# บทที่ 2
# แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่มีผลต่อสมรรถภาพปอดของพนักงาน โดยมีแนวทางการศึกษาในส่วนของภาคทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การผลิตสารให้ความหวานแทนน้ำตาลชนิดผง

2.1.2 ระบบทางเดินหายใจ

2.1.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมลพิษอากาศ/คุณภาพของอากาศในอาคาร

2.1.4 ลักษณะและขนาดของฝุ่นที่มีผลต่อสมรรถภาพปอด

2.1.5 ผลกระทบของฝุ่นที่มีต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงานและข้อมูลเบื้องต้นของอาการทางระบบทางเดินหายใจที่มีในพนักงานฝ่ายผลิต

2.1.6 ผลกระทบของฝุ่นที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.7 การตรวจสมรรถภาพปอด

2.1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2 กรอบแนวคิดการวิจัย

## 2.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

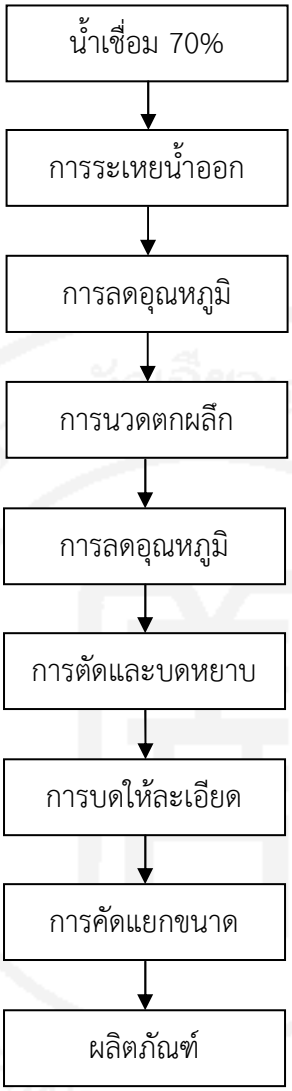
### 2.1.1 การผลิตสารให้ความหวานแทนน้ำตาลชนิดผง

สารให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือน้ำตาลแอลกอฮอลล์หรือโพลีออล คือ สารให้ความหวานที่ไม่ใช่น้ำตาล เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างทางเคมีบางส่วนคล้ายกับน้ำตาลและบางส่วนคล้ายกับแอลกอฮอลล์ คือมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล แต่ไม่มีคุณสมบัติของแอลกอฮอลล์ จึงถูกเรียกว่าน้ำตาลแอลกอฮอลล์ หรือเรียกโดยทั่วไปว่า โพลีออล (บริษัท อูเอโน ไฟน์ เคมีคัลส์ อินดัสตรี (ประเทศไทย) จำกัด. 7 พฤศจิกายน 2556 : ออนไลน์)

1. ส่วนประกอบพื้นฐานและวัตถุดิบในการผลิตสารให้ความหวาน น้ำตาลแอลกอฮอลล์ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ คือแป้งมันสำปะหลัง โดยวัตถุดิบที่เลือกใช้ เป็นวัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติ 100% และไม่เป็นสารตัดแต่งทางพันธุกรรม มาผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ และทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชั่นจนได้เป็นน้ำตาลแอลกอฮอลล์

2. กระบวนการผลิต มีขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดผง แสดงดังแผนภูมิที่ 3

**แผนภูมิที่ 3** ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดผง




3. ผลการตรวจวัดสิ่งแวดล้อมของสถานประกอบการที่ผ่านมา จากผลการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในสถานประกอบการ การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ถุงลมปอดได้ในพนักงานแผนกบรรจุผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในสถานประกอบการที่ผ่านมา

| แผนกบรรจุผลิตภัณฑ์ | วันที่ตรวจวัด | พารามิเตอร์ | ปริมาณที่วัดได้ ($mg/m^3$) | ค่ามาตรฐาน ($mg/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| ห้อง Manual Packing | 18 ธ.ค. 2555 | Respirable dust | 6.389 | 5 |
| ห้อง Manual Packing | 20 มี.ค. 2556 | Respirable dust | 23.128 | 5 |

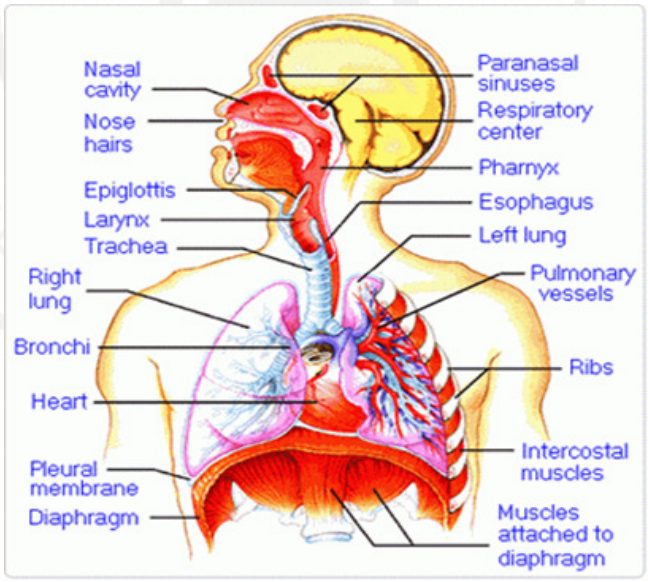
**ที่มา:** ผลการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมของบริษัทผลิตสารให้ความหวานแทนน้ำตาล ปี 2555 และ 2556

### 2.1.2 ระบบทางเดินหายใจ

1. มหกายวิภาคศาสตร์ (Gross Anatomy)

มหกายวิภาคศาสตร์ (Gross Anatomy) หมายถึง ระบบทางเดินหายใจประกอบด้วยโครงสร้างต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ จมูก คอหอย (Pharynx) กล่องเสียง หลอดลม แขนงหลอดลมและปอด แสดงดังภาพที่ 1

**ภาพที่ 1** โครงสร้างระบบหายใจ




**ที่มา:** อุทุมพร แสนสี. 7 พฤศจิกายน 2556 : ออนไลน์

1) จมูก (Nose) จมูกมีโครงสร้างภายนอกประกอบด้วยส่วนที่เป็นกระดูกอ่อนและกระดูกแข็ง ส่วนที่เป็นกระดูกอ่อน ได้แก่ septal cartilage, lateral nasal cartilage และ alar

cartilage ส่วนที่เป็นกระดูกแข็งคือ nasal bone และ frontal process ของกระดูก maxilla ด้านนอกของจมูกคือ ปีกจมูกใหญ่ (greater alar cartilage) และปีกจมูกน้อย (lesser alar cartilage) ทั้งหมดถูกคลุมด้วยผิวหนัง และมีกล้ามเนื้อแสดงความรู้สึกของใบหน้าแทรกอยู่ใต้ผิวหนัง

จมูกมี 2 รูเรียก nostrils ภายในจมูกเรียกว่า โพรงจมูก (nasal cavity) ด้านหน้าของจมูกเริ่มจาก external หรือ anterior nares (nostrils) ไปสิ้นสุดที่ internal หรือ posterior nares (choance) ซึ่งเป็นช่องแคบ ๆ เปิดสู่ nasopharynx โพรงจมูกแบ่งเป็น 2 ช่องซ้าย-ขวาด้วย nasal septem โพรงจมูกด้านหน้ากว้างออกเรียก vestibule ซึ่งปกคลุมด้วยผิวหนังและมีขนเพื่อใช้กรองฝุ่นละอองขนาดใหญ่ ด้านข้างของจมูกมีลักษณะขรุขระประกอบด้วยกระดูกที่เรียกว่า nasal conchae พื้นของจมูกด้านล่างประกอบด้วยเพดานแข็งทางด้านหน้าและเพดานอ่อนทางด้านหลัง ด้านบนของจมูกประกอบด้วย cribiform plate ของกระดูก ethmoid ซึ่งบุด้วย olfactory epithelium ทำหน้าที่รับกลิ่น

Nasal septum เป็นแผ่นกั้นระหว่างโพรงจมูกทั้ง 2 ข้าง ประกอบด้วยกระดูก perpendicular plate ของกระดูก ethmoid กระดูก vomer และ crest ของกระดูก palatine, maxillar, nasal, frontal และ sphenoid ซึ่งอยู่รอบนอกของ nasal septum และกระดูกอ่อน septal cartilage ส่วนหลอดเลือดที่มาเลี้ยง nasal septum มีความสำคัญมาก เพราะการแคะการได้รับบาดเจ็บที่บริเวณดั้งจมูก จะทำให้หลอดเลือดบริเวณนี้ฉีกขาดและมีเลือดกำเดาออกมา

Lateral wall of nasal ด้านข้างของโพรงจมูก แสดงดังภาพที่ 2 มีลักษณะเป็นสันนูนและเป็นช่อง เนื่องจากมีกระดูก 3 ชิ้น คือ superior, middle, inferior nasal conchae ส่วน conchae มีอีกชื่อว่า turbinate bone กระดูก 3 ชิ้นนี้ทำให้เกิดร่องเล็ก ๆ ดังนี้

1. Sphenoethmoidal recess อยู่ระหว่าง Superior conchae กับกระดูก sphenoid บริเวณนี้มีรูเปิดของโพรงอากาศ Sphenoidal air sinus มาเปิดสู่โพรงจมูก

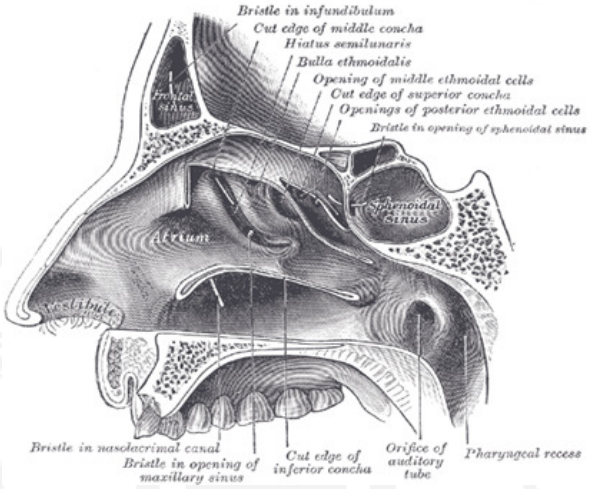
2. Superior meatus อยู่ระหว่าง superior กับ middle conchae บริเวณนี้มีรูเปิดโพรงอากาศส่วน posterior ethmoidal air sinus cells มาเปิดสู่โพรงจมูก และพบ olfactory region คาดอยู่บน superior conchae

3. Middle meatus อยู่ระหว่าง middle กับ inferior nasal conchae บริเวณนี้มีรูเปิดของ anterior ethmoidal air cells, frontal air sinus และ maxillary air sinus ส่วน middle ethmoidal air cells มีรูมาเปิดใต้ middlenasal conchae ผ่านเข้าสู่ middlemeatus อีกที

4. Inferior meatus อยู่ใต้ inferior conchae ด้านหน้าของร่องนี้มีรูเปิดของ nasolacrimal duct บริเวณรอบ ๆ meatus มี mucous membrane ล้อมรอบเยื่อบุภายในโพรงจมูก ส่วนใหญ่เป็น pseudostratified ciliated columnar epithelium และมี globlet cell และพบว่ามีหลอดเลือดฝอย

อยู่เป็นจำนวนมาก อากาศเมื่อผ่านเข้ามาถึง conchae และ meati จะถูกทำให้อุ่นด้วยหลอดเลือด ฝอย mucus จะถูกขับออกมาจาก globlet cell เพื่อช่วยทำให้อากาศชื้นและช่วยจับฝุ่นละอองไว้

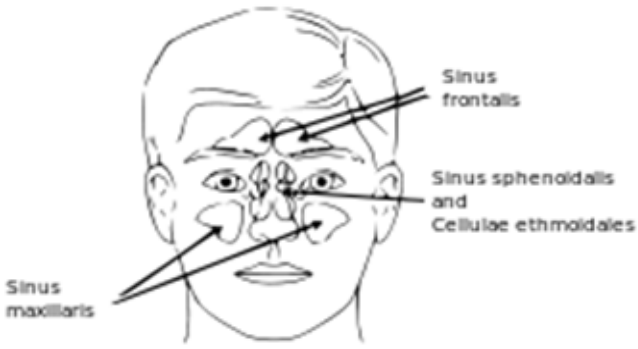
**ภาพที่ 2** โครงสร้างผนังด้านข้างของโพรงจมูก




**ที่มา:** วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (ม.ป.ป.) 7 พฤศจิกายน 2556 : ออนไลน์

นอกจากนี้ยังมีโพรงอากาศรอบจมูก แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นโพรงอากาศที่อยู่ภายในกระดูก frontal, ethmoid, sphenoid และ maxilla ภายในบุด้วยเยื่อบาง ๆ (mucosa) ซึ่งต่อเป็นผืนเดียวกับเยื่อบุโพรงจมูก และภายในของโพรงอากาศนี้ยังมีหลอดเลือด และเส้นประสาทบรรจุอยู่ หากมีการอุดตันของสารภายในโพรงอากาศเหล่านี้ จะทำให้เกิดเป็นหนองอยู่ภายในเกิดการอักเสบขึ้นเรียก sinusitis โพรงอากาศรอบจมูกมีทั้งหมด 4 อัน ดังนี้

**ภาพที่ 3** ตำแหน่งช่องโพรงอากาศรอบจมูก




**ที่มา:** วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (ม.ป.ป.) 7 พฤศจิกายน 2556 : ออนไลน์

จากภาพที่ 3 สามารถอธิบายโพรงอากาศรอบจมูกทั้ง 4 อัน ได้ดังนี้

1. Frontal air sinus เป็นโพรงอากาศอยู่ภายในอากาศ frontal บริเวณหน้าผากใกล้สันจมูก มีทางเปิดสู่ middle meatus

2. Ethmoidal air sinus ประกอบด้วย ถุงของเยื่อบุผิวบาง ๆ 8-9 ถุง อยู่ภายในกระดูก ethmoid อยู่ขนานกับ frontal air sinus Ethmoidal air sinus นี้แบ่งเป็นส่วน anterior middle และ inferior โดยสองส่วนแรกจะเปิดสู่ middle meatus และส่วนหลังมีรูเปิดสู่ superior meatus

3. Sphenoidal air sinus เป็นโพรงอากาศอยู่ภายในกระดูก sphenoid อยู่ภายหลังใต้บริเวณกระดูก sellaturcica มีรูเปิดสู่ sphenoethmoidal recess

4. Maxillary air sinus เป็นโพรงอากาศอยู่ภายในกระดูก maxilla มีรูปร่างเหมือนปิรามิด โดยมีฐานเป็นผนังด้านข้างของโพรงจมูก และมียอดบิ่นเข้าไปใน zygomatic process ของกระดูก maxilla

2) คอหอย (pharynx) มีลักษณะเป็นท่อยาวประมาณ 13 เซนติเมตรโดยเริ่มจาก internal nares ทอดลงมาบริเวณคอ ประกอบด้วยกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อประสาทโดยบริเวณคอหอยนั้นจะมีเส้นประสาทมาเลี้ยง คือ เส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 และ 10 และบริเวณคอหอยแบ่งออกเป็น 3 ตอน ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

(1) Nasopharynx เป็นส่วนของคอหอยอยู่หลังต่อโพรงจมูก ลงมาถึงเพดานอ่อน ด้านข้างมีรูเปิดของ Eustachian tube (pharyngotympanic tube) ซึ่งเป็นท่อต่อกับหูชั้นกลาง ทางด้าน posterior wall จะพบ pharyngeal tonsil (adenoid) อยู่ ซึ่งเมื่อเกิดการอักเสบเรียก adenosis อาจอุดตันกั้นทางเดินหายใจ ทำให้หายใจลำบาก มักพบในเด็ก ในผู้ใหญ่ pharyngeal tonsil นี้มักฝ่อไปแล้ว บริเวณนี้จะมีเฉพาะอากาศผ่านเพียงอย่างเดียว

(2) Oropharynx เป็นส่วนของคอหอยที่อยู่ต่อจากช่องปาก (อยู่ต่อจาก nasapharynx ลงไป) โดยเริ่มตั้งแต่เพดานอ่อนไปจนถึงกระดูก hyoid ช่องนี้จะเป็นทางผ่านของอากาศและอาหาร บริเวณนี้จะพบ palatine tonsil และ lingual tonsil

(3) Laryngopharynx เป็นส่วนของคอหอยตั้งแต่กระดูก hyoid ไปจนถึงกล่องเสียงและหลอดอาหาร โดยด้านหน้าติดกับกล่องเสียง ด้านหลังติดกับหลอดอาหาร บริเวณนี้เป็นทางผ่านของทั้งอากาศและอาหาร

3) กล่องเสียง (Larynx) เป็นช่องทางเดินอากาศ ซึ่งอยู่ระหว่างคอหอยกับหลอดลม กล่องเสียงเป็นอวัยวะร่วมในการหายใจและการทำให้เกิดเสียง กล่องเสียงประกอบด้วย กระดูกอ่อน กล้ามเนื้อ เอ็น และพังผืด กระดูกอ่อนของกล่องเสียง มี 9 ชิ้น ได้แก่

(1) Thyroid cartilage เป็นกระดูกอ่อนเดี่ยวชิ้นใหญ่ที่สุดของกล่องเสียง ลักษณะคล้ายแผ่นสี่เหลี่ยม 2 แผ่นบรรจบกัน ด้านหน้าเป็นสันนูนตรงกลางเรียก laryngeal prominence หรือ Adam's apple

(2) Cricoid cartilage เป็นกระดูกอ่อนเดี่ยวรูปวงแหวน อยู่ส่วนล่างสุดของกล่องเสียงติดกับหลอดลม

(3) Epiglottis เป็นกระดูกอ่อนเดี่ยวรูปใบไม้ มีฐานติดอยู่กับกระดูกอ่อน thyroid แต่ส่วนที่มีรูปคล้ายใบไม้สามารถเคลื่อนไหวได้โดยมีกล้ามเนื้อมายึดทำหน้าที่ปิดเปิดกล่องเสียงขณะกลืนอาหาร

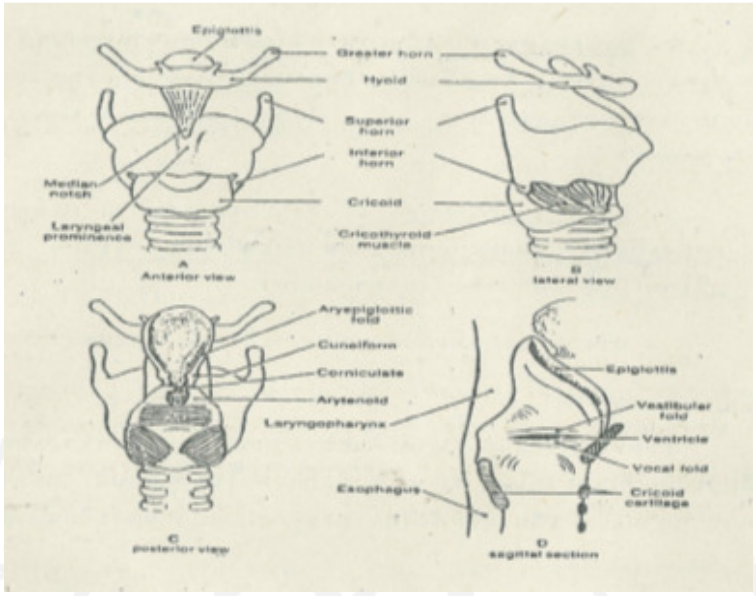
(4) Arytenoid cartilage เป็นกระดูกอ่อนคู่ขนาดเล็ก รูปร่างเหมือนปิรามิด ฐานตั้งอยู่บนกระดูกอ่อน cricoid มีปลายยื่นไปข้างหน้าเป็นที่ยึดของสายเสียง

(5) Corniculate cartilage เป็นกระดูกอ่อนคู่ขนาดเล็ก วางอยู่บนยอดของ arytenoids cartilage

(6) Cuneiform cartilage เป็นกระดูกอ่อนคู่ขนาดเล็ก รูปแท่งยึดระหว่าง epiglottis กับ arytenoids cartilage

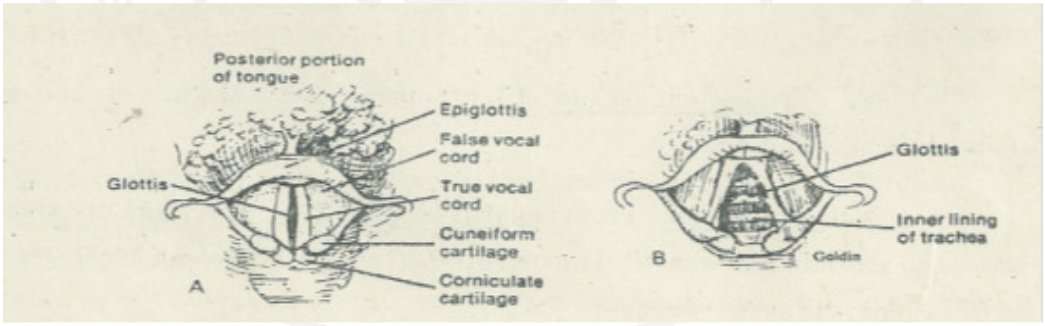
ภายในกล่องเสียงที่ผนังด้านข้างมีรอยนูน 2 รอย คือ vestibular folds (false vocal cord) และ vocal folds (true vocal cords) ช่องที่อยู่ระหว่าง true กับ false vocal cords คือ ventricle ช่องที่อยู่ระหว่าง false vocal cords 2 ข้างเรียก rima vestibule ช่องที่อยู่ระหว่าง true vacal cords 2 ข้างเรียก rima glottidis ภายใน true vacal cords ประกอบด้วย สายเสียง (vocal ligament) และกล้ามเนื้อสายเสียง (vocalis muscle) True vocal cords 2 ข้างรวมกับช่องตรงกลาง rima glottidis เรียกว่า glottidis เป็นส่วนของกล่องเสียงที่ทำหน้าที่ให้เกิดเสียง กล้ามเนื้อภายในกล่องเสียง 2 ชนิด คือ extrinsic muscle ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของกล่องเสียง เช่น ขณะกลืนอาหาร ส่วนกล้ามเนื้อ intrinsic mucle ทำหน้าที่ควบคุมความตึงของ true vocal cords และขนาดของ rima glottidis เส้นประสาทที่มาเลี้ยงกล่องเสียงคือเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4 และ 5

**ภาพที่ 4** โครงสร้างของกล่องเสียง




**ที่มา:** บุญเทียม คงศักดิ์ตระกูล และยุวดี วงษ์กระจ่าง. 2530 : 10

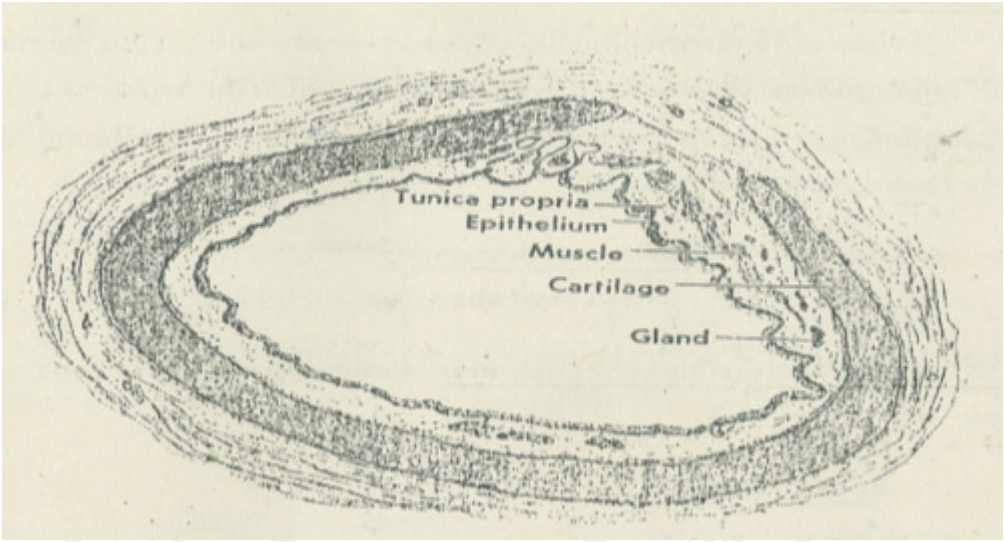
**ภาพที่ 5** ลักษณะของกล่องเสียง




**ที่มา:** บุญเทียม คงศักดิ์ตระกูล และยุวดี วงษ์กระจ่าง. 2530 : 10

4) หลอดลม (Trachea) มีลักษณะเป็นท่อทางเดินอากาศยาวประมาณ 12 เซนติเมตร กว้าง 2.5 เซนติเมตร อยู่หน้าต่อหลอดอาหาร (esophagus) หลอดลมจะเริ่มต้นตั้งแต่กล่องเสียงไปจนถึงกระดูกสันหลังระดับอก ซึ่งที่บริเวณนี้จะมีการยกออกเป็นแขนงหลอดลม (bronchus) ซ้ายและขวา หลอดลมประกอบด้วยกระดูกอ่อนรูปเกือกม้าหลายอันซ้อนกัน ยึดติดกันเป็นท่อด้วย fibrous connective tissue, elastic fiber และ collagenous fiber ด้านหลังของกระดูกอ่อนเป็นกล้ามเนื้อเรียบ ชื่อ muscularis trachealis แสดงดังภาพที่ 6

**ภาพที่ 6** ภาคตัดขวางของหลอดลม




**ที่มา:** บุญเทียม คงศักดิ์ตระกูล และยุวดี วงษ์กระจ่าง. 2530 : 13

5) แขนงหลอดลม (Bronchi) จากหลอดลมจะแยกเป็น bronchus ซ้ายและขวา เรียก main bronchus หรือ primary bronchus โดยที่ bronchus ข้างขวาจะทำมุมแหลมกว่า ขนาดสั้นกว่า กว้างกว่า bronchus ข้างซ้าย ดังนั้น สิ่งแปลกปลอมจากภายนอกจึงมักตกเข้าไปอยู่ในปอดข้างขวา bronchus แต่ละข้างเมื่อเข้าไปในปอด แต่ละข้างจะแตกแขนงเป็น lobar bronchus หรือ secondary bronchus โดยข้างซ้ายมี 2 ข้างขวามี 3 จาก lobar bronchus แตกแขนงได้เป็น segmental bronchus หรือ tertiary bronchus ซ้ายมี 8 ขวามี 10 จาก segmental bronchus จะแตกแขนงเป็น bronchioles แล้วแตกแขนงเล็กลงไปเรื่อย ๆ จนเป็น terminal bronchioles, respiratory bronchioles การแตกแขนงของ bronchus นี้เหมือนกับการแตกแขนงของต้นไม้ที่แตกแขนงกิ่งก้านสาขา บางครั้งเรียกการแตกแขนงของ bronchus นี้ว่า bronchial tree

6) ปอด (Lung) ตั้งอยู่ในทรวงอก ปอดข้างซ้ายมี 2 พู ขวามี 3 พู ขั้วปอดจะอยู่ด้านในของปอด ซึ่งเป็นทางเข้าออกของเส้นเลือด เส้นประสาท และแขนงหลอดลม ปอดซ้ายและขวาจะถูกแยกออกจากกันด้วยหัวใจ และอวัยวะที่อยู่ใน media sternum ปอดข้างขวาแบ่งได้เป็น superior middle และ inferior lobes ปอดข้างซ้าย แบ่งได้เป็น superior และ inferior lobes

Pleural membrane ปอดแต่ละข้างหุ้มด้วยเยื่อหุ้ม คือ pleural membrane เป็นเยื่อบาง ๆ 2 ชั้น ชั้นที่ติดกับปอดเรียก visceral layer ชั้นที่ถัดออกไปเป็น parietal layer ซึ่งอยู่ติดกับทรวงอกระหว่างชั้นทั้ง 2 มี pleura fluid เคลือบอยู่ ทำให้ปอดและทรวงอกขยายและหดตัวตามกัน

2. จุลกายวิภาคศาสตร์ (Histology)

ลักษณะของส่วนที่ทำหน้าที่เป็นท่อทางเดินอากาศ (Conducting portion) ประกอบด้วย

1) ช่องจมูก (Nasal cavity) แบ่งเป็น 2 ส่วน

(1) Vestibule portion บุด้วย stratified squamous epithelium แบบ non-keratinized จะพบต่อม sebaceous gland กับ mucus ออกมาช่วยจับฝุ่นละออง และมีขนแข็งสั้น ๆ ช่วยกรองสิ่งสกปรกจากอากาศ

(2) Respiratory portion บุด้วย ciliated pseudostratified columnar epithelium และมี goblet cell อยู่ด้วย บุทั้งทางด้าน lateral wall และ nasal septum บริเวณตอนบนของช่องจมูกบริเวณ superior conchae พบ epithelium ที่บุอยู่ ซึ่งทำหน้าที่พิเศษในการรับกลิ่นเรียก olfactory region แสดงดังภาพที่ 7 ซึ่ง Olfactory region จะประกอบด้วย

ก. Olfactory cell ลักษณะเป็น bipolar

ข. Supporting cell (sustaintacular cells) เป็น columnar cell ด้านบนมี microvilli

ค. Basal cell แทรกอยู่ระหว่าง olfactory cell และ supporting cell ซึ่งมีขนาดเล็ก

2) โพรงอากาศรอบจมูก (Para nasal sinus) เป็นกระดูกที่มีรูพรุนมีอากาศบรรจุอยู่ภายใน บุด้วย pseudostratified ciliated columnar epithelium with goblet cell

3) คอหอย (Pharynx) ประกอบไปด้วย

(1) Nasophrynx มี mucosal layer บุด้วย pseudostratified ciliated columnar epithelium with goblet cell

(2) Oropharynx มี mucosal layer บุด้วย stratified squamous epithelium

(3) Laryngopharynx มี mucosal layer บุด้วย stratified squamous epithelium

4) กล่องเสียง (Larynx) อยู่ระหว่างคอหอยและหลอดลม ภายในมี mucosal membrane โป่งพองเป็นสันยื่นเข้ามาในกล่องเสียง สันคู่บนคือ vestibular fold (false vocal cord) มี epithelium เป็นแบบ pseudostratified columnar epithelium สันคู่ล่างคือ vocal fold (true vocal cord) ซึ่งมี epithelium เป็น stratified squamous epithelium

5) หลอดลม (Trachea) ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ดังนี้

(1) Mucosa ประกอบด้วย epithelium แบบ pseudostratified ciliated columnar epithelium พบ goblet cell มาก basement membrane เห็นชัด

(2) Lamina propria ประกอบด้วย elastic fiber และ lymphatic tissue

(3) Submucosa พบ seromucous gland เรียกว่า tracheal gland

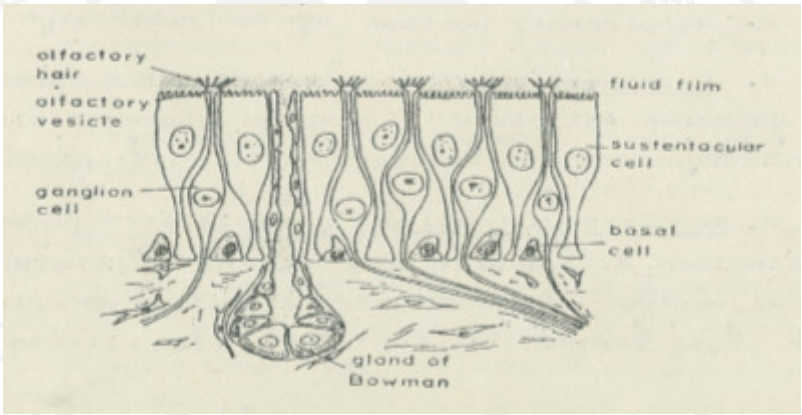
(4) ชั้นของกล้ามเนื้อเรียบพบอยู่ด้านหลังของกระดูกอ่อนรูปตัว C เรียกว่า trachealis muscle (muscularis trachealis)

(5) กระดูกอ่อน พบเป็นรูปตัว C

(6) Adventitia พบเส้นเลือดและเส้นประสาท

6) Bronchus ส่วนที่อยู่นอกปอดคือ primary bronchus มีลักษณะเหมือนหลอดลม ส่วนที่อยู่ในปอด (secondary, tertiary bronchus) พบว่า epithelium ยังเป็น pseudostratified ciliated columnar และพบว่า goblet cell แต่กระดูกอ่อนที่พบจะไม่เป็นรูปตัว C จะอยู่เป็นหย่อม ๆ ไม่ติดต่อกัน ระหว่างกระดูกอ่อนพบกล้ามเนื้อเรียบแทรกอยู่ในชั้น submucosa พบ seromucous gland เรียกว่า bronchial gland

**ภาพที่ 7** Olfactory region




**ที่มา:** บุญเทียม คงศักดิ์ตระกูล และยุวดี วงษ์กระจ่าง. 2530 : 13

7) Bronchiole ตอนต้น ๆ ชั้น mucosa ยังมี epithelium เป็นแบบ pseudostratified ciliated columnar epithelium ยังพบ goblet cell อยู่ กระดูกอ่อนไม่มี พบกล้ามเนื้อเรียบมากขึ้น จำนวน gland ลดลง ตอนท้าย ๆ ชั้น mucosa จะมี epithelium เป็นแบบ simple columnar พบ cilia อยู่บ้าง goblet cell ลดลง มีกล้ามเนื้อเรียบเพิ่มขึ้น

8) Terminal bronchiole พบ epithelium เป็นแบบ simple cuboidal แบบ cilia มีน้อยลง ไม่มี goblet cell กล้ามเนื้อเรียบมีเพิ่มขึ้น รูปร่างของ bronchiole ไม่แน่นอน gland ต่าง ๆ น้อยลง

3. ลักษณะของส่วนที่เกี่ยวกับการหายใจ (Respiratory portion) ประกอบด้วย

1) Respiratory bronchioles พบผนังบางส่วนของ respiratory bronchiole มี alveoli มาเปิด จึงทำหน้าที่แลกอากาศได้ epithelium ที่บุเป็นแบบ simple auboid epithelium ไม่มี goblet cell

2) Alveolar duct มีลักษณะเป็นท่อ และมีผนังเป็นปากทางของ alveolar sac ที่มาเปิดออก

3) Alveolar sac เป็นช่องว่างใหญ่ ที่มีถุงลมเล็ก ๆ มาเปิดรวมกัน

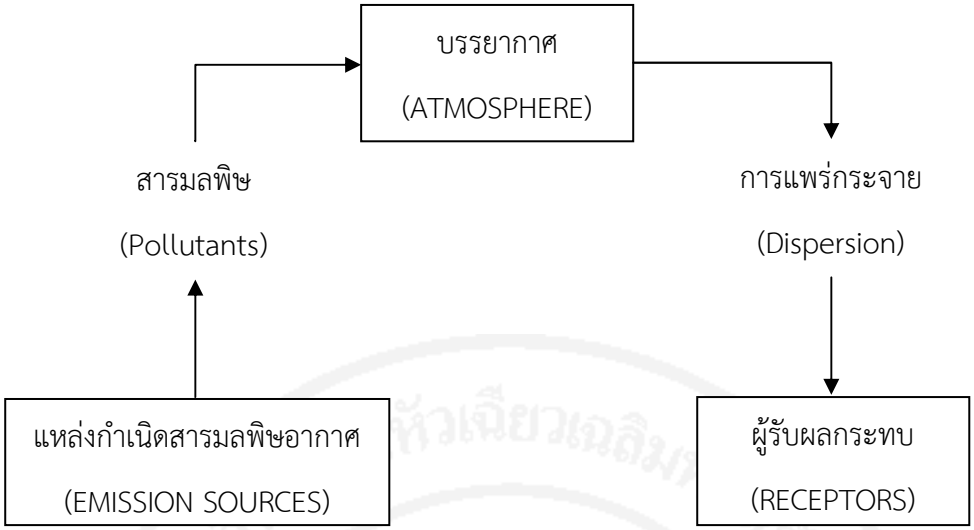
4) Alveolus คือ ถุงลมเล็ก ๆ 1 ถุง มีทางเข้าออกทางเดียว เป็นหน่วยเล็กที่สุดของ respiratory portion ถุงลมปอดมีทั้งหมดประมาณ 300 ล้านถุง ถุงลมปอดนี้จะอยู่ติดกับ capillaries (บุญเทียม คงศักดิ์ตระกูล และยุวดี วงษ์กระจ่าง. 2530 : 3-20)

**2.1.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมลพิษอากาศ**

มลพิษอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอและเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่าง ๆ สารดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ อาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็งก็ได้ สารมลพิษอากาศหลักที่สำคัญ คือ ฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter; SPM) ตะกั่ว (Pb) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($SO_2$) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ($NO_x$) และก๊าซโอโซน ($O_3$)

ระบบภาวะมลพิษอากาศ (Air Pollution System) มีส่วนประกอบ 3 ส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน คือ แหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ (Emission Source) อากาศหรือบรรยากาศ (Atmosphere) และผู้รับผลกระทบ (Receptors) แสดงเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ แสดงดังแผนภูมิที่ 4

**แผนภูมิที่ 4** ระบบภาวะมลพิษอากาศ (Air Pollution System)




**ที่มา:** นพภาพร พานิช และคณะ. 2550 : 1

จากแผนภูมิที่ 4 สามารถอธิบายระบบภาวะมลพิษอากาศ (Air Pollution System) ได้ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ (EMISSION SOURCES) เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดสารมลพิษอากาศและระบายออกสู่อากาศภายนอก โดยที่ชนิดและปริมาณของสารมลพิษอากาศที่ถูกระบายออกสู่อากาศขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ และวิธีการควบคุมการระบายสารมลพิษอากาศ

2. บรรยากาศ (ATMOSPHERE) เป็นส่วนของระบบที่รองรับสารมลพิษอากาศที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ และเป็นตัวกลาง (Medium) ให้สารมลพิษอากาศที่ถูกระบายออกสู่อากาศ มีการแพร่กระจายออกไป โดยมีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความเร็วและทิศทางกระแสลม รวมทั้งลักษณะภูมิประเทศ เช่น ภูเขา หุบเขา และอาคารบ้านเรือน เป็นตัวกำหนดลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศ

3. ผู้รับผลกระทบ (RECEPTORS) เป็นส่วนของระบบที่สัมผัสกับสารมลพิษในอากาศทำให้ได้รับความเสียหายหรือเกิดอันตราย โดยผู้รับผลกระทบอาจเป็นสิ่งมีชีวิต เช่น คน พืช และสัตว์ หรือเป็นสิ่งที่ไม่มีชีวิต เช่น เสื้อผ้า อาคาร บ้านเรือน วัสดุและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ความเสียหายหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศและระยะเวลาที่ได้รับ

จากส่วนประกอบของระบบภาวะมลพิษอากาศที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าปริมาณและชนิดของสารมลพิษที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิด (Emissions) สภาวะทางอุตุนิยมวิทยา

(Meteorology) และสภาพภูมิประเทศ (Topography) เป็นตัวกำหนดชนิด ปริมาณ และความเข้มข้นของสารมลพิษที่เจือปนอยู่ในอากาศ

1. ประเภทของแหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ (Sources of Air Pollutants)

แหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

1) แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural Sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสารมลพิษอากาศตามกระบวนการทางธรรมชาติ ไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องแต่อย่างใด เช่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟป่า ทะเล และมหาสมุทร ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของละอองเกลือ เป็นต้น

2) แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-Made Sources) เป็นแหล่งกำเนิดซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้การระบายสารมลพิษอากาศแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Sources) ได้แก่ รถยนต์ เรือยนต์ เครื่องบิน

(2) แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Sources) หมายถึง แหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสารมลพิษอากาศเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงและเกิดจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ โดยสรุปได้ดังนี้

ก. กระบวนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ เตาเผาซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการก่อให้เกิดพลังงานความร้อนเช่น เตาเผาเพิ่มความร้อน เตาเผากำจัดของเสีย นอกจากจะทำให้เกิด $SO_2$ $NO_X$ เขม่าและ CO แล้วบางครั้งก็ยังมีสารประเภทไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจนคลอไรด์ และไดออกซินเกิดขึ้นอีกด้วย

ข. การถลุงและแปรรูปโลหะ ในกระบวนการถลุงแร่ เช่น การเผาและอบจะเกิดการแพร่กระจายของทองแดง ตะกั่ว ปรอท และธาตุอื่น ๆ ในสินแร่ ในการอบแร่ที่ปนอยู่กับกำมะถันนอกจากจะเกิด $SO_2$ เป็นจำนวนมากแล้วก็ยังมี $NO_X$ และเขม่าเกิดขึ้นอีกด้วย

ค. การทำงานเกี่ยวข้องกับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง เช่น การบดวัตถุดิบ การคัดแยก การผสม แปรรูปและการขนส่งที่จะก่อให้เกิดฝุ่นละออง

ง. การกลั่นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งการใช้สารละลายและสีจะทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน

จ. การแพร่กระจายของก๊าซพิษเกิดจากการจัดการที่ขาดความระมัดระวัง การกระจายของสารเคมีทางการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า เป็นต้น

ฉ. การก่อสร้างทำให้เกิดฝุ่นละออง

2. ประเภทของสารมลพิษอากาศ (Types of Air Pollutants)

สารมลพิษอากาศแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการเกิดคือ

1) สารมลพิษอากาศปฐมภูมิ (Primary Air Pollutants) เป็นสารมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นและถูกระบายจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ขี้เถ้า และเขม่าควันดำที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงในยานพาหนะ และเตาเผาในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

2) สารมลพิษอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air Pollutants) เป็นสารมลพิษอากาศที่ไม่ได้เกิดขึ้นและถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดใดโดยตรง แต่เกิดขึ้นในบรรยากาศทั่ว ๆ ไปจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษอากาศปฐมภูมิด้วยกันเอง หรือปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษอากาศปฐมภูมิกับสารประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศ เช่น ก๊าซโฮโซน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมี Photochemical Oxidation ระหว่างก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในบรรยากาศโดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น (นพภาพร พานิช และคณะ. 2550 : 1-5)

3) คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)

คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality) คือ สภาพของอากาศในบริเวณหนึ่ง ๆ ภายในอาคารหรือที่พักอาศัย โดยที่สภาพอากาศที่ดีมีเงื่อนไขของการพิจารณา ดังนี้

(1) ความสุขสบายของคนในการอยู่บริเวณนั้น ๆ นั่นคืออุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วของลมของอากาศบริเวณนั้น ๆ ที่ยอมรับได้

(2) การหายใจของคนเป็นไปได้อย่างสะดวกสบายซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่บริเวณคนอยู่นั้น ๆ

(3) ความเข้มข้นของก๊าซไออนุภาคของสิ่งสกปรกและสารที่มีกัมมันตภาพรังสีเหล่านี้มีปริมาณไม่มากไม่ก่อให้เกิดผลร้ายต่อสุขภาพและร่างกายของคน

4) ภาวะมลพิษทางอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Pollutant)

ภาวะมลพิษทางอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Pollutant) หมายถึง ภาวะที่อากาศในอาคารมีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณและระยะเวลาที่นานพอที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น ๆ และฝุ่นขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ที่ค่ามาตรฐาน คือ 0.025 $mg/m^3$ จึงเป็นพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยต่อคุณภาพอากาศด้วย (นภดนัย อาชวาคม. ม.ป.ป. 7 พฤศจิกายน 2556 : ออนไลน์)

5) ค่ามาตรฐานของฝุ่นในบรรยากาศการทำงาน

ตามประกาศของกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ได้กำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นในบรรยากาศการทำงานให้มีฝุ่นทุกขนาดหรือฝุ่นรวม (Total Dust) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงาน ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมปอดได้ (Respirable Dust) ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรค่ามาตรฐานดังกล่าวเป็นค่ามาตรฐานที่เป็นค่าเดียวกันกับมาตรฐานของสถาบันความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของสหรัฐอเมริกา (National Institute for Occupational Safety and Health ;

NIOSH, 1998) ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่สากลยอมรับโดยทั่วไป โดยค่ามาตรฐานของฝุ่นในบรรยากาศการทำงานจะเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการบอกถึงสภาพอากาศในสิ่งแวดล้อมของการทำงานที่ปลอดภัย

**2.1.4 ลักษณะและขนาดของฝุ่นที่มีผลต่อสมรรถภาพปอด**

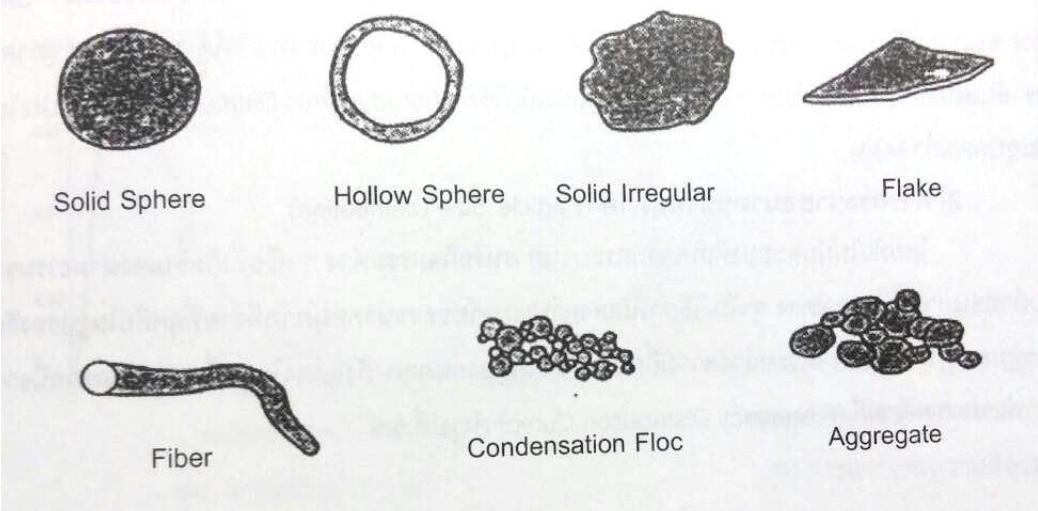
ปัญหามลพิษซึ่งเกี่ยวข้องกับอนุภาคฟุ้งกระจายไปในอากาศส่วนใหญ่เป็นพวกฝุ่น ซึ่งสามารถจำแนกประเภทตามองค์ประกอบทางเคมีออกเป็น 2 ประเภท คือ ฝุ่นที่เป็นสารอินทรีย์และฝุ่นที่เป็นสารอนินทรีย์

1. ฝุ่นที่เป็นสารอินทรีย์ นอกจากจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ จากพืชและสัตว์ แล้วยังรวมถึงสารที่สังเคราะห์ขึ้นด้วย เช่น สีย้อม ยาฆ่าแมลง วัตถุระเบิด เป็นต้น ฝุ่นอินทรีย์ที่ไม่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต พวกนี้จะทำให้เกิดอาการแพ้เฉพาะบางคน สำหรับฝุ่นอินทรีย์ที่มาจากสิ่งมีชีวิต ได้แก่ พวกเชื้อรา และแบคทีเรีย ทำให้เกิดโรคบาดทะยัก โรคคอตีบ วัณโรค ฝีดาษ ไทฟอยด์ เป็นต้น

2. ฝุ่นที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น ฝุ่นซิลิกา จากทราย หิน และใยหิน ซึ่งมีอนุภาคแข็งคมจะเป็นอันตรายแก่เนื้อในหลอดลม และปอด ฝุ่นอีกชนิดหนึ่งที่เป็นพิษและทำให้ระคายเคือง ได้แก่ ฝุ่นจากโลหะหนัก และสารประกอบของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แมงกานีส และแคดเมียม เป็นต้น พิษของตะกั่ว ซึ่งเกิดจากโรงงานทำแบตเตอรี่ เผาแบตเตอรี่จะทำลายระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้มีอาการมึนงง รับประทานอาหารได้น้อย ถ้ามีปริมาณของตะกั่วในเลือดมากจะทำให้หมดความรู้สึกและในที่สุดจะตาย พิษของแมงกานีสซึ่งเกิดจากโรงงานทำถ่านไฟฉาย โรงงานถลุงแร่แมงกานีส ถ้าอยู่ในร่างกายมากเกินขนาดจะทำลายประสาทส่วนกลาง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ จะหกล้มง่าย และมีอารมณ์อ่อนไหว แคดเมียมซึ่งเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำยา อุตสาหกรรมชุบโลหะ พิษของแคดเมียมจะทำให้เป็นโรคกระดูกและโรคหัวใจได้ (บริษัท เอ.ซี.คอนโทรล จำกัด. 5 กรกฎาคม 2558 : ออนไลน์)

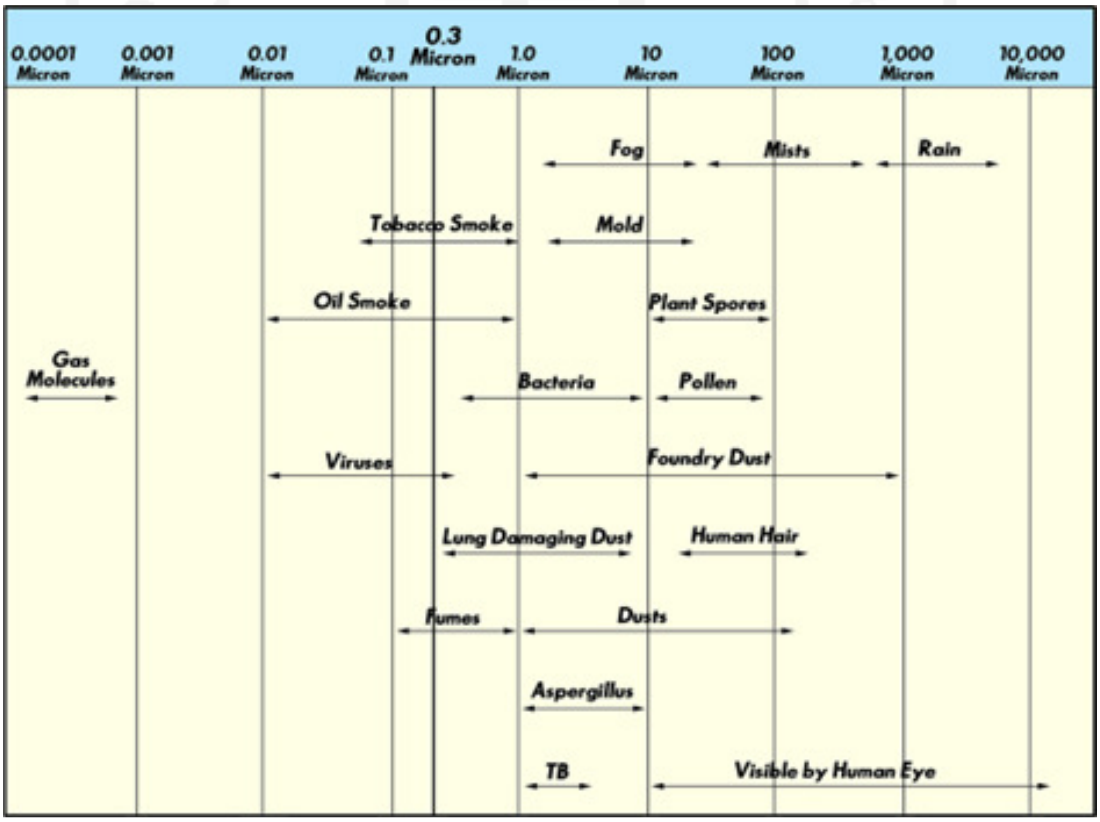
ขนาดของฝุ่น (Particulate Size) ฝุ่นขนาดเล็ก ซึ่งเรียกว่า PM10 (ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา) ฝุ่นละอองมักมีรูปร่างไม่แน่นอน แสดงดังภาพที่ 8 และอนุภาคของฝุ่นชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 9

**ภาพที่ 8** รูปร่างต่าง ๆ ของอนุภาคฝุ่น



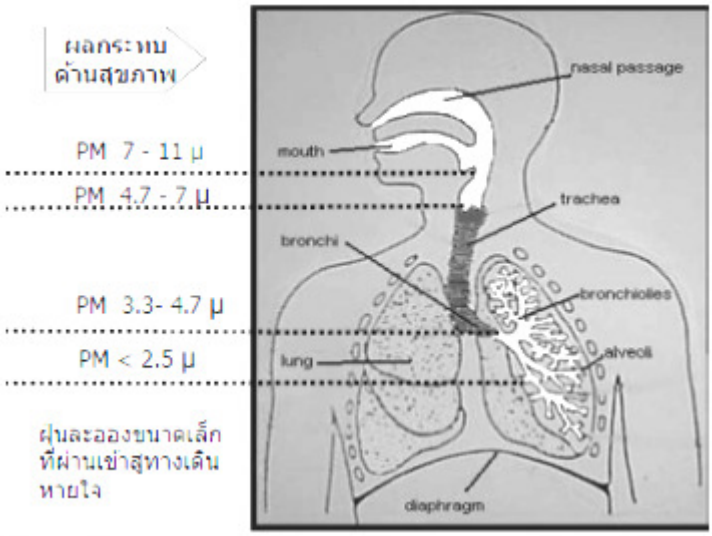

**ที่มา:** นพภาพร พานิช และคณะ. 2550 : 5-3

**ภาพที่ 9** ขนาดของอนุภาคต่าง ๆ




**ที่มา:** สมัคร รักแม่. 7 พฤศจิกายน 2556 : ออนไลน์

**ภาพที่ 10** ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ




**ที่มา :** พัชราวดี สุวรรณธาดา. 7 พฤศจิกายน 2556 : ออนไลน์

**2.1.5 ผลกระทบของฝุ่นที่มีต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงาน**

ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากเกี่ยวข้องกับชีวิตและความแข็งแรงสมบูรณ์ของมนุษย์ อันตรายที่เกิดขึ้นอาจเริ่มตั้งแต่การก่อให้เกิดความรำคาญ ระคายเคือง เกิดการเปลี่ยนแปลงในร่างกายโดยไม่แสดงอาการ จนกระทั่งมีอาการชัดเจน และถึงขั้นเสียชีวิตในที่สุด นอกจากนี้อันตรายต่อสุขภาพอาจจะไม่ได้เกิดขึ้นโดยตรง เนื่องจากสารมลพิษอากาศเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดขึ้นโดยทางอ้อมจากโรคแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น เมื่อร่างกายอ่อนแอจากการได้รับหรือสัมผัสกับสารมลพิษอากาศ โดยปกติแล้วมนุษย์จะรับสารมลพิษอากาศเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจและการสัมผัสทางผิวหนังและนัยน์ตา ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของสารมลพิษอากาศหลักที่ประเทศไทยมีการประกาศเป็นมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศมีฝุ่นละอองรวมอยู่ด้วย (นพภาพร พานิช และคณะ. 2550 : 6)

1. ฝุ่นละออง (Particulate Matter)

ฝุ่นละออง มีความหมายรวมถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศนี้บางชนิดมีขนาดใหญ่ และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในอากาศโดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน

บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา US.EPA (United State Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) และฝุ่น $PM_{10}$ แต่เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยพบว่า ฝุ่นขนาดเล็กนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไประบบทางเดินหายใจส่วนในและมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น US.EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวม และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กเป็น 2 ส่วน คือ $PM_{10}$ และ $PM_{2.5}$

$PM_{10}$ ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง จากการขนส่งวัสดุ รวมทั้งฝุ่นจากกิจกรรมบด ย่อย หิน

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

ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก เมื่อหายใจเข้าไปในปอดจะเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง แสดงดังภาพที่ 10 ในสหรัฐอเมริกาพบว่า ผู้ที่ได้รับฝุ่น $PM_{10}$ ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรคหืด (Asthma) และฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอดที่เข้ามารักษาตัวในห้องฉุกเฉิน เพิ่มอาการของโรคทางเดินหายใจ ลดประสิทธิภาพการทำงานของปอด และเกี่ยวโยงกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคหอบหืด และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนปกติด้วย

ในประเทศไทยได้มีการให้ความหมายของคำว่าฝุ่นละอองไว้ดังนี้ ฝุ่นละออง หมายถึง ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ส่วนฝุ่นขนาดเล็ก ($PM_{10}$) หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองเป็นปัญหามลพิษที่สำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยของคนในกรุงเทพมหานคร และพบว่าฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานครมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยโดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่าง ๆ ทั่วโลก โดยระดับของฝุ่นขนาดเล็กอาจทำให้คนในเขตกรุงเทพมหานครตายก่อนเวลาอันควร ถึง 4,000-5,500 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่าการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กและจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่า ถ้าสามารถลดปริมาณ $PM_{10}$ ในบรรยากาศลดลง

ได้ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพ คิดเป็นจำนวนเงิน 35,000-88,000 ล้านบาทต่อปี (นพภาพร พานิช และคณะ. 2550 : 12-13)

2. โรคระบบทางการหายใจที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม

โรคของระบบทางเดินหายใจที่เป็นผลจากสิ่งแวดล้อมอากาศเป็นพิษ ได้แก่

1) ทางเดินหายใจส่วนบน (Upper airway) ได้แก่

(1) เยื่อจมูกอักเสบ (Rhinitis)

(2) โพรงจมูกอักเสบ (Sinusitis)

(3) มะเร็งในช่องจมูก (CA nasopharynx)

2) ทางเดินหายใจส่วนล่าง (Lower airway) ได้แก่

(1) หลอดลมอักเสบ (Tracheobronchitis)

(2) ภาวะหลอดลมตอบสนองไวมากกว่าปกติ (Bronchial hyperresponsiveness = BHR)

(3) Reactive airways dysfunction syndrome (RADS)

(4) หอบหืด (Asthma)

(5) หลอดลมโป่งพอง (Bronchiectasis)

(6) โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic Obstructive Pulmonary Disease; COPD)

(7) มะเร็งปอด (Bronchogeniccarcinoma)

(8) หลอดลมฝอยอักเสบ (Bronchiolitis)

3) เนื้อปอด (lungparenchyma) ได้แก่

(1) ปอดอักเสบ (Pneumonitis)

(2) พังผืดในปอด (Lungfibrosis)

(3) ภาวะปอดบวมน้ำ (Pulmonary edema)

(4) ภาวะการหายใจล้มเหลว (Respiratory failure and Reactive airways dysfunction syndrome; ARDS)

4) เยื่อหุ้มปอด (pleura) ได้แก่

(1) เยื่อหุ้มปอดหนา มีหินปูน (Pleural thick-ening, plaque, calcification)

(2) น้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด (Pleural effusion)

(3) มะเร็งเยื่อหุ้มปอด (Mesothelioma)

เมื่อพิจารณาแล้ว จะพบว่าผลของมลพิษในอากาศมีอันตรายได้กับทุกส่วนของระบบหายใจ เริ่มต้นจากจมูกซึ่งเป็นด่านแรก ที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษในอากาศ การสูดหายใจสารมลพิษในอากาศปริมาณมากและนานพอ จะทำให้เกิดการจาม น้ำมูกไหล คัดจมูก คล้ายกับโรคเยื่อบุจมูกจาก

ภูมิแพ้ บางรายมีอาการปวดแสบในโพรงจมูก มีเลือดกำเดาไหล นอกจากนี้ยังพบอาการของการติดเชื้อในโพรงอากาศข้างจมูก (Sinusitis) ริดสีดวงจมูก (Nasal polyps) และมะเร็งโพรงจมูก ก็เคยมีรายงาน

สำหรับผลกระทบต่อทางเดินหายใจส่วนล่างนั้น มลพิษในอากาศทำให้เกิดหลอดลมอักเสบ ได้แก่ สารก่อภูมิแพ้ เช่น ไรฝุ่น แมลงสาบ ซึ่งเป็นสารมลพิษที่สำคัญในอาคาร เป็นสาเหตุที่สำคัญของโรคหอบหืด การใช้ยาฆ่าแมลงอาจทำให้หลอดลมของเกษตรกรมีความไวต่อการตอบสนองเพิ่มมากขึ้นซึ่งอาจเป็นสาเหตุของโรคหอบหืด หรือมลพิษในอากาศ อาจเป็นตัวกระตุ้นให้ผู้ป่วยโรคหอบหืด มีอาการฉับพลันรุนแรงได้ สำหรับกรณีที่ได้รับก๊าซพิษในปริมาณมาก ๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคลอรีน เป็นต้น จะมีผลทำลายเยื่อบุหลอดลม เนื้อปอดและถุงลม ทำให้เกิดปอดบวมน้ำอย่างฉับพลัน (acute pulmonary edema) จนถึงภาวะการหายใจล้มเหลว (acute respiratory failure) และ adult respiratory distress syndrome ได้ ผู้ที่รอดชีวิตจากการได้รับก๊าซพิษในระดับสูงจะเกิดภาวะที่เรียกว่า reactive airways dysfunction syndrome (RADS) ซึ่งมีอาการคล้ายคลึงกับโรคหอบหืด แต่บางคนอาจเกิดภาวะหลอดลมอักเสบและโป่งพองเรื้อรัง (bronchiectasis) สำหรับก๊าซ nitrogen dioxide ทำให้เกิดภาวะ bronchiolitis obliterans organizing pneumonia (BOOP) เป็นต้น นอกจากนี้ ควันบุหรี่และการทำงานได้รับฝุ่นจากเมล็ดพืชอาจทำให้เกิด chronic obstructive pulmonary disease และมลพิษในอากาศบางชนิด เช่น ฝุ่นแร่ใยหิน (asbestos) ฝุ่นแร่กัมมันตรังสีเรดอน (radon) ในอาคารบ้านเรือนเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งหลอดลมปอดได้ (bronchogenic carcinoma) เป็นต้น

ผลของมลพิษในอากาศต่อเนื้อปอดและถุงลมปอด ได้แก่ พิษที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นสารก่อภูมิแพ้ ทำให้เกิดโรคปอดอักเสบแบบ Hypersensitivity pneumonitis สำหรับฝุ่นซิลิกา และฝุ่นแร่อื่น ๆ ทำให้เกิดการอักเสบและพังผืดในเนื้อปอดที่เรียกว่าโรค pneumoconiosis ก๊าซและฟูมที่ได้จากการทำงาน อาจทำให้เกิด interstitial pneumonitis และ interstitialfibrosis ได้

สำหรับเยื่อหุ้มปอดที่ลักษณะการอักเสบเป็นพังผืด เยื่อหุ้มปอดหนา มีน้ำในช่องปอดหรือหินปูนเกาะหรือเป็นมะเร็งชนิด mesothelioma เกิดจากการได้รับฝุ่นแร่ใยหิน (asbestos)

ในบางครั้ง ผลที่ร่างกายได้รับจากมลพิษในอากาศ อาจแสดงออกมาเป็นกลุ่มอาการ เช่น กลุ่มอาการป่วยจากอาคาร (sick building syndrome) หรือ กลุ่มอาการป่วยจากอาคารปิดทึบ (tight building syndrome) ซึ่งเกิดขึ้นในผู้ที่อยู่ในอาคารปิดทึบ เช่น อาคารสำนักงาน ซึ่งต้องใช้เครื่องปรับอากาศที่มีระบบระบายอากาศไม่ดี รวมทั้งการใช้เครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ภายในสำนักงาน ผู้ป่วยจะมีอาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย คลื่นไส้อาเจียน คันตา คันจมูกและลำคอ คันตามผิวหนัง จนถึงมีอาการหอบหืดได้ กลุ่มอาการดังกล่าวนี้ อาจเป็นผลมาจากมลพิษภายในอาคารซึ่ง

ประกอบไปด้วย ควันบุหรี่ฟอร์มัลดิฮัยด์ สารก่อภูมิแพ้ และอื่น ๆ รวมทั้งอาจเกิดจากความเครียดในการทำงาน (สมเกียรติ วงษ์ทิม และศักดิ์ชัย ลิ้มทองกุล. 2542 : 5-8)

3. กลุ่มอาการโรคระบบการหายใจที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม

อาการของผู้ป่วยโรคระบบทางการหายใจที่เกิดจากมลพิษในสิ่งแวดล้อม และสถานที่ทำงานก็มีอาการเหมือน ๆ กับผู้ป่วยที่เกิดจากสาเหตุอื่น ๆ เนื่องจากฝุ่นละอองก๊าซพิษหรือฟูม สามารถทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจส่วนบน (Upper airway irritation) หลอดลมอักเสบ (bronchitis) อาการเหมือนไข้หวัดใหญ่ (flulike syndrome) อาการหอบหืด (asthma) และโรคปอดอักเสบ (interstitial lung disease) ตลอดจนกระทั่งโรคของระบบอวัยวะอื่น ๆ ดังนั้น การวินิจฉัยจึงต้องอาศัยประวัติการสัมผัสสารที่สงสัย และประวัติการทำงานอย่างละเอียดซึ่งอาการโรคระบบการหายใจที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม มีดังต่อไปนี้

1) การระคายเคืองต่อทางเดินหายใจส่วนบน (Upper air way Irritation) ฝุ่นละอองสารมลพิษในอากาศทั้งในบรรยากาศทั่วไปและในที่ทำงาน ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจโดยเฉพาะผู้ที่ทำงานสัมผัสกับสารเคมีต่าง ๆ จะเกิดการระคายเคืองจมูก ฟาริงซ์และกล่องเสียง แต่อย่างไรก็ตามบางครั้งก็อาจแยกได้ยากจากโรคการติดเชื้อไวรัสของทางเดินหายใจส่วนบน (สมเกียรติ วงษ์ทิม, วิศิษฎ์ อุดมพานิชย์ และศักดิ์ชัย ลิ้มทองกุล. 2542 : 88-92)

2) หลอดลมอักเสบ และโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Bronchitis and Chronic Obstructive Pulmonary Disease) มลพิษในบรรยากาศทั่วไป และฝุ่นละอองตลอดจนสารเคมีในที่ทำงาน เป็นสาเหตุของการเกิดหลอดลมอักเสบ อาจเรียกว่า irritant bronchitis หรือ industrial bronchitis และภาวะโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) นอกจากนั้นยังเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้ผู้ป่วย COPD มีอาการหอบเหนื่อยเฉียบพลัน (acute exacerbation) ขึ้นมาได้ หลอดลมอักเสบเรื้อรัง (chronic bronchitis) หมายถึง ภาวะที่ผู้ป่วยมีอาการไอมีเสมหะติดต่อกันอย่างน้อย 3 เดือนต่อปี เป็นระยะเวลา 2 ปี โดยไม่มีสาเหตุของโรคปอดอื่น ๆ ส่วนใหญ่เกิดจากการสูบบุหรี่ หรือ ได้รับควันบุหรี่จากในห้องที่มีคนสูบบุหรี่ (passive smoke) และยังเกิดจากการได้รับฝุ่นละออง (dust) ก๊าซ (gases) และฟูม (fume) ในที่ทำงานด้วย มีรายงานพบประมาณ 5-10% ในคนงานที่สัมผัสสารดังกล่าว (สมเกียรติ วงษ์ทิม, วิศิษฎ์ อุดมพานิชย์ และศักดิ์ชัย ลิ้มทองกุล. 2542 : 88-92)

3) หอบหืด (Asthma) เป็นกลุ่มอาการที่เกิดจากภาวะหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (air way inflammation) ทำให้หลอดลมมีความไวต่อสิ่งกระตุ้น (air way hyper responsiveness) เป็นผลให้ผู้ป่วยมีอาการไอ เหนื่อยหอบ หายใจมีเสียงหวีดในหน้าอกเป็น ๆ หาย ๆ เมื่อได้รับสิ่งกระตุ้น ซึ่งอาการอาจดีขึ้นเองหรือดีขึ้นเมื่อได้รับยาขยายหลอดลม สาเหตุที่ทำให้หลอดลมอักเสบเรื้อรังเป็นเพราะพันธุกรรมที่ผู้ป่วยมีภาวะ story อยู่แล้ว และได้รับการกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะ allergen เช่น ไรฝุ่น แมลงสาบ ขนสัตว์ เป็นต้น ที่เป็นมลพิษที่สำคัญภายในอาคารบ้านเรือน

สำหรับสภาพแวดล้อมในที่ทำงานก็มีสารเคมีหลายชนิด เช่น toluene diisocyanate (TDI) ที่ก่อให้เกิดโรคหอบหืดจากการทำงาน (occupational asthma) นอกจากนี้ยังมีสารมากมายหลายชนิด (สมเกียรติ วงษ์ทิม, วิศิษฎ์ อุดมพานิชย์ และศักดิ์ชัย ลิ้มทองกุล. 2542 : 88-92)

4) โรคปอดอักเสบ (Interstitial lung disease) ฝุ่นและมลพิษในอากาศ โดยเฉพาะในบริเวณที่ทำงานหลายแห่ง มีผลทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อปอดแล้วกลายเป็นพังผืดเป็นโรคปอดเรื้อรัง (Chronic restrictive lung disease) โรคที่สำคัญ ได้แก่ pneumoconiosis ซึ่งเป็น fibrosing interstitial lung disease ที่เกิดจากการได้รับฝุ่นแร่ที่สำคัญ ได้แก่ silicosis จากการได้รับ silicon dioxide โรค asbestosis เนื่องจากได้รับฝุ่นในแอสเบสตอส และโรค coal worker's pneunoconiosis จากการได้รับฝุ่นถ่านหิน เป็นต้น

ก๊าซพิษในสิ่งแวดล้อมที่อาจทำให้เกิดโรค Interstitial lung disease ได้ เช่น nitrogen dioxide ทำให้เกิด bronchiolitis obliterans with organizing pneumonia (BOOP) เป็นต้น (สมเกียรติ วงษ์ทิม, วิศิษฎ์ อุดมพานิชย์ และศักดิ์ชัย ลิ้มทองกุล. 2542 : 88-92)

5) กลุ่มอาการเหมือนไข้หวัดใหญ่ (Acute Flu-Like Syndrome) บางครั้งการที่ผู้ป่วยมีอาการคล้ายคลึงกับการติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ คือ มีอาการไข้ ปวดศีรษะ ปวดเมื่อยตามตัว ไอ อ่อนเพลีย เหนื่อย อาจเกิดจากการได้รับฝุ่นละออง หรือสารก่อมลพิษในอากาศบางชนิด เช่น antigen ที่ทำให้เกิด hypersensitivity pneumonitis ซึ่งมีมากมายหลายชนิด

นอกจากนี้พวก Metal fume fever ซึ่งเกิดในผู้ที่ทำงานในอุตสาหกรรมโลหะหนัก ได้สูดหายใจเอา oxide ของโลหะหนัก เช่น zinc oxide และ copper oxide เข้าไปในปอด ทำให้เกิดอาการไข้หนาวสั่นคล้ายอาการของไข้หวัดใหญ่ สำหรับ Polymer fume fever พบในคนงานโรงงานพลาสติกที่หายใจเอาควันของ fluorinated plastic เช่น Teflon เข้าไปในปอด (สมเกียรติ วงษ์ทิม, วิศิษฎ์ อุดมพานิชย์ และศักดิ์ชัย ลิ้มทองกุล. 2542 : 88-92)

6) การได้รับสารเคมีในที่ทำงาน (Occupational Chemical Exposure) ผู้ป่วยที่ได้รับสารเคมีเข้าไปในร่างกายอาจจะมีอาการฉับพลัน (acute distress) หรือ มีอาการเรื้อรังก็ได้ กรณีใดบ้างที่ควรจะสงสัยว่าผู้ป่วยได้รับสารเคมีในที่ทำงานนั้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ถ้าผู้ป่วยที่เจ็บป่วยฉับพลันที่นำมาจากสถานที่ทำงาน และมีประวัติชัดเจนว่าได้รับสารเคมีเข้าไป แต่อย่างไรก็ตาม บางครั้งการได้รับก๊าซพิษ (irritant gas) บางชนิด อาจทำให้มีอาการเพียงระคายเคืองทางเดินหายใจส่วนบนเท่านั้นในระยะแรก แต่ในเวลาอีก 6-12 ชั่วโมงต่อมาจะเกิดผลต่อปอดอย่างรุนแรง เป็น acute pulmonary edema ก็ได้ ดังนั้น จึงควรซักประวัติเกี่ยวกับการทำงานในผู้ป่วยทุกคนหรือแม้แต่สิ่งแวดล้อมที่มีในที่ทำงานเพราะการได้รับสัมผัสสารเคมีอาจเกิดจากการรั่วซึมของสารเคมีจากท่อออกมาปนเปื้อนในอากาศ สำหรับอาการฉับพลัน เช่น ได้รับก๊าซคลอรีนหรืออาการค่อยเป็นค่อยไปแล้วเกิด pulmonary edema ภายหลัง เช่น metal fume เป็นต้น ในผู้ป่วยที่ได้รับสารพิษเพียง

เล็กน้อย อาจมีอาการอ่อนเพลีย กระสับกระส่าย ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน น้ำมูกน้ำตาไหล ไอ จาม แน่นหน้าอก

ผู้ป่วยที่อยู่ในภาวะ Respiratory distress อาจเกิดจากภาวะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ทางเดินหายใจส่วนบนอุดตัน เนื่องจาก mild irritant หรือได้รับ severe irritant แต่ปริมาณไม่มากนัก

2. ภาวะ Tracheobronchitis, Pulmonary edema หรือ Pneumonitis เนื่องจากได้รับ severe irritant

3. ผู้ป่วยที่มีภาวะเขียว (Cyanosis) อาจเกิดจาก cholinesterase inhibitors หรือ methemoglobin former หรือสารที่ทำให้เกิดภาวะ asphyxiants (สมเกียรติ วงษ์ทิม, วิศิษฎ์ อุดมพานิชย์ และศักดิ์ชัย ลิ้มทองกุล. 2542 : 88-92)

7) ไข้จากการสูดหายใจได้รับสารพิษ (Inhalation Fever) หมายถึง กลุ่มอาการไข้ฉับพลันในระยะเวลาสั้น ๆ คล้ายกับไข้หวัดใหญ่ (flulike reaction) ซึ่งไม่ได้เกิดจากการติดเชื้อ แต่เกิดจากการหายใจได้รับสารบางชนิด ผู้ป่วยจะมีอาการไข้สั่น (fever with chills) มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ ปวดศีรษะ แน่นหน้าอก และไอ อาการมักไม่รุนแรง และหายได้เองโดยไม่มีภาวะแทรกซ้อนหลงเหลืออยู่ ตรวจเลือดมักพบ polymorph nuclear leukocytosis เป็นภาวะที่พบได้บ่อย แต่อาจไม่คิดถึงและคิดว่าเป็นคิดว่าเป็นการติดเชื้อไวรัสก็ได้

4. ข้อมูลเบื้องต้นของอาการทางระบบทางเดินหายใจที่มีในพนักงานฝ่ายผลิต

เนื่องจากโรงงานไม่มีระบบการเฝ้าระวังโรคระบบทางเดินหายใจแต่ได้มีบันทึกการจ่ายยาของพนักงาน จากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน 2556 พบว่า มีพนักงานฝ่ายการผลิตเบิกยาเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจมากที่สุด มีรายละเอียดดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** บันทึกการเบิกจ่ายยาของพนักงานในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน 2556

| เดือน / ประเภทยา | จำนวนยาที่จ่าย | | | | หน่วย |
|---|---|---|---|---|---|
| | มิถุนายน | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | |
| 1. ยาลดไข้ | 250 | 250 | 300 | 250 | เม็ด |
| 2. ยาแก้หวัด | 200 | 200 | 250 | 200 | เม็ด |
| 3. ยาแก้หลอดลมอักเสบ | 350 | 350 | 400 | 400 | เม็ด |
| 4. ยาแก้ไอ | 10 | 15 | 10 | 10 | ขวด |

**ที่มา:** รายงานการเบิกจ่ายยาของบริษัทผลิตสารให้ความหวานแทนน้ำตาล ปี 2556

**2.1.6 ผลกระทบของฝุ่นที่มีต่อสิ่งแวดล้อม**

1. ผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป

ฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น ทำให้ทัศนวิสัยไม่ดี เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นอนุภาคของแข็งที่ดูดซับและหักเหแสงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่นและองค์ประกอบของฝุ่นละออง (นพภาพร พานิช และคณะ. 2550 : 6)

2. ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองที่ตกลงมา นอกจากจะทำให้เกิดความสกปรกเลอะเทอะแก่บ้านเรือนอาคาร สิ่งก่อสร้างแล้ว ยังทำให้เกิดการทำลายและกัดกร่อนผิวหน้าของโลหะ หินอ่อน หรือวัตถุอื่น ๆ เช่น รั้วเหล็ก หลังคาสังกะสี รูปปั้น (นพภาพร พานิช และคณะ. 2550 : 6)

**2.1.7 การตรวจสมรรถภาพปอด**

การตรวจสมรรถภาพปอด (Pulmonary Function Tests) เป็นการตรวจที่สำคัญและมีประโยชน์อย่างยิ่งในกระบวนการวินิจฉัย ประเมินและติดตามผลการรักษาโรคระบบการหายใจ เช่น โรคหืด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคปอดจากการทำงานเป็นต้นนอกจากนี้การตรวจสมรรถภาพปอดยังสามารถบ่งถึงการเสื่อมของการทำงานของปอดก่อนที่อาการแสดงทางคลินิกจะเริ่มปรากฏ เนื่องจากปอดเป็นอวัยวะที่มีความสามารถสำรองสูง อาการเหนื่อยจึงมักปรากฏหลังจากพยาธิสภาพในปอดเกิดขึ้นมากแล้ว

1. ประเภทของการตรวจสมรรถภาพปอดด้วยเหตุที่ปอดเป็นอวัยวะที่มีโครงสร้างและหน้าที่ซับซ้อนการตรวจสมรรถภาพปอดจึงมีวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ตรวจหลายชนิด โดยสรุปที่สำคัญได้ดังนี้

1) สไปโรเมตรีย์ (Spirometry) เป็นการตรวจวัดปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าและออกจากปอดเป็นการทดสอบสมรรถภาพปอดที่ใช้บ่อยที่สุด เพราะทำได้ง่ายให้ข้อมูลที่มีประโยชน์เชื่อถือได้ดีและใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน

2) การวัดปริมาตรความจุของปอด (Static lung volumes) เป็นการวัดปริมาตรและความจุส่วนต่าง ๆ ของปอดซึ่งวัดไม่ได้ด้วยการทำ spirometry เช่น residualvolume, functional residual capacity, total lung capacity ฯลฯ วิธีการตรวจซับซ้อนมากขึ้นและเครื่องมือที่ใช้มีราคาแพงและต้องการความชำนาญในการใช้วิธีที่นิยม คือ closed circuit helium dilution และ body plethysmography

3) ความจุการซึมซ่านคาร์บอนมอน็อกไซด์ (Diffusing capacity for carbon monoxide: DLCO) เป็นการทดสอบกระบวนการซึมซ่านในปอดซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ ตอนหนึ่งผ่านเยื่อบุถุงลมและผนังหลอดเลือดฝอยและอีกตอนหนึ่งซึมเข้าเม็ดเลือดแดง วิธีการตรวจอาจใช้วิธี single breath, steady state หรือ fractional CO-uptake ประโยชน์ของ DLCO คือช่วยแยกโรค

ถุงลมโป่งพองจากหลอดลมอักเสบเรื้อรังโดยค่า DLCO จะลดลงในโรคถุงลมโป่งพองเนื่องจากมีความผิดปกติที่ผนังถุงลมและหลอดเลือดฝอยในปอดนอกจากนี้ DLCO จะลดลงใน interstitial lung diseases ทุกชนิด

4) การทดสอบภาวะหลอดลมไวเกินไม่จำเพาะ (Nonspecific bronchial hyper responsiveness) โดยการใช้ histamine หรือ methacholine มีประโยชน์ในการวินิจฉัยโรคหืดที่ไม่สามารถวินิจฉัยให้แน่นอนได้ด้วยวิธีอื่นรวมทั้ง spirometry การทดสอบนี้ควรทำในห้องปฏิบัติการที่ชำนาญเพราะอาจเป็นอันตรายต่อผู้ป่วยได้

5) การตรวจความต้านทานในทางเดินอากาศหายใจ (Airway resistance) วัดได้โดย Body plethysmography ผู้ป่วยโรคหืดหรือโรคปวดอุดกั้นเรื้อรังจะมีความต้านทานในทางเดินอากาศหายใจสูงขึ้นข้อมูลส่วนนี้มักใช้ในงานวิจัยมากกว่าในเวชปฏิบัติทั่วไป

6) การตรวจความไวของศูนย์การหายใจ (Respiratory center sensitivity) ศูนย์การหายใจอาจมีความไวต่อสิ่งเร้าหรือสิ่งกระตุ้น ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนเปลี่ยนแปลงไปวิธีทดสอบทำได้โดยวัดปริมาตรอากาศหายใจเข้าออก เมื่อกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ข้อมูลส่วนนี้มักใช้ในงานวิจัยมากกว่าในเวชปฏิบัติทั่วไป

7) การวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงระดับก๊าซในเลือดแดงช่วยบอกถึงความผิดปกติในการแลกเปลี่ยนก๊าซเกี่ยวกับการรับออกซิเจนและการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์

8) การทดสอบการออกกำลัง (Cardiopulmonary exercise testing) เป็นการทดสอบที่ซับซ้อนและยุ่งยากมากขึ้น โดยทั่วไปไม่มีความจำเป็นและไม่ได้ช่วยในการวินิจฉัยโรคนอกจากในกรณีผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังบางรายที่กำลังพิจารณาให้การรักษาด้วยออกซิเจนระยะยาว หรือในรายที่จะเริ่มการฝึกออกกำลังซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการรักษา หรือเพื่อหาสาเหตุร่วมของอาการเหนื่อยง่ายในผู้ป่วยว่ามีสาเหตุหลักที่ระบบการหายใจหรือระบบไหลเวียนเลือด

2. สไปโรเมตรีย์ spirometry หมายถึง การตรวจสมรรถภาพปอดโดยวัดปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าและออกจากปอดเครื่องมือที่ใช้วัดเรียกว่า spirometer การตรวจวัดที่ได้จากการทำ spirometry ประกอบด้วย

1) SVC (slow vital capacity) เป็นปริมาตรสูงสุดของอากาศที่หายใจออกอย่างช้า ๆ จนสุดจากตำแหน่งที่หายใจเข้าเต็มที่มีหน่วยเป็นลิตรที่อุณหภูมิร่างกาย แรงดันบรรยากาศซึ่งอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (BTPS)

2) FVC (forced vital capacity) เป็นปริมาตรสูงสุดของอากาศที่หายใจออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่จนสุดจากตำแหน่งที่หายใจเข้าเต็มที่มีหน่วยเป็นลิตรที่ BTPS ในภาวะปกติ FVC จะมีค่าเท่ากับ SVC แต่ FVC จะน้อยกว่า SVC เมื่อมีการอุดกั้นทางเดินอากาศหายใจหรือเมื่อผู้ทำการทดสอบไม่พยายามเต็มที่

3) $FEV_1$ (forced expiratory volume in one second) เป็นปริมาตรของอากาศที่ถูกขับออกในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่จากตำแหน่งหายใจเข้าเต็มที่ $FEV_1$ นี้มีค่าเป็นลิตรและที่ BTPS เช่นเดียวกัน $FEV_1$ นี้เป็นข้อมูลที่ใช้บ่อยที่สุดในการตรวจสมรรถภาพปอด

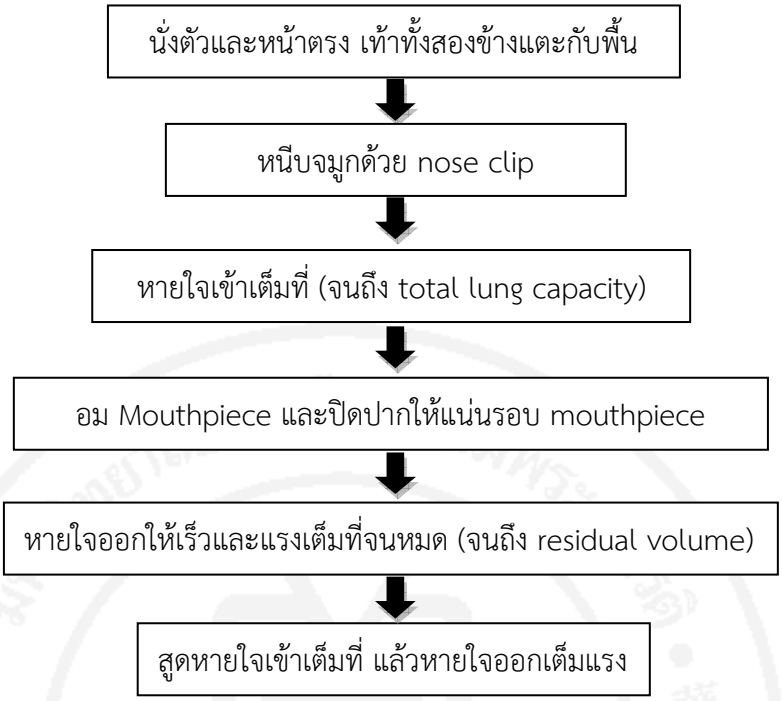
4) $FEV_1$/FVC คำนวณได้จากการนำค่า $FEV_1$ หารด้วย FVC และคูณด้วย 100 หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า percent $FEV_1$ (%$FEV_1$) เป็นข้อมูลดีที่สุดที่แสดงถึงการอุดกั้นของหลอดลม

5) FEF 25-75% (forced expiratory flow at 25-75% of FVC) เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศในช่วงกลางของ FVC มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาทีหรือลิตรต่อนาทีที่ BTPS การทดสอบนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในหลอดลมขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 2 มิลลิเมตร ข้อเสียคือ Reproduce สู้ $FEV_1$ ไม่ได้มีความจำเพาะต่ำและจะยากต่อการแปลผลในกรณีที่มีการลดลงของ $FEV_1$ หรือ FVC

6) PEF (peak expiratory flow) เป็นอัตราการไหลของอากาศหายใจออกที่สูงที่สุดจะเกิดขึ้นในช่วงต้นของการหายใจออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่จากตำแหน่งหายใจเข้าเต็มที่มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาทีหรือลิตรต่อวินาทีที่ BTPS ค่า PEF นี้อาจจะวัดได้ด้วยเครื่องมือที่เรียก Wright peak flow meter หรือ peak flow meter อื่น ๆ เช่น mini-Wright ซึ่งมีราคาถูกกว่าและมีขนาดกะทัดรัด

3. ขั้นตอนการตรวจสมรรถภาพปอด มีขั้นตอนดังแผนภูมิที่ 5

**แผนภูมิที่ 5** ขั้นตอนการตรวจสมรรถภาพปอด




**ที่มา:** สมาคมอุรเวชช์แห่งประเทศไทย. 7 พฤศจิกายน 2556 : ออนไลน์

4. Acceptability criteria

1) เริ่มต้นถูกต้อง โดยหายใจเข้าจนสุดแล้วเป่าออกให้เร็วและแรง การดูว่าทำถูกต้องหรือไม่ดูจากกราฟปริมาตร-เวลา ซึ่งต้องมี extrapolated volume น้อยกว่า 5% ของ FVC หรือ 0.15 ลิตร แต่สำหรับเครื่อง spirometer ปัจจุบันคอมพิวเตอร์จะคำนวณให้

2) หายใจออกได้เต็มที่ โดยดูจากกราฟปริมาตร-เวลา ซึ่งเวลาในการหายใจออกต้องนานเพียงพอ ซึ่งอย่างน้อยที่สุดคือ 6 วินาที และมี plateau อย่างน้อย 1 วินาที หรือมีเวลาหายใจออกน้อยกว่า 6 วินาที แต่มี plateau อย่างน้อย 1 วินาที และจะต้องไม่มีอาการไอ การรั่วออกของลมขณะเป่าหรือมีสิ่งไปอุด mouthpiece เช่น ลิ้น ฟันปลอม

5. Reproducibiity criteria

เลือกกราฟที่ได้ acceptability criteria อย่างน้อย 3 กราฟมาพิจารณา reproducibility โดยจะถือว่า reproducibility เมื่อค่าของ FVC ที่มากที่สุด ต่างจากค่า FVC ที่มีค่ารองลงมา ไม่เกิน 200 มิลลิลิตร และค่า $FEV_1$ ที่มากที่สุดต่างจากค่า $FEV_1$ ที่รองลงมาไม่เกิน 200 มิลลิลิตร เช่นเดียวกัน

6. ข้อบ่งชี้ของการทำสไปโรเมตรีย์

1) เพื่อการวินิจฉัยโรค

(1) ในผู้ที่มีอาการ อาการแสดงหรือผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการที่ผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดจากโรคระบบการหายใจ ได้แก่ อาการเหนื่อยไอ หายใจมีเสียงหวีดหวือ เจ็บหน้าอกหรือตรวจร่างกายพบเสียงหายใจผิดปกติทรวงอกผิดรูปหรือภาพรังสีทรวงอกผิดปกติ ความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น หรือตรวจพบออกซิเจนในเลือดแดงต่ำ หรือคาร์บอนไดออกไซด์สูง เป็นต้น

(2) ในรายที่เป็นโรคที่มีผลต่อการทำงานของระบบหายใจเพื่อประเมินความรุนแรง

(3) ในผู้ที่มีปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบการหายใจ ได้แก่ สูบบุหรี่ อาชีพที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดจากการประกอบอาชีพ เช่น ทำงานเหมืองแร่ ฯลฯ

(4) ประเมินความเสี่ยงในการเกิดภาวะแทรกซ้อนด้านระบบหายใจในผู้ป่วยก่อนการผ่าตัด

7. ข้อห้ามในการทำสไปโรเมตรีย์ใช้เป็นเงื่อนไขในการนำเข้าของกลุ่มตัวอย่าง (Inclusion criteria)

1) ไอเป็นเลือด

2) ภาวะลมรั่วในช่องเยื่อหุ้มปอดที่ยังไม่ได้รับการรักษา

3) ระบบหลอดเลือดหรือหัวใจทำงานไม่คงที่ ได้แก่ ความดันโลหิตสูงที่ยังไม่ได้รับการรักษาหรือควบคุมได้ไม่ดี ความดันโลหิตต่ำ recent myocardial infarction หรือ pulmonary embolism

4) เส้นเลือดแดงโป่ง (aneurysm) ในทรวงอก ท้องหรือสมอง

5) เพิ่งได้รับการผ่าตัดตา เช่น ผ่าตัดลอกต้อกระจก

6) เพิ่งได้รับการผ่าตัดช่องอกหรือช่องท้อง

7) ติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ เช่น วัณโรคปอดระยะติดต่อ

8) สตรีมีครรภ์ (ยกเว้นในบางรายที่จำเป็น)

9) ผู้ที่อาการเจ็บป่วยที่อาจมีผลต่อการทดสอบสไปโรเมตรีย์ เช่น คลื่นไส้หรืออาเจียน

ภาวะแทรกซ้อนจากทำสไปโรเมตรีย์แม้ว่าการตรวจสไปโรเมตรีย์เป็นการตรวจที่ค่อนข้างปลอดภัยแต่อาจพบภาวะแทรกซ้อนได้บ้าง ดังต่อไปนี้

(1) ความดันในกระโหลกศีรษะเพิ่มขึ้นซึ่งอาจทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ เป็นต้น

(2) เวียนหัว มึนงงและในบางรายอาจมีอาการหมดสติได้

(3) อาการไอ

(4) หลอดลมตีบ โดยเฉพาะในผู้ป่วยหืดหรือปอดอุดกั้นเรื้อรังที่ยังควบคุมอาการไม่ได้ดี

(5) เจ็บหน้าอก

(6) ภาวะลมรั่วในช่องเยื่อหุ้มปอด

(7) ขาดออกซิเจนจากการหยุดให้ชั่วคราวระหว่างการตรวจ

(8) การติดเชื้อ

8. ชนิดของ Spirometer แบ่งตามลักษณะของการทำงานได้ 3 แบบ คือ

1) Volume-displacement spirometers ใช้หลักการแทนที่ของสสารแล้ววัดปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปโดยอาศัย

(1) การเคลื่อนที่ของถัง (bell): water-sealed spirometer

(2) กระบอกสูบ (piston): dry rolling seal spirometer

(3) เครื่องเป่าไฟหรือเครื่องเสียง (bellow): bellow spirometer โดยทั่วไป spirometer ในกลุ่มนี้จะใช้งานง่าย มีความแม่นยำสูง ดูแลรักษาง่ายและสามารถบันทึกผลการตรวจที่ได้ลงในแผ่นบันทึกถาวรซึ่งสามารถทำการตรวจสอบดูความถูกต้องในภายหลังได้ ข้อเสียของ spirometer กลุ่มนี้ก็คือขนาดซึ่งใหญ่ทำให้เคลื่อนย้ายลำบาก ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ (disinfect) ได้ยากและความเร็วของการบันทึกจะไม่ไวพอที่จะทดสอบ PEF ได้

2) Flow sensing spirometers ด้วยความก้าวหน้าทางอิเล็กโทรนิคส์และ microprocessor ทำให้มีการพัฒนา spirometer ให้มีขนาดเล็กและเคลื่อนย้ายสะดวก flow sensing spirometer นี้จะอาศัย sensor ที่บันทึกอัตราการไหล (flow) และจะคำนวณเปลี่ยนแปลงสัญญาณนั้นให้เป็นปริมาตรอย่างรวดเร็ว flow sensor ที่ใช้บ่อย ได้แก่ sensor ที่วัดอัตราการไหลโดย

(1) อาศัยความแตกต่างของความดันที่ลดลงเมื่อผ่านวัสดุที่มีแรงต้าน เช่น Fleisch pneumotach หรือ orifice

(2) การเย็นลงของลวดที่ร้อน เช่น hot wire pneumotach

(3) นับรอบการหมุนของกังหันและคำนวณหาความเร็วของลมได้ เช่น turbine pneumotach

ในปัจจุบัน spirometer ชนิดนี้ได้รับความนิยมมากเนื่องจากเครื่องจะคำนวณค่าต่าง ๆ ที่ต้องการโดยอัตโนมัติ เครื่องจะพิจารณาถึงคุณภาพและการยอมรับได้ของการทดสอบแต่ละครั้งตามเกณฑ์มาตรฐานบันทึกและเก็บข้อมูล คำนวณค่าคาดคะเนที่ต้องการ และให้ผลการทดสอบซึ่งจะพิมพ์และเก็บไว้เป็นหลักฐานได้ทั้ง spirogram และ flow-volume curve คุณสมบัติเหล่านี้ร่วมกับขนาดที่เล็กเคลื่อนย้ายได้สะดวก รวมทั้งการดูแลทำนุบำรุงได้ง่ายทำให้เครื่องมือนี้ได้รับการยอมรับและเป็นที่นิยมมากขึ้น

ผลการทดสอบทั้ง spirometer กลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับความคงตัว (stability) ของ sensor และการ calibrate เครื่องมือรวมทั้งการแก้ไขปริมาตรและอัตราการไหลที่ได้เป็น BTPS เครื่องมือชนิดนี้เมื่อใช้

ติดต่อกันเป็นเวลานานในผู้ป่วยจำนวนมาก ๆ ความแม่นยำของ calibration จะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากมีละอองน้ำและความชื้นเพิ่มขึ้นที่ sensor

3) Portable devices เป็นเครื่อง spirometer ขนาดเล็กถูกนำมาใช้มากขึ้นในการติดตามสมรรถภาพปอดและในการติดตามผลการรักษาในผู้ป่วย เช่น โรคหืดส่วนใหญ่ให้ผลการทดสอบที่เชื่อถือได้ในการติดตามเป็นอนุกรม (serial monitoring) ในผู้ป่วยแต่ละรายแต่ความถูกต้องแม่นยำอาจมีปัญหาได้เครื่อง spirometer ขนาดเล็กและพกพานี้เหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนตัวสามารถวัดมาตรต่าง ๆ รวมทั้ง PEF ได้เช่นเดียวกับ spirometer ทั่วไปใช้แบตเตอรี่ในการทำงานนอกจากนี้ยังสามารถจำข้อมูลซึ่งจะนำไปบันทึกพิมพ์ผลการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไปได้ ข้อเสียคือบอบบางและชำรุดเสียหายง่ายเมื่อได้รับการกระแทกหรือตกหล่น (สมาคมอุรเวชช์แห่งประเทศไทย. 7 พฤศจิกายน 2556 : ออนไลน์)

9. ความผิดปกติแบบอุดกั้น (Obstructive abnormality)

นิยามของความผิดปกติแบบอุดกั้นนั้น คือการลดลงอย่างไม่เป็นสัดส่วน (Disproportion) ของอัตราการไหลสูงสุดของอากาศ (Maximal air flow) ที่ออกจากปอด เทียบกับปริมาตรของอากาศในปอดสูงสุดที่ตรวจวัดได้ (ในที่นี้คือค่า FVC) ซึ่งผลจากการตรวจสไปโรเมตรีย์จะแสดงออกมาด้วยการลดลงของค่า $FEV_1/FVC$ อย่างไม่เป็นสัดส่วนกัน รวมถึงมักมีการลดลงกว่าปกติของค่า $FEV_1$ ด้วย สาเหตุของความผิดปกติแบบอุดกั้นนี้เกิดจากโรคใดก็ตามที่ทำให้ทางเดินหายใจตีบแคบลงหรืออุดกั้น ทำให้อากาศไหลออกจากปอดได้ช้า ตัวอย่างของโรคเหล่านี้ เช่น

1) โรคหอบหืด (Asthma) เป็นโรคที่พบได้บ่อย โรคนี้ทำให้เกิดทางเดินหายใจอุดกั้นเนื่องจากเมื่อมีอาการจะเกิดการหดตัวของหลอดลม (Bronchoconstriction) ผนังทางเดินหายใจหนาขึ้น (Airway wall thickening) และมีเสมหะมากขึ้น (Increase mucus) ภาวะทางเดินหายใจอุดกั้นนี้เกิดได้ในโรคหอบหืดจากทุกสาเหตุ รวมถึงโรคหอบหืดจากการทำงาน (Occupational asthma) และยังพบได้ในโรคที่มีลักษณะอาการคล้ายคลึงกับโรคหอบหืดอีกชนิดหนึ่ง คือ โรคปอดฝุ่นฝ้าย (Byssinosis) ด้วย

2) โรคหลอดลมอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease; COPD) เป็นกลุ่มโรคที่ทำให้เกิดความผิดปกติแบบอุดกั้นที่พบได้ค่อนข้างบ่อยเช่นกัน สาเหตุสำคัญที่สุดของการเกิดโรคนี้มาจากการสูบบุหรี่สาเหตุรองที่อาจพบได้ คือจากมลภาวะในอากาศ ภาวะความผิดปกติแบบอุดกั้นที่เกิดขึ้น สามารถพบได้ในผู้ป่วยโรคหลอดลมอุดกั้นเรื้อรังทั้งกลุ่มที่เป็นโรคถุงลมโป่งพอง (Emphysema) และโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic bronchitis)

3) โรคหลอดลมอักเสบเฉียบพลัน (Acute bronchitis) ผู้ป่วยจะมีอาการไออย่างมาก สามารถพบความผิดปกติแบบอุดกั้นอย่างน้อย ๆ ได้เช่นเดียวกัน

4) โรคซิสติกไฟโบรซิส (Cystic fibrosis) เป็นโรคทางพันธุกรรมที่พบได้ค่อนข้างบ่อยในคนผิวขาว (Caucasian) แต่พบไม่บ่อยในคนไทย โรคนี้ทำให้เกิดความผิดปกติของต่อมขับสารคัดหลั่งของร่างกาย ซึ่งในระบบทางเดินหายใจจะทำให้มีเสมหะมาก สะสมและอุดตันอยู่ในทางเดินหายใจและทำให้เกิดการติดเชื้อในทางเดินหายใจตามมา เนื่องจากมีเสมหะอุดกั้นอยู่มาก ผลการตรวจสไปโรเมตรีย์ในผู้ป่วยกลุ่มนี้จึงสามารถพบความผิดปกติแบบอุดกั้นได้

5) โรคหลอดลมพอง (Bronchiectasis) เป็นโรคที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างหลอดลมแขนงทำให้หลอดลมแขนงพองและบิดเบี้ยวผิดรูป ซึ่งอาจเกิดขึ้นทั่วไปทั้งปอดหรือเกิดเพียงบางส่วนของปอดก็ได้ การผิดรูปนี้มักเกิดขึ้นหลังจากการอักเสบของหลอดลมแขนง การพองทำให้หลอดลมแขนงตีบตัวได้ง่ายและขับเสมหะออกยาก โรคนี้ถ้าเป็นมากจะมีอาการไอเรื้อรัง มีเสมหะมาก อาจไอมีเลือดปน ผลการตรวจสไปโรเมตรีย์อาจพบความผิดปกติแบบอุดกั้นได้

6) โรคหลอดลมฝอยตีบตัน (Bronchiolititsobliterans) เป็นโรคที่หลอดลมฝอย (Bronchiole) เกิดการอักเสบ ตีบตัน และเป็นพังผืด (Fibrosis) อย่างถาวร อาจเกิดขึ้นโดยไม่ทราบสาเหตุ หรือเกิดขึ้นหลังการอักเสบติดเชื้อของปอด (เช่น Adenovirus, Influenza virus, Mycoplasma) หลังการเปลี่ยนอวัยวะ (เช่น หัวใจ ปอด เซลล์ต้นกำเนิดเม็ดเลือด) หรือการสูดดมมลพิษและสารก่อโรคจากการทำงานบางอย่าง (เช่น ไดอะซิติล แอมโมเนีย ไนโตรเจนออกไซด์)

10. ความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัว (Restrictive abnormality) นิยามของความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัว คือปริมาตรของอากาศในปอดสูงสุดที่ตรวจวัดได้ (ในที่นี้คือ FVC) นั้นต่ำลงว่าปกติเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัวเกิดได้จากสาเหตุที่หลากหลายจำนวนมาก ทั้งสาเหตุที่มาจากภายในปอด (Intrinsic cause) สาเหตุที่มาจากภายนอกปอด (Extrinsic cause) และสาเหตุจากระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular cause) ซึ่งรายละเอียดของสาเหตุความผิดปกติกลุ่มต่าง ๆ เป็นดังนี้

1) สาเหตุที่มาจากภายในปอด (Intrinsic cause) สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัวเกิดได้จากหลายกลไก เช่น มีพังผืดเกิดขึ้นในเนื้อปอด (Pulmonary fibrosis) ทำให้เนื้อปอดแข็ง เกิดการดึงรั้ง ขยายตัวได้ยาก มีน้ำคั่งอยู่ในถุงลม เช่น จากภาวะปอดบวมน้ำ (Pulmonaryedema) มีโรคของเนื้อปอด (Interstital lung disease) จากสาเหตุใด ๆ ก็ตาม เช่น ภาวะปอดติดเชื้อ (Pneumonia) ภาวะปอดอักเสบ (Pneumonitis) มีรอยโรคที่กินพื้นที่ปอด (Space-occupyinglesion) เช่น ก้อนเนื้องอก (Tumor) มะเร็ง (Cancer) ลมในช่องเยื่อหุ้มปอด (Pneumothorax) น้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด (Pleural effusion)

2) สาเหตุที่มาจากภายนอกปอด (Extrinsic cause) สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัวจากภายนอกปอด เกิดได้จากการที่โครงสร้างของร่างกายผิดปกติ ทำให้ปอดขยายตัวได้น้อย เช่น กระดูกสันหลังคดค่อม (Kyphoscoliosis) กระดูกหน้าอกบุ๋ม (Pectusexcavatum)

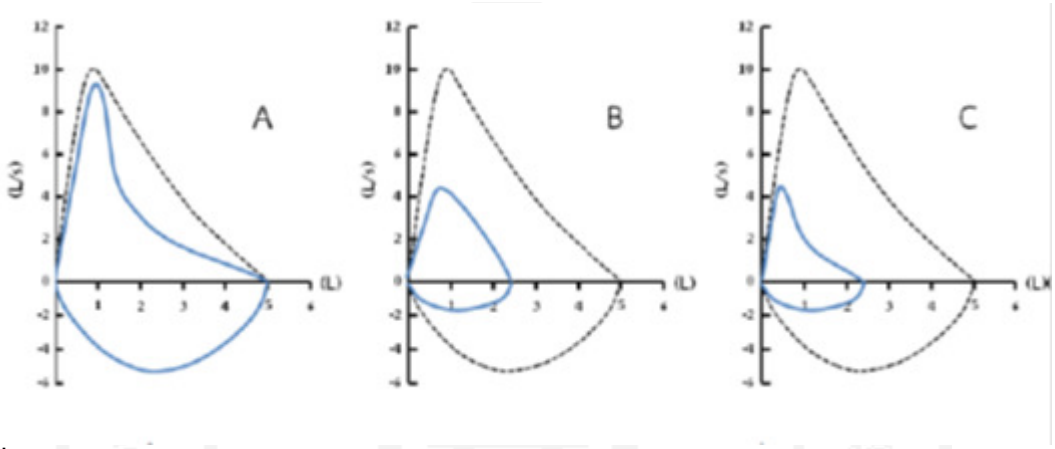
หรือเกิดจากมีสิ่งใดภายในช่องท้องและรอบนอกของทรวงอกมาดันให้พื้นที่ในปอดลดลง เช่น เนื้องอก (Tumor) มะเร็ง (Cancer) น้ำในช่องท้อง (Ascites) อ้วนมาก (Extreme obesity) ตั้งครรภ์ (Pregnancy) ไส้เลื่อนที่กะบังลม (Diaphragmatic hernia)

3) สาเหตุจากระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular cause) สาเหตุจากโรคและภาวะทางระบบประสาทและกล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัวเกิดจากกลไกที่กล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อที่ใช้หายใจ (Respiratory muscle) ทำงานได้น้อยลงจากภาวะต่าง ๆ เช่น กะบังลมเป็นอัมพาต (Diaphragmatic paralysis) ภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรง (Muscleweakness) จากสาเหตุต่าง ๆ อาการเจ็บที่บริเวณทรวงอกทำให้ออกแรงไม่ได้เต็มที่ สิ่งหนึ่งที่ผู้แปลผลควรระลึกไว้เสมอเกี่ยวกับการแปลผลความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัวก็คือ การตรวจสไปโรเมตรีย์ด้วย FVC Maneuver เพื่อวัตถุประสงค์ในการคัดกรองโรค เช่น กรณีการตรวจในงานอาชีวอนามัยนี้ ภาวะความผิดปกติแบบจำกัดขยายตัวที่พบจะบอกได้เพียงในระดับ “สงสัยว่ามีความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัว (Suspected restrictive abnormality)” เท่านั้น ไม่ใช่การยืนยันว่ามีความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัวอย่างแน่นอน เนื่องจากค่าปริมาตรอากาศสูงสุดที่ตรวจวัดได้จากการทำสไปโรเมตรีย์ด้วยแผนการตรวจแบบ FVC Maneuver ซึ่งก็คือค่า FVC นั้นแท้จริงแล้วจะน้อยกว่าค่าปริมาตรอากาศทั้งหมดของปอด(Total lung capacity; TLC) เสมอ ในผู้ป่วยบางรายที่มีภาวะลมคั่งอยู่ในปอดมาก (Air trapping) เช่นคนที่เป็นโรคหอบหืดรุนแรง อาจพบลักษณะที่วัดค่า FVC ออกมาได้ต่ำกว่าปกติ แต่แท้จริงแล้วค่า TLC ไม่ได้ต่ำกว่าปกติก็เป็นได้ เมื่อใดที่พบความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัวจากการตรวจสไปโรเมตรีย์ จึงควรระลึกไว้เสมอว่าเป็นเพียงการคาดคะเนว่า “อาจจะมีภาวะนี้อยู่จริง” การตรวจยืนยันด้วยเครื่องมือที่ซับซ้อนกว่า เช่น เครื่อง Body plethysmography เพื่อหาค่า TLC จะเป็นข้อมูลที่ช่วยยืนยันความผิดปกติได้ดีที่สุด

11. ความผิดปกติแบบผสม (Mixed abnormality) ความผิดปกติแบบผสม (Mixed abnormality) ก็คือภาวะความผิดปกติที่มีทั้งความผิดปกติแบบอุดกั้น (Obstructive abnormality) และความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัว (Restrictive abnormality) อยู่ด้วยกันทั้ง 2 แบบ แผนภูมิที่ 6 แสดงสไปโรแกรมชนิด Flow-volume loop ของผลการตรวจที่มีลักษณะของความผิดปกติทั้ง 3 แบบเปรียบเทียบกันความผิดปกติแบบผสมนั้น มีสาเหตุเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับสาเหตุของความผิดปกติแบบอุดกั้น เช่น โรคหอบหืด (Asthma) โรคหลอดลมอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease) โรคหลอดลมพอง (Bronchiectasis) โรคหลอดลมฝอยตีบตัน (Bronchiolitis obliterans) หากโรคเหล่านี้ซึ่งทำให้เกิดความผิดปกติแบบอุดกั้น มีความรุนแรงของโรคมากขึ้น ก็สามารถทำลายโครงสร้างของปอด ทำให้เกิดพังผืดในเนื้อปอด จึงเกิดมีความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัวเกิดขึ้นร่วมด้วยได้ในทางกลับกัน โรคหรือภาวะที่เป็นสาเหตุของความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัว เช่น กลุ่มที่ทำให้ปอดอักเสบเป็นพังผืดอย่างวัณโรคปอด (Pulmonary tuberculosis) ปอดติดเชื้อ

(Pneumonia) ปอดอักเสบจากสาเหตุต่าง ๆ (Pneumonitis) หรือภาวะพังผืดในปอด (Pulmonary fibrosis) จากกลุ่มโรคฝุ่นจับปอด (Pneumoconiosis) (แนวทางการตรวจและแปลผลสมรรถภาพปอดด้วยวิธีสไปโรเมตรีย์ในงานอาชีวอนามัย. 2557 : 51)

**แผนภูมิที่ 6** สไปโรแกรมชนิด Flow-volume loop ของผลการตรวจที่มีลักษณะของความผิดปกติทั้ง 3 แบบเปรียบเทียบกัน




**ที่มา:** แนวทางการตรวจและแปลผลสมรรถภาพปอดด้วยวิธีสไปโรเมตรีย์ในงานอาชีวอนามัย. 2557 : 51)

**2.1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น สมรรถภาพปอด ปัจจัยส่วนบุคคล พฤติกรรมส่วนบุคคล

ดวงฤทัย บัวด้วง (2542) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นพีเอ็ม-เท็นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจต่อสมรรถภาพปอดของตำรวจจราจรในกรุงเทพมหานคร ศึกษาสุขภาพโดยใช้แบบสอบถาม ATS-DLD-78A และทดสอบสมรรถภาพปอดด้วยเครื่อง Spirometer กลุ่มศึกษาเป็นตำรวจในกรุงเทพมหานคร เขตโชคชัย 4 และวิภาวดีทั้งสิ้นจำนวน 135 คน (อายุเฉลี่ย 36.1 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 8.8) กลุ่มเปรียบเทียบเป็นตำรวจที่ปฏิบัติงาน และอาศัยอยู่ในจังหวัดอยุธยาจำนวน 67 คน (อายุเฉลี่ย 32.5 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 8.2) โดยกำหนดพื้นที่ในการศึกษาอ้างอิงข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งจากการตรวจวัดพบในเขตกรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นพีเอ็ม-เท็นใน 24 ชั่วโมงเท่ากับ 124.8 mg/m$^3$ (ระดับมาตรฐานที่ 120 mg/m$^3$) พื้นที่ควบคุมมีค่าเท่ากับ 44.68 mg/m$^3$ การศึกษานี้ได้ควบคุมปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์แบบสอบถาม จากการศึกษาพบว่า ตำรวจกรุงเทพมหานครมีอัตราความชุกของอาการในโรคระบบทางเดินหายใจ สูงกว่าตำรวจในจังหวัด

พระนครศรีอยุธยา แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบสมรรถภาพปอดในกลุ่มศึกษา มีค่าพารามิเตอร์ของ $V_{25}$/Ht., $FEV_1$, MMEF และ $FEV_{0.5}$ ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ของปัญหาทางระบบทางเดินหายใจกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นพีเอ็ม-เท็น

พีระ บุญเปลื้อง (2547) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นปูนซีเมนต์ที่มีผลต่อสมรรถภาพปอดถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นรวมและปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.417$, p-value = 0.000) และสามารถหาสมการถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณของฝุ่นรวม จากปริมาณฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ค่าเฉลี่ยแบบพื้นที่ของฝุ่นรวมเท่ากับ 5.002% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.7763 $mg/m^3$ ฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจเท่ากับ 2.1823% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.916833 $mg/m^3$ ผลการศึกษาในส่วนหลัง การศึกษาความสัมพันธ์ในส่วนของระยะเวลาการทำงานในโรงงานปูนซีเมนต์ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญคือ ค่า FVC (Forced Vital Capacity) ($r = -0.24$, p-value = 0.033) สามารถหาสมการถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณ FVC และ $FEV_1$ ได้ค่าเฉลี่ย VC เท่ากับ 3.4074% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.48433 ลิตร FVC เท่ากับ 3.2697% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.42281 ลิตร $FEV_1$ เท่ากับ 2.7131% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.32854 ลิตร และ $FEV_1$/FVC เท่ากับ 83.3186% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6.41768%

ปาวรีย์ คมพยัคฆ์ (2547) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นกับการเสื่อมสมรรถภาพปอดในกลุ่มคนงาน 218 คนที่ทำงานในโรงงานน้ำตาลท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี การศึกษานี้แบ่งการสัมผัสฝุ่นเป็น 3 ประเภท คือ ฝุ่นทั้งหมด ฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้และฝุ่นทราย และแบ่งระดับความเข้มข้นของฝุ่นได้ 3 ระดับ คือความเข้มข้นต่ำ ความเข้มข้นปานกลางและความเข้มข้นสูง สำหรับปัจจัยอื่นที่ศึกษา ได้แก่ อายุ อายุการทำงาน การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และการสูบบุหรี่ เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถาม ปั๊มดูดอากาศแบบติดที่ตัวบุคคล และเครื่องตรวจสมรรถภาพปอดสไปโรมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าในบริเวณที่เป็นสำนักงานค่าความเข้มข้นของฝุ่นทั้งหมด ฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้และฝุ่นทรายเป็น 0.022 $mg/m^3$, 0.0049 $mg/m^3$ และ 0.00012 $mg/m^3$ ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นความเข้มข้นฝุ่นระดับต่ำในส่วนการบรรจุ ส่งเสริมไร่ หม้อต้ม หม้อเคี่ยวและหม้อปั่นมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นทั้งหมด ฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้และฝุ่นทรายเป็น 1.91 $mg/m^3$, 0.42 $mg/m^3$ และ 0.0093 $mg/m^3$ ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นความเข้มข้นฝุ่นระดับปานกลาง สำหรับส่วนลูกหีบ หม้อไอน้ำ และยานยนต์ พบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นทั้งหมด ฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้และฝุ่นทรายเป็น 6.13 $mg/m^3$, 1.67 $mg/m^3$ และ 0.021 $mg/m^3$ ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นความเข้มข้นฝุ่นระดับสูงเมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นกับค่ามาตรฐานพบว่าไม่เกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดในทุกพื้นที่การทำงานสำหรับผลการตรวจวัด

สมรรถภาพปอดในกลุ่มคนงานพบลักษณะการผิดปกติแบบ Restrictive 23 ราย แบบ Obstructive 3 ราย และแบบ Combine 20 รายรวมลักษณะผิดปกติของสมรรถภาพปอดเป็น 46 ราย คิดเป็น 21.10 % ของกลุ่มตัวอย่าง เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของการสัมผัสฝุ่นแต่ละประเภทกับการเสื่อมสมรรถภาพปอด พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน (p-value > 0.05) และเมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับการเสื่อมสมรรถภาพปอดพบว่า อายุ อายุการทำงาน การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลและการสูบบุหรี่ ไม่มีสัมพันธ์กับการเสื่อมสมรรถภาพปอด (p-value > 0.05) แต่พบว่า การไอเรื้อรังมีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสมรรถภาพปอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.05) และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการตรวจความผิดปกติของโรคระบบทางเดินหายใจระหว่างการใช้แบบสอบถามกับการใช้สไปโรมิเตอร์พบว่าวัดได้ต่างกัน 1.38% ในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดและต่างกัน 73.91% ในกลุ่มผิดปกติจากการวัดโดยใช้สไปโรมิเตอร์

พิชญาภัค ศรีจำนงค์ (2548) ได้ทำการศึกษาการสัมผัสฝุ่นและสมรรถภาพปอดของคนงานที่ทำงานในโรงสีข้าวขนาดใหญ่ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณฝุ่นที่คนงานสัมผัส สมรรถภาพปอดของคนงานและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นที่คนงานสัมผัสและสมรรถภาพปอดของคนงานในโรงสีข้าวขนาดใหญ่ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง คนงานจำนวน 87 คน ที่ปฏิบัติงานในแผนกผลิตในโรงงานสีข้าวขนาดใหญ่ 9 แห่ง ในจังหวัดเชียงใหม่ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แบบสอบถาม เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ เครื่องตรวจสมรรถภาพปอด ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณฝุ่นทั้งฝุ่นรวมและฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน ในแผนกผลิตมีค่าไม่เกินมาตรฐาน ส่วนผลการตรวจสมรรถภาพปอด พบว่า คนงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 87.36) มีผลการตรวจสมรรถภาพปอดปกติ และอีกร้อยละ 12.64 ของคนงานมีผลการตรวจสมรรถภาพปอดผิดปกติ จะพบความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัว 9 คน และแบบอุดกั้น 2 คน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นที่คนงานสัมผัสและสมรรถภาพปอด พบว่า ปริมาณฝุ่นรวมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าสัดส่วนระหว่างค่าปริมาตรของอากาศที่ขับออกในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่จากการหายใจเข้าเต็มที่ต่อค่าปริมาตรอากาศที่หายใจออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่จากการหายใจเข้าเต็มที่ $FEV_1/FVC$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.252$, p-value = 0.019)

เบญจมาศ พุ่มสุขวิเศษ และอรรถพล นงค์พาน (2550) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก (PM-10) ในบริเวณที่ทำงานกับสมรรถภาพปอดของคนงานในโรงงานอุตสาหกรรมไม้บ้านขวาง ตำบลบ้านกล้วย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย จำนวน 120 คน เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม ทำการเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณที่ทำงาน จำนวน 5 โรงงาน โดยใช้วิธี Gravimetric Low Volume ด้วยเครื่องดูดอากาศชนิดชนิด Personal pump โดยตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็ก (PM-10) โรงงาน ๆ ละ 3 จุด และตรวจวัดฝุ่นแบบติดตัวบุคคล โรงงานละ 5 ตัวอย่าง และตรวจสมรรถภาพของปอดด้วยเครื่องสไปโรมิเตอร์ (Spirometer) วัดค่า FVC, $FEV_1$ และ $FEV_1/FVC$ วิเคราะห์ข้อมูล

โดยใช้สถิติพรรณนา ไคสแควร์ ผลการศึกษาพบว่า ทุกโรงงานมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก (PM-10) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงมหาดไทย (5 $mg/m^3$) ผลการประเมินความเสี่ยงทางวิทยาการระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อม พบว่า ความเสี่ยงของปริมาณฝุ่นมีผลต่อสุขภาพคนน้อย (R < 1) และผลการตรวจสมรรถภาพปอดด้วยเครื่องสไปโรมิเตอร์ (Spirometer) พบผู้ที่มีความผิดปกติ ร้อยละ 34.17 จำแนกเป็นความผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัว ร้อยละ 22.6 แบบหลอดลมอุดกั้น ร้อยละ 5.8 และแบบจำกัดการขยายตัวร่วมกับแบบหลอดลมอุดกั้น ร้อยละ 5.8 และพบว่าปัจจัยเสี่ยงด้านระยะเวลาการทำงาน พฤติกรรมการสูบบุหรี่และพฤติกรรมการใช้ผ้าปิดจมูกของคนงานจากการสัมผัสฝุ่นขนาดเล็ก (PM-10) มีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสมรรถภาพปอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ศรายุทธ ลาภบุญเรือง (2552) ได้ทำการศึกษาการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองและสภาวะสุขภาพจากฝุ่นละอองต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในตำบลท่าขอนยาง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาปริมาณของฝุ่นละอองรวมที่มีขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) พฤติกรรมที่มีต่อสภาวะฝุ่นละออง สภาวะสุขภาพและการเจ็บป่วยด้านทางเดินระบบหายใจของประชาชน รวมทั้งความสัมพันธ์ของพฤติกรรมที่มีต่อสภาวะฝุ่นละอองและสภาวะสุขภาพและการเจ็บป่วยด้านระบบทางเดินหายใจของประชาชนในพื้นที่ตำบลท่าขอนยาง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม จากการศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่วัดได้ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ของ TSP และ PM10 จากจุดตรวจวัดทั้งหมด 11 จุด ในพื้นที่ศึกษา พบว่า มีจุดตรวจวัดที่สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานทั้ง TSP และPM10 อยู่ 1 จุด คือ โค้งตลาดคลองถม มีค่าเท่ากับ 0.92 $mg/m^3$ และ 0.31 $mg/m^3$ ตามลำดับ อาการเจ็บป่วยด้านระบบทางเดินหายใจมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมด้านการรับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับฝุ่นละออง (rxy = 0.299) พฤติกรรมด้านการป้องกันตนเองจากฝุ่นละออง (rxy = 0.121) และด้านการดูแลสุขภาพ (rxy = 0.260) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**2.2 กรอบแนวคิดการวิจัย**

**แผนภูมิที่ 7** กรอบแนวคิดการวิจัย