



รายงานฉบับย่อการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การศึกษาฝุ่นละออง, ซัลเฟอร์ออกไซด์ และ ไนโตรเจนออกไซด์
ที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม

(The Study of Particulate Matter, Sulferoxide and Nitrogenoxide
Emission from Industrial Factory)

โดย

นางสาวภกัณา อินแปลง รหัสประจำตัว B4560159

นางสาวลักคณา แสนหล้า รหัสประจำตัว B4561514

ปฏิบัติงาน ณ

บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเม้นท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด

165 ซอยลาดพร้าว 81 (จตุพร) ถนนลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง

เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร 10310

คำนำ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชาสหกิจศึกษา (600000) ได้จัดทำขึ้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการปฏิบัติงานในสถานประกอบการ รายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงสารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 3 ชนิด คือ ฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ โดยศึกษาในเรื่องแหล่งกำเนิด กลไกการเกิดผลกระทบ วิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ รวมถึงการควบคุมการปล่อยสารมลพิษทางอากาศ (ฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์) โดยใช้เทคโนโลยีและกฎหมาย

รายงานฉบับนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในเรื่องการศึกษาสารมลพิษที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 3 ชนิด ดังที่กล่าวไว้ในข้างต้น คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจและพร้อมที่จะมีส่วนร่วมในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

คณะผู้จัดทำรายงาน

6 ธันวาคม 2548

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

(Abstract)

ปัญหามลพิษอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรมมีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะมลพิษทางอากาศ ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพอนามัยของประชาชน ซึ่งเกิดจากการปฏิบัติอุตสาหกรรม ได้ทำให้อุตสาหกรรมประเภทต่างๆเติบโต และได้ส่งผลไม่เฉพาะต่อการยกระดับคุณภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์เท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนประชาชนอย่างรวดเร็วด้วย ซึ่งการเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีอิทธิพลอย่างเด่นชัดต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อมได้เข้าไปมีส่วนร่วมในกิจกรรมต่างๆของโรงงานอุตสาหกรรมอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ ประการแรก สิ่งแวดล้อมเป็นแหล่งผลิตทรัพยากรที่สำคัญที่ใช้เป็นปัจจัยการผลิต เช่น แหล่งน้ำบาดาลที่ใช้เป็นพลังงาน ป่าไม้ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม แร่ธาตุในดินใช้ในการเพาะปลูก เป็นต้น ประการที่สอง สิ่งแวดล้อมเป็นที่รองรับของเสียหรือมลพิษทางอากาศที่เกิดจากกระบวนการผลิต และการบริโภค เช่น ฝุ่นละออง, ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง น้ำทิ้งจากโรงงาน เป็นต้น เมื่อมีการเจริญเติบโตด้านอุตสาหกรรมจะก่อให้เกิดการปล่อยสารมลพิษออกสู่บรรยากาศมากขึ้น ซึ่งความสามารถของธรรมชาติในการรองรับมลพิษทางอากาศให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตนั้นมีจำกัด ถ้าโรงงานอุตสาหกรรมเติบโตจนทำให้มีการปล่อยมลพิษทางอากาศเกินความสามารถในการรองรับของธรรมชาติ มลพิษทางอากาศส่วนเกินเหล่านั้นก็จะนำไปสู่ปัญหาสิ่งแวดล้อม

ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ในการพัฒนาประเทศในด้านอุตสาหกรรมเพื่อป้องกันปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อม ควรให้ความสำคัญกับการวางแผน และการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอย่างรอบคอบ โดยมีการติดตาม และแก้ไขปัญหาภาวะสิ่งแวดล้อมอย่างใกล้ชิดตั้งแต่เริ่มต้น โดยไม่ปล่อยให้ลุกลามใหญ่โตได้ในอนาคต ซึ่งจะประสบผลสำเร็จได้นั้นทุกฝ่ายทั้งภาครัฐบาล ประชาชน และภาคอุตสาหกรรม ตระหนักถึงความสำคัญพร้อมให้ความร่วมมือกันอย่างเข้มแข็งให้เป็นไปตามมาตรฐานอากาศ

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 วัตถุประสงค์	1-1
1.2 รายละเอียดเกี่ยวกับบริษัท	1-1
1.3 รายละเอียดเกี่ยวกับงานที่ปฏิบัติ	1-3
1.4 รายละเอียดของลักษณะงานที่ได้ปฏิบัติ	1-5
1.5 วิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศในปล่องระบาย	1-6
1.6 วิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศในสถานประกอบการ	1-8
1.7 การตรวจวัดคุณภาพอากาศในสถานประกอบการและอาชีวอนามัย	1-7
บทที่ 2 แหล่งกำเนิดและผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากฝุ่นละออง, ซัลเฟอร์ออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์	2-1
2.1 ความหมายอากาศ	2-1
2.2 ความหมายบรรยากาศ	2-1
2.3 ความหมายมลพิษทางอากาศ	2-1
2.4 ความสำคัญของอากาศและบรรยากาศ	2-2
2.5 แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ	2-2
2.6 ชนิดของมลพิษทางอากาศ	2-3
2.7 สารที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ	2-4
2.8 ผลกระทบจากมลพิษอากาศ	2-8
บทที่ 3 การตรวจวัดและวิเคราะห์ฝุ่นละออง,ซัลเฟอร์ออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์	3-1
3.1 การตรวจวัดมลพิษอากาศ	3-1
3.2 รายละเอียดของวิธีการตรวจวัดสารมลพิษที่ระบายออกจากปล่อง โรงงานอุตสาหกรรม	3-2
1. U.S.EPA Method 1 การหาคำแหน่งและจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง	3-2
2. U.S.EPA Method 2 การหาความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซภายใน ปล่องโรงงานอุตสาหกรรม	3-6

	หน้า
3. U.S.EPA Method 3 วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ	3-9
4. U.S.EPA Method 4 การหาปริมาณความชื้นของอากาศภายในปล่อง โรงงานอุตสาหกรรม	3-12
5. U.S.EPA Method 5 วิธีเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณฝุ่นละอองภายในปล่อง โรงงาน อุตสาหกรรม	3-14
6. U.S.EPA Method 6 วิธีการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในปล่อง โรงงานอุตสาหกรรม	3-21
7. U.S.EPA Method 7 วิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ภายในปล่อง โรงงาน อุตสาหกรรม	3-29



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 รายละเอียดเกี่ยวกับงานที่ปฏิบัติ นางสาวกติมา อินแสง	1-3
ตารางที่ 1-2 รายละเอียดเกี่ยวกับงานที่ปฏิบัติ นางสาวลักคณา แสนหล้า	1-4
ตารางที่ 1-3 แสดงมาตรฐานระดับความร้อน	1-11
ตารางที่ 2-1 ผลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และควันหรือฝุ่นละอองต่อมนุษย์	2-11
ตารางที่ 2-2 ผลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อมนุษย์	2-14
ตารางที่ 3-1 แสดงจำนวนจุดเก็บตัวอย่างในการหาความเร็วของอากาศในปล่อง	3-3
ตารางที่ 3-2 ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างสำหรับปล่องที่หน้าตัดกลม	3-5
ตารางที่ 3-3 ปริมาตรของตัวอย่างอากาศที่ควรเก็บจากท่อหรือปล่อง ปริมาตรของ สารละลายตัวอย่างที่ควรใช้ในการ Titration และปริมาตรของ Barium perchlorate ($Ba(ClO_4)_2$) ที่ใช้สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับต่าง ๆ กัน	3-24



บทที่ 1

บทนำ

1. วัตถุประสงค์

- 1.1 เพื่อศึกษาการทำงานภายในบริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทัล แมนเนจเม้นท์ จำกัด
- 1.2 เพื่อศึกษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศในปล่องระบายอากาศ
- 1.3 เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมเพื่อนำไปใช้ในการกำหนดมาตรการป้องกัน และแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม
- 1.4 เพื่อเพิ่มพูนประสบการณ์จากการปฏิบัติงานจริง ณ บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทัล แมนเนจเม้นท์ จำกัด
- 1.5 เพื่อนำความรู้ที่ได้ศึกษามาปฏิบัติงานจริงในการทำงาน

2. รายละเอียดเกี่ยวกับบริษัท

บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทัล แมนเนจเม้นท์ จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 165 ซอยลาดพร้าว 81 (จิตพร) ถนนลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร 10310 เป็นบริษัทที่ปรึกษาเอกชนที่ให้คำปรึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยบุคลากรที่มีความชำนาญเฉพาะด้านในการจัดการสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีบุคลากรสนับสนุนที่มีประสบการณ์จากสถาบันการศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชนในหลากหลายสาขา เช่น วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย สุขศาสตร์อุตสาหกรรม และกฎหมายสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทัล แมนเนจเม้นท์ จำกัด ดำเนินการให้บริการด้านธุรกิจสิ่งแวดล้อมในสาขาต่างๆดังนี้

1. การตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental Monitoring)
2. การออกแบบทางด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม (Environmental Design)
3. การให้คำปรึกษาการจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 (ISO 14000 Consultant)

1. การตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental Monitoring)

1.1 การตรวจวัดคุณภาพอากาศ (Air Monitoring)

- การตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย (Stack Sampling)
-

นักศึกษาด้านอาชีวอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปฏิบัติงาน ณ บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทัล แมนเนจเม้นท์ จำกัด

- การตรวจวัดคุณภาพอากาศในสถานประกอบการ (Working Place)
 - การตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ (Ambient Air)
- 1.2 การตรวจวัดคุณภาพน้ำ (Water&Wastewater)
- แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น ลำคลอง อ่างเก็บน้ำ น้ำทะเล น้ำทะเล เป็นต้น
 - น้ำประปาเพื่อการอุตสาหกรรม
 - น้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน
 - น้ำดื่มเพื่อการบริโภค
- 1.3 วิเคราะห์หาสารปนเปื้อนในดิน (Soil Contaminate)
- การปนเปื้อนของกลุ่มโลหะหนักในดิน
 - การปนเปื้อนของสารเคมีกลุ่ม VOC
- 1.4 การตรวจวัดทางด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรม (Industrial Hygiene Monitoring)
- การตรวจวัดระดับความดังเสียงใน โรงงานอุตสาหกรรม
 - การตรวจวัดระดับความดังในชุมชน
 - การตรวจวัดปริมาณเสี่ยงสะสมของพนักงานใน โรงงาน
 - การตรวจวัดความเข้ม ของแสง ในพื้นที่ทำงาน
 - การตรวจวัดความร้อนในพื้นที่ทำงานตามแบบ WBGT
 - บริการตรวจสุขภาพพนักงานประจำปี โดยหน่วยแพทย์เคลื่อนที่ที่มีความชำนาญ
2. การออกแบบทางด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม (Environmental Engineering Design)
- ออกแบบและก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย
 - ออกแบบและดำเนินการติดตั้งระบบระบายอากาศ
 - ให้คำแนะนำและปรึกษาเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย และระบบระบายอากาศ
3. การให้คำปรึกษาการจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม
- การจัดเตรียมเอกสารและการควบคุมเอกสาร
 - การตรวจประเมินปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ
 - การเขียนคู่มือสิ่งแวดล้อมและวิธีปฏิบัติงาน
 - กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานสิ่งแวดล้อม และอาชีวอนามัย

3. รายละเอียดเกี่ยวกับงานที่ปฏิบัติ

ตารางที่ 1-1 รายละเอียดเกี่ยวกับงานที่ปฏิบัติ นางสาวกณิศา อินแปลง

หัวข้องาน		เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
1.	การตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ระบายออกจากปล่อง	1ก.ย-25ต.ค 2548			
2.	การประเมินผลกระทบและจัดทำรายงาน		26ต.ค-10พ.ย 2548		
3.	การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในโรงงาน,ระดับเสียง, แสงและความร้อน		9ต.ค-15พ.ย.2548		
4.	การตรวจวิเคราะห์คุณภาพอากาศและคุณภาพน้ำ		17ต.ค-3พ.ย.2548		
5.	กำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไข้ปัญหา		15พ.ย-26พ.ย.2548		
6.	สรุป			27พ.ย-5ธ.ค 2548	



ตารางที่ 1-2 รายละเอียดเกี่ยวกับงานที่ปฏิบัติ นางสาวลักกณา แสนหล้า

หัวข้องาน		เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
1.	การตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ระบายออกจากปล่อง		9ค.ค-15พ.ย.2548		
2.	การประเมินผลกระทบและจัดทำรายงาน		26ค.ค-10พ.ย.2548		
3.	การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในโรงงาน,ระดับเสียง, แสงและความร้อน	1ก.ย-25ค.ค.2548			
4.	การตรวจวิเคราะห์คุณภาพอากาศและคุณภาพน้ำ		17ค.ค-3พ.ย.2548		
5.	กำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหา		15พ.ย-26พ.ย.2548		
6.	สรุป			27พ.ย-5ธ.ค.2548	



รายละเอียดของลักษณะงานที่ได้ปฏิบัติ

การตรวจวัดปริมาณของสารที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่อง

การตรวจวัดปริมาณของสารที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องโรงงานในแต่ละ โรงงาน โดยเป็นไปตามวิธีการตรวจวัดตามมาตรฐานของ U.S.EPA Method (United State Environmental Protection Agency) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการตรวจวัด โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีที่ 1 ถึง 8 ดังนี้

U.S.EPA Method 1 “Sample and Velocity Transverse for Stationary Sources”

การหาคำแหน่งและจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง

U.S.EPA Method 2 “Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric”

การหาความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

U.S.EPA Method 3 “Gas Analysis for Carbon Dioxide, Oxygen, Excess Air , and Molecular weight”

วิธีการหาน้ำหนัก โมเลกุลของอากาศ

U.S.EPA Method 4 “Determination of Moisture Content in Stack Gases”

การหาปริมาณความชื้นของอากาศภายในปล่อง โรงงานอุตสาหกรรม

U.S.EPA Method 5 “Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources”

วิธีเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณฝุ่นละอองภายในปล่อง โรงงานอุตสาหกรรม

U.S.EPA Method 6 “Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources”

วิธีการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในปล่อง โรงงานอุตสาหกรรม

U.S.EPA Method 7 “Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources”

วิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ภายในปล่อง โรงงานอุตสาหกรรม

U.S.EPA Method 8 “Determination of Sulfuric Acid and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources”

วิธีการตรวจวัด ไอกรดซัลฟูริกและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในปล่อง โรงงานอุตสาหกรรม

โดยในการตรวจวัดสารมลพิษที่ระบายออกจากปล่อง โรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะพิจารณาจากรายละเอียด และกระบวนการผลิตของโรงงานนั้นๆ เป็นสำคัญ และสามารถเลือกใช้วิธีที่ถูกต้องมากที่สุด เพื่ออากาศที่ออกมาจะได้เป็นไปตามมาตรฐาน และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

วิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศในปล่องระบาย

1. ฝุ่นละออง (Particulate)

วิธีการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท Particulate จากปล่องระบาย ใช้หลักการดูดอากาศจากแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Source) ทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Isokinetic (Dry basis) โดยใช้ Filter ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ขณะเก็บตัวอย่างให้ความร้อน Probe และ Filter box ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยที่ความเร็วลมภายในปล่องระบายกับความเร็วลมขณะตรวจวัดจะต้องเท่ากัน เพื่อป้องกันการหักเหของอนุภาคฝุ่นละอองขณะเคลื่อนที่ และเปอร์เซ็นต์ไอโซไคเนติกที่ยอมรับได้ ไม่เกิน ± 10 เปอร์เซ็นต์ ตามสูตร

$$\% \text{ Isokinetic} = (V_n/V_s) \times 100$$

V_n = ความเร็วลมของอากาศที่เข้าไปยังหัวเก็บตัวอย่างอากาศ (Nozzle)

V_s = ความเร็วลมของอากาศเสียในปล่องระบาย

ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Gravimetric Method ทั้งนี้อ้างอิงวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตาม US.EPA Method 5

2. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide; SO₂)

วิธีการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท SO₂ จากปล่องระบาย ทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ Dry Gas Meter (APEX U.S.A.) ดูดอากาศผ่าน Probe และให้ความร้อนแก่ Probe ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวมตัวกับไอน้ำเกาะตาม Probe จากนั้นแยกตะกอนกรดซัลฟูริกและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากอากาศตัวอย่างด้วยใยแก้ว (Glass Wool) และ 80% Isopropyl Alcohol ตามลำดับ แล้วจึงดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3% จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยวิธี Barium Thorin Titration Method

วิธีนี้สามารถวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปล่องที่ค่าต่ำสุดคือ 3.4 มก./ลบ.ม. (1.3 ส่วนในล้านส่วน) และค่าสูงสุดคือ 80,000 มก./ลบ.ม. (30,600 ส่วนในล้านส่วน)

สิ่งที่รบกวนผลการวัด คือ แอมโมเนียอิสระ อนุมลประจุบวกที่ละลายน้ำและฟลูออไรด์ สำหรับอนุมลประจุบวกที่ละลายน้ำและฟลูออไรด์จะถูกดักโดยใยแก้วและ Isopropyl Alcohol ทั้งนี้อ้างอิงวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตาม US.EPA Method 6

3. ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxide of Nitrogen; NO_x)

วิธีการเก็บตัวและวิเคราะห์อย่างคุณภาพอากาศประเภท NO_x จากปล่องระบาย ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ Dry Gas Meter (APEX U.S.A.) ดูดผ่าน Absorbing Solution ซึ่งเป็นสารละลายดูดซึมเจือจางของกรดซัลฟูริกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนเปอร์ออกไซด์ ยกเว้นก๊าซไนตรัสออกไซด์ด้วยวิธีการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ 410 นาโนเมตร โดยทำปฏิกิริยากับกรดฟินอลไดซัลฟอนิกและทำการวิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric Method ทั้งนี้อ้างอิงวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตาม US.EPA Method 7

4. คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide; CO)

วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท CO จากปล่องระบาย ทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ Personal Air Sampler ครอบอากาศจากปล่องระบายใส่ Plastic bag ชนิด Polyethylene รักษาสภาพตัวอย่างด้วยการบรรจุใส่ถุงสีดำป้องกันการทำปฏิกิริยากับแสง และทำการวิเคราะห์โดยวิธี Non-Dispersion Infrared Detector (NDIR) ทั้งนี้อ้างอิงวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตาม US.EPA Method 10

5. ทองแดง (Copper; Cu)

วิธีการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท Cu จากปล่องระบาย ซึ่งปนเปื้อนในรูปของฝุ่นละออง ใช้หลักการดูดอากาศจากแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Source) ทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Isokinetic (Dry Basis) โดยใช้ Filter ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ขณะเก็บตัวอย่างให้ความร้อน Probe และ Filter Box ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยที่ความเร็วลมภายในปล่องระบายกับความเร็วลมขณะตรวจวัดจะต้องเท่ากัน เพื่อป้องกันการหักเหของอนุภาคฝุ่นละอองขณะเคลื่อนที่ และเปอร์เซ็นต์ไอโซไคนेटิกที่ยอมรับได้ ไม่เกิน ± 10 เปอร์เซ็นต์ ตามสูตร

$$\% \text{ Isokinetic} = (V_n/V_s) \times 100$$

V_n = ความเร็วลมของอากาศที่เข้าไปยังหัวเก็บตัวอย่างอากาศ (Nozzle)

V_s = ความเร็วลมของอากาศเสียในปล่องระบาย

ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer Method ทั้งนี้อ้างอิงวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตาม US.EPA Method 29

6. ตะกั่ว (Lead; Pb)

วิธีการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท Pb จากปล่องระบาย ซึ่งปนเปื้อนในรูปของฝุ่นละออง ใช้หลักการดูดอากาศจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ก่บที่ (Stationary Source) ทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Isokinetic (Dry Basis) โดยใช้ Filter ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ขณะเก็บตัวอย่างให้ความร้อน Probe และ Filter Box ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยที่ความเร็วลมภายในปล่องระบายกับความเร็วลมขณะตรวจวัดจะต้องเท่ากัน เพื่อป้องกันการหักเหของอนุภาคฝุ่นละอองขณะเคลื่อนที่ และเปอร์เซ็นต์ไอโซไคเนติกที่ยอมรับได้ ไม่เกิน ± 10 เปอร์เซ็นต์ ตามสูตร

$$\% \text{ Isokinetic} = (V_n/V_s) \times 100$$

V_n = ความเร็วลมของอากาศที่เข้าไปยังหัวเก็บตัวอย่างอากาศ (Nozzle)

V_s = ความเร็วลมของอากาศเสียในปล่องระบาย

ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometric Method ทั้งนี้อ้างอิงวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตาม US.EPA Method 12

วิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศในสถานประกอบการ

1. ฝุ่นละออง (Total Dust)

วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท Total Dust ในสถานประกอบการ โดยใช้วิธีมาตรฐานการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างคุณภาพอากาศจากแหล่งกำเนิด NIOSH 0500 โดยใช้อุปกรณ์คือ Personal Air Sampler ดูดอากาศจากพื้นที่ทำงานผ่าน Membrane Filter ประเภท Glass Fiber Filter อัตราการดูดอากาศ 1.0-2.0 ลิตร/นาที รักษาสภาพตัวอย่างด้วยการเก็บตัวอย่างในกล่องกันสะเทือน และทำการวิเคราะห์โดยวิธี Gravimetric Method

2. วิธีการตรวจวัดระดับความดังเสียง

การตรวจวัดระดับเสียงในสถานประกอบการใช้เครื่องวัดระดับเสียง Integrated Sound Level Meter ตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission; IEC 651 หรือ 804 ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด (Tolerance) ± 0.5 dB(A) การตั้งไมโครโฟนของเครื่องวัดระดับเสียง สำหรับการตรวจวัดระดับเสียงบริเวณภายนอกอาคาร ตั้งสูงจากพื้นดินไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร โดยรัศมี 3.50 เมตร ตามแนวราบรอบไมโครโฟน ไม่มีกำแพงหรือสิ่งอื่นใดที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียงกีดขวางอยู่ และสำหรับการตรวจวัดระดับเสียงบริเวณภายในอาคาร ตั้งสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร โดยในรัศมี 1.00 เมตร ไม่มี

กำแพงหรือสิ่งอื่นใดที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียงกีดขวางอยู่และตั้งห่างจากช่องหน้าต่างหรือช่องทางที่เปิดออกนอกอาคารอย่างน้อย 1.50 เมตร ทำการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง พร้อมกับปรับเครื่องวัดระดับเสียงไปที่วงจรวัดน้ำหนัก "A" (weighting Network "A") และความไวในการตอบรับเสียง "Fast" (Dynamic Characteristics "Fast") พร้อมทั้งปรับเทียบความเที่ยงตรงในการวัดด้วย Acoustic Calibrator ก่อนการตรวจวัดทุกครั้ง

สำหรับการคำนวณค่าระดับเสียงเป็นไปตามวิธีการของ International Organization for Standardization (ISO) กำหนด

การตรวจวัดคุณภาพอากาศในสถานประกอบการและอาชีวอนามัย

1. การตรวจวัดเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน (BTEX)

หลักการในการตรวจวัด คือ เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้เครื่องสูบอากาศชนิด Personal Pump สูบตัวอย่างอากาศด้วยอัตราการไหล (Flow Rate) 0.2 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 40 นาที ผ่าน Charcoal Tube นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณ BTEX ด้วยเครื่อง Gas Chromatographic Method ตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH Method 1501 สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน (สารเคมี) ฉบับที่ 103 ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย (30 พฤษภาคม 2520) ได้กำหนดให้ เบนซีน โทลูอีน และไซลีนมีความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติไม่เกิน 10 ppm, 100 ppm, และ 200 ppm. ตามลำดับ สำหรับ เอทิลเบนซีนยังไม่มีมาตรฐานกำหนด

2. การตรวจวัดฝุ่นทุกขนาด (Total Dust)

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยซักตัวอย่างอากาศด้วย Personal Pump ที่ระดับความสูง 1.5 เมตรจากพื้น ด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้กระดาษกรองชนิด Polyvinyl Chloride Filter ซึ่งผ่านการควบคุมความชื้นใน Desiccator เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ ชั่งน้ำหนักก่อนตรวจวัด นำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นมาควบคุมความชื้นและชั่งน้ำหนักฝุ่นละอองอีกครั้งหนึ่ง เพื่อคำนวณหาปริมาณฝุ่นเฉลี่ยในเวลาปฏิบัติงาน ด้วยวิธี Pre and Post Weight Difference และนำผลคำนวณของฝุ่นละอองในแต่ละช่วงเวลามาคำนวณแบบถ่วงน้ำหนัก Time-Weight Average (TWA) ตามมาตรฐาน OSHA และ ACGIH โดยวิธีมาตรฐาน NIOSH Method 0500 (Gravimetric Low Volume) สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน (สารเคมี) ฉบับที่ 103 ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย (30 พฤษภาคม 2520) ได้กำหนดให้ปริมาณฝุ่นทุกขนาดเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3. การตรวจวัดฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมปอดได้ (Respirable Dust)

ทำการเก็บตัวอย่างซัคตัวอย่างอากาศโดยซัคตัวอย่างอากาศด้วย Personal Pump ที่ระดับความสูง 1.5 เมตรจากพื้น ด้วยอัตราการไหล 1.7 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผ่านกระดาษกรองชนิด Polivinyll Chloride Filter ซึ่งผ่านการควบคุมความชื้นใน Desiccator เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักก่อนตรวจวัด นำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นมาควบคุมความชื้น และชั่งน้ำหนักฝุ่นละอองอีกครั้งหนึ่ง เพื่อคำนวณหาปริมาณฝุ่นเฉลี่ยในเวลาปฏิบัติงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ด้วยวิธี Pre and Post Weight ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH Method 0600 (Gravimetric Low Volume) สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน (สารเคมี) ฉบับที่ 103 ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย (30 พฤษภาคม 2520) ได้กำหนดให้ปริมาณฝุ่นทุกขนาดเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4. การตรวจวัดระดับเสียงบนพื้นที่ปฏิบัติงานที่ 8 ชั่วโมง

ทำการตรวจวัดโดยใช้มาตรวัดระดับเสียงชนิด Integrated Sound Level Meter มี Wind Screen ติดที่หัว Microphone เพื่อป้องกัน และกำบังลมที่เป็นปัจจัยทำให้เกิดการผิดพลาดขณะตรวจวัด การตรวจวัดกระทำโดยติดตั้งไมโครโฟนบนขาตั้งให้ไมโครโฟนอยู่สูงจากพื้น 1.2-1.5 เมตร ในรัศมี 1.5 เมตร ตามแนวราบโดยรอบไม่มีกำแพงหรือสิ่งกีดขวางอื่นใดที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนสิ่งกีดขวางอยู่ จากนั้นทำการตรวจวัดระดับเฉลี่ย 8 ชั่วโมง สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546 (6 พฤศจิกายน 2546) ซึ่งมาตรฐานระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมงไม่เกิน 90 dB(A) ระดับเสียงสูงสุดไม่เกิน 140 dB(A) ที่ระยะเวลาทำงานเกิน 7 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 8 ชั่วโมง

5. การตรวจวัดความร้อนในสถานประกอบการ

หลักการในการตรวจวัด คือ ตรวจวัดความร้อนด้วยด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิชนิด Globe Thermometer โดยตรวจวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกตามธรรมชาติ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และ อุณหภูมิแบบกลไก นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) ด้วยสมการในกรณีที่อยู่ภายในอาคารที่ไม่มีแสงแดดหรือในร่ม

$$\text{เมื่อ } \text{WBGT} = 0.7(\text{NWB}) + 0.3(\text{GT})$$

NWB = อุณหภูมิกระเปาะเปียกตามธรรมชาติ (องศาเซลเซียส)

GT = อุณหภูมิแบบกลไก (องศาเซลเซียส)

สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการ โรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546 (6 พฤศจิกายน 2546) ซึ่งมาตรฐานของระดับความร้อนขึ้นอยู่กับความหนักเบาของงาน ดังตาราง

ตารางที่ 1-1 แสดงมาตรฐานระดับความร้อน

ความหนักเบาของงาน	มาตรฐานระดับความร้อน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเวทปรับโลกบ (WBGT) กำหนดเป็นองศาเซลเซียส
เบา	34.0
ปานกลาง	32.0
หนัก	30.0

* ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการ โรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546

6. การตรวจวัดระดับเสียงแบบติดตัวบุคคล (Noise Dose)

หลักการในการตรวจวัด โดยใช้มาตรวัดระดับเสียงชนิด Noise Dose Meter ทำการปรับความเที่ยงตรงของระดับเสียงด้วยเครื่อง Sound Level Calibrator เพื่อปรับแต่งค่าให้คงที่ก่อนการตรวจวัด ขณะตรวจวัดให้ปรับ Mode ของมาตรระดับเสียงไปที่สเกลถ่วงน้ำหนัก A ซึ่งระดับความถี่ที่คนปกติได้ยินและรับได้ตั้งแต่ 20-20,000 Hz เพื่อปรับเทียบการทำงานของมาตรวัดระดับเสียงให้ถูกต้องก่อนการตรวจวัด โดยคิดมาตรวัดระดับเสียงกับบุคคล เช่น ติดไว้ที่เอวหรือกระเป๋าชุดทำงาน โดยให้ตำแหน่งของไมโครโฟนติดที่คอเสื้อและอยู่ใกล้กับหู สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการ โรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546 (6 พฤศจิกายน 2546) ซึ่งมาตรฐานระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมงไม่เกิน 90 dB(A) ระดับเสียงสูงสุดไม่เกิน 140 dB(A) ที่ระยะเวลาทำงานเกิน 7 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 8 ชั่วโมง

7. การตรวจวัดความเข้มแสงในสถานประกอบ

หลักการในการตรวจวัด โดยใช้เครื่องเข้มของแสงสว่าง (Light Meter) ตามที่กำหนดในมาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม ที่บริเวณกึ่งกลางของพื้นที่ทำงาน แล้วหาค่าเฉลี่ยความ

เข้มของแสงสว่างในแต่ละพื้นที่ทำงาน เพื่อนำมาประเมินผลเทียบกับมาตรฐานคุ้มครองความปลอดภัยในการทำงานในสถานประกอบกิจการ โรงงานเกี่ยวกับสถานะแวดล้อมในการทำงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (6 พฤศจิกายน 2546) โดยมาตรฐานจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของชิ้นงานที่ปฏิบัติ

8. การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ทำการตรวจวัดโดยชักตัวอย่างด้วย Personal Pump ที่ระดับความสูง 1.5 เมตรจากพื้น อัตราการไหล 0.05 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ใส่ Tedlar Sampling Bag นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยการฉีดเข้าเครื่อง CO Analyzer โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ Non-Dispersive Infrared Method (NDIR) เทียบความเข้มข้นของก๊าซที่ตรวจวัดได้กับมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้น (Certified Standard Gas) สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสถานะแวดล้อม (สารเคมี) ฉบับที่ 103 (30 พฤษภาคม) กำหนดให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไม่เกิน 55 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (55 ppm.)

9. การตรวจวัดกรดไนตริก (Nitric Acid) และก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride)

หลักการในการตรวจวัดของกรดทั้งสองชนิดจะมีหลักการเดียวกัน คือ ชักตัวอย่างอากาศโดยใช้ Personal Pump ที่ระดับความสูง 1.5 เมตรจากพื้น ด้วยอัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผ่าน Siliga Gel (Specific Cleaned) นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ กรดไนตริกโดยเครื่อง Ion Chromatography ตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH Method 7903 สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสถานะแวดล้อม (สารเคมี) ฉบับที่ 103 (30 พฤษภาคม 2520) กำหนดให้ปริมาณกรดไนตริก ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (2 ppm.) และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ไม่เกิน 7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (5 ppm.)

10. การตรวจวัดไอน้ำมัน (Oil Mist)

หลักการตรวจวัด โดยการชักตัวอย่างอากาศด้วย Personal Pump ที่ระดับความสูง 1.5 เมตรจากพื้น ด้วยอัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผ่าน Polyvinyl Chloride Filter นำกระดาษกรองที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ ไอน้ำมัน ด้วยเครื่อง Infrared Spectrophotometry ตามมาตรฐาน NIOSH Method 5026

บทที่ 2

แหล่งกำเนิดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากฝุ่นละออง, ซัลเฟอร์ออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์

อากาศ (Air) คือ ของผสมที่เกิดจากก๊าซหลายชนิด อากาศบริสุทธิ์จะ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส ส่วนผสมสำคัญโดยปริมาตร ได้แก่ ไนโตรเจน จำนวนร้อยละ 78.09 ออกซิเจน ร้อยละ 20.94 ก๊าซเฉื่อย ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ ก๊าซอาร์กอน ร้อยละ 0.93 คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 0.03 และส่วนผสมของ ก๊าซฮีเลียม ไฮโดรเจน นีออน คริปทอน ซีนอน โอโซน มีเทน ไออน้ำและสิ่งอื่นรวมกันร้อยละ 0.01

อากาศใกล้ผิวโลกจะมีอยู่อย่างหนาแน่นมากที่สุดเพราะแรงดึงดูดของโลกปริมาณและการปรากฏของก๊าซจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสถานที่ ก๊าซออกซิเจนที่พอเหมาะแก่การดำรงชีวิตจะอยู่สูงจากพื้นโลก 5 - 6 กิโลเมตร ตามธรรมชาติแล้วอากาศที่บริสุทธิ์จะหาได้ยากมาก และการที่อากาศลอยปนอยู่กับลักษณะทางกายภาพจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงได้

บรรยากาศ (Atmosphere) คือ มวลก๊าซที่ห่อหุ้มตั้งแต่ผิวโลกจนถึงสูงขึ้นไปประมาณ 900 กิโลเมตร โดยจะเกิดร่วมกับลักษณะทางกายภาพอื่น ได้แก่ อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้น ลม และอนุภาคฝุ่นผงหรือมลสาร (Pollutant) ซึ่งอยู่ในระดับต่ำและคงอยู่ได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก บรรยากาศที่สูงขึ้นไปประมาณ 80 กิโลเมตรจะมีส่วนผสมของก๊าซคล้ายคลึงกัน คนในสถานที่ต่างๆจึงหายใจเอาอากาศเข้าไป โดยไม่รู้สึกรู้สึกลับแต่อย่างใด

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติเป็นเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินต่าง อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองจากลมพายุ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟไหม้ป่า ก๊าซธรรมชาติอากาศเสียที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติเป็นอันตรายต่อมนุษย์น้อยมาก เพราะแหล่งกำเนิดอยู่ไกลและปริมาณที่เข้าสู่สภาพแวดล้อมของมนุษย์และสัตว์มีน้อย กรณีที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ มลพิษจากท่อไอเสียของรถยนต์จากโรงงานอุตสาหกรรมจากขบวนการผลิตจากกิจกรรมด้านการเกษตรจากการระเหยของก๊าซบางชนิด ซึ่งเกิดจากขยะมูลฝอยและของเสีย เป็นต้น

ความสำคัญของอากาศและบรรยากาศ

อากาศและบรรยากาศมีความสำคัญ ดังนี้

1. มีก๊าซที่จำเป็นต่อการมีชีวิตของมนุษย์ สัตว์และพืช
2. มีอิทธิพลต่อการเกิด ปริมาณ และคุณภาพของทรัพยากรอื่น เช่น ป่าไม้และแร่ธาตุ
3. ช่วยปรับอุณหภูมิของโลก โดยเฉพาะไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อนจากพื้นดิน ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวันกับกลางคืน และ ฤดูร้อนกับฤดูหนาวไม่แตกต่างกันมาก และทำให้บริเวณผิวโลกมีความอบอุ่นขึ้น
4. ทำให้เกิดลมและฝน
5. มีผลต่อการดำรงชีวิต สภาพจิตใจ และร่างกายของมนุษย์ ถ้าสภาพอากาศไม่เหมาะสม เช่น แห้งแล้ง หรือหนาวเย็นเกินไปคนจะอยู่อาศัยด้วยความยากลำบาก
6. ช่วยป้องกันอันตรายจากรังสีของดวงอาทิตย์ โดยก๊าซโอโซนในบรรยากาศจะกรองหรือดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งทำให้ผิวไหม้เกรียม เป็นโรคมะเร็งผิวหนัง และโรคข้อกระดูก
7. ช่วยเผาไหม้วัตถุที่ตกมาจากฟ้าหรืออุกกาบาตให้กลายเป็นอนุภาคเล็กๆ จนไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และทรัพย์สิน
8. ทำให้ท้องฟ้ามีสีสันสวยงาม โดยอนุภาคของสิ่งอื่นที่ปนอยู่กับก๊าซในบรรยากาศจะทำให้แสงหักเห เราจึงมองเห็นท้องฟ้ามีแสงสีที่งดงามแทนที่จะเห็นเป็นสีด้ามืด นอกจากนี้ ก๊าซโอโซนซึ่งมีสีน้ำเงินยังช่วยให้มองเห็นท้องฟ้าเป็นสีครามหรือสีฟ้าสดใสอีกด้วย

แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ

แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญของประเทศไทย แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดจากยานพาหนะ

ในบริเวณที่ใกล้ถนนที่มีการจราจรติดขัดจะมีปัญหามลพิษทางอากาศที่รุนแรงกว่าในบริเวณที่มีการจราจรคล่องตัว สารมลพิษที่ระบายเข้าสู่บรรยากาศที่เกิดจากการคมนาคมขนส่ง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน สารตะกั่ว และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

2. แหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม

มลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในบรรยากาศ และอาจส่งผลกระทบต่อ

สุขภาพอนามัยของประชาชนในชุมชนโดยทั่วไปหรือก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมมีอยู่ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง

เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำมันเตา และน้ำมันดีเซล

เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ และก๊าซ LPG

สารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งพบว่าปริมาณการระบายออกสู่บรรยากาศเพิ่มมากขึ้นทุกปีตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

ชนิดของมลพิษทางอากาศอาจจำแนกได้เป็น 3 ประเภท

1. ก๊าซอินทรีย์ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน บิวเทน เบนซีน aldehyde และ ketone สารอินทรีย์อื่นๆ เช่น formaldehyde, acetone, alcohols organic acids, chlorinated hydrocarbon

2. ก๊าซอนินทรีย์ ได้แก่ ก๊าซที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (ระเหยได้) เช่น NO, NO₂, HNO₃ ก๊าซที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น SO₂, SO₃ ก๊าซที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเช่น CO, CO₂ สารประกอบที่มีฮาโลเจน (halogen) คือ I, Br, Cl, F ประกอบอยู่ด้วย

3. อนุภาคมลสาร (particulate matter) ประกอบด้วยสารต่างๆ ทั้งที่เป็นของแข็ง และของเหลวที่กระจายอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมครอน (micron) ไปจนถึงหลายร้อยไมครอน เช่น ควัน เหม่า ฝุ่น ขี้เถ้า คาร์บอน ละอองน้ำ น้ำมัน ต่างๆ ซึ่งแยกได้ตามขนาดดังนี้

ฝุ่นละเอียด (fine dust) เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 100 ไมครอน

(1 um = 1 micron = 10⁻⁴ cm)

ฝุ่นหยาบ (coarse dust) เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมครอน

ไอ (Fume) เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.001-1 ไมครอน

หมอก (Mist) เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-10 ไมครอน

ไอ เป็นอนุภาค ที่เกิดขึ้นจากการควบแน่น (condensation) การระเหิด (sublimation) หรือปฏิกิริยาเคมี บางครั้งเรียกว่า ควัน (smoke)

หมอก ประกอบด้วย อนุภาคของเหลว เกิดขึ้นจากการควบแน่น (condensation) และการระเหิด เมื่อเปรียบเทียบกับไอ หรือ ควัน แล้วอนุภาคจะมีขนาดใหญ่กว่า อนุภาคมลสารกลุ่มนี้ จะยังคงอยู่ในอากาศ ได้นานกว่ากลุ่มอื่น นอกจากจะก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพอนามัยแล้ว ยังก่อให้เกิดผลทางทัศนวิสัย (Visibility)

สารอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน จะเรียกว่า สารอนุภาคแขวนลอย (suspended particulate) สารแขวนลอยจะตกลงพื้นจากบรรยากาศโดยแรงโน้มถ่วงอย่างช้าๆ และ จะลอยอยู่ในอากาศเป็นเวลาค่อนข้างนาน

สารมลพิษเหล่านี้ เมื่อออกจากแหล่งกำเนิดสู่อากาศจะถูกพาหรือแพร่กระจายโดยลมในระหว่างการเดินทางที่ คุณสมบัติอาจเปลี่ยนไป โดยกระบวนการเคมี และกระบวนการที่แสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งสารมลพิษนั้น อาจถูกกำจัดจากอากาศโดยถูกชะล้างออกโดยน้ำฝนถูกดูดกลืน (absorption) ถูกดูดซับ (adsorption) หรือเกาะบนพื้นดิน หรือพืช การตกตัวลงมานั้นถึงแม้จะหายไปจากอากาศ แต่ทำให้น้ำและดินเกิดมลภาวะขึ้นมาได้

สารที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ

1. ฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter : SPM)

ฝุ่นละออง คือ อนุภาคของแข็ง และหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศนี้บางชนิดมีขนาดใหญ่ และมีสีค้ำจมนมองเห็นเป็นเมฆและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา US.EPA (United State Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) และฝุ่น PM_{10} แต่เนื่องจากการศึกษาวิจัยพบว่า ฝุ่นขนาดเล็กนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไประบบทางเดินหายใจส่วนในและมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม US.EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวม และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กเป็น 2 ชนิด คือ PM_{10} และ $PM_{2.5}$

PM_{10} ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยางจากการขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมบดย่อยหิน

$PM_{2.5}$ ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นละเอียด (Fine Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละเอียดมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากหุงต้มอาหาร โดยใช้ฟืน นอกจากนี้ ก๊าซ SO_2 NO_x และสาร VOC จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละเอียดได้

2. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เป็นก๊าซไม่มีสีไม่มีวไฟที่ระดับความเข้มข้นสูง จะมีกลิ่นฉุนแสบจมูกเมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน ในอากาศจะเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์และจะรวมตัวเป็นกรดกำมะถัน เมื่อมีความชื้นเพียงพอ หากอยู่ร่วมกับอนุภาคมวลสารที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น มังกานีส เหล็ก และวานาเดียม จะเกิดมีปฏิกิริยาเติมออกซิเจนเกิดเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และเป็นกรดกำมะถันเช่นกัน การสันดาปเชื้อเพลิงเพื่อใช้พลังงานในการดำรงชีพของมวลมนุษย์ ซึ่งรวมถึงอุตสาหกรรมทำให้เกิดก๊าซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุภาคมวลสาร กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ ก็เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษทั้งสองเช่นกัน ก๊าซซัลเฟอร์-ไตรออกไซด์ และละอองกรด กำมะถัน ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง นอกจากนี้ก๊าซนี้ยังทำให้น้ำฝนที่ตกลงมามีสภาพ ความเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งจะทำลายระบบนิเวศน์ ป่าไม้ แหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมถึงการกัดกร่อนอาคารและ โบราณสถานอีกด้วย

กลไกการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากกระบวนการเผาไหม้

หากนำเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันหรือซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบไปเผาไหม้จะเกิดเป็น SO_x ในกรณีของถ่านหิน สารประกอบซัลเฟอร์ที่มีในถ่านหินได้แก่ Pyrites, Sulfate และสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ การเผาเชื้อเพลิงประมาณ 94-95% ของสารประกอบซัลเฟอร์จะเปลี่ยนเป็น SO_x ดังแสดงในสมการที่ 1 และเพียง 0.5-0.2% จะถูกเปลี่ยนเป็น SO_3 และในกรณีที่อุณหภูมิของไอเสียลดลงต่ำกว่า $316^\circ C$ ($600^\circ F$) SO_3 จะรวมตัวกับโมเลกุลของน้ำเกิดเป็นไอกรดซัลฟูริก ดังแสดงในสมการ 3



ในการเผาไหม้ถ่านหินที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ 100 หน่วย พบว่า 3.5-5 หน่วย จะไม่ถูกเปลี่ยนเป็น SO_2 หรือ SO_3 แต่จะคงอยู่ในรูปของขี้เถ้าหนัก การปรับเปลี่ยนปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาไหม้หรือเปลี่ยนชนิดของหัวเผาไหม้ (Burner) จะไม่มีผลต่อปริมาณซัลเฟอร์ในขี้เถ้าหนักเท่าใด แต่อาจมีผลต่อปริมาณ SO_3

3. ไนโตรเจนออกไซด์

ออกไซด์ของไนโตรเจนประกอบด้วยไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไนตริก ออกไซด์ (NO)

ไดไนโตรเจนไดออกไซด์ (N_2O_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ไดไนโตรเจนเตตราออกไซด์ (N_2O_4)

นักศึกษาศาขานามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปฏิบัติงาน ณ บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเม้นท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด

และไดไนโตรเจนเพนตอกไซด์ไนซ์ (N_2O_5) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ NO และ NO_2 เนื่องจากเป็นก๊าซที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ และมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตมากกว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนตัวอื่น ๆ ไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นก๊าซไม่มีสีและกลิ่น ละลายน้ำได้บ้างเล็กน้อย ส่วนไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) มีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติก๊าซทั้งสองเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ ไฟฟ้าฟ้าแลบ ภูเขาไฟระเบิด ปฏิกิริยาจุลินทรีย์ในดินหรืออาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาผลาญเชื้อเพลิง การอุตสาหกรรม การทำกรดไนตริก การดำน้ำดำน้ำการชุบโลหะ และการทำวัตถุระเบิด เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ก๊าซทั้งสองเกิดจากธรรมชาติมากกว่าการกระทำของมนุษย์ การเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์มีอุณหภูมิเป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุด ดังนั้น รถยนต์ และอุตสาหกรรมจึงเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดก๊าซนี้ หากก๊าซไนตริกออกไซด์ทำปฏิกิริยากับ โอโซนในบรรยากาศเกิดเป็น ไนโตรเจนไดออกไซด์และออกซิเจนในทางตรงกันข้าม แสงแดดทำให้ไนโตรเจนออกไซด์แตกตัวทำปฏิกิริยาย้อนกลับ



เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก๊าซไนตริกออกไซด์ และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่มีต่อการทำงานของปอดแล้วปรากฏว่า ก๊าซไนตริกออกไซด์ มีอันตรายน้อยกว่า มนุษย์จะได้ออกก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ระดับ 230 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร หากมีความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ เกิดกลิ่นเร็วขึ้นผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดอาจมีอาการเร็วขึ้น หากได้รับก๊าซนี้ที่ระดับ 190 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร อากาศระบบหายใจในคนทั่วไปเริ่มต้นเมื่อได้รับก๊าซนี้ 1,300-1,800 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากขบวนการเผาไหม้เกิดขึ้นจากกลไก 3 ประการดังนี้

1. กลไกการเกิด Thermal NO_x

เมื่อนำเชื้อเพลิงมาเผาในอากาศ ออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศบางส่วนจะรวมตัวกันเกิดเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซึ่งจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



แม้ว่าปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับแต่อัตราที่ NO จะกลายมาเป็นโมเลกุลของไนโตรเจนและออกซิเจนนั้นจะเกิดช้ามาก NO จะสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็น NO_2 ได้ในบริเวณที่อุณหภูมิการเผาไหม้สูง แสดงดังสมการดังนี้



ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิด NO_x ได้แก่

1. อุณหภูมิของเปลวไฟ
2. ระยะเวลาที่ก๊าซจากการเผาไหม้อยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
3. ปริมาณของออกซิเจนที่อยู่ในบริเวณที่เกิดการเผาไหม้
4. ขบวนการเผาไหม้ อุณหภูมิเปลวไฟอาจสูงได้เกินกว่า $1,371^\circ\text{C}$ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงขนาดนี้จะมี NO เกิดขึ้นได้มาก ในบางครั้งอาจมีความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 ppm แต่ช่วงเวลาที่ก๊าซจากการเผาไหม้จะคงอยู่ในบริเวณเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงนั้นมีระยะเวลาสั้นมาก จึงทำให้ NO ที่เกิดขึ้นในก๊าซจากการเผาไหม้ถูกออกซิไดซ์กลายเป็น NO_2 ได้น้อยกว่า 5%

ในการควบคุมการเกิด Thermal NO_x สามารถดำเนินการได้ 3 วิธี คือ

1. ควบคุมให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในบริเวณที่เกิดการเผาไหม้น้อยลง
2. ควบคุมให้อุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำลง
3. ทำให้ระยะเวลาที่ก๊าซจากการเผาไหม้อยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงสั้นลง

2. กลไกการเกิด Fuel NO_x

สารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิง ทำให้เกิดเป็น NO และ NO_x เมื่อเผาไหม้ ความเข้มข้นของ NO_x ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง ในกรณีของเชื้อเพลิงประเภทถ่านหินและน้ำมันเตาที่มีปริมาณไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง เมื่อมีการเผาไหม้ประมาณ 20-60% ของไนโตรเจน จะถูกออกซิไดซ์ซึ่งความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงค่า 1.5-2% เมื่อปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น สัดส่วนของไนโตรเจนที่จะถูกเปลี่ยนเป็น NO_x มักจะลดลง เนื่องจากอัตรา การเกิด NO_x จากไนโตรเจนในเชื้อเพลิงจะได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้นของออกซิเจนในเปลวไฟ และอัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศเป็นอย่างมาก ดังนั้น เงื่อนไขของสภาพแวดล้อมขณะมีการเผาไหม้จะมีอิทธิพลต่อการเกิด Fuel NO_x เป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นกรณีเดียวกับการเกิด Thermal NO_x

ดังนั้น วิธีการที่จะลด Fuel NO_x คือ ลดปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถดำเนินการได้เสมอไป จึงต้องมีการใช้วิธีอื่น เช่น การปรับปรุงสภาพของ การเผาไหม้โดยการลดปริมาณของออกซิเจนส่วนเกิน ใช้การเผาไหม้แบบหลายขั้นตอน หรือ ใช้วิธีการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้

3. กลไกการเกิด Prompt NO_x

NO_x จากการเผาไหม้เกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของไนโตรเจนกับอนุมูลอิสระของสาร HCL, NH และ N ที่มีอยู่ในเปลวไฟ มีชื่อเรียกว่า Prompt NO_x ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิของก๊าซขณะเผาไหม้ ดังนั้นการปรับปรุงเทคนิคในการเผาไหม้จะไม่มีอิทธิพล มากนักต่อการเกิด Prompt NO_x

ผลกระทบจากมลพิษอากาศ (Air Pollution Effects)

มลพิษอากาศทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งต่างๆ ได้มากมาย เช่น เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของคน และสัตว์ทำลายพืช ทำให้วัสดุเสียหาย ทำให้เกิดผลกระทบแก่สภาพภูมิอากาศ และเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศวิทยา โดยที่ลักษณะและความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารมลพิษอากาศ รวมทั้งระยะเวลาของการสัมผัสกับสารมลพิษอากาศ นอกจากนี้ สารมลพิษอากาศบางชนิด ยังอาจมีผลที่เสริมฤทธิ์กัน (Synergism) ทำให้ผลที่เกิดขึ้นทวีความรุนแรงมากขึ้นกว่าผลที่เกิดขึ้นหากมีเพียงสารมลพิษอากาศเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น หรืออาจมีผลหักล้างซึ่งกันและกัน (Antagonism) ทำให้ผลที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงน้อย

1. ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากเกี่ยวข้องกับชีวิตและความแข็งแรงสมบูรณ์ของมนุษย์ อันตรายที่เกิดขึ้นอาจเริ่มตั้งแต่การก่อให้เกิดความรำคาญ ระคายเคือง เกิดการเปลี่ยนแปลงในร่างกายโดยไม่แสดงอาการ จนกระทั่งมีอาการชัดเจน และถึงขั้นเสียชีวิตในที่สุด นอกจากนี้ อันตรายต่อสุขภาพอาจจะไม่ได้เกิดขึ้นโดยตรงเนื่องจากสารมลพิษอากาศเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดโดยทางอ้อมจากโรคแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น เมื่อร่างกายอ่อนแอจากการได้รับหรือสัมผัสกับสารมลพิษอากาศ โดยปกติแล้วมนุษย์จะรับสารมลพิษอากาศเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจและการสัมผัสทางผิวหนัง และนัยน์ตา ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของสารมลพิษอากาศหลักที่ประเทศไทยได้มีการประกาศเป็นมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ สรุปได้ดังนี้

1.1 ฝุ่นละออง

ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ทำให้เกิดอาการระคายเคืองตาและ ยังส่งผลกระทบต่อระบบหายใจซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละออง ละอองขนาดใหญ่จะถูกดักไว้ที่ขนจมูกส่วนฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจทำให้ระคายเคืองแสบจมูก ไอ จาม มีเสมหะหรือมีการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมลง

❖ การหายใจ การสะสม และการกำจัดฝุ่นของร่างกาย

ฝุ่นจะเข้าสู่ปอดโดยการหายใจ ฝุ่นส่วนใหญ่จะถูกหายใจออกหรือกำจัดโดย Lung Clearance mechanism ฝุ่นจะสะสมในปอดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดและกลไกทางฟิสิกส์ของการกระทบ (Impaction) การตกตะกอน (Sedimentation) และ Brownian movement

การค้นคว้าทางการแพทย์ปรากฏว่าฝุ่นขนาด 0.1-5 Um จะเหลืออยู่ในถุงลม เราเรียกฝุ่นขนาดนี้ว่า ฝุ่นที่สามารถหายใจเข้าไปได้ (Respirable dust) ในขณะที่ฝุ่นขนาดใหญ่กว่าจะติดอยู่ในเยื่อเมือกของจมูก, คอ, หลอดลม, และถูกกำจัดโดย Clearance mechanism ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน จะมีลักษณะเหมือนคอลลอยด์ ตัวอย่างเช่น ควีน (Smoke) การกำจัดฝุ่นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากระบบเยื่อเมือกของทางเดินหายใจ ซึ่งจะขับเยื่อเมือกออกมาแล้วเคลื่อนที่ออกทางปากด้วยปฏิกิริยาทางสรีรวิทยา ได้แก่ การไอ และการจาม มีฝุ่นส่วนน้อยจะเคลื่อนที่ไปด้วยระบบน้ำเหลืองหลังจากเข้าไปในช่องว่างของเนื้อเยื่อ

❖ โรคที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นเข้าไป

ปกติฝุ่นละอองในบรรยากาศ ถ้าหากหายใจเข้าไปแล้วจะมีผลต่อระบบทางเดินหายใจโดยตรง ซึ่งจะมีผล หรือแสดงอาการมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ขนาดรูปร่าง ส่วนประกอบทางด้านเคมี คุณสมบัติทางด้านเคมี ทางด้านกายภาพของฝุ่นชนิดนั้นๆ ตัวอย่าง โรคที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นละอองเข้าไป มีดังนี้

1. โรคปอดแข็ง (Pneumoconiosis) เป็นโรคที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นละอองเข้าไปทำให้เนื้อเยื่อปอดเป็นเยื่อพังผืด เสียหน้าที่ในการทำงานไป ฝุ่นที่ทำให้เกิดโรคนี้นี้มีหลายชนิด ปกติโรคที่เกิดขึ้นจะเรียกชื่อตามชนิดของฝุ่นที่ทำให้เกิดโรค เช่น

1.1 โรคชานปอดอ้อย (Bagassosis) เป็นโรคที่เกิดจากพวกใยสารอินทรีย์ของกากอ้อย โรคปอดชนิดนี้มักเกิดกับผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับสัมผัสใยเซลลูโลส โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นอ้อยที่คั้นเอาน้ำออกแล้วจนเหลือแต่กากอ้อย กากอ้อยเหล่านี้ตามปกติจะมีซิลิกาอยู่ประมาณ 0.5 % เมื่อกากอ้อยแห้งตัวจะกลายเป็นฝุ่นอ้อยที่เบา

1.2 ซิลิโคซิส (Silicosis) เป็นโรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นทราย หรือฝุ่นซิลิกาเข้าไป ฝุ่นซิลิกาที่เป็นผลึกแหลมคมจะเข้าไปสะสมในปอด เนื่องจากผลึกแหลมคม ปอดจะสร้างเยื่อพังผืดมาห่อหุ้มผลึกเหล่านั้นไว้ อาการของโรคนี้คือ หายใจลำบาก ต้องหายใจถี่ๆ สั้นๆ ปริมาตรปอดลดลง เหนื่อยง่าย อาจนำไปสู่การติดเชื้อวัณโรคได้ง่าย

1.3 แอสเบสโตซิส (Asbestosis) โรคปอดชนิดนี้เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นแอสเบสโตส (Asbestos) เข้าไปสะสมที่เนื้อเยื่อปอดส่วนล่าง ลักษณะของแอสเบสโตสจะเป็นเส้นใยคล้ายเข็มแหลมขนาดเล็ก เมื่อเข้าไปภายในจะทิ่มแทงเนื้อเยื่อปอดตลอดเวลา ทำให้ปอดต้องสร้างเยื่อพังผืดห่อหุ้มไว้

จะแสดงอาการคล้ายโรคซิลิโคซิส แต่อาจตรวจพบได้เร็วกว่า ถ้าคนใช้สัมผัสกับฝุ่นใยแอสเบสตอส ปริมาณมากๆ ช่วงระยะ 2-3 ปี ก็จะแสดงอาการแต่อาจไม่ชัดเจน อย่างน้อย 10 ปี จึงจะแสดงอาการอย่างชัดเจน

1.4 บิสซิโนซิส (Byssinosis) เป็นโรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นฝ้ายปริมาณมากเข้าไปในปอด ปฏิกริยาที่ฝุ่นฝ้ายทำอันตรายต่อปอดนั้นยังบ่งบอกได้ไม่แน่ชัดนัก แต่สันนิษฐานกันว่าเกิดจากสาเหตุสำคัญหลายประการด้วยกัน คือ เกิดจากพิษภัยของเชื้อจุลินทรีย์บางอย่างที่ติดเข้าไปกับฝุ่นฝ้ายที่หายใจเข้าไป หรือเกิดจากการที่เส้นใยของฝุ่นฝ้ายทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อปอด ประการสุดท้าย คือ เส้นใยฝ้ายกระตุ้นทำให้เกิดภูมิแพ้ อาการของโรคจะแสดงออกภายหลังที่ต้องสัมผัสกับฝุ่นฝ้ายเป็นระยะเวลาหลายปี จนกระทั่งเป็นโรคอย่างถาวร คือ เป็นหลอดลมอักเสบไออย่างเรื้อรัง

1.5 เบอริลลิโอซิส (Berylliosis) เป็นโรคที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นอนินทรีย์ เมื่อหายใจเอาฝุ่นเบอริลเรียมเข้าไป จะทำให้เกิดอาการหายใจถี่ๆ เหนื่อยง่าย น้ำหนักตัวลด ไอแบบไอกรน อาจแสดงอาการหลอดลมอักเสบอย่างปัจจุบันทันด่วน ในรายที่หายใจเอาเกลือของสารเบอริลเรียมที่สามารถละลายน้ำได้ดี อาจถึงตายได้

1.6 โรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นอื่นๆเข้าไป เช่น ไม้ก้ำ, โคลิน, ฝุ่นซอล์ค และฝุ่นอลูมิเนียม

2. มีปฏิกิริยาต่อระบบต่างๆของร่างกาย (Systemic Reaction) เช่น หายใจเอาฝุ่นตะกั่ว แมงกานีส แคลเดเมียม พรอท ซึ่งเป็นสารเคมีที่เป็นพิษ จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจไปยังปอด และไหลออกสู่ระบบการไหลเวียนโลหิต โดยมีเลือดเป็นตัวพาไปสะสมและทำลายอวัยวะภายในบางส่วนของร่างกาย ซึ่งเป็นอันตรายมาก การหายใจเอาฝุ่นที่เป็นพิษเข้าไปจะมีอันตรายมากกว่ากินฝุ่นพิษเข้าไปโดยตรง

3. เป็นไข้จากฟุ้งโลหะ (Metal Fume Fever) เช่น หายใจเอาฟุ้งหรือไอระเหยของโลหะบางอย่างเข้าไป เช่น ฟุ้งสังกะสี ฟุ้งแมกเนเซียม หรือออกไซด์ของแมงกานีส อาการไข้ที่เกิดขึ้นจะเกิดเป็นระยะและหายไปในเวลา 24-48 ชั่วโมง

4. เกิดการระคายเคืองที่จมูกและลำคอ (Nose and Throat Irritation) เช่น ในการหายใจเอาฝุ่นที่สามารถออกฤทธิ์เป็นกรดหรือด่าง ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อจมูก เนื้อเยื่อผนัง หรือฝุ่นของพวกโครเมียม (Chromate Dusts) จะทำให้เยื่อผนังจมูกอักเสบเป็นโพรง

5. เกิดเป็นโรคภูมิแพ้ (Allergic Reaction) เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นบางชนิดเข้าไปแล้วไปเกิดการกระตุ้นที่เนื้อเยื่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเข้าไปสะสมอยู่ที่ผิวของระบบทางเดินหายใจ จะทำให้ระบบทางเดินหายใจเกิดอาการแพ้ชั่วคราว

6. ฝุ่นของสารรังสี (Radioactive Dust) ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับรังสีเป็นพิษ เช่น มะเร็ง

7. ทำให้เป็นมะเร็ง (Carcinogen) เกิดจากหายใจเอาฝุ่นโลหะบางอย่างเข้าไป เช่น โครเมียม นิเกิลคาร์บอนิล แอสเบสตอส ถ่านหิน

1.2 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂)

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซมีสี ไม่มีไอไฟ เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะเกิดเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และจะรวมตัวเป็นกรดซัลฟูริกเมื่อมีความชื้นเพียงพอ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และละอองกรดซัลฟูริก อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง เป็นต้น ส่วนฝุ่นละออง อาจก่อให้เกิดอาการระคายเคืองเท่านั้น ยกเว้น ฝุ่นละอองบางประเภท ที่มีพิษอยู่ในตัวของมันเอง เช่น ซิลิกา ฝุ่นละอองของโลหะหนักต่างๆ

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยมากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกับฝุ่นละออง เนื่องจากทำให้เพิ่มความระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในระบบหายใจ นอกจากนั้น ฝุ่นละอองบางชนิดเป็นสารมีพิษ และบางชนิดทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กลายเป็นกรดซัลฟูริกได้รวดเร็วยิ่งขึ้น เช่น ละอองไอของเฟอร์รัส แมงกานีส วานาเดียม เป็นต้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อปอดอย่างรุนแรง ตลอดจนเพิ่มความต้านทานการเคลื่อนที่ของอากาศภายในทางเดินหายใจ

ตารางที่ 2-1 ผลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และควันหรือฝุ่นละอองต่อมนุษย์

ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ส่วนในล้าน)	ควันหรือฝุ่นละออง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ผลที่เกิดขึ้น	เอกสารอ้างอิง
1500 (0.52) (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	เท่ากับหรือมากกว่า 6	เพิ่มอัตราการตาย	MC Carroll and Bradiey (1966)
เท่ากับหรือมากกว่า 715 (0.25) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	750	อาจเพิ่มอัตราการตายก่อน	Lawther(1963)
500(0.19) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	ต่ำ	อาจเพิ่มอัตราการตาย	Brasser และคณะ (1966)

เรื่อง การศึกษาฝุ่นละออง, ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม

ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ส่วนในล้าน)	ควันหรือฝุ่นละออง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ผลที่เกิดขึ้น	เอกสารอ้างอิง
300-500 (0.11-0.19) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	ต่ำ	เพิ่มอัตราการป่วยเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคทางเดินหายใจเพิ่ม อัตราการขาดงาน	Brasser และคณะ (1966)
715 (0.25) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	มี	อัตราการป่วยของผู้มีอายุเกิน 54 ปี เพิ่มขึ้นโดยฉับพลัน	Carnow และคณะ(1968)
600 (0.21) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	300	ผู้ป่วยด้วยโรคปอดเรื้อรังอาจมีอาการรุนแรง	Lawther(1958)
105-265 (0.037-0.092) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	185	มีอาการโรคทางเดินหายใจบ่อยครั้งขึ้น และอาจเกิดโรคปอด	Petrilli และคณะ(1966)
120(0.046) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	100	เป็นโรคทางเดินหายใจบ่อยครั้งขึ้นและอาการร้ายแรงขึ้น	Lunn และคณะ (1967)
155(0.040) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	160	เพิ่มอัตราการตายด้วยโรคหลอดลมอักเสบและมะเร็งปอด	Buck and Wicken(1964)
<u>ผลต่อการมองเห็น</u> 285(0.10)	ใกล้เคียงกับค่าของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และความชื้นร้อยละ 5	การมองเห็นไกลลดลงประมาณ 5 ไมล์	Bashtueva (1957&1960)

นักศึกษาสาขานามยถึงแวล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปฏิบัติงาน ณ บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด

* ปี พ.ศ.2524 จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศในประเทศไทย สำหรับ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศเท่ากับ 300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในเวลา 24 ชั่วโมง และ 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในเวลา 1 ปี และใน พ.ศ. 2538 ได้มีการปรับปรุงค่ามาตรฐานอากาศในบรรยากาศใหม่ก็ยังคงใช้ค่ามาตรฐานของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับค่าที่ใช้ในปี พ.ศ. 2534

1.3 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ออกไซด์ของไนโตรเจนประกอบด้วย ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไดไนโตรเจนไดออกไซด์ (N_2O_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ไดไนโตรเจนไดออกไซด์ (N_2O_2) ไดไนโตรเจนเตตราออกไซด์ (N_2O_4) และไดไนโตรเจนเพนต็อกไซด์ (N_2O_5) ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น ก๊าซถ่านหิน ฟืน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของออกไซด์ของไนโตรเจนซับซ้อนมาก และขึ้นอยู่กับสารมลพิษอื่นๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอน โอโซน สารประกอบซัลเฟอร์ เป็นต้น รวมทั้งสภาวะทางธรรมชาติ เช่น แสงอาทิตย์ ก็เป็นองค์ประกอบตัวหนึ่งเช่นกัน

ไนตริกออกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสีและกลิ่น ซึ่งส่วนมากเมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนในอากาศจะเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ และมีผลต่อมนุษย์ ซึ่งพบว่าค่าค่าสุดที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ป่วยโรคหืด คือ 190 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (0.1 ส่วนในล้านส่วน) ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงต่อวันที่หายใจเอาก๊าซไนโตรไดออกไซด์เข้าไป อย่างไรก็ตาม จากการประชุมขององค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2519 ที่กรุงโตเกียว ได้สรุปว่า ถึงแม้จะมีการทดลองกับผู้ป่วยโรคหืด และพบว่าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ระดับ 160 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในระยะ 1 ชั่วโมง มีผลทำให้เกิดหลอดลมตีบตันมากขึ้นแต่ก็ยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัดควรมีการทดสอบต่อไปอีก

ตารางที่ 2-2 ผลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อมนุษย์

ความเข้มข้น		ระยะเวลาที่ได้รับ	เหตุผล	เหตุผล
ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ส่วนในล้านส่วน			
230	0.12	-	ชายปกติและแข็งแรง จำนวน 3 คนใน 9 คน จะได้กลิ่น	Henschler และ คณะ (1960)
230	0.12	-	ส่วนใหญ่ของจำนวน 14 คน ได้กลิ่นทันทีเมื่อเริ่มต้นการทดลอง	Salamberidze (1967)
200	0.11	-	26 คน ในจำนวน 28 คน ได้กลิ่นทันทีเมื่อเริ่มต้นการทดลอง	Feldman (1974)
1,300-3,800	0.7-2.0	10 นาที	ผลต่อการทำงานของปอด เพิ่มความต้านทานของระบบทางเดินหายใจทั้งการหายใจเข้าและออก	Suzuki&Ishikawa (1965)
190	0.1	1 ชม./วัน	เพิ่มความต้านทานของระบบทางเดินหายใจและเพิ่มอาการตีบตันของทางเดินหายใจในผู้ป่วยโรคหืด 13 คน จากจำนวน 20 คน	Orchek และคณะ (1976)
560,000-40,000	300-500	-	เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตด้วยโรคจากอาการ ปอดบวม น้ำ (Pulmonary Edema) หรือสลับเนื่องจากสมองขาดออกซิเจน	Grayson (1956)

ความเข้มข้น		ระยะเวลาที่ได้รับ	เหตุผล	เหตุผล
ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ส่วนในล้านส่วน			
94			ผลต่อชุมชน เปรียบเทียบผลซึ่งเกิดต่อชนสองกลุ่ม นับถือศาสนาเดียวกันอยู่ต่างเมือง ซึ่งมีความเข้มข้นของมลพิษไม่เท่ากัน ไม่ปรากฏผลต่อการทำงานของปอด และอัตราผู้ป่วยด้วยโรกระบบทางเดินหายใจในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ต่างกันอย่างไรเมื่อใช้ความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็น 43 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อกลุ่มชนในเมือง ซึ่งถือเป็นกลุ่มเปรียบเทียบ (Control Group)	Cohen และคณะ (1972)
≥940	0.50	1 ชม.	ไม่ปรากฏว่าเกิดโรคทางเดินหายใจเฉียบพลันต่อแม่บ้านซึ่งประกอบอาหารด้วยเตาอบก๊าซ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้เตาอบไฟฟ้า	U.S.EPA (1976 b)

*ดังนั้น การกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศ จึงให้ยึดถือค่าต่ำสุดที่ยังไม่ปรากฏผลเป็นอันตรายต่อมนุษย์ เท่ากับ 940 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาใช้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Safety Factor) เป็น 3 แล้ว จะได้ค่าที่ควรตั้งเป็นมาตรฐาน คือ 320 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.17 ส่วนในล้านส่วน ในระยะเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง

บทที่ 3

การตรวจวัดและวิเคราะห์ฝุ่นละออง, ซัลเฟอร์ออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์

การตรวจวัดมลพิษอากาศ

วิธีการตรวจวัดสารมลพิษอากาศนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการตรวจวัด โดยทั่วไปสามารถแบ่งวิธีการตรวจวัดมลพิษอากาศออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. การตรวจวัดสารมลพิษอากาศจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

ในประเทศไทยได้มีการกำหนดวิธีการตรวจวัดให้เป็นไปตามวิธีการขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency : U.S.EPA) กำหนดไว้หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่าที่หน่วยราชการให้ความเห็นชอบในการตรวจวัดสารมลพิษอากาศจากปล่องนั้น โดยวิธีการทั่วไปแล้วจะเป็นการตรวจวัดโดยใช้บุคลากรนำเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศและวิเคราะห์ปริมาณสารมลพิษอากาศแต่ละชนิดเป็นครั้งคราว ซึ่งเป็นวิธีที่กำหนดไว้ในการตรวจวัดสารมลพิษอากาศจากปล่อง โดยทั่วไปนอกจากนี้แล้วยังมีวิธีการตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติ (Continuous Emission Monitoring System :CEMs) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้า โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานปิโตรเคมี เป็นต้น

2. การตรวจวัดสารมลพิษอากาศในสถานประกอบการ

เป็นการตรวจวัดสารมลพิษอากาศภายในสภาพแวดล้อมของการทำงานในสถานประกอบการหรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการตรวจวัดเพื่อกำกับควบคุมดูแลมิให้สภาพแวดล้อมที่คนงานทำงานมีค่าสารมลพิษอากาศเกินกว่าค่ามาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานที่กระทรวงมหาดไทยได้กำหนดไว้

3. การตรวจวัดสารมลพิษอากาศในบรรยากาศ

เป็นการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายนอกโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อติดตามตรวจสอบปริมาณสารมลพิษอากาศตามมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่กำหนดไว้ หากพบว่าปริมาณสารมลพิษชนิดใดชนิดหนึ่งมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด จะดำเนินจัดทำมาตรการควบคุมแก้ไขปัญหานั้นที่แหล่งกำเนิดของสารมลพิษนั้น

รายละเอียดของวิธีการตรวจวัดสารมลพิษที่ระบายออกจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรมดังนี้

1. U.S.EPA Method 1 “Sample and Velocity Transverse for Stationary Sources”

การหาตำแหน่งและจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง

1.1 หลักการ

การเลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (Sampling Site) และจำนวนจุดเก็บตัวอย่างบนพื้นที่หน้าตัดของปล่องอย่างถูกต้องจะทำให้ได้ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวแทนของอากาศเสียทั้งหมดในปล่อง ได้อย่างใกล้เคียงที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเลือกตำแหน่งและจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง ได้อย่างถูกต้อง

1.3 วิธีการ

1.3.1 ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง

ตำแหน่งเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณฝุ่นละออง หรือเพื่อการวัดหาความเร็วของอากาศในปล่อง ควรจะอยู่ที่ระยะอย่างน้อยประมาณ 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่องหรือท่อทางปลายทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล (Downstream from flow disturbance) ต่างๆ ในปล่อง เช่น ข้องอ (Bend) ท่อขยาย (Expansion) ท่อลด (Contraction) หรือจากเปลวไฟ และอย่างน้อยที่สุดประมาณ 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางต้นทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล (Upstream from flow disturbance) แต่ถ้าไม่สามารถเลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่างข้างต้นได้ ก็อาจเลือกเก็บตัวอย่าง ณ ตำแหน่งประมาณ 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง หรือท่อทางปลายทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหลและประมาณ 0.5 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง หรือท่อทางต้นทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหลเป็นอย่างน้อยที่สุด ซึ่งยังคงได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของอากาศเสียทั้งหมดในปล่อง

สำหรับปล่องที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจะหาเส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่า (Equivalent diameter) ได้จากสมการ

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า} = \frac{2 \times \text{ความยาว} \times \text{ความกว้าง}}{\text{ความยาว} + \text{ความกว้าง}}$$

1.3.2 จำนวนจุดเก็บตัวอย่างในการหาความเร็วและปริมาณฝุ่นในปล่อง

1.3.2.1) จำนวนของจุดเก็บตัวอย่างในการหาปริมาณฝุ่นละอองในปล่อง สามารถแยกตามกรณีได้ดังนี้

(1) ถ้าตำแหน่งเก็บตัวอย่างอยู่ ณ ตำแหน่ง ตั้งแต่ 8 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางปลายทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล และ 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางต้นทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจะเป็นดังนี้

- บนพื้นที่หน้าตัดกลมหรือสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่ามากกว่า 0.61 เมตร (24 นิ้ว) จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจะต้องไม่ต่ำกว่า 9 จุด
- บนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.61 เมตร (12-24 นิ้ว) จะต้องไม่ต่ำกว่า 9 จุด

(2) ถ้าตำแหน่งเก็บตัวอย่างอยู่ ณ ตำแหน่งที่น้อยกว่า 8 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางปลายทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล และน้อยกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางต้นทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจะหาได้จากรูปที่ 1 โดยการหาจำนวนจุดเก็บตัวอย่างจากระยะของตำแหน่งเก็บตัวอย่างถึงตัวรบกวนการไหล และเลือกค่าที่สูงกว่าเป็นจำนวนจุดเก็บตัวอย่างต่ำสุด แต่ปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม

1.3.2.2) จำนวนของจุดเก็บตัวอย่างในการหาความเร็วของอากาศในปล่องเช่นเดียวกับในข้อ

1.3.2.1

ตารางที่ 3-1 แสดงจำนวนจุดเก็บตัวอย่างในการหาความเร็วของอากาศในปล่อง

จำนวนจุดเก็บตัวอย่าง	ตำแหน่งจุด
9	3 x 3
12	4 x 3
16	4 x 4
20	5 x 4
25	5 x 5
30	6 x 5
36	6 x 6
42	7 x 6
49	7 x 7

1.3.3 ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างบนพื้นที่หน้าตัดของปล่อง

1.3.3.1) ปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลมจะกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง จะอยู่บนเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งตั้งฉากกัน 2 เส้น จำนวนและตำแหน่งการเก็บดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3 นอกจากจากนั้นยังมีข้อจำกัดดังต่อไปนี้คือ

(1) ปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลมจะกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง จะอยู่บนเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งตั้งฉากกัน 2 เส้น อยู่ห่างจากผนังปล่องน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว) ถ้าจุดเก็บตัวอย่างที่หาโดยตารางที่ 2 อยู่ห่างจากปล่องน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร จะต้องเลื่อนจุดเก็บตัวอย่างออกไปที่ตำแหน่ง 2.5 เซนติเมตร จากผนังปล่อง โดยเลือกค่าที่สูงกว่า ถ้าหากว่าจุดเก็บตัวอย่างใหม่นี้ซ้อนทับกับจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ให้ทำการเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลซ้ำ 2 ครั้ง เสมือนหนึ่งว่าเป็นคนละจุดกัน

(2) สำหรับปล่องที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.61 เมตร (24 นิ้ว) จุดเก็บตัวอย่างจะต้องอยู่ห่างจากผนังปล่องอย่างน้อยที่สุด 1.3 เซนติเมตร (0.5 นิ้ว) ถ้าจุดเก็บตัวอย่างที่หาโดยตารางที่ 1 อยู่ห่างจากผนังปล่องน้อยกว่า 1.3 เซนติเมตร จะต้องเลื่อนจุดเก็บตัวอย่างออกไปที่ตำแหน่ง 1.3 เซนติเมตร จากผนังปล่องหรือที่ตำแหน่งเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวเก็บตัวอย่าง โดยเลือกค่าที่สูงกว่า

1.3.3.2) ปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม ให้แบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ขนาดเท่ากัน ๆ กัน เป็นจำนวนเท่ากับจำนวนจุดเก็บตัวอย่างตามข้อ 4.3.1 แล้วจึงกำหนดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างลงบนจุดศูนย์กลางของพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ แต่ละรูป

ตารางที่ 3-2 ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างสำหรับปล่องที่หน้าตัดกลม

(ร้อยละของเส้นผ่านศูนย์กลางจากผนังด้านในถึงจุดเก็บ)

Traverse point number on diameter	Number of traverse points on diameter											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	14.6	6.7	4.4	3.2	2.6	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1
2	85.4	25.0	14.6	10.5	8.2	6.7	5.7	4.9	4.4	3.9	3.5	3.2
3		75.0	29.6	19.4	14.6	11.8	9.9	8.5	7.5	6.7	6.0	5.5
4		93.3	70.4	32.3	22.6	17.7	14.6	12.5	10.9	9.7	8.7	7.9
5			85.4	67.7	34.2	25.0	20.1	16.9	14.6	12.9	11.6	10.5
6			95.6	80.6	65.8	35.6	26.9	22.0	18.8	16.5	14.6	13.2
7				89.5	77.4	64.4	36.6	28.3	23.6	20.4	18.0	16.1
8				96.6	85.4	75.0	63.4	37.5	29.6	25.0	21.8	19.4
9					91.8	82.3	73.1	62.5	38.2	30.6	26.2	23.0
10					97.4	88.2	79.9	71.7	61.8	38.8	31.5	27.2
11						93.3	85.4	78.0	70.4	61.2	39.3	32.3
12						97.9	90.1	83.1	76.4	69.4	60.7	39.8
13							94.3	87.5	81.2	75.0	68.5	60.2
14							98.2	91.5	85.4	79.6	73.8	67.7
15								95.1	89.1	83.5	78.2	72.8
16								98.4	92.5	87.1	82.0	77.0
17									95.6	90.3	85.4	80.6
18									98.6	93.3	88.4	83.9
19										96.1	91.3	86.8
20										98.7	94.0	89.5
21											96.5	92.1
22											98.9	94.5
23												96.8
24												98.9

2. U.S.EPA Method 2 “Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric”

การหาความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

2.1 หลักการ

ความเร็วเฉลี่ยของก๊าซในปล่องหาได้จากความหนาแน่นของก๊าซ และค่าความแตกต่างของความดัน และค่าความแตกต่างของความดันจาก Pitot Tube / Pitot Tube ที่ใช้เป็น Type S (Stausscheibe or reverse type) Pitot Tube

2.2 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจวัดหาความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซภายในปล่อง โรงงาน

2.3 อุปกรณ์

2.3.1) Pitot Tube

ใช้ S-Type Pitot Tube ทำด้วยโลหะ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกระหว่าง 0.48 ถึง 0.95 เซนติเมตร มีระยะ $P_A = P_B$ โดยมีค่าระหว่าง 150 ถึง 1.50 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ Pitot Tube ก่อนนำ Pitot Tube ไปใช้จะต้องนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ โดยการตรวจเทียบกับ Standard Pitot Tube ดังจะได้กล่าวต่อไป หรืออาจจะใช้ Standard Pitot Tube แทนก็ได้ แต่จะต้องระวังการอุดตันเมื่อใช้กับลู่ก๊าซที่มีฝุ่นอยู่ด้วย ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยนำ Pitot Tube ที่ได้วัดค่าความแตกต่างของความดัน (ΔP) ที่จุดเก็บตัวอย่างสุดท้ายแล้วมาทำความสะอาดแล้ววัดค่า ΔP อีกครั้งหนึ่ง ถ้าค่า ΔP ก่อนและหลังทำความสะอาดมีค่าเท่ากัน โดยคลาดเคลื่อนมาก ผลของการวัดนั้นจะนำมาใช้ไม่ได้

2.3.2) เกจวัดความแตกต่างของความดัน (Differential Pressure Gauge)

ใช้ Inclined Manometer หรือเทียบเท่าวัดได้ถึง 10 นิ้วน้ำ มีการแบ่งสเกล 0.01 นิ้วใน 1 นิ้วแรก และทุก 0.1 นิ้วใน 9 นิ้วหลัง ในกรณีที่มีจุดเก็บตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ 12 จุด แล้วมีจำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ค่า ΔP โดยเฉลี่ยต่ำกว่า 0.05 นิ้ว (1.3 มิลลิเมตรน้ำ) เกินกว่า 10% ของจำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด หรือในกรณีที่มีจุดเก็บตัวอย่างน้อยกว่า 12 จุด แล้วมีจุดเก็บตัวอย่างมากกว่า 1 จุด ที่มีค่า ΔP ต่ำกว่า 1.3 มิลลิเมตรน้ำ หรือในกรณีที่มีค่า T มากกว่า 1.05 ให้ใช้ Manometer แบบอื่น

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta P_i} + K}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta P_i}}$$

เมื่อ $\Delta P_i = \Delta P$ ที่วัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุด (mm.H₂O)

n = จำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด

K = 0.13 mm.H₂O

2.3.3) เกจวัดอุณหภูมิของอากาศในปล่อง

เป็นแบบ Thermocouple หรือ Liquid-filled bulb thermometer หรือ Bimetallic thermometer หรือ เทอร์โมมิเตอร์ปรอท หรืออื่น ๆ ที่สามารถวัดได้คลาดเคลื่อนไม่เกิน \pm ร้อยละ 1.5 ของอุณหภูมิสัมบูรณ์ต่ำสุดในปล่องและให้ติดไว้ร่วมกับ Pitot Tube โดยไม่ติดกับโลหะใด ๆ และไม่กีดขวางทางเดินอากาศที่ Pitot Tube

2.3.4) เกจวัดความดันสถิตยของอากาศในปล่อง

โดยการอ่านค่า ΔP ของ Inclined Manometer เมื่อตั้งขาของ S-Type Pitot Tube ด้านที่หันหน้ารับกระแสอากาศออก ค่าความดันสถิตยของอากาศของอากาศในปล่องจะเท่ากับผลบวกของความดันบรรยากาศกับ ΔP ที่อ่านได้

2.3.5) เครื่องวัดความดันบรรยากาศ

เป็น Barometer แบบปรอท หรือ aneroid หรือแบบอื่นที่สามารถวัดความดันบรรยากาศได้คลาดเคลื่อนไม่เกิน \pm 2.5 มิลลิเมตรปรอท หรือใช้ค่าความดันบรรยากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใกล้เคียง แล้วปรับค่าให้เป็นค่าความดันบรรยากาศ ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง โดยค่าความดันบรรยากาศจะลดลง 2.5 มิลลิเมตรปรอท ทุก ๆ ความสูงที่เพิ่มขึ้น 30 เมตร

2.3.6) เครื่องวัดหาค่าความหนาแน่นของก๊าซ

โดยใช้อุปกรณ์ Orsat หรือเทียบเท่า เพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง และหาปริมาณความชื้นของอากาศปล่อง

2.4 วิธีการ

- 4.1 ประกอบอุปกรณ์ให้แน่น โดยไม่มีการรั่วที่จุดเชื่อมต่อทุกจุด
- 4.2 ปรับ Zero ของ Manometer และหมั่นตรวจสอบอยู่เสมอในระหว่างการดำเนินการ
- 4.3 สอด Pitot Tube เข้าไปในปล่อง แล้ววัดค่า ΔP และอุณหภูมิที่แต่ละจุดเก็บตัวอย่างที่ทำโดยวิธีที่ 1 จนครบ โดยบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในแบบฟอร์ม
- 4.4 วัดค่าความดันสถิตยในปล่องด้วยวิธีตามที่กำหนด
- 4.5 อ่านค่าความดันบรรยากาศจาก Barometer
- 4.6 หาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง หรือ อาจจะใช้ค่า 29 สำหรับขบวนการที่ระบายอากาศ
- 4.7 หาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง
- 4.8 หาพื้นที่หน้าตัดของปล่อง ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง

2.5 การคำนวณ

2.5.1) คำนวณหาความเร็วของอากาศในปล่อง

$$V_s = K_p C_p \sqrt{\frac{(\Delta P)_{avg}}{P_s M_s}} \sqrt{\frac{(T_s)_{avg}}{P_s M_s}}$$

เมื่อ V_s = ความเร็วของอากาศในปล่อง (m/s)

$$K_p = 34.97 \text{ m/s} \left[\frac{(\text{g/g.mol}) (\text{mm.Hg})}{(^{\circ}\text{K}) (\text{mm.H}_2\text{O})} \right]^{1/2}$$

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot Tube ที่ใช้

$(\Delta P)_{avg}$ = Velocity head (ค่าความแตกต่างของความดันจาก Pitot Tube) ของอากาศในปล่อง โดยเฉลี่ย (mm.H₂O)

$(T_s)_{avg}$ = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง (°K)

P_s = ความดันสัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง เท่ากับ $P_{bar} \pm P_g$ (mm.Hg)

M_s = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง (g/g.mol)

2.5.2) คำนวณหาอัตราการไหลแห้งของอากาศในปล่อง โดยเฉลี่ยที่สภาวะมาตรฐาน (20°C 760 mm.Hg)

$$Q_{sd} = 3600(1-B_{ws}) V_s A \frac{(T_{std}) (P_s)}{T_{s(avg)} P_{std}}$$

เมื่อ Q_{sd} = อัตราการไหลแห้งของอากาศในปล่องที่สภาวะมาตรฐาน (m³/hr)

B_{ws} = สัดส่วนปริมาตรไอน้ำในอากาศ

V_s = ความเร็วของอากาศในปล่อง (m³/s)

A = พื้นที่หน้าตัดของปล่อง (m²)

$T_{std} = 20^{\circ}\text{C} + 273 = 293^{\circ}\text{K}$

$T_{s(avg)}$ = อุณหภูมิสัมบูรณ์โดยเฉลี่ยของอากาศในปล่อง (°K)

P_s = ความดันสัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง ; mm.Hg = $P_{bar} \pm P_g$

$P_{std} = 760 \text{ mm.Hg}$

3. U.S.EPA Method 3 “Gas Analysis for Carbon Dioxide, Oxygen, Excess Air , and Molecular weight”

วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ

3.1 หลักการ

วิธีการตรวจวัดนี้ใช้ได้สำหรับการตรวจวิเคราะห์เพื่อหาค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และน้ำหนักโมเลกุลของอากาศแห้งในปล่องจากระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยทำการชักตัวอย่างอากาศในปล่องแล้วนำมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบด้วยเครื่อง Orsat analyzer

3.2 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศแห้งในปล่อง ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน

3.3 อุปกรณ์

3.3.1) ท่อดูดตัวอย่างอากาศ (Probe) ทำด้วยเหล็กไม่เป็นสนิมหรือแก้วบอโรซิลิเกต

3.3.2) ชุดควบแน่น (Condenser) ใช้สำหรับป้องกันความชื้นของอากาศจากปล่อง

3.3.3) วาล์ว สำหรับปรับอัตราการดูดอากาศ

3.3.4) ปัมป์ ชนิด diaphragm ใช้สำหรับดูดอากาศเข้าถุงเก็บตัวอย่างอากาศ

3.3.5) เครื่องวัดอัตราการไหล (Rate meter) ที่สามารถปรับอัตราการดูดอากาศในช่วงระหว่าง 500-1000 ลบ.ซม./นาทีและมีความถูกต้องร้อยละ 0.2

3.3.6) ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ (Flexible bag) ทำด้วยพลาสติกชนิด Tedlon Mylar Teflon หรือ Aluminized Myla ขนาด 55-90 ลิตร ก่อนนำมาจะต้องมีการตรวจสอบรอยรั่ว ดังนี้ คือ อัดอากาศเข้าไปในถุงเก็บตัวอย่างให้มีความดันอากาศภายใน 5-10 ซม.น้ำ (2-4 นิ้วน้ำ) ปลดปล่อยทิ้งไว้ 10 นาที ถ้าความดันลดลงแสดงว่ามีรอยรั่วหรือทิ้งไว้ 1 คืน ถุงเก็บตัวอย่างอากาศแฟบแสดงว่าเกิดรอยรั่ว

3.3.7) เกจวัดความดัน (Water-filled U-tube manometer) สามารถวัดความดันอากาศได้ 30 ซม.น้ำ (12 นิ้วน้ำ) ใช้สำหรับตรวจสอบรอยรั่วของถุงเก็บตัวอย่างอากาศ

3.3.8) ลูกยาง (Squeeze bulb)

3.3.9) ชุดวิเคราะห์ Orsat analyzer

3.4 สารเคมี

3.4.1) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide)

3.4.2) Pyrogallol

3.4.3) แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride)

3.4.4) คิวปรัสคลอไรด์ (Cuprous chloride)

3.4.5) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)

3.4.6) น้ำกลั่น

3.4.7) เมธิลลอเรนจ์

3.4.8) กรดซัลฟูริก

3.5 การเก็บตัวอย่าง

ประกอบชุดเก็บตัวอย่าง โดยตำแหน่งของการเก็บตัวอย่างอยู่ที่จุดศูนย์กลางของปล่องหรือห่างจากผนังของปล่องประมาณ 1 เมตร (3.3 ฟุต) เก็บตัวอย่างอากาศอย่างน้อย 30 ลิตร

3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.6.1 การเตรียมสารละลาย

(1) สารละลายดูดกลืนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 200 กรัมในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร

(2) สารละลายดูดกลืนก๊าซออกซิเจน ละลาย Pyrogallol 60 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้ง 2 มาผสมกันก่อนใช้

(3) สารละลายดูดกลืนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 12 กรัม ในน้ำกลั่น 360 มิลลิลิตร เติมคิวปรัสคลอไรด์ 120 กรัม ลงในสารละลายแล้วเติมร้อยละ 25 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 570 มิลลิลิตร สารละลายนี้ เก็บในภาชนะที่มีชั้นทองแดงเล็กๆ ปิดฝาให้แน่น

(4) Blocking water ละลายโซเดียมคลอไรด์ 22 ส่วนโดยน้ำหนักลงในน้ำกลั่น 78 ส่วนโดยน้ำหนักแล้วเติมกรดซัลฟูริกและเมธิลลอเรนจ์จำนวนเล็กน้อย

3.6.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

(1) เติมน้ำกลั่นลงในบิวเรต แจ็กเก็ต และเติม Blocking water ลงในขวดปรับระดับประมาณ 3/4 ของขวด

(2) เปิด Inlet stopcock ที่ต่อกับอากาศภายนอก ส่วน Stopcock หรือ Vessel อื่นๆ ปิดหมดค่อยๆ เติมน้ำกลั่นลงไปในแต่ละขวด ขวดที่ 1 บรรจุสารละลายดูดกลืนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขวดที่ 2 บรรจุสารละลายดูดกลืนก๊าซออกซิเจน และขวดที่ 3 บรรจุสารละลายดูดกลืนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยให้สารละลายสูงเกินครึ่งขวดเล็กน้อย

(3) เติม Blocking water เข้าไปในบิวเรต โดยการยกขวดปรับระดับขึ้น จนในสารละลายอยู่ในระดับที่ขีดไว้ ปิด Gas-inlet stopcock

(4) เปิด stopcock เหนือ Vessel พร้อมกับยกขวดปรับระดับลง เพื่อดูดสารละลายเข้าไปใน Vessel โดยจะต้องสังเกตระดับของสารละลายที่ได้เติมไว้ไม่ให้สารละลายแห้ง ควรให้สารละลายเหนือระดับพื้นประมาณ 1 เซนติเมตร หลังจากดูดสารละลายเข้าไปใน Vessel แล้ว และควรดูดสารละลายให้อยู่ใน Vessel เท่าที่ระดับปิด Stopcock เหนือ Vessel นั้น

(5) เติมสารละลายเข้าไปใน Vessel อื่น จนครบด้วยวิธีเดียวกับ 5.2.4 จากนั้น ปรับระดับของสารละลายในบิวเรตให้อยู่ที่ศูนย์ โดยเปิด Stopcock ที่ต่อกับอากาศภายนอก แล้วยกขวดปรับระดับขึ้น-ลง จากนั้นปรับระดับสารในบิวเรตให้อยู่ที่ศูนย์แล้วปิด Stopcock ที่ด้านบนของบิวเรต

(6) หลังจากเติมสารละลายในการวิเคราะห์เรียบร้อยแล้ว ต่ออุ้งเก็บตัวอย่างเข้ากับชุดวิเคราะห์ที่ Gas-inlet stopcock เปิด Stopcock ที่ Vessel บรรจุสารละลายดูดกลืนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ตัวอย่างอากาศผ่านขึ้น-ลงในสารละลายโดยยกขวดปรับระดับขึ้น-ลง จนกระทั่งระดับน้ำในบิวเรตเปลี่ยนแปลงได้ค่าคงที่แล้วอ่านค่าระดับที่เปลี่ยนแปลง จากนั้นให้อากาศที่ผ่านใน Vessel แทรกผ่านไปใน Vessel ที่ 2 และ 3 อ่านค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดแล้วนำไปคำนวณหาค่าน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ

3.7 การคำนวณ

3.7.1) คำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง

$$M_d = 0.44(\%CO_2) + 0.32(\%O_2) + 0.28(\%N_2 + \%CO)$$

เมื่อ M_d = น้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง (g/g-mol)

$\%CO_2$ = ร้อยละของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ในตัวอย่างอากาศ

$\%O_2$ = ร้อยละของก๊าซออกซิเจนในตัวอย่างอากาศ

$\%N_2$ = ร้อยละของก๊าซไนโตรเจนในตัวอย่างอากาศ

$\%CO$ = ร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในตัวอย่างอากาศ

0.44 = น้ำโมเลกุลของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ หารด้วย 100

0.32 = น้ำโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน หารด้วย 100

0.28 = น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ หารด้วย 100

3.7.2) คำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง

$$M_s = M_d(1-Bws) + 18.0 Bws$$

เมื่อ M_s = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง (g/g-mol)

M_d = น้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง (g/g-mol)

B_{ws} = สัดส่วนปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง ซึ่งหาด้วยวิธีการหาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง

18.0 = น้ำหนักโมเลกุลน้ำ

4. U.S.EPA Method 4 “Determination of Moisture Content in Stack Gases”

การหาปริมาณความชื้นของอากาศภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

4.1 หลักการ

ดึงอากาศออกจากปล่องด้วยอัตราการไหลที่คงที่ให้ผ่านเข้าสู่ชุดควบแน่น แล้ววัดหาปริมาณน้ำที่ควบแน่น ได้ด้วยการชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

4.2 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจวัดหาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง

4.3 อุปกรณ์

4.3.1) หัวเก็บตัวอย่าง

4.3.2) ท่อเก็บตัวอย่าง

4.3.3) Filter Holder

4.3.4) Condenser

4.3.5) ระบบเครื่องวัด ซึ่งประกอบด้วย บีม เทอร์โมมิเตอร์ และเครื่องวัดปริมาณอากาศแห้ง

4.3.6) เครื่องวัดความดันบรรยากาศ

4.4 วิธีการ

4.4.1) เติมน้ำกลั่น 100 มล. ลงใน Impinger ที่ 1 และ 2 ใส่ Silica gel หรือสารดูดความชื้นอื่นที่เทียบเท่าที่ผ่านการแช่ที่ 175 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ลงใน Impinger ที่ 4 ประมาณ 200 กรัม คลาดเคลื่อนได้ ± 0.5 กรัมและปล่อย Impinger ที่ 3 ให้ว่างเปล่า นำชุด Impinger นี้ใส่ลงใน Ice Bath เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิของตัวอย่างอากาศที่ออกไปไม่เกิน 20° C

4.4.2) ประกอบชุดเก็บตัวอย่าง

4.4.3) กำหนดตำแหน่งและจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง

4.4.4) ทดสอบปริมาณการรั่วของชุดเก็บตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง โดยปิดจุกที่หัว

เก็บตัวอย่างหรือที่ปลายท่อเก็บตัวอย่าง ในกรณีที่ไม่ได้ประกอบหัวเก็บตัวอย่างไว้ด้วยให้แน่น เปิดปิดดูดอากาศให้ Vacuum Gauge อ่านได้ 15 นิ้วปรอท อ่านปริมาตรอากาศที่ Dry gas meter ถ้าวัดได้น้อยกว่า 0.00057 ลบ.ม./นาทิจ (0.02 ลบ.ฟุต/นาทิจ) แล้ว แสดงว่าชุดเก็บตัวอย่างผ่านการทดสอบ แต่ถ้าวัดได้มากกว่า 0.00057 ลบ.ม./นาทิจ จะต้องทดสอบหาจุดรั่วแล้วแก้ไขจนกระทั่งได้ปริมาณการรั่วของชุดเก็บตัวอย่างน้อยกว่า 0.00057 ลบ.ม./นาทิจ จุดค่าปริมาณการรั่วก่อนการเก็บตัวอย่างนี้ไว้สำหรับการทดสอบหาปริมาณการรั่วหลังการเก็บตัวอย่างให้กระทำด้วยวิธีเช่นเดียวกัน ยกเว้นแต่ใช้ค่าของ Vacuum ที่ค่า Vacuum สูงสุดในระหว่างการเก็บตัวอย่าง จุดค่าปริมาณการรั่วหลังการเก็บตัวอย่างนี้ไว้ ถ้าค่านี้ไม่เกิน 0.00057 ลบ.ม./นาทิจ จะยอมรับผลการเก็บตัวอย่างชุดนี้ แต่ถ้ามีค่าเกิน 0.00057 ลบ.ม./นาทิจ ให้ทำการเก็บตัวอย่างใหม่

4.4.5) ดำเนินการเก็บตัวอย่างอากาศเช่นเดียวกับวิธีที่ 5 แต่ไม่ต้องเก็บให้ได้ Isokinetic

4.4.6) วัดหาปริมาณของเหลวที่เพิ่มขึ้นในชุด Impinger ทั้ง 4 ใบ

4.5 การคำนวณ

4.5.1) คำนวณหาปริมาณไอน้ำในตัวอย่างอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (25°C 760 mm.Hg)

$$V_{wc} = 0.00136(V_f - V_i)$$

เมื่อ V_{wc} = ปริมาตรไอน้ำในตัวอย่างอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (m³)

V_f = ปริมาตรของของเหลวใน Impinger หลังการเก็บตัวอย่าง (ml)

V_i = ปริมาตรของของเหลวใน Impinger ก่อนการเก็บตัวอย่าง (ml)

4.5.2) คำนวณหาปริมาตรของตัวอย่างอากาศแห้งที่สภาวะมาตรฐาน

$$V_{mc} = \frac{0.39217 (V_m P_m)}{T_m}$$

เมื่อ V_{mc} = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศแห้งที่ดูดเข้ามาที่สภาวะมาตรฐาน (m³)

V_m = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศที่ดูดเข้ามาทั้งหมด (ml)

P_m = ความดันสถิตย์ของตัวอย่างอากาศที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (mm.Hg)
= ความดันบรรยากาศ ณ จุดตรวจวัด

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ยที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง
(°K = °C + 273)

Y = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Dry gas meter

4.5.3) คำนวณหาสัดส่วนของปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง

$$B_{ws} = \frac{V_{wc}}{V_{wc} + V_{mc}}$$

เมื่อ B_{ws} = สัดส่วนของปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง

V_{wc} = ปริมาตรไอน้ำในตัวอย่างอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (ml)

V_{mc} = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศแห้งที่ดูดเข้ามาที่สภาวะมาตรฐาน (ml)

5. U.S.EPA Method 5 “Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources”

วิธีเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณฝุ่นละอองภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

5.1 หลักการ

วิธีการนี้ใช้สำหรับหาปริมาณฝุ่นที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ก้นที่ (Stationary source) ด้วยการเก็บตัวอย่างแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic)

Isokinetic sampling หมายถึง วิธีการที่ดูดตัวอย่างจากปล่องด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของอากาศเสียในปล่อง

ถ้าให้ V_n = ความเร็วของอากาศที่เข้าไปยังหัวเก็บตัวอย่าง

V_s = ความเร็วของอากาศเสียในปล่อง

นั่นคือ $V_n = V_s$ และ

$$\% \text{ Isokinetic} = \frac{V_n}{V_s} \times 100$$

ถ้า $V_n \neq V_s$ (Anisokinetic condition) ความเข้มข้นของตัวอย่างอากาศจะคลาดเคลื่อนไปจากความเข้มข้นจริงในปล่อง เนื่องจากผลของความเฉื่อยของอนุภาค (Inertial effects of particulate) โดยผลที่เกิดจากอนุภาคขนาดต่าง ๆ เป็นดังนี้

- อนุภาคขนาดใหญ่ยังคงเคลื่อนที่ตามทิศทางเดิม
- อนุภาคขนาดเล็กเคลื่อนที่ตามลำของการไหล (Streamline)
- อนุภาคขนาดกลางจะเกิดการหักเห (Deflect) จาก Streamline

5.2 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบหาปริมาณฝุ่นภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

5.3 อุปกรณ์

5.3.1) ชุดเก็บตัวอย่างประกอบด้วย

(1) หัวเก็บตัวอย่าง (Nozzle) ทำด้วยเหล็กไม่เป็นสนิมหรือแก้วปลายฝนเอียงทำมุม 30°C ภายในต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่และ ไม่มีรอยต่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเก็บตัวอย่างมีหลายขนาด ก่อนที่จะนำไปใช้ต้องวัดด้วยไมโครมิเตอร์ที่วัดได้ คือ 0.001 นิ้ว เป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยรอบ ค่าที่วัดได้ไม่ควรต่างกันเกิน 0.004 นิ้ว ถ้าต่างกันเกินนี้ก็ตักแต่งใหม่ได้

(2) ท่อเก็บตัวอย่าง (Probe) ทำด้วยแก้วไฟเร็กซ์หรือเหล็กไม่เป็นสนิมที่ไม่มีรอยต่อพร้อมด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนซึ่งสามารถรักษาอุณหภูมิ $120 \pm 14^{\circ}\text{C}$

(3) Pitot Tube ใช้แบบ S หรือเทียบเท่าสามารถนำมาประกอบติดกับท่อเก็บตัวอย่างเพื่อวัดความเร็วของอากาศที่เก็บตัวอย่าง

(4) Filter Holder ทำด้วยแก้วไฟเร็กซ์ พร้อมด้วยแผ่น Glass frit สามารถรองรับกระดาษกรอง, Silicone rubber เป็นยางปะเก็นกันรั่ว, ไซโคลน (Cyclone) สำหรับดักฝุ่นบางส่วนในตัวอย่างอากาศที่ดูดเข้ามาก่อนผ่านไปยังกระดาษกรองใน Filter holder ส่วนต่าง ๆ ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะต้องรักษาอุณหภูมิไว้ที่ $120 \pm 14^{\circ}\text{C}$ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์มีความถูกต้อง $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ในระหว่างการเก็บตัวอย่างอากาศที่ดูดเข้ามา

(5) เกจวัดความแตกต่างของความดัน (Differential Pressure Gauge) จำนวน 2 ตัว โดยที่ตัวหนึ่งใช้สำหรับหาความเร็วของอากาศในปล่อง และอีกตัวหนึ่งใช้สำหรับหาความเร็วของตัวอย่างอากาศที่ดูดเข้ามา

(6) Condenser ด้วยอุปกรณ์ตามวิธีการหาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่องควัน

(7) ระบบเครื่องวัด (Metering System) ประกอบด้วยเกจวัดความดันสูญญากาศ (Vacuum gauge) ป้อนชนิดไม่รั่ว (Leak-free pump) เทอร์โมมิเตอร์ที่อ่านไม่ถูกต้อง $\pm 3^{\circ}\text{C}$ เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (Dry gas meter) ที่มีความถูกต้อง $\pm 2\%$ พร้อมด้วยเครื่องมืออื่น ๆ ซึ่งจำเป็นในการควบคุมอัตราการเก็บตัวอย่างให้อยู่ภายใน $\pm 10\%$ ของ Isokinetic

(8) เครื่องวัดความดันอากาศ (Barometer) ที่สามารถวัดความดันบรรยากาศได้ถูกต้อง ± 2.5 มิลลิเมตรปรอท

5.3.2) อุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่าง ประกอบด้วย

(1) แปรงทำความสะอาดท่อเก็บตัวอย่างและหัวเก็บตัวอย่าง

(2) ขวดน้ำกลั่น 1 ขวด และ อะซิโตน 1 ขวด

(3) ภาชนะแก้วสำหรับบรรจุตัวอย่างที่ล้างด้วยอะซิโตน ขนาด 500 หรือ 1000 มิลลิลิตร

(4) จานเพาะเชื้อ (Petri Dish) สำหรับบรรจุกระดาษกรอง

- (5) กระจกดวงวัดปริมาตร ได้คลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 มิลลิลิตร
- (6) ขวดเก็บ Silica gel
- (7) กรวยกรอง
- (8) ตู้ดูดความชื้น Desiccator
- (9) เครื่องชั่งละเอียด ± 1 มิลลิกรัม และเครื่องชั่งหยาบ ± 0.5 กรัม
- (10) บีกเกอร์ขนาด 250 มล.
- (11) Hygrometer สำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปฏิบัติการ
- (12) เทอร์โมมิเตอร์

5.4 สารเคมี

5.4.1) กระจกกรอง ทำด้วยใยแก้ว ซึ่งไม่มีสารอินทรีย์เจือปนและมีคุณสมบัติเก็บฝุ่นขนาด

0.3 ไมครอน

- 5.4.2) Silica gel ชนิด 6-16 mesh
- 5.4.3) น้ำกลั่น
- 5.4.4) น้ำแข็งป่น
- 5.4.5) Stopcock grease ต้องไม่ละลายในอะซิโตนและทนความร้อน
- 5.4.5) Acetone
- 5.4.6) สารดูดความชื้น ใช้ Anhydrous CaSO_4

5.5 วิธีการ

5.6.1) การเตรียมก่อนดำเนินการ

- (1) เตรียม Silica gel เพื่อหาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง
- (2) เตรียมกระจกกรองโดยการอบที่ 105°C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง แล้วดูดความชื้นต่ออีก 2 ชั่วโมง กำหนดหมายเลขลงบนกระจกกรอง และชั่งน้ำหนักกระจกกรอง

5.6.2) การหาค่าเบื้องต้น

- (1) กำหนดตำแหน่งและจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง
- (2) หาความดัน อุณหภูมิ และความเร็วของอากาศในปล่อง
- (3) หาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง
- (4) หาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง
- (5) เลือกขนาดหัวเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม เพื่อให้ได้การเก็บตัวอย่างเป็นแบบ Isokinetic โดย

ไม่ทำให้ต้องเปลี่ยนขนาดหัวเก็บตัวอย่าง ในระหว่างการเก็บตัวอย่าง ซึ่งขนาดของหัวเก็บตัวอย่างหาได้จากสมการดังนี้

$$D_n = \sqrt{\frac{6.0758 Q_m P_m}{T_m C_p (1-B_{ws})} \frac{T_s M_s}{P_s (\Delta P)_{avg}}}$$

เมื่อ D_n = ขนาดหัวเก็บตัวอย่าง

Q_n = อัตราการไหลของตัวอย่างอากาศที่ผ่านเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (ลบ.ม./นาที)

P_m = ความดันสัมบูรณ์ของตัวอย่างอากาศที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (mm.Hg)

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ยที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง

$$(^{\circ}K = ^{\circ}C + 273)$$

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot Tube ที่ใช้

B_{ws} = สัดส่วนของปริมาตรไอน้ำในอากาศ

T_s = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง ($^{\circ}K = ^{\circ}C + 273$)

M_s = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง (g/g.mol)

P_b = ความดันบรรยากาศ (mm.Hg)

P_g = ความดันสถิตย์ของอากาศในปล่อง (mm.Hg)

P_s = ความดันสัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง (mm.Hg = $P_b \pm P_g$)

$(\Delta P)_{avg}$ = ความแตกต่างของความดันเนื่องจากความเร็วโดยเฉลี่ย (mm.H₂O)

(6) เลือกชนิดและความยาวของท่อเก็บตัวอย่างให้เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง

(7) ทหาระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ณ ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างหนึ่ง ๆ โดยต้องไม่น้อยกว่า 2 นาทีและปริมาตรที่ดูดเข้ามาทั้งหมดไม่น้อยกว่า 0.85 ลบ.ม. ที่ 25°C 760 mm.Hg

5.6.3) การเตรียมชุดเก็บตัวอย่าง

(1) เติมน้ำกลั่น 100 มล. ลงใน Impinger ที่ 1 และ 2 Silica gel 200-300 กรัม ลงใน Impinger ที่ 4 ปล่อยให้ Impinger ที่ 3 ว่าง

(2) ใช้ forcept หยิบกระดาษกรองที่ซึมน้ำหนักไว้แล้ว ลงใน Filter holder

(3) ใช้ Silicone grease ทาบริเวณข้อต่อต่าง ๆ

(4) ในกรณีที่เราคาดว่าจะมีปริมาณฝุ่นเกิน 100 มิลลิกรัม หรือมีหยดน้ำในตัวอย่างอากาศ อาจ ประกอบ Cyclone เข้าระหว่างท่อเก็บตัวอย่าง และ Filter holder

5.6.4) วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณฝุ่น

(1) จะต้องเก็บตัวอย่างให้ได้ Isokinetic โดยคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน $\pm 10\%$ และรักษาอุณหภูมิ ของ Filter holder ให้อยู่ที่ $120 \pm 14^\circ\text{C}$

(2) บันทึกค่าต่าง ๆ ในแบบฟอร์มและบันทึกค่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างของ ความดันเนื่องจากความเร็ว $\pm 20\%$

(3) จะต้องตรวจสอบค่าอ่านได้ที่ถูกต้องของมาโนมิเตอร์ โดยการปรับ Zero ในระหว่างการเก็บ ตัวอย่าง

(4) ทำความสะอาดช่องเก็บตัวอย่างก่อนที่จะดำเนินการเก็บตัวอย่าง

(5) เริ่มเก็บตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิที่ Filter Holder และที่ท่อเก็บตัวอย่างได้อุณหภูมิที่ต้องการ

(6) สอดหัวเก็บตัวอย่างเข้าไปในปล่องที่จุดเก็บตัวอย่างจุดแรก โดยหันหัวเก็บตัวอย่างเข้าหาถ้าก๊าซ แล้วปิดช่องข้าง ๆ ให้มีทิศทางเพื่อกันอากาศจากภายนอกปล่องเข้าไปในปล่องได้

(7) เริ่มเดินปั๊ม และปรับอัตราการไหลของตัวอย่างอากาศที่เข้าสู่จุดเก็บตัวอย่างด้วยวาล์วปั๊ม ให้ได้ ค่าความแตกต่างของความดันที่ Orifice สัมพันธ์กับค่าความแตกต่างของความดันที่วัดได้จาก Pitot Tube ดังสมการ

$$\Delta H = (35243.15 D_n \Delta H_p C_p^2 (1-B_{ws})^2 \frac{M_d T_m P_s}{M_s T_p P_m}) \Delta P$$

เมื่อ ΔH = ความแตกต่างของความดันที่ Orifice นิ้วน้ำ

D_n = ขนาดหัวเก็บตัวอย่าง (cm)

ΔH_p = ความดันลกระหว่าง Orifice เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศ 0.02 ลบ.ม./ นาทีที่สภาวะมาตรฐาน

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube ที่ใช้

B_{ws} = สัดส่วนของปริมาตรไอน้ำในอากาศ

M_d = น้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง (g/g.mol)

M_s = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง (g/g.mol)

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ยที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห่ง
 $^{\circ}K = ^{\circ}C + 273$

T_s = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง ($^{\circ}K = ^{\circ}C + 273$)

P_s = ความสถิตย์สัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง (mm.Hg)
 $= P_{bar} + P_g$

P_m = ความดันสถิตย์ของตัวอย่างอากาศที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห่ง (mm.Hg)

P_{br} = ความดันบรรยากาศ ณ จุดตรวจวัด

ΔP = ความแตกต่างของความดันเนื่องจากความเร็ว (นิ้วน้ำ)

(8) ถ้าความดันลด ระหว่างกระดวยกรองมีค่าสูงจะทำให้ยากต่อการเก็บตัวอย่างให้ได้ Isokinetic จึงควรเปลี่ยนกระดวยกรองใหม่ หรือเปลี่ยนชุดของ Filter Holder ทั้งชุด

(9) ให้ใช้ชุดเก็บตัวอย่าง 1 ชุดต่อ 1 ปล่อง

(10) เมื่อสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างให้ปิดวาล์วปั๊ม ดึงท่อและหัวเก็บตัวอย่างออกจากปล่อง ปิดปั๊มและทดสอบ การรั่วคำนวณหาร้อยละของไอโซไคเนติก จากสมการ

$$I = \frac{100 T_s (K_3 V_{tc} + (Y V_m / T_m) (P_{bar} + \Delta H / 13.6))}{60 Q V_s P_s P_g A_n}$$

เมื่อ I = ร้อยละของไอโซไคเนติก

T_s = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง ($^{\circ}K$)

$K_3 = 0.003454 \text{ mm.Hg} \cdot \text{m}^3 / \text{ml} (^{\circ}K)$

V_{tc} = ปริมาตรของน้ำที่เก็บได้ในชุด condenser (ml)

V_m = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศที่ดูดเข้ามา (m^3)

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ยที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห่ง
 $^{\circ}K = ^{\circ}C + 273$

Y = Dry gas meter calibration factor

P_{br} = ความดันบรรยากาศที่จุดเก็บตัวอย่าง (mm.Hg)

ΔH = ความแตกต่างของความดันที่ Orifice (mm.H₂O)

Q = เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (min)

V_s = ความเร็วของอากาศในปล่อง (m/s)

P_s = ความดันสถิตยสัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง (mm.Hg)

$$= P_{bar} + P_g$$

P_g = ความดันสถิตยของอากาศในปล่อง (mm.Hg)

A_n = พื้นที่หน้าตัดของหัวเก็บตัวอย่าง (m^3)

ถ้าผลการคำนวณร้อยละของไอโซโคเนติก คลาดเคลื่อนร้อยละ ± 10 จะยอมรับผลของการเก็บตัวอย่างนี้ แต่ถ้าคลาดเคลื่อนไปมากกว่าร้อยละ ± 10 ให้เริ่มต้นทำการเก็บตัวอย่างใหม่ตามวิธีการที่กล่าวมาทั้งหมด

5.6.5) การเตรียมตัวอย่าง

(1) เช็ดฝุ่นที่เกาะอยู่ภายนอกของท่อและหัวเก็บตัวอย่าง ปิดจุกที่หัวเก็บตัวอย่าง แล้วถอดท่อเก็บตัวอย่างออกจากชุดเก็บตัวอย่าง เช็ด Silicone grease ที่ joint ออก แล้วใช้จุกปิด มิให้ฝุ่นหรือหยดน้ำที่เกิดจากการควบแน่นสูญเสียไป

(2) จุดที่ใช้อาจทำด้วยแก้วหรือพลาสติก

(3) เคลื่อนย้ายท่อเก็บตัวอย่าง Filter holder พร้อมด้วย Cycone (ถ้าใช้ในการเก็บตัวอย่างด้วย) และชุด Impingers ไปยังสถานที่ที่สะอาด ไม่มีฝุ่นและลมพัด

(4) แบ่งอาซิโตนที่ใช้ล้างออกมา 200 มล. เพื่อทำ Blank

(5) ใช้ Forcep คีบกระดาษกรองเก็บไว้ใน Petri dish หมายเลข 1

(6) ใช้อาซิโตนฉีดล้างฝุ่นที่อยู่ในหัวเก็บตัวอย่าง ท่อเก็บตัวอย่างและส่วนอื่น ๆ ที่เป็นทางเดินของฝุ่น และอาจมีฝุ่นติดอยู่ ใช้แปรงไนลอนช่วยในการล้างฝุ่นออก ล้างจนกระทั่งได้อาซิโตนออกมาใส แล้วล้างอีกครั้ง เป็นครั้งสุดท้าย ล้างท่อเก็บตัวอย่างโดยการเอียงท่อให้อาซิโตนสามารถไหลลงสู่กรวยที่รองรับอยู่ข้างล่าง หมุนแปรงและขยับขึ้นลง พร้อมกับการฉีดอาซิโตน 3 ครั้งหรือมากกว่า จนกระทั่งอาซิโตนที่ไหลออกมาใส ถ้าท่อเก็บตัวอย่างภายในเป็นโลหะ ให้ขยับแปรงขึ้นลง อย่างน้อยหกครั้ง เพื่อฝุ่นที่เกาะอยู่ในซอกของโลหะจะได้หลุดออกมาจนหมดสิ้น การทำความสะอาดท่อเก็บตัวอย่างนี้ควร ใช้คนอย่างน้อย 2 คน และก่อนที่จะทำความสะอาดให้ตรวจสอบดูความสะอาดของแรงทุกครั้งเสมอ

ฝุ่นที่เก็บได้จากการล้างอาซิโตนให้นำมารวมกันในภาชนะหมายเลข 2 และวัดปริมาตรของอาซิโตนที่ใช้ในการล้างทั้งหมด

(7) นำชุด Impingers มาชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เพื่อหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างอากาศ

5.7 การคำนวณ

5.7.1) การคำนวณหาปริมาณอากาศแห้งที่สภาวะมาตรฐาน (20°C 760 mm.Hg)

$$V_{m(std)} = \frac{K_1 V_m Y (P_{bar} + (\Delta H / 13.6 m))}{T_m}$$

เมื่อ $V_{m(std)}$ = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศแห้งที่ดูดเข้ามาที่สภาวะมาตรฐาน (m³)

Y = Dry gas meter calibration factor

$K_1 = 0.3858 \text{ } ^\circ\text{K} / \text{mm.Hg}$

V_m = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศที่ดูดเข้ามา (m³)

P_{bar} = ความดันบรรยากาศที่จุดเก็บตัวอย่าง (mm.Hg)

ΔH = ความแตกต่างของความดันที่ Orifice (mm.H₂O)

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ยที่เครื่องวัดปริมาณอากาศแห้ง

$$^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273$$

5.7.2) การคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นอากาศในปล่อง

$$C_s = \frac{M_n}{V_{m(std)}}$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นของฝุ่นของอากาศในปล่อง (mg/m³)

M_n = น้ำหนักฝุ่นทั้งหมดที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง (mg)

$V_{m(std)}$ = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศแห้งที่ดูดเข้ามาที่สภาวะมาตรฐาน(m³)

6. U.S.EPA Method 6 “Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources”

วิธีการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

6.1 หลักการ

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรมแล้วแยกละอองกรดซัลฟูริกและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากอากาศตัวอย่างด้วยใยแก้วและ Isopropyl alcohol ตามลำดับ แล้วจึงดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธี Barium thorian titration

วิธีสามารถวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปล่องที่ค่าต่ำสุด คือ 3.4 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (1.3 ส่วนในล้านส่วน) และค่าสูงสุดคือ 80,000 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (30,600 ส่วนในล้านส่วน)

สิ่งรบกวนการตรวจวัด คือ แอมโมเนียอิสระ อนุมลประจุบวกที่ละลายน้ำ และฟลูออไรด์ สำหรับอนุมลประจุบวกที่ละลายน้ำ และ ฟลูออไรด์จะถูกคักโดยใยแก้ว และ Isopropyl alcohol แต่ถ้ามีแอมโมเนียอิสระ(พิจารณาจากระบวนการผลิตและพบฝุ่นผงสีขาวในหัววัดและใน Isopropyl alcohol) ควรเลือกใช้วิธีอื่น

6.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทำการตรวจวัด ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยวิธี Barium thorn titration

6.3 อุปกรณ์

6.3.1) ท่อดูดตัวอย่างอากาศ (Probe) ทำด้วยแก้วบอโรซิลิเกต Borosilicate glass หรือ แก้วไพเร็กซ์ (Pyrex glass) หรือเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-6 มิลลิเมตร มีระบบให้ความร้อนแก่ท่อดูดตัวอย่างอากาศ (Probe) เพื่อป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำ ที่ปลายมีชุดกรองฝุ่นละอองกรดซัลฟูริก(Sulfuric Acid Mist) ซึ่งมักจะใช้ใยแก้วบรรจุในชุดกรองนั้น

6.3.2) Bubbler และ Impingers ใช้ Midget bubbler ซึ่ง Tip มีลักษณะลักษณะเป็น Glass-fritted (หรืออาจใช้ Midget Impingers แทน) ขนาด 30 มิลลิลิตร คำนบนบรรจุด้วยใยแก้ว เพื่อดักละอองกรดซัลฟูริกอีกชั้นหนึ่ง และใช้ Midget Impingers ขนาด 30 มิลลิลิตร 3 ชุด ต่อกันเป็นอนุกรม (ในกรณีที่ใช้ Bubbler และ Impingers ต้องมีลักษณะเป็น Glass-fritted)

6.3.3) ใยแก้วสำหรับกรองฝุ่นหรือละอองกรด

6.3.4) เครื่องวัดอุณหภูมิของอากาศตัวอย่างที่ออกจาก Impingers

6.3.5) ชุดดักความชื้นซึ่งบรรจุด้วย Silica gel เพื่อลดความชื้นออกจากอากาศตัวอย่างไม่ให้เข้าไป

ทำลาย Pump ดูดอากาศ

6.3.6) วาล์วใช้ Needle valve เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

6.3.7) เครื่องสูบลมอากาศ (Pump) ชนิด Diaphragm pump หรือเทียบเท่าเป็นตัวดูดอากาศตัวอย่างเข้าระบบเก็บตัวอย่างอากาศ

6.3.8) Rate meter ใช้ Rotameter หรือแบบเทียบเท่าซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลของอากาศได้ระหว่าง 0-5,000 มิลลิลิตร/นาที

6.3.9) Volume meter ใช้ Dry gas meter เป็นเครื่องวัดปริมาตรอากาศตัวอย่าง

3.10) เครื่องวัดความดันอากาศ (Barometer) ใช้ Mercury , Aneroid หรือชนิดอื่น ๆ ใช้วัดความดันบรรยากาศ

3.11) Vacuum gauge และ Rotameter (วัดอัตราการไหลของอากาศได้ระหว่าง 0-40 มิลลิลิตร/นาที)

ใช้ในการทำ Leak check

6.3.12) ไขมัน (Grease) ใช้ทาบริเวณจุดต่อของระบบเพื่อป้องกันการรั่วของตัวอย่างอากาศ

6.3.13) กระบอกน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร 2 ขวด

6.3.14) ขวดเก็บตัวอย่าง (Storage bottles) ชนิด Polyethylene ขนาด 100 มิลลิลิตร

6.3.15) ปิเปตชนิด transfer pipette ขนาด 5 10 และ 20 มิลลิลิตร

6.3.16) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร

6.3.17) บิวเรต (Burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

6.3.18) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร

6.3.19) ขวดหยด (Droplling bottle) ขนาด 125 มิลลิลิตร สำหรับใส่ Indicator

6.3.20) กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร

6.4 สารเคมี

6.4.1) สารเคมีที่ใช้ต้องเป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ยกเว้น Hydrogen peroxide อาจใช้ Laboratory grade ได้

6.4.2) น้ำกลั่นดีไอออนไนซ์ (Deionized Distilled Water)

6.4.3) 3% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) เตรียมโดยเจือจาง 30% Hydrogen peroxide 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (เตรียมในวันที่จะเก็บตัวอย่าง)

6.4.4) 80% Isopropyl alcohol เตรียมโดยผสม 80 มิลลิลิตร ของ Isopropyl alcohol กับน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร

6.4.5) Thorin indicator : 1-(0-arsenophenylazo)-2-naphthol-3,6-disulfonic acid เตรียมโดยละลาย 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (เก็บในขวดโพลีเอทิลีน)

6.4.6) แบเรียมเปอร์คลอเรต (Barium perchlorate) 0.01 N เตรียมโดยละลาย 1.95 กรัม ของแบเรียม-เปอร์คลอเรต ($Ba(ClO_4)_2 \cdot 3H_2O$) ด้วยน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร ด้วย Isopropyl alcohol และนำมาหา Normality ของสารละลาย 100 มิลลิลิตร (เตรียมเมื่อต้องการจะใช้)

6.4.7) กรดซัลฟูริกมาตรฐาน (Sulfuric acid standard) 0.01 N

6.4.8) 10% ของสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (10% Potassium Iodide Solution)

6.5 จุดเก็บตัวอย่าง

จุดที่เก็บตัวอย่าง ควรอยู่ในตำแหน่งที่กระแสก๊าซมีการไหลสม่ำเสมอ และมีการผสมผสานอย่างทั่วถึง

6.6 การเตรียมชุดเก็บตัวอย่าง

6.6.1) เติม 15 มิลลิลิตรของ 80% Isopropyl alcohol ลงใน Midget bubbler และ 15 มล. 3% Hydrogen peroxide ลงใน Midget Impingers 2 อันถัดไป ส่วนอันสุดท้ายปล่อยให้ว่างไว้ (ในกรณีที่ใช้ Bubbler และ Impingers ที่มีขนาดใหญ่กว่า 30 มิลลิลิตร ให้ใช้ปริมาณของสารละลายดูดซึม ตามตารางที่ 1 คือ 40-80 มิลลิลิตร)

6.6.2) เปิดระบบความร้อน (Heater) สำหรับท่อชุดตัวอย่างอากาศ (Prove) ให้อุณหภูมิเหมาะสม เพื่อมิให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำ

6.6.3) ใส่ น้ำแข็งป่นลงรอบ ๆ ขวด Bubbler และ Impingers

ตารางที่ 3-3 ปริมาณของตัวอย่างอากาศที่ควรเก็บจากท่อหรือปล่อง ปริมาณของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการ Titration และปริมาณของ Barium perchlorate ($Ba(ClO_4)_2$) ที่ใช้สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้น SO_2 (มก./ลบ.ม.)	ขนาดของ Bubbler หรือ Impingers (มล.)	ปริมาณของ สารละลายดูดซึมที่ใช้ใน Impingers แต่ละตัว (มล.)	ปริมาณ ตัวอย่างอากาศที่เก็บ (ลบ.ม.)	ปริมาณของ สารละลาย ตัวอย่าง หลังจากเจือจางด้วย น้ำกลั่น (มล.)	ปริมาณ สารละลาย หลังจากเจือจาง นำไป Titration (มล.)	ปริมาณ ของ $Ba(ClO_4)_2$ (มล.)
30-100	100	40	0.100	100	20	1.875-
100-500	100	40	0.060	100	20	6.25
500-1000	250	80	0.060	250	20	3.75-
1000-2000	250	80	0.030	250	20	18.75
2000-5000	250	80	0.030	250	20	7.5-15.0
2000-5100	250	80	0.030	250	10*	7.5-15.0
						15.0-37.5
						7.5-18.75

* ปริมาณสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการ Titration เจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 20 มิลลิลิตร

6.7 การตรวจสอบรอยรั่ว (Leak check)

การตรวจสอบรอยรั่วทำได้โดยการต่อ Rotameter (ที่มีช่วงการวัดระหว่าง 0.40 มิลลิลิตร/นาที) เข้ากับทางออกของ Dry gas meter แล้วติด Vacuum gauge ที่บริเวณใกล้ ๆ กับปลายทางเข้าของท่อดูดอากาศ แล้วปิดปลายท่อดูดอากาศ จากนั้นดูดอากาศอย่างน้อย 10 นิ้วปรอท แล้วบันทึกค่าของ Rata meter จะต้องให้ได้ค่าจากการตรวจสอบรอยรั่วน้อยกว่าร้อยละ 2 ของค่าที่ใช้เก็บตัวอย่าง จึงสามารถยอมรับได้

ข้อควรระวัง ภายหลังจากการตรวจสอบรอยรั่ว แล้วต้องเปิดปลายท่อดูดอากาศที่ปิดไว้เพื่อให้อากาศเข้าระบบก่อนจึงปิดปั๊ม

6.8 การเก็บตัวอย่าง

จดบันทึกค่าเริ่มต้นของ Dry gas meter และความกดอากาศ(P_{bar}) เริ่มเก็บตัวอย่าง โดยใส่ท่อดูดอากาศเข้าไปในปล่อง ให้ปลายท่อดูดอากาศอยู่ตำแหน่งที่ต้องการเก็บตัวอย่าง ต่อท่อดูดอากาศเข้ากับระบบของ Impingers เริ่มเปิดปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศในอัตราประมาณ 1.0 ลิตร/นาที เติมน้ำแข็งลงไปรอบ ๆ Impingers ระหว่างการเก็บตัวอย่าง เพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศตัวอย่างที่ออกจาก Impingers ตัวสุดท้ายให้ต่ำกว่า 20°C (68°F) บันทึกค่าอุณหภูมิของอากาศตัวอย่างที่ Dry gas meter (T_m) หลังจากการเก็บตัวอย่างอากาศสิ้นสุดลงให้ปิดปั๊ม แล้วเอาท่อดูดอากาศออกจากปล่องและบันทึกค่าสุดท้ายของ Dry gas meter จากนั้นทำการตรวจสอบรอยรั่ว แล้วเปิดปั๊มให้อากาศบริสุทธิ์ผ่านเข้าระบบอีกประมาณ 15 นาที (อากาศบริสุทธิ์อาจได้จากการดูดอากาศผ่าน Chlacoal หรือผ่าน Impingers อีกชุดหนึ่งซึ่งบรรจุ 3% Hydrogen peroxide ประมาณ 15 มิลลิลิตร)

6.9 การจัดเก็บสารละลายตัวอย่าง

เทสารตัวอย่างของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกเก็บไว้ในสารละลาย 3% Hydrogen peroxide ใน Impingers ทั้ง 2 อันลงในขวดเก็บตัวอย่าง ชนิด โพลีเอธิลีน ซึ่งไม่รั่วซึม ล้าง Impingers ด้วยน้ำกลั่น แล้วเทลงในขวดเก็บตัวอย่าง

6.10 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- 6.10.1) เทสารละลายจากขวดเก็บตัวอย่างลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
- 6.10.2) เจือจางสารละลายตัวอย่างลงให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
- 6.10.3) ปิเปต 10 มิลลิลิตร ของสารละลายในขวดวัดปริมาตร ลงในขวดรูปชมพู่
- 6.10.4) เติม 40 มิลลิลิตร ของ 100% Isopropyl alcohol
- 6.10.5) เติมสารละลาย Thorin indicator 2-4 หยด
- 6.10.6) ไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วย 0.01N $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$ จนได้จุดยุติ สีชมพู ทำซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย

6.11 การคำนวณ

$$C_{SO_2} = \frac{81.69 (V_t V_{ib}) N (V_{sol}/V_a) T_m}{Y V_m P_{bar}}$$

เมื่อ C_{SO_2} = ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สภาวะมาตรฐาน (mg/ml)

V_t = ปริมาตรของ $Ba(ClO_4)_2$ ที่ใช้ไตเตรทกับสารละลายตัวอย่าง (ml)

V_{ib} = ปริมาตรของ $Ba(ClO_4)_2$ ที่ใช้ไตเตรทกับสารละลาย Blank (ml)

N = Normality ของ $Ba(ClO_4)_2$

V_{sol} = ปริมาตรของสารละลายที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ 50 ml

V_a = ปริมาตรของสารละลายที่นำไปไตเตรท 10 ml

T_m = อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่ Dry gas meter ($^{\circ}K$)

V_m = ปริมาตรอากาศแห้งที่วัด โดย Dry gas meter (ml)

Y = Dry gas meter calibration factor

P_{bar} = ความกดอากาศที่ Dry gas meter (mm.Hg)

7. EPA Method 7 “Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources”

วิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

7.1 หลักการ

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องโรงงานเข้าไปไว้ในภาชนะแก้วซึ่งอยู่ในภาวะสูญญากาศและบรรจุสารละลายดูดซึมเจือจางของกรดซัลฟิวริกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ยกเว้นก๊าซไนตรัสออกไซด์ด้วยวิธีการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ 410 นาโนเมตร โดยทำปฏิกิริยากับกรดฟีนอลไดซัลฟอนิก

วิธีนี้สามารถวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดอยู่กับที่ภายในพิสัยตั้งแต่ 2-400 มิลลิกรัม (เทียบเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์) ต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 1-213 ส่วนในล้านส่วน

7.2 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

7.3 อุปกรณ์

7.3.1 ชุดเก็บตัวอย่างจากปล่อง

นักศึกษาสาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปฏิบัติงาน ณ บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด

(1) ท่อดูดตัวอย่างอากาศ (Probe) ใช้แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate glass) หรือเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ที่มีระบบให้ความร้อนแก่ท่อดูดตัวอย่างอากาศ เพื่อป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำ และประกอบชุดกรองฝุ่นแบบในปล่อง หรือ แบบนอกปล่องเข้าไว้ด้วย (อาจใช้ใยแก้วเป็นตัวกรองฝุ่นได้เช่นกัน)

(2) ขวดเก็บตัวอย่าง (Collection flask) เป็นขวดบอโรซิลิเกต (Borosilicate flask) ก้นกลมที่มีคอขวดสั้น ขนาดความจุ 2 ลิตร และมีปากขวดเรียวมาตรฐานขนาด 24/40

(3) ลิ้นขวดเก็บตัวอย่าง (Flask valve) เป็นจุกก๊อกแบบ T-bore ที่ต่อกับข้อต่อซึ่งมีลักษณะเรียวมาตรฐานขนาด 24/40

(4) มาตรฐานวัดอุณหภูมิที่สามารถอ่านได้ละเอียดถึง 1°C (2°F) ในช่วงตั้งแต่ -5 ถึง 50°C ($25-125^{\circ}\text{F}$)

(5) ท่อสูญญากาศ (Vacuum line) ที่สามารถทดสอบสภาพสูญญากาศได้ 75 มิลลิเมตรปรอท พร้อมกับข้อต่อ "T" และจุกก๊อกแบบ T-bore

(6) มาตรวัดสูญญากาศ (Vacuum gauge) สามารถวัดค่าได้ละเอียดถึง 2.5 มิลลิเมตรปรอท

(7) เครื่องสูบลม (Pump) ที่สามารถสูบลมในขวดเก็บตัวอย่างออก จนมีระดับสูญญากาศเท่ากับหรือ น้อยกว่า 75 มิลลิเมตรปรอทสัมบูรณ์

(8) ลูกยางบีบ (Squeeze bulb) แบบทางเดียว

(9) ปิเปตชนิดปริมาตร ขนาด 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร

(10) ไขมัน (Grease) สำหรับทาบริเวณจุดต่อของระบบ

(11) มาตรฐานความดันบรรยากาศสำหรับวัดความดันบรรยากาศ ณ จุดตรวจวัด สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 2.5 มิลลิเมตรปรอท

7.3.2 อุปกรณ์การวิเคราะห์ตัวอย่าง

(1) จานระเหยชนิดกระเบื้อง (Porcelain Evaporating Dish) ขนาด 175-250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

(2) กระจกตวง 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

(3) แท่งแก้วคน

(4) ขวดน้ำกลั่น

(5) กระจกวัดความเป็นกรด-เบส (pH Meter)

(6) เครื่องอังไอน้ำ

(7) ครอบเปเปอร์

(8) ขวดบรรจุตัวอย่างชนิด โพลีเอธิลีน

(9) ขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

- (10) เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม
- (11) ขวดบรรจุตัวอย่างชนิด โพลีเอธิลีน
- (12) ปิเปตต์ชนิดปริมาตร (Volumetric Pipette) ขนาด 1 ลูกบาศก์กเซนติเมตร
- (13) Policeman ชนิด โพลีเอธิลีน
- (14) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) เพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ 410 นาโนเมตร

7.4 สารเคมี

7.4.1) สารละลายดูดซับ (Absorbing solution)

เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.8 มล. ลงในน้ำกลั่นจำนวน 1 ลิตร ผสมให้เข้ากันเติมสารละลาย 3% H_2O_2 ซึ่งเตรียมขึ้นใหม่จากสารละลาย 30% H_2O_2 จำนวน 6 มิลลิลิตร ควรใช้ภายใน 1 สัปดาห์และไม่ควรได้รับความร้อนหรือแสงอาทิตย์โดยตรง

7.4.2) โซเดียม ไฮดรอกไซด์ (1N NaOH)

ละลาย NaOH จำนวน 40 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้เป็น 1 ลิตร

7.4.3) น้ำกลั่นคิอีนไนซ์

7.4.4) กรดซัลฟูริกชนิดฟุ่มมิ่ง ที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร้อยละ 15-18 โดยน้ำหนัก

7.4.5) ฟีนอล ที่เป็นผลิตภัณฑ์ชาวบริสุทธ์

7.4.6) กรดซัลฟูริก เข้มข้นร้อยละ 95

7.4.7) สารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3)

อบ KNO_3 ที่ $105-110^{\circ}C$ เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น ชั่ง KNO_3 2.198 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร

7.4.8) สารละลายใช้งานมาตรฐาน โพแทสเซียมไนเตรต (Working standard solution KNO_3)

เจือจางสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไนเตรต จำนวน 10 มิลลิลิตร ให้เป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น (1 มิลลิลิตร ของ Working standard solution มีค่าเท่ากับ 100 ไมโครกรัมของ NO_2)

7.4.9) สารละลายกรดฟีนอลไดซัลฟอนิก

ละลาย 25 กรัม ของผลิตภัณฑ์ชาวบริสุทธ์ในกรดกำมะถันเข้มข้น 150 มิลลิลิตร บนเครื่องอังไอน้ำ ทำให้เย็นลงแล้วเติม Fuming sulfuric acid 75 มิลลิลิตร ทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บไว้ในขวดสีเข้มและมีจุกปิด

7.5 การเก็บตัวอย่าง

7.5.1) ดูดสารละลายดูดซับ (Absorbing solution) จำนวน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเก็บตัวอย่าง

นักศึกษาสาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปฏิบัติงาน ณ บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทัล แมเนจเม้นท์ จำกัด

ต่อลิ้นขวดเก็บตัวอย่าง โดยลิ้น (Valve) อยู่ในตำแหน่งเป่าไล่อากาศ (Purge) ประกอบชุดเก็บตัวอย่าง โดยให้ปลายท่อดูดตัวอย่างอากาศ อยู่ที่ตำแหน่งที่ต้องการเก็บตัวอย่าง ปิดลิ้นขวดเก็บตัวอย่างและลิ้นเครื่องสูบอากาศ (Pump valve) ไปที่ตำแหน่งดูดอากาศ (Evacuate) เปิดเครื่องสูบอากาศดูดอากาศออกจากขวดเก็บตัวอย่าง จนภายในขวดเกิดเป็นสุญญากาศ มีความดันเท่ากับ หรือต่ำกว่า 75 มิลลิเมตรปรอท (3 นิ้วปรอท) สัมบูรณ์ ปิดลิ้นเครื่องสูบอากาศไปที่ตำแหน่งระบายอากาศ (Vent) แล้วปิดเครื่องสูบอากาศ ตรวจสอบการรั่ว โดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในขวดเก็บตัวอย่าง จากมาโนมิเตอร์ในเวลา 1 นาที ถ้าวัดได้มากกว่า 10 มิลลิเมตรปรอท (0.4 นิ้วปรอท) จะต้องทำการแก้ไขจนไม่มีการรั่วระดับความดันในขวดเก็บตัวอย่าง และลิ้นขวดเก็บตัวอย่าง (V_p) อุณหภูมิของขวดเก็บตัวอย่าง (T_p) และความดันบรรยากาศ ปิดลิ้นขวดเก็บตัวอย่างและลิ้นเครื่องสูบอากาศ ทวนเข็มนาฬิกาไปยังตำแหน่งเป่าไล่อากาศ (Purge) ไล่อากาศในท่อดูดตัวอย่างอากาศและท่อสุญญากาศ โดยใช้ลูกยางบีบ ถ้าพบว่ามี การควบแน่นเกิดขึ้นในท่อดูดตัวอย่างอากาศและบริเวณลิ้นขวดเก็บตัวอย่าง ให้ความร้อนแก่ท่อดูดตัวอย่างอากาศ และไล่อากาศออกจนกระทั่งการควบแน่นหายไป จากนั้นปิดลิ้นเครื่องสูบอากาศไปยังตำแหน่งระบายอากาศ (Vent) แล้วปิดลิ้นขวดเก็บตัวอย่างตามเข็มนาฬิกาไปยังตำแหน่งดูดอากาศ (Evacuate) และบันทึกความแตกต่างของระดับปรอทในมาโนมิเตอร์ ความดันภายในสัมบูรณ์ในขวดเก็บตัวอย่าง (P_i) เท่ากับความดันบรรยากาศลบด้วยค่าที่อ่านได้จากมาโนมิเตอร์ ปิดลิ้นขวดเก็บตัวอย่างไปยังตำแหน่งดูดตัวอย่าง โดยทันทีและให้ก๊าซเข้าไปในขวดเก็บตัวอย่าง จนกระทั่งความดันในขวดเก็บตัวอย่างและในปล่องเท่ากัน ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 15 วินาที ถ้าใช้เวลานานกว่านี้ แสดงว่าเกิดการ “อุดตัน” ในท่อดูดตัวอย่าง ซึ่งจะต้องทำการแก้ไขก่อนดำเนินการเก็บตัวอย่างต่อไป หลังจากเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้วปิดลิ้นขวดเก็บตัวอย่างไปยังตำแหน่งเป่าไล่อากาศ (Purge) แล้วถอดลิ้นขวดเก็บตัวอย่างออกจากชุดเก็บตัวอย่าง เขย่าขวดเก็บตัวอย่างเป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที

7.5.2) ถ้าก๊าซตัวอย่างที่เก็บออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) จะต้องเป่าออกซิเจนเข้าไปในขวดเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งต่อไปนี้

- ก่อนสูบอากาศในขวดเก็บตัวอย่างออก ให้พ้นด้วยออกซิเจนบริสุทธิ์ แล้วจึงสูบอากาศออกจากขวดเก็บตัวอย่าง จนได้ความดัน 75 มม.ปรอทสัมบูรณ์ หรือเทียบเท่า
- ฉีดออกซิเจนเข้าไปในขวดเก็บตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่าง
- หยดการเก็บตัวอย่าง โดยให้มีสภาพสุญญากาศเหลืออยู่ในขวดเก็บตัวอย่าง โดยให้มีความดันต่ำสุดเท่ากับ 710 มิลลิเมตรปรอทสัมบูรณ์ บันทึกค่าความดันสุดท้ายนี้ แล้วระบายอากาศ ออกจากขวดเก็บตัวอย่าง สูบบรรยากาศจนกระทั่งความดันในขวดเก็บตัวอย่างเกือบเท่ากับความดันบรรยากาศ

7.5.3) ตั้งขวดเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง แล้วเขย่าสารในขวดเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 2 นาที ประกอบขวดเก็บตัวอย่างเข้ากับมาโนมิเตอร์แบบหลอดรูปตัว U ที่บรรจุปรอทไว้เปิดลิ้นจากขวดเก็บตัวอย่าง ไปยังมาโนมิเตอร์และบันทึกอุณหภูมิของขวดเก็บตัวอย่าง (T_p) ความดันบรรยากาศและความแตกต่างของระดับปรอทในมาโนมิเตอร์ ความดันภายในสัมนูร์ณในขวดเก็บตัวอย่าง (P_i) เท่ากับความดันบรรยากาศลบด้วยค่าที่อ่านได้จากมาโนมิเตอร์ถ่ายสารในขวดเก็บตัวอย่างใส่ในขวดบรรจุเก็บตัวอย่างล้างขวดเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ด้วยน้ำกลั่นคิอออนไนซ์ ครั้งละ 5 มิลลิลิตร แล้วเทน้ำล้างนั้นลงในขวดบรรจุตัวอย่างปรับระดับความเป็นกรด-เบส (pH) ให้อยู่ในระหว่าง 9-12 ด้วยการเติม 1 N ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ประมาณ 25-35 หยด ตรวจระดับความเป็นกรด-เบส (pH) โดยการจุ่มแท่งแก้วลงไปในสารละลายแล้วแตะแท่งแก้วกับกระดาษ กรด-เบส (pH paper) ทำเครื่องหมายระดับความสูงของเหลวไว้ เพื่อตรวจสอบว่ามีการรั่วของภาชนะในระหว่างการขนส่งหรือไม่

7.6 วิธีการวิเคราะห์

7.6.1) สารในขวดบรรจุตัวอย่างลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร

7.6.2) ล้างขวดบรรจุตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นคิอออนไนซ์ 2 ครั้ง ๆ ละ 5 มิลลิลิตร เทน้ำล้างลงในขวดวัดปริมาตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นคิอออนไนซ์

7.6.3) ดูดสารละลายในขวดวัดปริมาตรมา 25 มิลลิลิตร ลงในจานระเหย และระเหยให้แห้งด้วยเครื่องอังไอน้ำ ทิ้งไว้ให้เย็น

7.6.4) เติมสารละลายกรดฟีนอล ไดซัลฟอนิก 2 มิลลิลิตร คนให้ทั่วด้วย Polyethylene policeman

7.6.5) เติมน้ำกลั่นคิอออนไนซ์ 1 มิลลิลิตร และกรดกำมะถันเข้มข้น 4 หยด นำสารละลายไปยังบนเครื่องอังไอน้ำ 3 นาที กวนบ้างเป็นครั้งคราว ทิ้งไว้ให้เย็น

7.6.6) เติมน้ำกลั่นคิอออนไนซ์ 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เติม conc.NH₄OH ทีละหยด จนมี pH เท่ากับ 10

7.6.7) ถ้าตัวอย่างมีของแข็งอยู่ด้วยให้แยกออกโดยการกรอง ด้วยกระดาษกรอง Whatman No.41 (หรือโดยวิธีการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง) ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ล้างจานระเหยด้วยน้ำกลั่นคิอออนไนซ์ 3 ครั้ง ๆ ละ 5 มิลลิลิตร กรองน้ำล้างทั้ง 3 ส่วนนี้แล้วกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นคิอออนไนซ์อย่างน้อย 3 ครั้ง ๆ ละ 15 มิลลิลิตร เทน้ำล้างกระดาษกรองนี้ลงในขวดวัดปริมาตร แล้วเจือจางให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นคิอออนไนซ์

7.6.8) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

7.7 การทำกราฟมาตรฐาน

(1) ปิเปตสารละลายใช้งานมาตรฐาน โปแตสเซียมไนเตรทมา 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

(2) เติมสารละลายดูดซึ่ม 25 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นคิอออนไนซ์ 10 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรแต่ละใบ

(3) เติม 1N NaOH จนมี pH ระหว่าง 9-12 (25-35 หยด)

(4) เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วทำตามขั้นตอนในข้อ 6.3-6.7

7.8 การคำนวณ

(1) ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (cm^3)

$$V_{sc} = (T_{std}/P_{std})(V_f - V_g)(P_f/T_f) - (P_f/T_f)$$

$$= [K_1(V_f - 25 \text{ cm}^3)] [(P_f/T_f) - (P_f/T_i)]$$

$$K_1 = 0.3858 \text{ } ^\circ\text{K/mm.Hg} \quad \text{สำหรับหน่วยเมตริก}$$

$$= 17.64 \text{ } ^\circ\text{K/mm.Hg} \quad \text{สำหรับหน่วยอังกฤษ}$$

(2) ปริมาตร NO_2 ทั้งหมดเป็นไมโครกรัมต่อตัวอย่าง

$$m = 2K_2AF$$

$$K_2 = \frac{100(A_1 + 2A_2 + 3A_3 + 4A_4)}{(A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2)}$$

a. ความเข้มข้นของตัวอย่างที่สภาวะมาตรฐาน

$$C = K_2m/V_{sc}$$

$$K_2 = 10^3 (\text{mg/cm}^3) / (\mu\text{g/cm}^3) \quad \text{สำหรับหน่วยเมตริก}$$

$$= 6.242 \times 10^5 (\text{lb/ft}^3) / (\mu\text{g/cm}^3) \quad \text{สำหรับหน่วยอังกฤษ}$$

เมื่อ K_2 = แฟกเตอร์ปรับแต่งของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer Factor)

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของ $100 \mu\text{g NO}_2$ มาตรฐาน ซึ่งเตรียมโดยเติมสารละลาย

ใช้งานมาตรฐาน ของโปแตสเซียมไนเตรท ($1 \text{ ml} = 100 \mu\text{g NO}_2$) 2 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml เติมสารละลายดูดซึ่ม 25 ml น้ำกลั่นคิอออนไนซ์ 10 ml และเติม 1 N NaOH ที่ละหยดจนได้ความเป็นกรด-เบส (pH) ระหว่าง 9-12 (ประมาณ 25-35 หยด) เจือจางให้ได้ปริมาตร 50 ml ด้วยน้ำกลั่นคิอออนไนซ์ ผสมให้เข้ากัน ดูดสารละลายมา 25 ml ใส่ลงในจานระเหย ทำให้ระเหยและดำเนินการตามข้อ

7.6.3-7.6.7 ข้างต้น จนกระทั่งถ่ายสารลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml และเจือจางด้วยน้ำกลั่น คีอออนไนซ์ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

A_2 = ค่าการดูดกลืนแสงของ $200 \mu\text{g}\cdot\text{NO}_2$ (ใช้สารละลายใช้งานมาตรฐานของ โปแตสเซียม 4 ml)

A_3 = ค่าการดูดกลืนแสงของ $300 \mu\text{g}\cdot\text{NO}_2$ (ใช้สารละลายใช้งานมาตรฐานของ โปแตสเซียม 6 ml)

A_4 = ค่าการดูดกลืนแสงของ $400 \mu\text{g}\cdot\text{NO}_2$ (ใช้สารละลายใช้งานมาตรฐานของ โปแตสเซียม 8 ml)

A = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

C = ความเข้มข้นของ NO_x เทียบเป็น NO_2 ที่สภาวะมาตรฐาน mg/m^3 (lb/ft^3 แห่ง)

F = อัตราส่วนเจือจาง (Dilution factor)

M = มวลของ NO_x เทียบเป็น NO_2 ในตัวอย่างก๊าซ μg

P_f = ความดันสัมบูรณ์สุดท้ายของขวดเก็บตัวอย่าง mm.Hg (นิ้วปรอท)

P_i = ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้นของขวดเก็บตัวอย่าง mm.Hg (นิ้วปรอท)

P_{std} = ความดันสัมบูรณ์มาตรฐาน 760 mm.Hg (29.92 นิ้วปรอท)

T_f = อุณหภูมิสัมบูรณ์สุดท้ายของขวดเก็บตัวอย่าง $^{\circ}\text{K}$ ($^{\circ}\text{R}$)

T_i = อุณหภูมิสัมบูรณ์เริ่มต้นของขวดเก็บตัวอย่าง $^{\circ}\text{K}$ ($^{\circ}\text{R}$)

T_{std} = อุณหภูมิสัมบูรณ์มาตรฐาน 293°K (528°R)

V_{sc} = ปริมาตรของตัวอย่างที่สภาวะมาตรฐาน (แห้ง) cm^3

V_f = ปริมาตรของขวดเก็บตัวอย่างและลิ้นขวดเก็บตัวอย่าง cm^3

V_a = ปริมาตรของสารละลายดูดซึม 25 cm^3

2 = 50/25 (Aliquot factor)