3-H24-B	5.399	5.223	16.173	258.48	
6 พ.ย. 59	1140	B1-H24-B	0.120				
		B2-H24-B	0.143				
		S1-H24-B	2.639	2.508	7.765	124.11	
		S2-H24-B	3.045	2.914	9.022	144.20	121.09
		S3-H24-B	2.050	1.919	5.941	94.96	

ตารางที่ ค-2 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนด้วยวิธีพาสสีพที่ 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ว/ด/ป	ระยะเวลารับสัมผัส (min)	ชื่อ	$[NO_3^-]$ ที่วัดได้ (mg/L)	$[NO_3^-]$ (mg/L)	ปริมาณ NO_3^- ทั้งหมด (μg)	ปริมาณ O_3 ที่คำนวณได้	
						ppb	เฉลี่ย
7 พ.ย. 59	1140	B1-H24-B	0.077				
		B2-H24-B	0.083				
		S1-H24-B	3.854	3.723	11.528	184.24	
		S2-H24-B	3.868	3.737	11.571	184.94	180.70
		S3-H24-B	3.625	3.494	10.819	172.91	

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-3 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนภายในตู้ดูดควันด้วยวิธีพาสสีพที่ 7 วันต่อเนื่อง

ว/ด/ป	ระยะเวลารับสัมผัส (min)	ชื่อ	$[NO_3^-]$ ที่วัดได้ (mg/L)	$[NO_3^-]$ (mg/L)	ปริมาณ NO_3^- ทั้งหมด (mg)	ปริมาณ O_3 ที่คำนวณได้	
						ppb	เฉลี่ย
31 ต.ค. 59	10080	B1-D7-IN	0.097				
		B2-D7-IN	0.106				
		S1-D7-IN	10.154	10.053	31.130	71.08	
		S2-D7-IN	10.497	10.396	32.193	73.50	71.65
		S3-D7-IN	10.055	9.954	30.824	70.38	
22 พ.ย. 59	10080	B1-D7-IN	0.324				
		B2-D7-IN	0.135				
		S1-D7-IN	12.590	12.361	38.278	87.40	
		S2-D7-IN	11.480	11.251	34.840	79.55	83.34
		S3-D7-IN	11.978	11.749	36.382	83.07	

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2 ผลของความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซโอโซนจากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเทียบกับการตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดลาดกระบัง

ตารางที่ ค-4 เปรียบเทียบปริมาณโอโซนจากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเทียบกับการตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดลาดกระบัง

ว/ด/ป	ระยะเวลารับสัมผัส (min)	ชื่อ	$[NO_3^-]$ ที่วัดได้ (mg/L)	$[NO_3^-]$ (mg/L)	ปริมาณ NO_3^- ทั้งหมด (μg)	ปริมาณ O_3 ที่คำนวณได้	
						ppb	เฉลี่ย
22 พ.ย. 59	604800	B1-D7-OUT	0.202				
		B2-D7-OUT	0.153				
		B3-D7-OUT	0.312				
		S1-D7-OUT	0.326	0.104	0.321	0.73	
		S2-D7-OUT	0.427	0.205	0.634	1.45	
		S3-D7-OUT	0.467	0.245	0.758	1.73	
		S4-D7-OUT	0.807	0.585	1.811	4.13	3.664
		S5-D7-OUT	1.371	1.149	3.557	8.12	
		S6-D7-OUT	1.045	0.823	2.548	5.82	
28 พ.ย. 59	604800	B1-D7-OUT	0.193				
		B2-D7-OUT	0.198				
		B3-D7-OUT	0.165				
		S1-D7-OUT	0.498	0.313	0.968	2.21	
		S2-D7-OUT	0.676	0.491	1.519	3.47	
		S3-D7-OUT	0.376	0.191	0.590	1.35	
		S4-D7-OUT	1.03	0.845	2.616	5.97	3.79
		S5-D7-OUT	1.011	0.826	2.557	5.84	
		S6-D7-OUT	1.236	1.051	3.254	7.43	
5 ธ.ค. 59	604800	B1-D7-OUT	0.2754				
		B2-D7-OUT	0.209				
		B3-D7-OUT	0.226				
		S1-D7-OUT	2.747	2.510	7.774	17.75	
		S2-D7-OUT	1.793	1.556	4.819	11.00	
		S3-D7-OUT	1.877	1.640	5.079	11.60	14.29
		S4-D7-OUT	2.544	2.307	7.145	16.31	
		S5-D7-OUT	2.306	2.069	6.408	14.63	
		S6-D7-OUT	2.283	2.046	6.337	14.47	

2. ข้อมูลการสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล

ตารางที่ ค-5 ตารางผลการสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล

ว/ด/ป	ค่าสถิติ	อัตราการไหล (mL/min)				ว/ด/ป	ค่าสถิติ	อัตราการไหล (mL/min)			
		เครื่องสอบเทียบ		Bubble				เครื่องสอบเทียบ		Bubble	
		เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2			เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2
13 ต.ค. 59	Avg	909.64	905.31	1006.79	992.87	20 ต.ค. 59	Avg	911.10	917.81	952.20	1012.79
	S.D.	4.57	3.35	5.85	18.62		S.D.	6.31	2.74	8.70	11.47
	%RSD	0.50	0.37	0.58	1.88		%RSD	0.69	0.30	0.91	1.13
17 ต.ค. 59	Avg	911.74	922.54	960.99	1111.30	22 ต.ค. 59	Avg	922.65	918.09	961.13	993.99
	S.D.	3.98	8.24	13.34	20.88		S.D.	2.11	5.25	16.28	8.71
	%RSD	0.44	0.89	1.39	1.88		%RSD	0.23	0.57	1.69	0.88
18 ต.ค. 59	Avg	913.22	918.40	973.65	979.51	23 ต.ค. 59	Avg	906.60	911.58	970.04	940.21
	S.D.	6.35	2.10	7.54	6.38		S.D.	5.07	7.17	11.86	10.01
	%RSD	0.70	0.23	0.77	0.65		%RSD	0.56	0.79	1.22	1.06
19 ต.ค. 59	Avg	921.12	923.36	955.08	1048.04	27 ต.ค. 59	Avg	914.94	911.84	929.26	859.14
	S.D.	2.53	5.38	8.80	7.01		S.D.	3.30	8.81	28.29	24.28
	%RSD	0.28	0.58	0.92	0.67		%RSD	0.36	0.97	3.04	2.83

ตารางที่ ค-5 ตารางผลการสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล (ต่อ)

ว/ด/ป	ค่าสถิติ	อัตราการไหล (mL/min)				ว/ด/ป	ค่าสถิติ	อัตราการไหล (mL/min)			
		เครื่องสอบเทียบ		Bubble				เครื่องสอบเทียบ		Bubble	
		เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2			เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2
31 ต.ค. 59	Avg	902.24	917.12	896.55	920.65	5 พ.ย. 59	Avg	911.53	889.21	944.21	889.13
	S.D.	3.80	4.32	6.32	12.18		S.D.	6.50	4.05	16.91	14.65
	%RSD	0.42	0.47	0.70	1.32		%RSD	0.71	0.46	1.79	1.65
1 พ.ย. 59	Avg	913.93	906.59	895.38	932.35	6 พ.ย. 59	Avg	278.00	-	928.64	-
	S.D.	3.37	5.07	1.53	7.25		S.D.	443.15	-	11.01	-
	%RSD	0.37	0.56	0.17	0.78		%RSD	159.41	-	1.19	-
2 พ.ย. 59	Avg	921.97	916.92	931.48	1137.89	7 พ.ย. 59	Avg	920.91	898.01	295.32	262.91
	S.D.	4.98	4.64	3.85	9.26		S.D.	4.76	4.38	442.81	407.25
	%RSD	0.54	0.51	0.41	0.81		%RSD	0.52	0.49	149.94	154.90
3 พ.ย. 59	Avg	926.94	916.71	1038.51	924.12	22 พ.ย. 59	Avg	920.38	912.227	925.06	931.376
	S.D.	5.51	3.62	9.62	9.06		S.D.	8.14	6.22329	5.03	4.80072
	%RSD	0.59	0.39	0.93	0.98		%RSD	0.88	0.68221	0.54	0.51544

หมายเหตุ : - เครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลขัดข้องขณะทำการเก็บตัวอย่าง (Flow Fault)

ตารางที่ ค-5 ตารางผลการสอบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล (ต่อ)

ว/ด/ป	ค่าสถิติ	อัตราการไหล (mL/min)				ว/ด/ป	ค่าสถิติ	อัตราการไหล (mL/min)			
		เครื่องสอบเทียบ		Bubble				เครื่องสอบเทียบ		Bubble	
		เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2			เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2
23 พ.ย. 59	Avg	922.27	907.71	925.67	922.71	26 พ.ย. 59	Avg	926.20	919.74	926.77	932.29
	S.D.	7.44	5.94	4.89	9.55		S.D.	7.86	6.74	11.16	11.32
	%RSD	0.81	0.65	0.53	1.04		%RSD	0.85	0.73	1.20	1.21
24 พ.ย. 59	Avg	905.42	908.47	897.16	931.58	27 พ.ย. 59	Avg	909.27	905.66	906.12	981.77
	S.D.	4.55	3.33	5.23	6.60		S.D.	3.68	4.13	6.58	9.76
	%RSD	0.50	0.37	0.58	0.71		%RSD	0.41	0.46	0.73	0.99
25 พ.ย. 59	Avg	904.13	908.09	912.71	912.66	28 พ.ย. 59	Avg	911.90	916.14	899.38	970.32
	S.D.	6.90	5.27	4.48	6.57		S.D.	13.64	3.88	5.41	8.63
	%RSD	0.76	0.58	0.49	0.72		%RSD	1.50	0.42	0.60	0.89

3. ข้อมูลการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารในการทำกราฟมาตรฐานไอโอดีน

3.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ KIO_3, Stock $Na_2S_2O_3$ และ Stock I_2

ตารางที่ ค-6 ความเข้มข้นที่แน่นอนของ KIO_3, Stock $Na_2S_2O_3$ และ Stock I_2

ว/ด/ป	ปริมาตรเฉลี่ยที่ใช้ในการไทเทรตหาความเข้นข้นที่แน่นอน (mL)		ความเข้มข้นที่แน่นอน (N)		
	Stock $Na_2S_2O_3$	Stock I_2	KIO_3	Stock $Na_2S_2O_3$	Stock I_2
13 ต.ค. 59	20.03	16.53	0.0257	0.0257	0.0212
17 ต.ค. 59	25.43	19.47	0.0259	0.0204	0.0198
18 ต.ค. 59	20.00	16.53	0.0259	0.0259	0.0214
19 ต.ค. 59	19.90	16.37	0.0260	0.0261	0.0214
20 ต.ค. 59	21.60	16.67	0.0264	0.0244	0.0204
22 ต.ค. 59	19.93	16.63	0.0256	0.0257	0.0213
23 ต.ค. 59	19.50	16.60	0.0253	0.0260	0.0216
27 ต.ค. 59	19.87	36.60	0.0256	0.0258	0.0490
31 ต.ค. 59	40.00	33.50	0.0255	0.0128	0.0214
1 พ.ย. 59	20.77	16.30	0.0275	0.0265	0.0216
2 พ.ย. 59	19.67	16.53	0.0255	0.0259	0.0214
3 พ.ย. 59	19.97	17.17	0.0253	0.0254	0.0218
5 พ.ย. 59	20.33	16.63	0.0253	0.0249	0.0207
6 พ.ย. 59	22.20	16.27	0.0267	0.0241	0.0196
7 พ.ย. 59	21.13	16.30	0.0257	0.0243	0.0198
22 พ.ย. 59	20.13	16.43	0.0255	0.0253	0.0208
23 พ.ย. 59	20.27	33.40	0.0261	0.0258	0.0430
24 พ.ย. 59	18.27	33.60	0.0253	0.0277	0.0466
25 พ.ย. 59	21.37	33.40	0.0254	0.0238	0.0397
26 พ.ย. 59	19.37	33.23	0.0253	0.0261	0.0434
27 พ.ย. 59	19.10	32.67	0.0256	0.0268	0.0438
28 พ.ย. 59	19.73	33.53	0.0257	0.0261	0.0438

3.2 การตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไอโอดีน

ตารางที่ ค-7 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไอโอดีน

ว/ด/ป	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น (µL/50 mL 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์)			สมการเส้นตรง	ค่า R^2
	0.00	12.00	22.00		
17 ต.ค. 59	-0.007	0.650	1.139	y = 0.0522x + 0.0026	0.999
18 ต.ค. 59	-0.003	0.519	1.026	y = 0.0467x - 0.0149	0.9981
19 ต.ค. 59	0.008	0.546	1.019	y = 0.0459x + 0.0039	0.9998
20 ต.ค. 59	0.012	0.605	1.148	y = 0.0516x + 0.004	0.9993
22 ต.ค. 59	-0.006	0.485	0.969	y = 0.0442x - 0.0183	0.9977
23 ต.ค. 59	-0.007	0.488	0.952	y = 0.0435x - 0.0155	0.9989
27 ต.ค. 59	0.007	0.597	1.115	y = 0.0503x + 0.0027	0.9998
1 พ.ย. 59	-0.008	0.472	0.897	y = 2.2072x + 0.9987	0.9988
2 พ.ย. 59	-0.003	0.553	1.007	y = 0.0459x - 0.0015	1
3 พ.ย. 59	0.011	0.501	0.956	y = 0.0429x + 0.0033	0.999
5 พ.ย. 59	-0.003	0.551	1.049	y = 0.0478x - 0.009	0.9995
6 พ.ย. 59	-0.003	0.547	1.023	y = 0.0466x - 0.0059	0.9999
23 พ.ย. 59	-0.003	0.575	1.143	y = 0.052x - 0.0172	0.9978
25 พ.ย. 59	-0.008	0.539	1.114	y = 0.0508x - 0.0276	0.9955
26 พ.ย. 59	0.007	0.58	1.092	y = 0.0493x + 0.0013	0.9996
27 พ.ย. 59	-0.007	0.585	1.11	y = 0.0507x - 0.0122	0.9997
28 พ.ย. 59	-0.007	0.56	1.038	y = 0.0475x - 0.0079	1

ตารางที่ ค-7 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไอโอดีน (ต่อ)

ว/ด/ป	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น (µL/50 mL 1%KI ในสารละลายบัฟเฟอร์)										สมการเส้นตรง	ค่า R^2
	0.00	4.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00		
13 ต.ค. 59	0.000	0.221	0.338	0.432	0.529	0.612	0.705	0.81	0.901	0.995	y = 0.0454x - 0.0151	0.9990
7 พ.ย. 59	0.000	0.137	0.346	0.444	0.542	0.656	0.765	0.871	0.971	1.067	y = 0.0521x - 0.0736	0.9997
22 พ.ย. 59	-0.007	0.098	0.284	0.374	0.467	0.556	0.653	0.742	0.840	0.921	y = 0.0459x - 0.0839	0.9998
24 พ.ย. 59	0.011	0.170	0.28	0.423	0.454	0.551	0.653	0.747	0.829	0.916	y = 0.041x + 0.0085	0.9997

4. ข้อมูลความเข้มข้นของโอโซนจากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแอคทีพ

ตารางที่ ค-8 ความเข้มข้นของโอโซนด้วยวิธีแอคทีพ

ว/ด	ปริมาตรอากาศรวม (L)	ปริมาตรอากาศที่ STP (L)	Pressure (kPa)	Temp (K)	Abs	ปริมาณ O_3 ทั้งหมด (μL)	$[O_3]$ ในสภาวะก๊าซ	
							ppb	เฉลี่ย
13 ต.ค.	217.27	212.21	100.6	303.2	0.583	26.35	124.16	119.32
	218.31	213.23			0.539	24.41	114.48	
17 ต.ค.	218.82	214.43	100.6	302.2	0.405	15.42	71.90	70.95
	221.41	216.97			0.399	15.19	70.00	
18 ต.ค.	219.17	213.72	100.6	303.7	0.709	31.00	145.06	174.14
	220.42	214.93			1.005	43.68	203.23	
19 ต.ค.	221.07	215.70	100.5	303.2	0.801	69.46	322.03	319.81
	221.07	215.70			0.790	68.51	317.59	
20 ต.ค.	218.66	212.66	100.5	304.2	0.575	22.13	104.07	112.29
	220.27	214.22			0.670	25.81	120.50	
22 ต.ค.	221.44	215.43	100.7	304.7	0.373	17.71	82.19	154.48
	220.34	214.36			1.056	48.61	226.77	
23 ต.ค.	217.58	212.73	100.7	303.2	0.739	34.69	163.07	154.56
	218.78	213.90			0.664	31.24	146.06	
31 ต.ค.	219.59	214.90	100.8	303.2	0.252	9.91	46.13	46.67
	218.84	214.17			0.257	10.11	47.21	
1 พ.ย.	219.34	215.80	101.0	302.2	0.592	0.28	1.29	1.30
	217.58	214.07			0.592	0.28	1.30	
2 พ.ย.	221.27	217.70	101.0	302.2	0.017	0.81	3.70	1.80
	220.06	216.50			-0.002	-0.02	-0.10	
3 พ.ย.	222.47	217.86	100.7	302.7	0.514	23.81	109.29	141.92
	220.01	215.46			0.810	37.61	174.55	
5 พ.ย.	218.77	214.10	100.8	303.2	0.124	5.56	25.99	74.50
	213.41	208.85			0.605	25.69	123.01	
6 พ.ย.	219.99	215.29	100.8	303.2	0.255	11.20	52.01	52.01
	-	-			-	-	-	
7 พ.ย.	221.019	215.80	100.9	304.2	0.220	11.27	52.23	66.85
	215.522	210.44			0.373	17.14	81.47	

ตารางที่ ค-8 ความเข้มข้นของโอโซนด้วยวิธีแอคทีพ (ต่อ)

ว/ด	ปริมาตรอากาศรวม (L)	ปริมาตรอากาศที่ STP (L)	Pressure (kPa)	Temp (K)	Abs	ปริมาณ O_3 ทั้งหมด (μL)	$[O_3]$ ในสภาวะก๊าซ	
							ppb	เฉลี่ย
22 พ.ย.	220.891	215.68	100.8	303.2	0.051	5.88	27.25	23.30
	218.934	213.77			0.011	4.14	19.34	
23 พ.ย.	221.344	216.12	101.0	304.2	0.012	1.12	5.20	7.41
	217.849	212.71			0.036	2.05	9.62	
24 พ.ย.	217.300	212.17	101.0	304.2	0.537	25.78	121.51	71.69
	218.034	212.89			0.104	4.66	21.88	
25 พ.ย.	216.991	211.87	100.7	305.2	0.140	6.60	31.14	21.83
	217.942	212.80			0.040	2.66	12.51	
26 พ.ย.	222.288	217.04	101.0	303.7	0.138	5.55	25.55	35.24
	220.736	215.53			0.240	9.68	44.93	
27 พ.ย.	218.225	213.08	100.9	303.2	0.549	22.14	103.90	86.26
	217.358	212.23			0.357	14.56	68.62	
28 พ.ย.	218.856	213.69	100.8	304.2	0.272	11.79	55.15	30.90
	219.873	214.68			0.026	1.43	6.65	

หมายเหตุ : - เครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลขัดข้องขณะทำการเก็บตัวอย่าง (Flow Fault)

5. ข้อมูลเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ

5.1 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

ตารางที่ ค-9 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่าง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยด้วยวิธีแบบแอคทีพ (ppb)	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยด้วยวิธีแบบพาสสีพ (ppb)
13 ต.ค. 59	119.32	254.08
17 ต.ค. 59	70.95	104.68
18 ต.ค. 59	174.14	170.01
19 ต.ค. 59	319.81	262.00
20 ต.ค. 59	112.29	367.18
22 ต.ค. 59	154.48	162.91
23 ต.ค. 59	154.56	361.73
เฉลี่ย	157.94	240.37
อัตราส่วน	1.52	

5.2 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพ 24 ชั่วโมงเทียบกับวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

ตารางที่ ค-10 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่าง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยด้วยวิธีแบบแอคทีพ (ppb)	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยด้วยวิธีแบบพาสสีพ (ppb)
13 ต.ค. 59	119.32	106.87
17 ต.ค. 59	70.95	36.46
18 ต.ค. 59	174.14	35.68
19 ต.ค. 59	319.81	74.37
20 ต.ค. 59	112.29	95.14
22 ต.ค. 59	154.48	72.09
23 ต.ค. 59	154.56	131.24
เฉลี่ย	157.94	78.84
อัตราส่วน	2.00	

5.3 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ ค-11 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่าง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยด้วยวิธีแบบแอคทีพ (ppb)	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยด้วยวิธีแบบพาสสีพ (ppb)
1 พ.ย. 59	1.30	44.41
2 พ.ย. 59	1.80	44.54
3 พ.ย. 59	141.92	217.87
5 พ.ย. 59	74.50	231.58
6 พ.ย. 59	52.01	121.09
7 พ.ย. 59	66.85	180.70
เฉลี่ย	56.40	140.03
อัตราส่วน	2.48	

5.4 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 7 วันต่อเนื่องจากการจำลองสถานการณ์ตู้ดูดควัน

ตาราง ค-12 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่าง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนด้วยวิธีแบบแอคทีพ (ppb)	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนด้วยวิธีแบบพาสสีพ (ppb)
31 ต.ค. 59	385.05	71.08
	385.05	73.50
	385.05	70.38
22 พ.ย. 59	276.63	87.40
	276.63	79.55
	276.63	83.07
เฉลี่ย	330.84	77.50
อัตราส่วน	4.27	

5.5 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 7 วันต่อเนื่อง จากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัด

ตาราง ค-13 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่าง

วัน/เดือน/ปี	**ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ย ณ สถานีตรวจวัด (ppb)**	**ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยด้วยวิธีแบบพาสสีพ (ppb)**
22 พ.ย. 59	51.00	3.66
28 พ.ย. 59	54.00	3.79
5 ธ.ค. 59	59.00	14.29
เฉลี่ย	54.67	7.25
อัตราส่วน	**7.54**	

6. ข้อมูลสภาวะอากาศขณะเก็บตัวอย่าง ณ สถานีตรวจวัดลาดกระบัง

ตารางที่ ค-14 สภาวะอากาศขณะเก็บตัวอย่าง ณ สถานีตรวจวัดลาดกระบัง

เดือน		พฤศจิกายน										ธันวาคม			
วันที่		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4
ความเข้มข้นของโอโซน (ppb)	Min	2	3	3	3	2	4	6	5	5	4	5	4	4	5
	Max	10	13	13	9	13	12	12	11	13	16	14	15	16	14
	Avg	6	7	7	7	6	7	9	8	7	8	9	7	7	8
ความกดอากาศ (mbar)	Min	1008	1008	1008	1009	1009	1009	1009	1010	1012	1013	1014	1014	1013	1012
	Max	1009	1008	1009	1010	1009	1009	1010	1012	1013	1014	1015	1014	1014	1013
	Avg	1008	1008	1009	1009	1009	1009	1010	1011	1013	1014	1015	1014	1013	1013
ความชื้นสัมพัธ์ (%)	Min	68	60	60	72	76	70	65	65	66	65	63	62	64	66
	Max	80	68	71	78	78	75	70	68	68	66	66	64	66	69
	Avg	74	63	65	75	78	73	67	67	67	66	64	63	66	67
อุณหภูมิ (^{o}C)	Min	28	31	30	29	29	30	29	28	27	28	27	27	27	28
	Max	31	31	31	30	30	30	30	28	28	28	28	28	28	28
	Avg	29	31	31	29	29	30	29	28	27	28	28	28	27	28
ความเร็วลม (m/s)	Min	0.01	0	0.03	0.01	0.01	0	0.03	0.01	0	0.02	0.01	0.03	0.02	0
	Max	0.41	0.34	0.24	0.38	0.42	0.47	0.51	0.49	0.38	0.42	0.5	0.48	0.31	0.43
	Avg	0.12	0.14	0.12	0.16	0.14	0.19	0.23	0.23	0.17	0.15	0.19	0.19	0.11	0.13

ตารางที่ ค-14 สภาวะอากาศขณะเก็บตัวอย่าง ณ สถานีตรวจวัดลาดกระบัง (ต่อ)

เดือน		ธันวาคม						
วันที่		5	6	7	8	9	10	11
ความเข้มข้นของโอโซน (ppb)	Min	4	5	4	4	4	3	3
	Max	14	15	17	23	15	20	20
	Avg	10	8	8	10	9	7	7

ที่มา : กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร

ภาคผนวก ง

การคำนวณผลการทดลอง

1. หาความเข้มข้นโอโซนด้วยวิธีแบบพาสสีพ (Fick's First Law of Diffusion) ดังสมการ ง-1

$$C_o - C_i = \frac{X}{tD}R \qquad ง\text{-}1$$

เมื่อ C_o = ความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ ($\mu g/m^3$)

C_i = ความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศที่ถูกดูดซึมไว้บนผิวหน้าของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ ($\mu g/m^3$)

X = ปริมาณของสารมลพิษหลังจากได้รับสัมผัส (μg)

t = เวลาที่ได้รับสัมผัส (s)

D = ค่าคงที่การแพร่ของสารมลพิษในอากาศ (เท่ากับ 1.521×10^{-5} m^2s^{-1})

R = ค่าความต้านทานทั้งหมด (เท่ากับ 41.2 m^{-1})

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของโอโซนด้วยวิธีพาสสีพ วิเคราะห์ปริมาณไนเทรตในตัวอย่างได้ 1.952 mg/L และวิเคราะห์ปริมาณไนเทรตในแบลงค์โดยเฉลี่ยได้ 0.151

ความเข้มข้นของไนเทรตจากการวิเคราะห์ด้วย IC เท่ากับ 01.877 mg/L

$$X = 4\,\cancel{mL} \times \frac{1.877\,\cancel{mg}}{\cancel{1\,L}} \times \frac{1000\,\mu g}{\cancel{1\,mg}} \times \frac{\cancel{1\,L}}{\cancel{1000\,mL}}$$

$$= 5.811\ \mu g$$

ระยะเวลาการรับสัมผัส 8 ชั่วโมง

$$t = 8\,\cancel{hr} \times \frac{60\,\cancel{min}}{\cancel{1\,hr}} \times \frac{60\,s}{1\,\cancel{min}}$$

$$= 28800\ s$$

ดังนั้น

$$C_o - C_i = \frac{5.811\ \mu g}{28800\ s \times 1.521 \times 10^{-5}\ m^2 s^{-1}} \times 41.2\ m^{-1}$$

$$= 546.55\ \mu g/m^3 \text{ หรือ}$$

$$= \frac{546.55\ \frac{\mu g}{m^3} \times 24.47}{48 \times 1000}$$

$$= 0.28\ ppm \qquad = 278.63\ ppb$$

2. หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสต็อคโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N

ตัวอย่างการคำนวณ

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น (mL)	ปริมาตรสิ้นสุด (mL)	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
1	0.00	20.00	20.00
2	20.00	40.00	20.00
3	0.00	20.10	20.10
เฉลี่ย			20.03

$$(NV)_{Na_2S_2O_3} = (NV)_{KIO_3}$$

$$(20.03\ mL)\ N_{Na_2S_2O_3} = (0.0250\ N)(20\ mL)$$

$$N_{Na_2S_2O_3} = 0.0250\ N$$

3. หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสต็อคไอโอดีน

ตัวอย่างการคำนวณ

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น (mL)	ปริมาตรสิ้นสุด (mL)	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
1	0.00	17.70	17.70
2	0.00	17.60	17.60
3	17.60	35.10	17.50
เฉลี่ย			17.60

3.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสต็อคไอโอดีน

$$(NV)_{Stock\ I_2} = (NV)_{Na_2S_2O_3}$$

$$(17.60\ mL)\ N_{Stock\ I_2} = (0.0250\ N)(20\ mL)$$

$$N_{Stock\ I_2} = 0.0284\ N$$

3.2 หาปริมาตรไอโอดีนที่ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน I_2 no.1

$$(NV)_{Stock\ I_2} = (NV)_{I_2\ no.1}$$

$$(0.0284\ N)V_{I_2} = (0.0020\ N)(100\ mL)$$

$$V_{I_2} = 7.0423\ mL$$

3.3 การปรับเทียบสารละลายไอโอดีน

การปรับเทียบสารละลายไอโอดีนคำนวณจากปริมาณสัมพันธ์ของโอโซนกับไอโอดีน (อัตราส่วนโมล 1.25:1) ใน 100 mL ของสต็อคไอโอดีนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนเทียบเท่า 1 μL ของ O_3/mL ถ้าใน 250 mL จะมีไอโอดีนดังนี้

$$I_2 = \frac{250 \times 10^{-6} \times 1.25}{24.47}$$

$$= 12.7707 \text{ mL} \qquad = 12770 \ \mu\text{L}$$

4. การวิเคราะห์โอโซนในอากาศ

ตัวอย่างการคำนวณ

	เวลาเก็บอากาศ	อุณหภูมิ	ความดัน	อัตราการไหล
เริ่มต้น	8.00 น.	30.0°C	100.9 kPa	904.53 mL/min
สิ้นสุด	16.00 น.	30.0°C	100.9 kPa	909.75 mL/min
ค่าเฉลี่ย		30.0°C	100.9 kPa	907.14 mL/min

คิดปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (25°C, 101.3 kPa) ดังสมการ ง-2

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{2} \qquad \text{ง-2}$$

เมื่อ

P_1 = ความดันของบรรยากาศที่มาตรฐาน (101.3 kPa)

V_1 = ปริมาตรอากาศที่มาตรฐาน (L)

T_1 = อุณหภูมิที่มาตรฐาน (298.15 K)

P_2 = ความดันของบรรยากาศขณะเก็บตัวอย่าง (kPa)

V_2 = ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (L)

T_2 = อุณหภูมิในขณะเก็บตัวอย่าง (K)

$$\text{ได้ปริมาตรอากาศ} = \frac{100.9\ \text{kPa} \times 0.907\ \text{L} \times 298.15\ \text{K}}{303.15\ \text{K} \times 101.3\ \text{kPa}}$$

$$= 0.8885\ \text{L}$$

ปริมาณโอโซนทั้งหมด อ่านจากกราฟ เท่ากับ 14.09 μL

ความเข้มข้นของโอโซนในสภาวะก๊าซ

$$= \frac{\text{ปริมาณโอโซนทั้งหมด}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างอากาศ (L)}}$$

$$= \frac{14.09\ \mu\text{L}}{0.8885\ \text{L}} = 15.89\ \text{ppm}$$

ความเข้มข้นของโอโซนในหน่วย $\mu g/m^3$ ที่สภาวะมาตรฐาน

$$\mu g/m^3 = \frac{\text{ppm} \times 48}{24.47} \times 1000$$

$$= \frac{15.89\ \text{ppm} \times 48}{24.47} \times 1000$$

$$= 31169.60\ \mu g/m^3$$

5. การคำนวณการตัดข้อมูลที่สงสัยด้วยวิธี Q-test

จากสูตร $Q_{exp} = | X_d - X_n | / W$ ง-3

เมื่อ W = ค่าพิสัย

X_d = ค่าที่สงสัย

X_n = ค่าที่ใกล้เคียง

ตารางค่าวิกฤต Q_{crit} สำหรับการตัดทิ้ง

จำนวนครั้งที่ทดลอง	ระดับค่าความเชื่อมั่น		
	90%	95%	99%
3	0.941	0.970	0.994
4	0.765	0.829	0.926

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของไนเทรตจากการวิเคราะห์มีดังนี้ 121.31, 123.24 และ 69.49 ppb ตัดข้อมูลที่สงสัยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

พิสัย (W) = 123.24 – 69.49

= 53.75

ค่าที่สงสัย (X_d) = 69.49

ค่าใกล้เคียง (X_n) = 121.31

$Q_{exp} = | X_d - X_n | / W$

$= | 69.49 - 121.31 | / 53.75 = 0.964$

เนื่องจาก ถ้า $Q_{exp} > Q_{crit}$ ให้ตัดค่าที่สงสัยออก

แต่ 0.964 < 0.970

ดังนั้น ค่า 69.49 จึงไม่สามารถตัดข้อมูลออกได้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลทางสถิติ

1. **การหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นโอโซนด้วยวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS**

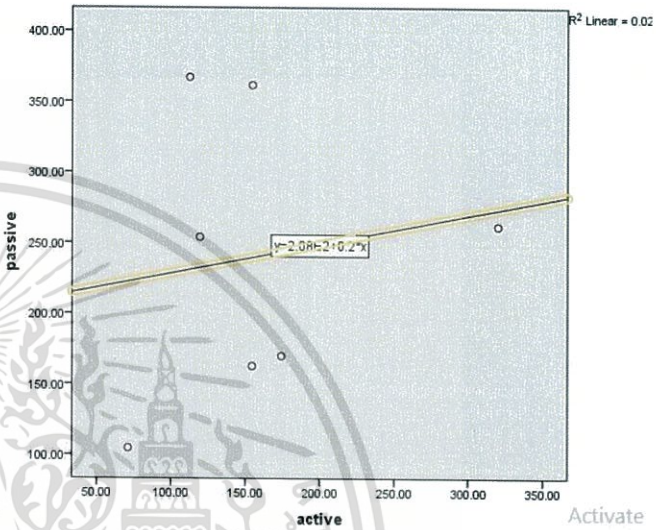
1.1 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพเทียบวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
active	157.9357	79.19430	7
passive	240.3700	100.68698	7

Correlations

		active	passive
active	Pearson Correlation	1	.161
	Sig. (2-tailed)		.730
	N	7	7
passive	Pearson Correlation	.161	1
	Sig. (2-tailed)	.730	
	N	7	7



รูปที่ จ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

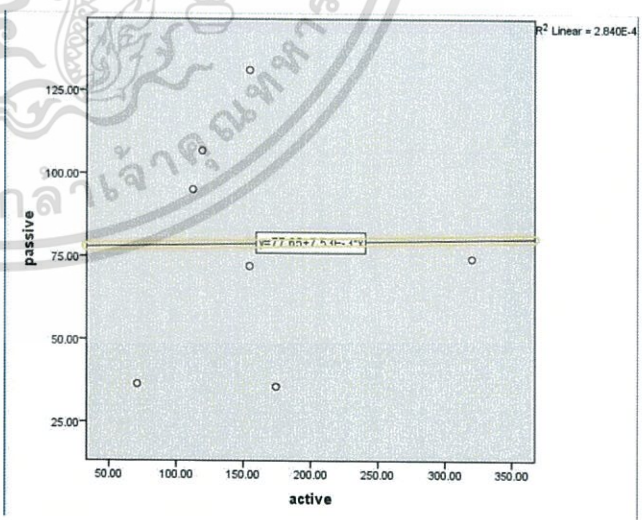
1.2 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพ 24 ชั่วโมงเทียบวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
active	157.9357	79.19430	7
passive	78.8357	35.40604	7

Correlations

		active	passive
active	Pearson Correlation	1	.017
	Sig. (2-tailed)		.971
	N	7	7
passive	Pearson Correlation	.017	1
	Sig. (2-tailed)	.971	
	N	7	7



รูปที่ จ-2 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีพาสสีพ 24 ชั่วโมงเทียบกับวิธีแอคทีพ 8 ชั่วโมง

1.3 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพเทียบวิธีแอคทีพ 24 ชั่วโมง

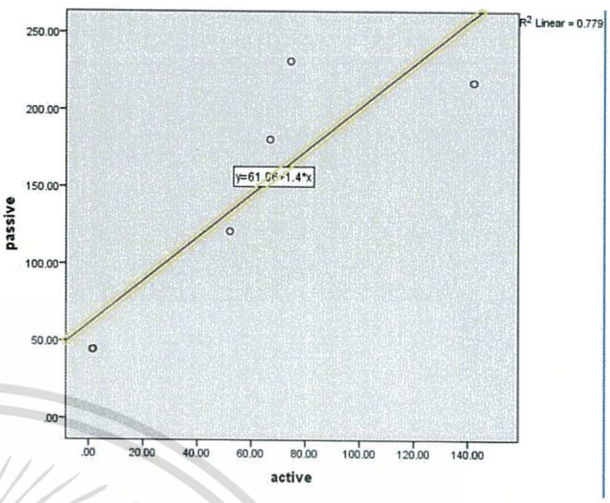
Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
active	56.3967	52.51081	6
passive	140.0317	83.32438	6

Correlations

		active	passive
active	Pearson Correlation	1	.882*
	Sig. (2-tailed)		.020
	N	6	6
passive	Pearson Correlation	.882*	1
	Sig. (2-tailed)	.020	
	N	6	6

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



รูปที่ จ-3 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 24 ชั่วโมง

1.4 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพเทียบวิธีแอคทีพ 7 วันต่อเนื่องจากในตู้ดูดควัน

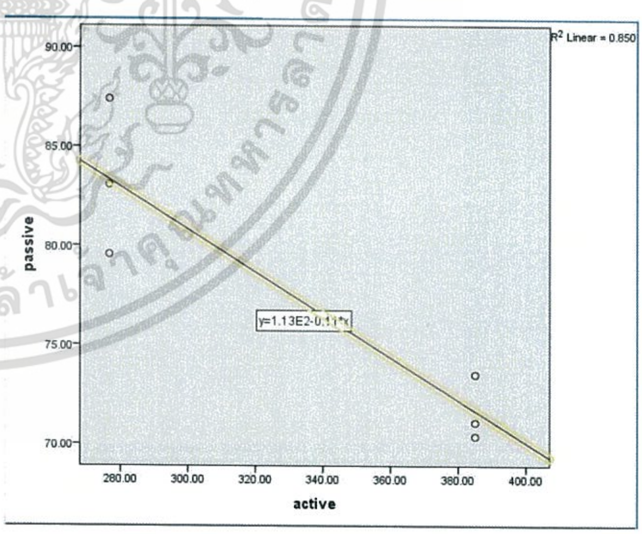
Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
active	330.8400	59.38408	6
passive	77.4967	6.94476	6

Correlations

		active	passive
active	Pearson Correlation	1	-.922**
	Sig. (2-tailed)		.009
	N	6	6
passive	Pearson Correlation	-.922**	1
	Sig. (2-tailed)	.009	
	N	6	6

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



รูปที่ จ-4 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ 7 วันต่อเนื่อง

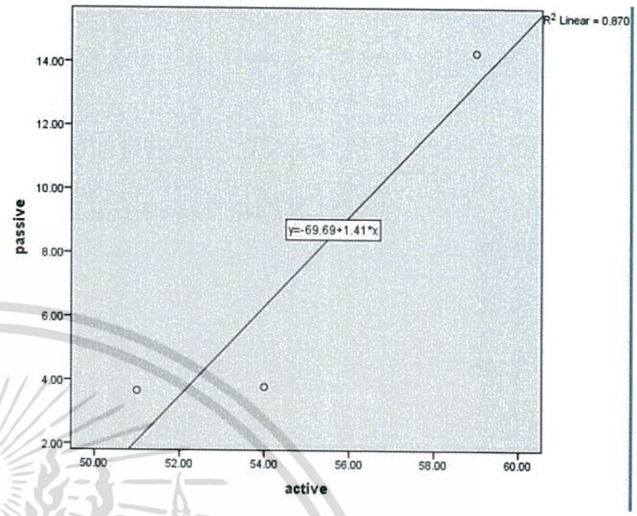
1.5 ผลของระยะเวลาต่อการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสสีพเทียบวิธีแอคทีพ 7 วันต่อเนื่อง ณ สถานีตรวจวัดลาดกระบัง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
active	54.6667	4.04145	3
passive	7.2467	6.10005	3

Correlations

		active	passive
active	Pearson Correlation	1	.932
	Sig. (2-tailed)		.235
	N	3	3
passive	Pearson Correlation	.932	1
	Sig. (2-tailed)	.235	
	N	3	3



รูปที่ จ-5 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีพาสสีพเทียบกับวิธีแอคทีพ ณ สถานีตรวจวัดลาดกระบัง