

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะของฝุ่นในบรรยากาศ

ฝุ่นที่มีอยู่ในบรรยากาศ จะมีลักษณะเป็นทั้งอนุภาคของแข็งและของเหลว โดยมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลเดี่ยว (ขนาดของโมเลกุลจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 0.0002 ไมครอน) ขนาดของฝุ่นในบรรยากาศมีตั้งแต่ 0.0002 ไมครอน ถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน จะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศเป็นเวลานานไม่กี่ปีกินได้ถึงหลาย ๆ เดือน ฝุ่นที่มีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 2 ไมครอน) โดยทั่วไปจะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ องค์ประกอบอาจจะเป็นของแข็งและของเหลว เช่น พวกซัลเฟตจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และฝุ่นตะกั่วจากท่อไอเสียยานพาหนะ ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 2 ไมครอน ส่วนมากเกิดขึ้นจากธรรมชาติ การแพร่กระจายจะอาศัยลมพาไป ลักษณะภูมิอากาศ และภูมิประเทศ จะมีผลต่อการเคลื่อนย้าย หรือแพร่กระจายของฝุ่นมากที่สุด

ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน จะมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (brownian motion) ซึ่งเกิดจากการชนกันของโมเลกุล ฝุ่นที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.1-1 ไมครอน จะมีความเร็วที่คงที่ในอากาศที่นิ่ง ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะมีความเร็วในแต่ละอนุภาคไม่เท่ากัน ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมครอน จะมีความเร็วที่คงที่และเคลื่อนที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก อนุภาคฝุ่นต่างๆ ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.0005-5000 ไมครอน ตั้งแต่ขนาดของโมเลกุลจนกระทั่งขนาดของเม็ดทราย (Hines, Ghosh, Loyalka, & Warder, 1993) อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 5 ไมครอน จะสามารถเข้าปอดได้และอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-5.0 ไมครอน จะติดอยู่ที่บริเวณหลอดลม อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.5 ไมครอน จะทะลุผ่านและจะไปสะสมอยู่ที่บริเวณถุงลม อนุภาคที่ล่องลอยอยู่ในอากาศมีหลายชนิด (อุดมลักษณ์ ศรีทัศนีย์, สมพจน์ เตชะมินา, และสมศิริ ใจเปี่ยม, 2535) เช่น

1. อนุภาคที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (viable particles) ซึ่งได้แก่พวกละอองเกสรของพืช จุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา สปอร์ นอกจากนั้นยังรวมถึงแมลงและชิ้นส่วนของแมลง เช่น ขน ปีก ขา ที่ล่องลอยอยู่ในอากาศ อนุภาคเหล่านี้มักเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น โรคหอบหืดบางชนิด โรคติดเชื้อเนื่องจากเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิด

2. อนุภาคเกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต (nonviable particles) มีอยู่มากมายหลายชนิดทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น อนุภาคประเภทที่เป็นดินทราย เกือบแร่ต่างๆ จากทะเล แอสเบสตอส และที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น

2.1 ฝุ่น (dust) เป็นอนุภาคที่เป็นของแข็งเกิดจากการบด ขัดสี ทบ ปั่น ระเบิด เมื่อออกสู่บรรยากาศจะลอยลอยอยู่ในอากาศได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นส่วนใหญ่จะตกกลับสู่พื้นดิน ยกเว้นพวกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน จะสามารถลอยไปตามกระแสลมโดยไม่ตกลงสู่พื้นดิน

2.2 คว้น (smoke) เป็นอนุภาคขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปแล้วจะเล็กกว่า 1 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกคาร์บอน

2.3 ขี้เถ้า (ash) ได้แก่ อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าฝุ่น เป็นสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และแร่ธาตุต่างๆ

2.4 เเขม่า (soot) เป็นอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคเล็กๆ ของคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของวัสดุที่ประกอบด้วยสารพวกคาร์บอน และสารพวกทาร์ (tar) อยู่ด้วย

2.5 ฟุ้ง (fume) เป็นอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปแล้วจะเล็กกว่า 1 ไมครอน มักเกิดจากการควบแน่น (condensation) ของไอจากปฏิกิริยาเคมีบางอย่าง เช่น การหลอมเหลวโลหะหรือการเผาไหม้สารที่มีโลหะผสมอยู่ ตัวอย่างของฟุ้งได้แก่ ออกไซด์ของโลหะต่างๆ รวมทั้งออกไซด์ของตะกั่วที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์

2.6 ละอองไอน้ำ (mist) ได้แก่ อนุภาคที่เป็นของเหลวซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอหรือก๊าซบางอย่าง เช่น การฉีดของเหลวไปในอากาศ มีขนาดตั้งแต่ 500 ไมครอน

เนฟเวอร์ (Nevers, 1995 อ้างอิงจาก Lapple, 1961) ได้จัดพิมพ์แผนภูมิแสดงลักษณะเฉพาะของอนุภาคขนาดต่างๆ จากแหล่งที่มาของอนุภาคต่างๆ กัน ดังตาราง 3

แหล่งที่มาของฝุ่นในบรรยากาศ

ฝุ่นเป็นอนุภาคที่ฟุ้งกระจายอยู่ทั่วไปในบรรยากาศ ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากธรรมชาติ อีกส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ จากรายงานของ SCEP (อุทัย ดิยะวิสุทธิ์ศรี, 2535 อ้างอิงจาก The Study of Critical Environmental Problem, 1970) ได้จำแนกแหล่งที่มาของฝุ่นไว้ 3 แหล่งได้แก่

1. แหล่งทั่วไปตามธรรมชาติ ได้แก่

1.1 จากพายุฝุ่น และจากบริเวณทะเลทราย ขนาดของอนุภาคจะมีรัศมีมากกว่า 0.3 ไมครอน

2. ละอองที่เกิดตามธรรมชาติจากแหล่งมหาสมุทร ละอองพวกนี้เกิดขึ้นจากละอองของ น้ำทะเลที่แพร่กระจายในบรรยากาศแล้วเกิดการระเหยหลายเป็นอนุภาคของเกลือ อนุภาคพวกนี้จะมีรัศมีมากกว่า 0.3 ไมครอน

3. ฝุ่นที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (man-made particle) ได้แก่

3.1 ฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้

3.2 ฝุ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล ระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจนและไฮโดรคาร์บอน (ซึ่งเรียกว่า smog reaction) อนุภาคที่เกิดขึ้นนี้จะมีรัศมีน้อยกว่า 0.2 ไมครอน

เซนเฟลด์ (Seinfeld, 1986) ได้พิจารณาแหล่งที่มาของฝุ่นที่เกิดจากธรรมชาติเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. แหล่งธรรมชาติปฐมภูมิ (primary natural source) เห็นแหล่งใหญ่ที่ทำให้เกิดฝุ่นในธรรมชาติ จะประกอบด้วยฝุ่นที่เกิดจากลมพัด หรือพายุ ละอองของน้ำทะเล ฝุ่นจากภูเขาไฟ และฝุ่นที่เกิดจากไฟป่าหรือไฟไหม้อื่น

2. แหล่งธรรมชาติทุติยภูมิ (secondary natural source) จะเกี่ยวข้องกับวัฏจักรของคาร์บอน กำมะถันและไนโตรเจน และการเปลี่ยนจากก๊าซเป็นของแข็ง

ชนิดและขนาดของฝุ่น

ขนาดของฝุ่นเป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกประเภทของฝุ่น องค์การป้องกันสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (อุทัย ดิยะวิสุทธิศรี, 2535 อ้างอิงจาก U.S.EPA, 1982) ได้กำหนดขนาดของฝุ่นไว้ คือ 0.005 ไมครอน ถึง ประมาณ 100 ไมครอน และจำแนกประเภทของฝุ่นไว้ 2 ชนิด ได้แก่

1. ฝุ่นที่มีขนาดเล็ก (fine particulate matter) กำหนดขนาดไว้ว่ามีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นประเภทนี้จะเป็นอันตรายอย่างมากต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

2. ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ (coarse particulate matter) กำหนดขนาดไว้ว่ามีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 2.5 ไมครอน

สำหรับการเรียกชนิดชนิดของฝุ่น อาจเรียกได้ตามลักษณะโครงสร้าง หรือขบวนการทางอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดฝุ่น เช่น ฝุ่นถ่านหิน (coal dust) ขี้เถ้าถ่านหิน (coal fly ash) ฝุ่นปูน (cement dust) ฝุ่นดิน (soil dust) ฝุ่นซิลิกา (silica dust) ฝุ่นคาร์บอน (carbon black dust) และฝุ่นแอสเบตอส

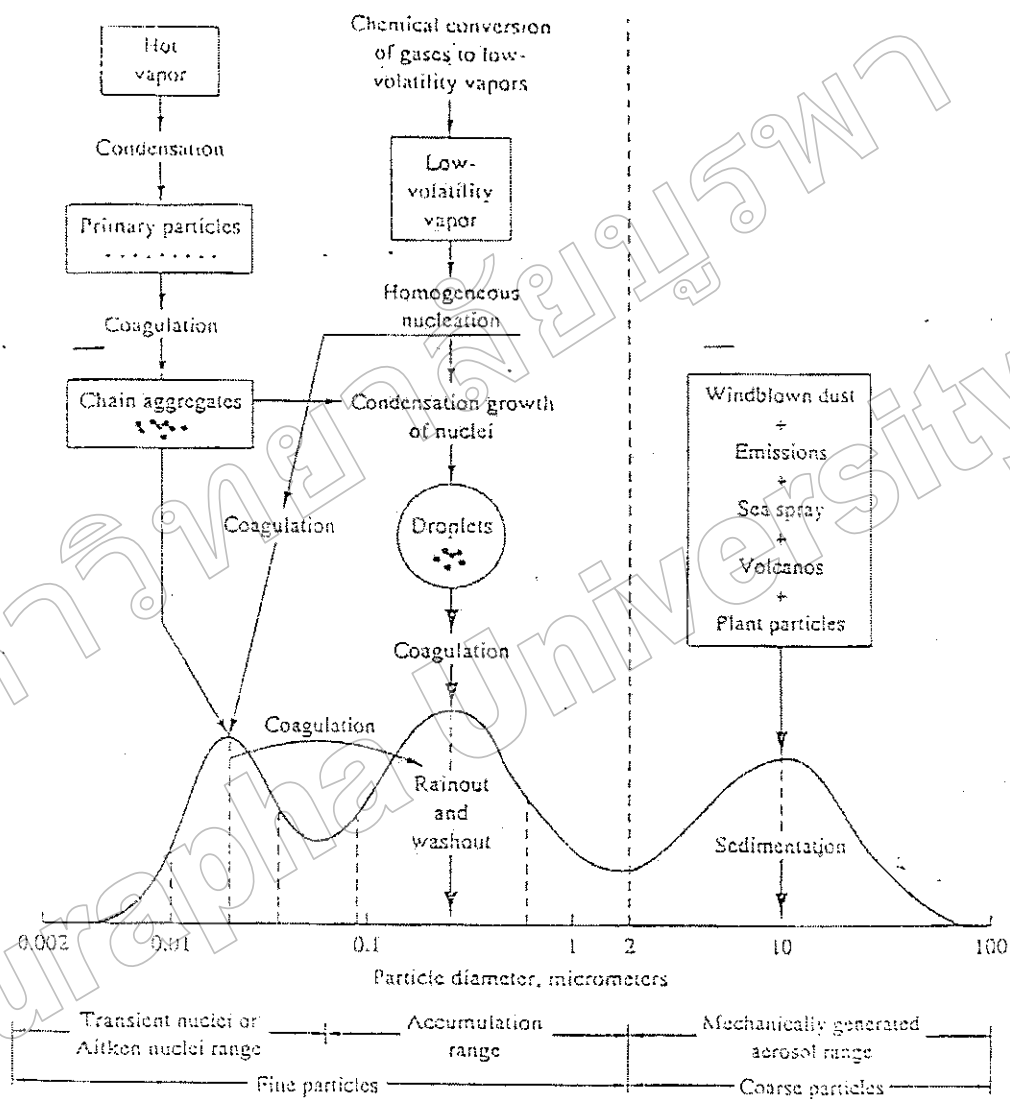
เปอร์กิน (Perkin, 1974) ได้จำแนกชนิดฝุ่นตามลักษณะทางกายภาพและแหล่งกำเนิดดังต่อไปนี้

1. aerosol ฝุ่นที่เกิดจากการรวมตัวของฝุ่นที่เป็นของแข็ง หรือของเหลว ก๊าซ ซึ่งเป็นตัวกลางในการแขวนลอย มีขนาดตั้งแต่ 0.001 ไมครอน ไปจนถึงขนาด 100 ไมครอน
2. dust ฝุ่นในบรรยากาศที่เป็นของแข็ง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเกิดขึ้นจากการแตกตัวของของแข็ง เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากการขุดเจาะ เป็นต้น ขนาดของ dust จะมีช่วงหลากหลายตั้งแต่ขนาดไมครอน จนถึงมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
3. droplet อนุภาคของเหลวซึ่งเกาะตัวกันในสถานะอากาศนิ่งลงสู่พื้นดิน แต่ในสถานะอากาศปั่นป่วนอนุภาคเหล่านี้จะยังคงแขวนลอยในอากาศต่อไป
4. fly ash อนุภาคที่แตกตัวอย่างละเอียดของขี้เถ้าที่ได้จากการเผาผลาญเชื้อเพลิง อนุภาคเหล่านี้อาจจะมีเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่หมด
5. fume ฝุ่นของแข็งที่รวมตัวกับก๊าซ ซึ่งส่วนมากเกิดจากการเผาไหม้โดยทั่วไป มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ส่วนมากจะหมายถึงฝุ่นที่เป็นพิษ
6. coarse particle ฝุ่นทั่วไปที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอน
7. fine particle ฝุ่นทั่วไปที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน
8. respirable particle หรือ inhalate particle ฝุ่นที่มีขนาดตั้งแต่ 10 ไมครอน ลงมา ซึ่งสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้
9. smoke ฝุ่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยมากมักจะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน
10. mist ฝุ่นของเหลวที่เกิดจากการรวมตัวของไอน้ำ มีขนาดตั้งแต่ 2-3 ไมครอน จนถึง 20 ไมครอน
11. fog ฝุ่นประเภท mist ซึ่งรวมตัวเป็นกลุ่มมองเห็นได้
12. smog ฝุ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีแล้ว หรือเป็นการรวมกันของ smoke กับ fog โดยมากจะเกิดขึ้นในเขตเมือง มีขนาด 1-2 ไมครอน

ลักษณะทางกายภาพของฝุ่น

เนื่องจากฝุ่นที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศนั้นมีแหล่งที่มาแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติแตกต่างกันทั้ง ขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น องค์ประกอบทางเคมี การเกาะตัวกัน (cohesiveness) และโครงสร้าง นอกจากนั้น ในขณะของที่อยู่ในบรรยากาศอาจเกิดการกระทำหรือเกิดปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้เกิดความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น ที่สถาบันวิจัยสแตนฟอร์ด ในสหรัฐอเมริกา (Nevers, 1995 อ้างอิงจาก Whitby, 1975) ได้จัดพิมพ์แผนภูมิแสดงลักษณะเฉพาะอนุภาคขนาดต่างๆ จากแหล่ง

ที่มาต่างๆ กัน ดังแสดงในภาพ 1 เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับงานวิจัยและงานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับอนุภาค



ภาพที่ 1 การแจกแจงขนาดของอนุภาคในบรรยากาศ และกลไกการเกิดละอองในบรรยากาศ
(Nevers, 1995 อ้างอิงจาก Whitby, 1975)

ฝุ่นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ จะมีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ การแพร่กระจายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยอาศัยลมพัดพาไป ดังนั้นลักษณะทางภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และสภาพทางอุตุนิยมวิทยา จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนย้าย หรือ การแพร่กระจายของฝุ่นมากที่สุด โดยทั่วไปในธรรมชาติจะมีขบวนการที่จะลดจำนวนฝุ่นในบรรยากาศลง เช่น การเกิดฝนตก ฟ้าคะนอง ขบวนการเช่นนี้จะทำให้ฝุ่นเกิดการจับตัวกัน หรือรวมกับเมฆ แล้วตกลงมาพร้อมกับฝน หรือฝุ่นจะถูกชะล้างโดยน้ำฝน สำหรับฝุ่นที่มีขนาดใหญ่จะเกิดการตกลงมาเองเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

องค์ประกอบของฝุ่น

นอกจากนี้สภาพภูมิอากาศและลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาจะมีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นด้วย ดังนั้น ทั้งขนาด รูปร่าง โครงสร้าง การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การเกาะกันเป็นก้อน จะเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจาย และการตกลงสู่พื้น จากสภาพเหล่านี้จะทำให้ปริมาณ และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้น การพิจารณาปริมาณ และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นจึงเป็นไปในลักษณะของค่าเฉลี่ย อย่างไรก็ตามการศึกษ้องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นในบรรยากาศควบคู่ไปกับข้อมูลของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดโดยตรง อาจทำให้สามารถบอกแหล่งที่มาของฝุ่นในบรรยากาศบริเวณที่สนใจได้

ในตาราง 4 เป็นตัวอย่างของข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของธาตุจากตัวอย่างฝุ่นเกลือทะเล ฝุ่นที่เกิดจากไอเสียของรถยนต์ และฝุ่นจากขี้เถ้าจากการเผาไหม้

ในตาราง 5 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงข้อมูลทางด้านปริมาณธาตุของตัวอย่างฝุ่นดิน ในบรรยากาศ กับปริมาณธาตุของดินที่รู้แหล่งที่มาแล้ว ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าเทียบเคียงใกล้เคียงกัน

บิบเบอร์ และเออร์วิง (Bibbers & Irving, 1974) รายงานว่าฝุ่นประกอบด้วย ละอองเกสรดอกไม้ (มีขนาด 10-50 ไมครอน หรือใหญ่กว่า) และ จุลินทรีย์ ชิ้นส่วนของแมลง และยังพบสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในรูปของอนุภาคนาโนขนาดเล็กละเอียดจากหิน ถ่านหิน และน้ำมัน โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงขนาดกำลัง 100 เมกะวัตต์ ผลิตฝุ่นขึ้นสู่บรรยากาศที่มี ^{226}Ra ประมาณ 400 มิลลิคูรีต่อปี ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ระหว่างปี ค.ศ. 1964-1965 เก็บตัวอย่างจากหลายสถานที่ทั่วสหรัฐอเมริกา ทั้งในเมืองและนอกเมือง ได้ตารางองค์ประกอบของฝุ่นดังตาราง 6

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุในหน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักในเกลือทะเล ผุ่นละออกจากไอเสียของรถยนต์
และปฏิกิริยาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง (Miller, Friendlander, & Hidy, 1972)

	Sea Salt	Automobile	Fuel Oil Particulate		
			PS 400(17)	4 API (17)	(18)
Al	0.00046-0.0055		0.8	7.9	0.8
Ba	0.00014		0.36	0.09	0.1
Br	0.19	7.9(13)			
C(noncarbonate)	0.0035-0.0087		58.1	18.1	
Ca	1.16		0.14	0.28	1.3
Cl	55.04	6.8(13)		0.5	
Cu	-		0.008	0.20	0.2
Fe	0.0005-0.0005	0.4(13)	2.16	2.59	6±1
I	0.00014				
K	1.1				0.2
Mg	3.69		0.12	0.42	0.00
Mn	0.0000025-0.000025		0.02	0.02	0.06
Na	30.61		0.67	2.22	5±1
NH ₄ ⁺	0.0000014-0.000014				
NO ₃ ⁻	0.000003-0.002				
Pb	0.000012-0.000014	40(13)	0.09	0.18	0.07
Si	0.00014-0.0094		0.28	0.45	1
SO ₄ ²⁻	7.68		17.5	25.0	
V	0.0000009		1.70	3.20	7±2
Zn	0.000014-0.000040	0.14(16)		0.05	0.02

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นดินในบรรยากาศเปรียบเทียบกับดิน
(Miller, Friendlander, & Hidy, 1972)

	% in Dust ^b	% in Soil ^c
Al	8.2±1.1	6.9±1.5
Ba	0.06±0.01	0.10±0.05
Ca	1.5±0.0	1.0±0.4
Co	0.0002±0.0005	0.0008±0.0002
Cu	0.008±0.005	0.002±0.001
Fe	3.2±0.05	2.0±0.4
In	0	0
K ^a	1.5±0.8	2.5±1
Mg	1.4±0.5	0.7±0.4
Mn	0.11±0.02	0.06±0.02
Na	2.5±0.3	2.4±0.4
NI	0.004±0.001	0.002±0.001
Pb	0.02±0.005	0.006±0.001
Si	20±2	26±2
Ti	0.4±0.05	0.3
V	0.006±0.002	0.004±0.002
Zn	< 0.01	< 0.01

^a Analyzed by X-ray fluorescence ; all other element determined by spectrographic analysis

^b Average of two soil dust samples

^c Average two soil dust samples used as sources for dust samples

ตารางที่ 6 แสดงองค์ประกอบของฝุ่น (Bibbers & Irving, 1974)

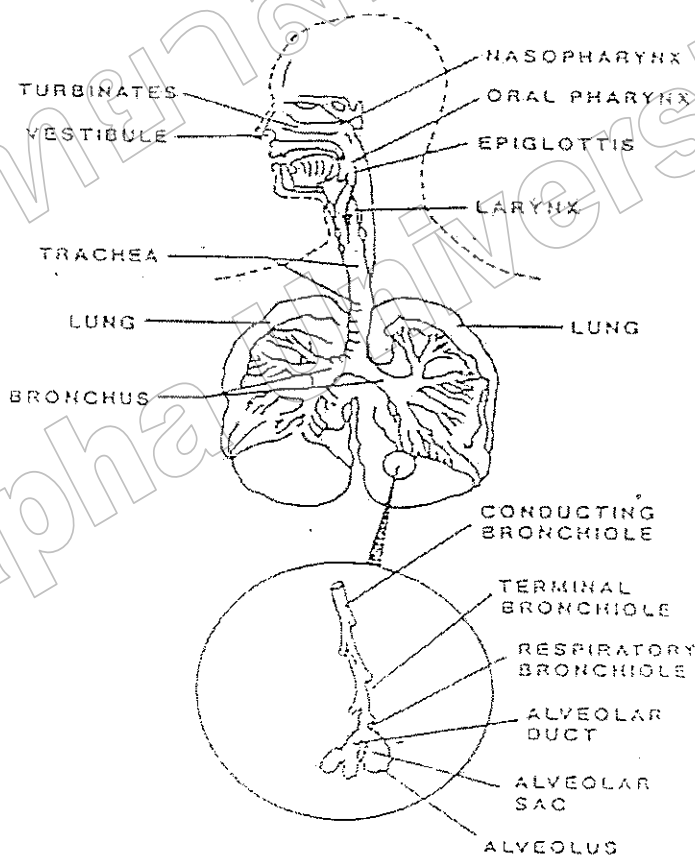
Composition of Particulate Matter	Number of Stations	Concentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Arith.avg. Unless noted	Maximum
Urban stations			
Particle	291	105(90) ^a	1254
Fractions :			
Benzene soluble organics	218	6.8	-
Nitrates	96	2.6	39.7
Sulfates	96	10.6	101.2
Ammonium	56	1.3	75.5
Antimony	35	0.001	0.160
Arsenic	133	0.02	-
Beryllium	100	0.0005	0.010
Bismuth	35	0.0005	0.061
Cadmium	35	0.002	0.420
Chromium	103	0.015	0.330
Cobalt	35	0.0005	0.060
Copper	103	0.09	10.00
Iron	104	1.58	22.00
Lead	104	0.79	8.60
Manganese	103	0.10	9.98
Molybdenum	35	0.005	0.78
Nickel	103	0.034	0.460
Tin	83	0.02	0.50
Titanium	104	0.04	1.10
Vanadium	99	0.050	2.200
Zinc	99	0.67	58.00
Nonurban stations			
Particle	32	37(28) ^a	312
Fractions :			
Benzene soluble organics	28	1.2	-
Arsenic	24	0.005	0.02

^aGeometric mean for all stations.

ผลกระทบทางสุขภาพจากฝุ่นต่อมนุษย์

ฝุ่นในบรรยากาศ หรือองค์ประกอบของฝุ่นกับสารมลพิษอื่นๆ เป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างมาก (Perkin, 1974) ฝุ่นสามารถเข้าร่างกายโดยระบบทางเดินหายใจ จะทำลายอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ ประมาณว่าร้อยละ 50 ของฝุ่นขนาดระหว่าง 0.01 และ 0.1 ไมครอน ได้ตกค้างอยู่ในส่วนของปอด ดังรูปที่ 3 ฝุ่นในบรรยากาศส่งผลร้ายต่อมนุษย์ได้ 3 ทางต่อไปนี้

1. อนุภาคฝุ่นเป็นพิษเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมี หรือ คุณสมบัติทางกายภาพ
2. อนุภาคฝุ่นไปส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ
3. อนุภาคฝุ่นอาจจะดูดซึมสารพิษเข้าไปในตัว



ภาพที่ 2 ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ (Hines, Ghosh, Loyalka, & Warder, 1993)

ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์แบ่งได้ 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

ส่วนที่ 1 ส่วนจมูกร่วมคอหอย (nasopharyngeal section) คือ จมูก ปาก และกล่องเสียง

ส่วนที่ 2 ส่วนคอหอยร่วมหลอดลม (tracheobronchial system) คือ ส่วนหลอดลมถึงขั้วปอด

ส่วนที่ 3 ส่วนเกี่ยวกับปอด (pulmonary structure) คือ ส่วนแขนงขั้วปอดไปถึงถุงลมขนาดเล็ก

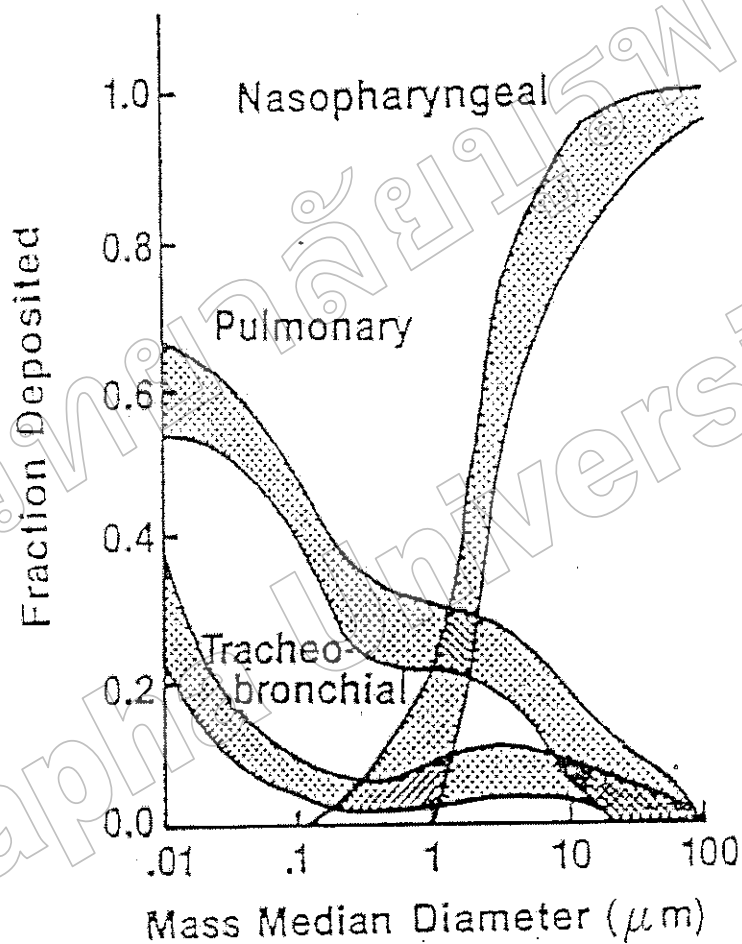
กลไกการตกค้างของฝุ่นในทางเดินหายใจ (มาริษา เพ็ญสุด ภูษิณ โยกุล, 2542) ได้แก่

1. การปะทะเนื่องจากความเฉื่อย (inertial impaction)
2. การตกตะกอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (sedimentation)
3. การแผ่ซ่านของโมเลกุลแบบบราวเนียน (diffusion)

กลไกการตกค้างของฝุ่นในระบบทางเดินหายใจแสดงไว้ในตาราง 7

ตารางที่ 7 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกลไกการตกค้างของฝุ่นในส่วนต่างๆของระบบหายใจ (มาริษา เพ็ญสุด ภูษิณ โยกุล, 2542 อ้างอิงจาก Casarett, 1972)

ขนาดของฝุ่น	กลไกและบริเวณตกค้างของฝุ่นในทางเดินหายใจ
5 – 30 ไมครอน	การปะทะเหตุความเฉื่อย จมูกและคอหอยส่วนจมูก
1 – 10 ไมครอน	การตกตะกอน คอหอยและหลอดลม หลอดลมคอและหลอดลมฝอย
1 ไมครอนและเล็กกว่า	การแผ่ซ่าน ถุงลม บริเวณถุงลม



ภาพที่ 3 แสดงการแตกตัวของฝุ่นขนาดต่างๆ ภายในส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจ (Godish, 1991 อ้างอิงจาก Comar & Nelson, 1975)

กลไกการทำอันตรายของอนุภาคมลสาร

มาริษา เพ็ญสุต ภูภิญโญกุล (2542) ได้กล่าวถึงกลไกการทำอันตรายของอนุภาคมลสารไว้ดังนี้

1. การอักเสบของถุงลมปอด (alveolar inflammation) การคั่งค้างของอนุภาคมลสารขนาดเล็กมากเกินเกิดจากความล้มเหลวของเม็ดเลือดขาวที่จะจับและทำลายอนุภาคมลสารขนาดเล็ก หลักฐานในสัตว์ทดลองนำไปสู่สมมติฐานที่ว่า อนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กและไวต่อปฏิกิริยาทางเคมีจะตอบสนองอย่างเดียวกันในมนุษย์ ทำให้เกิดการอักเสบของปอดพบได้จากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในพลาสมาที่จะกลายไฟบรินและมีจำนวนเม็ดเลือดขาวที่เพิ่มมากขึ้น

2. การจับตัวเป็นลิ่มของทางเดินโลหิต (clotting pathway) เม็ดเลือดขาวที่ถูกกระตุ้นโดยสิ่งเร้าต่างๆ นำไปสู่กระบวนการตกตะกอนของเลือดโดยโปรตีนในพลาสมาที่เปลี่ยนไปเป็นโปรตีน (ไฟบริโนเจน) ที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดซึ่งหลั่งออกมาจาก pneumatoocytes เนื่องจากการอักเสบของเซลล์ถุงลมในปอด มีส่วนส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนของเลือดและเป็นสาเหตุของอุบัติการณ์ของโรคหัวใจล้มเหลว

3. ความข้นหนืดของพลาสมา (plasma viscosity) การศึกษาในเยอรมันนี (มาริษา เพ็ญสุต ภูภิญโญกุล, 2542 อ้างอิงจาก Peters, Doring, Wichmann, & Godden, 1995) พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของพลาสมากับการเปลี่ยนแปลงระดับมลพิษทางอากาศในกลุ่มผู้หญิงและกลุ่มผู้ชายไม่สูบบุหรี่ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของโลหิตเนื่องมาจากการอักเสบของเซลล์ในถุงลมปอด นำไปสู่ปฏิกิริยาเฉียบพลันทางพยาธิวิทยาที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นในอากาศและอุบัติการณ์การเสียชีวิต

4. การถูกกระตุ้นของทางผ่านอากาศในท่อหายใจ (airway reactivity) การหดตัวของกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นเมื่อตัวรับสัมผัสในหลอดลมคอ (trachea) และหลอดลมใหญ่ (large bronchi) ถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าเช่น อากาศเย็น ควันบุหรี่ และมลพิษทางอากาศ สารเคมีที่หลั่งจากกล้ามเนื้อเรียบของทางเดินหายใจที่สำคัญ คือ สารก่อภูมิแพ้ และสารที่มีฤทธิ์กระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบ เช่น พลาสตาเกลนดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหลอดลมของผู้ป่วยเป็นโรคหืด จะทำให้มีอาการกำเริบได้มาก การหดตัวของหลอดลมมีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของทางผ่านอากาศลดลง ซึ่งมีผลทำให้เพิ่มแรงต้านของอากาศที่ผ่านเข้าออกในท่อหายใจ การหดตัวของหลอดลม ทำให้เกิดอาการหายใจมีเสียงวี๊ดหรือฮืดในอก ไอ แน่นหน้าอก หายใจลำบาก และอาการรุนแรงขึ้นเมื่อออกกำลังกาย

ปริมาณอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นที่หายใจเข้าปอดได้ งานวิจัยตั้งแต่ยุค ค.ศ. 1980 ได้นำมาใช้เป็นตัวชี้วัดในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากการรับสัมผัสฝุ่น งานวิจัยในปัจจุบันบ่งชี้ว่าอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ทำให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพโดยเฉพาะจำนวนผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ดังตาราง 8 และอัตราการตาย ดังตาราง 9

ตารางที่ 8 ผลกระทบต่อสุขภาพอย่างเฉียบพลันเนื่องจากฝุ่นและการรักษาตัวในโรงพยาบาลประจำวัน (มาริษา เพ็ญสุด ภูัญญ์ญกุล, 2542)

การเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลประจำวันอันเนื่องมาจากการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ	สถานที่วิจัย	ตัวแปร	% การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฝุ่นและการรักษาตัวในโรงพยาบาลประจำวันต่อการเปลี่ยนแปลงของ $PM_{10} 10 \mu g / m^3$ (95% ช่วงระดับความเชื่อมั่น)
โรคระบบการหายใจ	Brimingham, UK	PM_{10}	2.37 (1.10-3.64)
	Paris, France	PM_{13}	0.44 (0.05-0.8)
	Toronto, Canada	$PM_{2.5}$	3.4 (0.4 – 6.4)
	Bangkok, Thailand	PM_{10}	1.8
โรคหืด	Toronto, Canada	$PM_{2.5}$	2.1 (-0.8 – 5.1)
โรคหลอดลมอักเสบ	Bangkok, Thailand	CO	4.5 (0.9 – 10.5)*
โรคหลอดเลือดหัวใจ	Bangkok, Thailand	PM_{10}	1.7

estimate by using gradient of regression relationship between CO and TSP, assuming CO-related particle fraction is PM_{10}

ตาราง 8 จากการศึกษาในเมืองต่างๆ พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วในวันที่มีระดับของฝุ่นที่ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง) สัมพันธ์กับการรักษาตัวในโรงพยาบาลประจำวันอันเนื่องมาจากการเจ็บป่วยด้วยโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจประมาณร้อยละ 0.5-4.5 ความสัมพันธ์นี้อยู่ในช่วงเดียวกันกับการศึกษาในเมืองอื่นๆ ทั่วโลก

ตารางที่ 9 อัตราการตายและฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (มาริษา เพ็ญสุด ภูภิญญกุล, 2542)

สถานที่ทำการวิจัย	คณะวิจัย	% การเปลี่ยนแปลงการตายต่อการเปลี่ยนแปลงของ PM_{10} $10 \mu g/m^3$ (95% ช่วงระดับความเชื่อมั่น)
St.Louis, MO	Dockery, และคณะ (1992)	1.5 (0.1-2.98)
Kingston, TN	Dockery, และคณะ (1992)	1.6 (-1.3-4.6)
Utah Valley, UT	Pope, และคณะ (1992)	1.5 (0.9-2.1)
Birmingham, AL	Schwartz, และคณะ (1993)	1.0 (0.2-1.9)
Santiago, Chile	Ostro, และคณะ (1995)	1.0 (0.4-1.5)
Birmingham, UK	Wordley, และคณะ (1996)	1.1 (0.1-2.1)
Valencia, Spain	Ballester, และคณะ (1996)	1.0 (0.4-1.5)
Bangkok, Thailand	Hagler Bailly (1998)	1 – 1.7

ตาราง 9 จากการศึกษาในทวีปต่างๆ พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วในวันที่ระดับของฝุ่นที่ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง) สัมพันธ์กับการตายรายวัน

โรคที่ฝุ่นในบรรยากาศมีผลต่อมนุษย์ ได้แก่ มะเร็งปอด , หลอดลมอักเสบ การระคายเคืองต่อผิวหนังภายนอกของมนุษย์ ฝุ่นที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก ฝุ่นที่มีขนาดเล็ก เป็นประเภทที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยตรงโดยผ่านระบบทางเดินหายใจ และจะเกิดการสะสมตัวภายในถุงลมของปอด ทำให้เกิดการอักเสบเป็นแผลเรื้อรัง และก่อให้เกิดมะเร็งในปอดได้

ตัวอย่างฝุ่นของสารบางอย่างที่เป็นต้นเหตุทำให้เนื้อเยื่อของปอดเกิดการอักเสบเป็นแผลขึ้น พร้อมทั้งชื่อของโรคที่มีสาเหตุมาจากสารนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 10 ฝุ่นที่มีโลหะหนักปนเปื้อนหรือฝุ่นของโลหะหนัก หรือฝุ่นของสารประกอบโลหะหนัก ฝุ่นประเภทนี้จะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์เป็นอย่างมากซึ่งเป็นผลมาจากพิษภัยของโลหะหนักที่มีต่อมนุษย์ฝุ่นนอกจากจะทำให้เกิดผลโดยตรงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์แล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหาทางด้านทัศนวิสัยอีกด้วย

อรุณ โชติพงษ์ (2541) ได้กล่าวถึงผลกระทบของโลหะต่อสุขภาพอนามัย ว่า ขบวนการอุตสาหกรรมมีผลในการนำโลหะสู่สิ่งแวดล้อม จากขบวนการถลุงแร่ การสูญเสียของโลหะทำให้

เกิดการปนเปื้อนในอากาศ น้ำ และดิน ดังนั้น โลหะเหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และสัตว์
 ต่างๆ การที่โลหะเข้าสู่ร่างกายอาจจะไม่มีการตอบสนอง ทำงานเหมือนเป็นตัวกระตุ้น หรือผลการ
 ตอบสนองต่อสารพิษ แม้ว่าโลหะจำเป็นปริมาณสูงก็สามารถเกิดเป็นพิษได้ โลหะสามารถทำ
 ปฏิกิริยากับ โปรตีน DNA และ RNA การก่อให้เกิดผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม และสารอื่นๆทำ
 ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางร่างกาย โลหะอาจมีผลในการยับยั้งเอนไซม์และผลผลิตเปลี่ยนในแง่
 ของอัตราเชิงของการย่อยด้วยการกระตุ้นของสารเมตาบอลิซึม

ตารางที่ 10 สารที่เป็นต้นเหตุก่อให้เกิดผลที่เนื้อเยื่อของปอด (Kupchella & Hyland, 1989)

Material	Disease Designation
Inorganic fibers and dusts	
Crystalline silica	Silicosis
Asbestos	Asbestosis
Talc	Talcosis
Coal (pure)	Coal workers' pneumoconiosis
Kaolin	Kaolinosiis
Graphite	Graphite lun
Organic fibers and dusts	
Cellulose	Bagassosis
Cotton	Byssinosis
Flax	Byssinosis
Hemp	Byssinosis
Metallic Fumes	
Tin oxide	Stannosis
Iron oxide	Siderosis
Beryllium oxide	Berylliosis

160057

๖
 616.2
 57847
 ๑

การออกฤทธิ์ในระบบต่างๆของสัตว์ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับและการจับถ่าย
จำนวนอิเล็กตรอนในระดับขั้นสุดท้ายของโลหะ และพฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้า ความเป็นพิษเนื่องมา
จากการเปลี่ยนแปลงผลจากโลหะบางอย่างซึ่งไม่สามารถรักษาได้ การเกิดเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน
ซึ่งเกิดจากการได้รับโลหะในปริมาณสูง ส่วนอาการเรื้อรังเป็นผลจากการได้รับโลหะในปริมาณ
น้อยเป็นระยะเวลานาน ซึ่งในกรณีนี้ระยะแรกของการได้รับจะไม่แสดงอาการและต่อมามีอาการ
ในระดับน้อย ซึ่งจะค่อยเป็นค่อยไป นำไปสู่ปัญหารุนแรง การเป็นพิษเรื้อรังสามารถหายได้โดยการ
นำโลหะออกจากร่างกาย การสะสมของโลหะไม่จำเป็นทำให้เกิดพิษในเนื้อเยื่อ เนื่องจากความแก่
หรือการรักษาคุณภาพกลไกการจับถ่ายไม่เพียงพอ เช่น การสะสมแคดเมียมในไต หรือการสะสม
ดีบุกในหัวใจ ปอด และต่อมลูกหมาก เส้นเลือดอุดตันอาจเกิดจากการสะสมของโลหะที่ไม่ทราบ
ชนิด การหายใจเข้าหายใจได้ไม่มีการกรองอยู่เสมอเป็นผลทำให้เกิดการสะสมของโลหะและเกลือของ
โลหะอลูมิเนียม วานาเดียม ไททาเนียม ดีบุก สตรอนเตียม โครเมียม ตะกั่วและแคดเมียม และ
สามารถละลายเข้าสู่ของเหลวในปอด ความเข้มข้นของโลหะในเนื้อเยื่อเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามอายุ
โลหะและสารประกอบในอากาศจะถูกหายใจเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อปอด ซึ่งจะไม่เข้าสู่กระบวนการ
เมตาบอริซึมอย่างรวดเร็ว หรือถูกดูดซับในระบบไหลเวียนในปอดและจะกระจายไปยังเนื้อเยื่ออื่นๆ
หรือขับออกในปัสสาวะและน้ำดี การละลายของโลหะในของเหลวที่อยู่ภายในปอดได้ไม่ดีและไม่
มีการรักษาคุณภาพของกลไกการจับถ่ายจะเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบโลหะในปอดและใน
เนื้อเยื่ออื่นๆ เกลือของอลูมิเนียม วานาเดียม ไททาเนียม สตรอนเตียม โครเมียม ตะกั่ว และแคดเมียม
สะสมในปอดมาอายุ เนื่องจากไม่สามารถละลายได้ในของเหลวภายในปอด

การประเมินความเสี่ยงต่อพิษวัตถุอันตราย

พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 (พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พุทธศักราช 2535,
2535) ให้คำจำกัดความของคำว่า “วัตถุอันตราย” (ซึ่งรวมถึงของเสียอันตราย) ว่า

1. วัตถุระเบิดได้
2. วัตถุไวไฟ
3. วัตถุออกซิไดซ์และวัตถุเปอร์ออกไซด์
4. วัตถุมีพิษ
5. วัตถุที่ทำให้เกิดโรค
6. วัตถุกันมันตรังสี
7. วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม
8. วัตถุกัดกร่อน

9. วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง

10. วัตถุอย่างอื่น ไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์ หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อม

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, พัฒนา มุลพฤกษ์, และ คำรงรัตน์ มุ่งเจริญ (2541) กล่าวว่า ของเสียดังกล่าว หมายถึง ของเสียหรือสิ่งที่เจือปนด้วยของเสียที่เป็นของเหลว ของแข็งหรือก๊าซ ที่มีความเข้มข้น หรือคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีหรืออื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการตายหรือการเจ็บป่วย ทั้งที่รักษาได้และรักษาไม่ได้ ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม

ลักษณะของของเสียดังกล่าวโดยทั่วไปแล้วขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย คือ

1. ความไวในการติดไฟ (ignitibility)
2. การเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (reactivity)
3. การกัดกร่อน (corrosivity)
4. ความเป็นพิษ (toxicity)
5. การถูกชะล้างได้ (leachability)
6. การทำให้เกิดโรค (pathogenicity)

โครเมียม (Chromium, Cr)

โครเมียมเป็นโลหะหนักซึ่งมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 52.01 เป็นสมาชิกของหมู่ธาตุ VIB หรือ กลุ่ม transitional elements มีวาเลนซ์เท่ากับ 3 และ 6 (ไมตรี สุทธจิตต์, 2534)

แหล่งเกิดในสิ่งแวดล้อม

โลหะโครเมียมถูกใช้มากในการชุบเคลือบโลหะเพื่อกันสนิมและให้เป็นเงางาม ใช้ใส่ในโลหะผสมทั้งหลายโดยเฉพาะในเหล็กกล้า สารประกอบโครเมต (chromate) ถูกใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สารพวกไดโครเมต (dichromate) เป็นส่วนประกอบของสีย้อมวัสดุต่างๆ และผสมในน้ำกรดแบตเตอรี่ สังกะสีโครเมตใช้เป็นสีรองพื้นก่อนเคลือบด้วยสีอย่างอื่น Cr_2O_3 และกรมโครมิกมีฤทธิ์กัดเนื้อเยื่อ จึงใช้เป็นยากัดหูดและยาทาภายนอกในร่างกาย ในการชุบโลหะด้วยโครเมียม เขาจะแช่โลหะที่ต้องการชุบลงในสารละลายของกรดโครมิก และผ่านกระแสไฟฟ้าตรงลงไปในอิเล็กโทรด ขบวนการชุบโครเมียมนี้จะมีความร้อนทำให้เกิดละอองเล็กๆ ของกรดโครมิกเดือดกระจายขึ้นมาในอากาศเหนือถึงขบวนการนั้นอยู่เสมอ จึงทำให้นบุคคลผู้มีอาชีพเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมชุบโครเมียมได้รับสารโครเมียมสะสมทางปอดเป็นประจำและเกิดลมปวขึ้นได้

ความเป็นพิษของโครเมียม

กรดโครมิกหรือสารโครเมททำลายเนื้อเยื่อเฉพาะแห่งโดยการทำลายสภาพธรรมชาติของโปรตีน ทำให้กลายเป็นแผลพุพองตามผิวหนังซึ่งเรียกว่า “chromic holes” ทำให้โพรงจมูก (nasal septum) เป่งบวม ทำให้มีการระคายเคืองของตาและทางเดินลมหายใจ ถ้าได้รับสารประกอบโครเมทเข้าไปตลอดเวลาทางปาก จะทำให้ปวดท้อง กระเพาะลำไส้เป็นแผลอักเสบ มีอาการอ่อนเพลียและปวดตามข้อ มีตับอักเสบซึ่งอาจร่วมกับดีซ่านได้ เราถือว่าสารโครเมทเป็นทั้งสารก่อการกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง เพราะว่ามันรบกวนการสังเคราะห์ DNA ในเซลล์ มีรายงานที่ชาวอเมริกันและชาวเยอรมันที่ทำงานอยู่ในโรงงานผลิตเกลือโครเมทมานานและตายไปเนื่องจากสาเหตุอะไรก็ตาม ประมาณ 20% ของคนงานที่ตายทั้งหมดจะมีมะเร็งของปอด และประมาณ 30% ตายเนื่องจากมะเร็งที่อวัยวะส่วนอื่น เมื่อเทียบกับการเกิดมะเร็งของคนทั่วไปที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับสารประกอบโครเมียมแล้ว ก็พบว่าอุบัติการณ์ของการเกิดมะเร็งในคนงานกลุ่มดังกล่าวสูงกว่าคนทั่วไปถึง 16-25 เท่า มะเร็งของปอดที่เกิดจากพิษโครเมียมมักจะพบในคนงานที่มีอยู่ระหว่าง 50-70 ปี การฝังโลหะโครเมียมลงในกล้ามเนื้อของกระต่ายไว้นานถึง 4 ปี จะทำให้กระต่ายมีเนื้อเยื่อมะเร็งชนิดซาร์โคมา (sarcoma) ในบริเวณที่ฝังโลหะนั้น ตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำดื่มไม่ควรเกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และในอากาศบริเวณที่มีชุมชนอาศัยไม่ควรเกิน 0.028 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การประเมินความเสี่ยง

สถาบันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ได้ให้คำจำกัดความของการประเมินความเสี่ยง และการจัดการความเสี่ยง (พาลาก สิงหเสนี, 2540 อ้างอิงจาก NRC, 1983) ว่าการประเมินความเสี่ยง (risk assessment) หมายถึง การชี้ความน่าจะเป็นของผลในทางที่เลวลงจากการสัมผัสสารนั้น ส่วนการจัดการความเสี่ยง (risk management) หมายถึง กระบวนการในการกำหนดนโยบาย และแนวทางปฏิบัติ จากผลการประเมินความเสี่ยงรวมทั้งคำนึงถึงสภาพเศรษฐกิจ สังคม และการเมืองด้วย

ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

พาลาก สิงหเสนี (2540 อ้างอิงจาก NRC, 1983) กล่าวถึงขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงซึ่งประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 การชี้ให้เห็นถึงอันตราย (hazard identification) เป็นการประเมินเชิงคุณภาพ เพื่อตอบคำถามว่า วัตถุอันตรายชนิดใดชนิดหนึ่งมีความเป็นพิษในตัวเองมากน้อยเพียงใด หรืออีก

นัยหนึ่ง มีความน่าจะเป็นไปได้เพียงใดที่วัตถุอันตรายนั้นจะแสดงผลอันไม่พึงประสงค์ในลักษณะต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่สุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณ (dose-response assessment) หรือบางครั้งเรียกว่า hazard characterization (พาลาก สิงห์เสนี, 2540 อ้างอิงจาก WHO, 1995) เป็นการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัตถุอันตรายที่ให้และผลการตอบสนองที่สังเกตพบ ความสัมพันธ์นี้มักได้จากการอนุมานผลการทดสอบในสัตว์ทดลองที่ได้รับวัตถุอันตรายในปริมาณที่สูง หรือจากการศึกษาทางระบาดวิทยา ในการใช้ข้อมูลการทดสอบในสัตว์ทดลองมาประเมินความเสี่ยงอันตรายในสภาพการใช้ของมนุษย์นั้นต้องทำการอนุมานหลายประเด็น โดยเฉพาะประเด็นเกี่ยวกับ

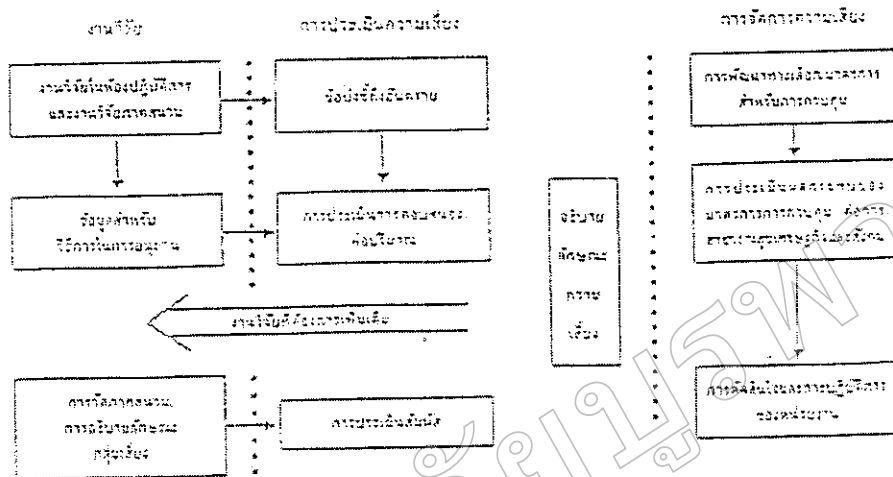
- การอนุมานเนื่องจากความแตกต่างระหว่างชนิดของสัตว์ทดลอง ซึ่งมีขนาด ช่วงชีวิต เมตาโบลิซึม แตกต่างจากมนุษย์ การดูดซึมสารต่างกัน ทำให้ต้องมีการอนุมานขนาดสัตว์ทดลองเมื่อใช้สัตว์ทดลองชนิดต่างๆ ในการทดสอบพิษ

- การอนุมานขนาดและผลที่คาดว่าจะเกิด เมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับขนาดและผล วัตถุอันตรายขนาดต่ำมาจากสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นสภาพที่มนุษย์ได้รับจริง เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการทดสอบในสัตว์ทดลองที่ได้รับวัตถุอันตรายในขนาดสูงกว่านั้นมาก

วิธีอนุมานข้อมูลดังกล่าว ในปัจจุบันยังคงมีความแตกต่างของวิธีการและค่าที่นำมาใช้ รวมถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีผู้คิดขึ้น เพราะความแตกต่างดังกล่าวเป็นเหตุให้ค่าตัวเลขการประเมินความเสี่ยงต่อพิษของวัตถุอันตรายมีความแตกต่างกันได้ (พาลาก สิงห์เสนี, 2540 อ้างอิงจาก U.S.EPA, 1992 และ Freedman & Navidi, 1989)

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินสัมผัส (exposure assessment) เนื่องจากการสัมผัสมีความสัมพันธ์กับขนาดของวัตถุอันตรายในร่างกาย และขนาดของวัตถุอันตรายในร่างกายมีความสัมพันธ์กับพิษของวัตถุอันตราย ดังนั้นการสัมผัสจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการประเมินความเสี่ยงจากพิษของวัตถุอันตราย

ขั้นตอนที่ 4 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (risk characterization) เป็นการนำข้อมูลที่รวบรวมในขั้นตอนที่ 1, 2 และ 3 นำมาเชื่อมโยงเพื่อประเมินความรุนแรง หรือความเป็นไปได้ที่จะเกิดพิษจากวัตถุอันตราย และเมื่อได้ผลจากการประเมินความเสี่ยงจากพิษของวัตถุอันตรายตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วอย่างมีระบบ จึงนำผลนั้นมาพิจารณาการจัดการความเสี่ยงอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนในการประเมินความเสี่ยง และการจัดการความเสี่ยงขององค์การสภาวิทยาศาสตร์ (พาลาก สิงห์เสนี, 2540 อ้างอิงจาก NRC, 1983)

การประเมินสัมผัส (exposure assessment)

การสัมผัส หมายถึง “การสัมผัสวัตถุอันตรายบนผิวหนังของร่างกาย ได้แก่ ผิวหนัง หรือ ช่องเปิด เช่น ปาก จมูก” (พาลาก สิงห์เสนี, 2540 อ้างอิงจาก U.S.EPA, 1992) วัตถุอันตรายจาก แหล่งปล่อยต้องเคลื่อนย้ายไปยังจุดสัมผัส โดยมีวิถี (path-ways) ของการเคลื่อนย้ายในสิ่งแวดล้อม (พาลาก สิงห์เสนี, 2540 อ้างอิงจาก Holdgate, 1974) ทำให้มนุษย์ได้รับวัตถุอันตรายจากการกิน (ingestion) การหายใจ (inhalation) และจากการสัมผัส (contact) การประเมินการได้รับสัมผัส เป็นการประเมินเชิงปริมาณ รวมถึงวิถีทางเข้าสู่ร่างกาย และการประเมินปริมาณที่เข้าสู่ร่างกาย การ ประเมินต้องมีการบ่งชี้แหล่งที่มีศักยภาพในการปล่อยสารอันตราย และควรมีการวัดสารอันตราย เพื่อพิจารณาว่ามีการได้รับสัมผัสสารอันตรายในระหว่างกระบวนการหรือในสิ่งแวดล้อมที่มีสาร อันตรายนั้นหรือไม่ การประเมินการได้รับสัมผัสอาจทำได้โดยการประมาณความเข้มข้นของสาร อันตรายที่จุดสัมผัสบนร่างกาย เช่น บนผิวหนัง หรือทางเดินอาหาร หรือเป็นการประเมินความ เข้มข้นของสารอันตราย หรือเมตาบอไลต์ในของเหลวต่างๆ ในร่างกาย เช่น โลหิต ปัสสาวะ หรือ ในเนื้อเยื่อ เรียกว่าการติดตามผลทางชีวภาพ (biomonitoring) เพื่อประมาณการได้รับสัมผัส

ขั้นตอนของกระบวนการในการประเมินการได้รับสัมผัส ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 การพิจารณาวิถีทางของวัตถุอันตรายที่มีความสำคัญส่วนต่อการได้รับ สัมผัสของหลักประชากร ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมที่มนุษย์ปฏิบัติในแต่ละวันจะเป็นตัวกำหนดการได้ รับสัมผัสวัตถุอันตราย เช่น อุบัติเหตุในระหว่างการขนส่งวัตถุอันตราย ขนาดของวัตถุอันตรายที่ได้

รับสัมผัสจากการเกิดอุบัติเหตุมักสูงจนก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ได้รับสัมผัส การประกอบอาชีพ เช่น เกษตรกรทำงานฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช คนงานทำงานหลอมแบตเตอรี่ ในกระบวนการทำงาน เหล่านี้ หากมาตรฐานความปลอดภัยต่อคนงานยังไม่สูงพอ เช่น ยังมีการรั่วไหลของวัตถุอันตราย ออกจากกระบวนการผลิต หรือผู้ทำงานไม่ใส่เครื่องป้องกันตัว (protective clothings) ก็อาจก่อให้เกิดการสัมผัสในระดับสูง ในบ้านเรือน การใช้วัตถุอันตรายในบ้านเรือน เช่น วัตถุอันตรายระเหยได้ สารกำจัดศัตรูพืชที่สลายตัวช้า เหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสัมผัสกับวัตถุอันตรายได้

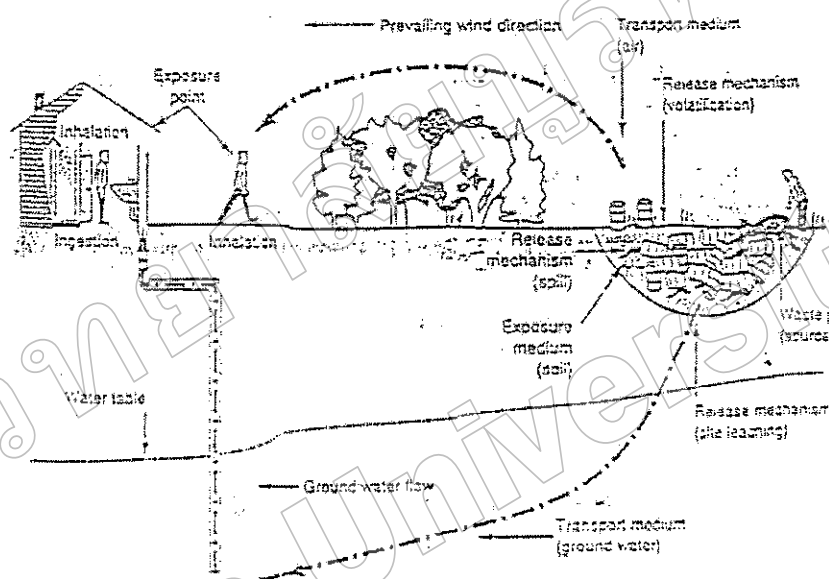
ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาแหล่ง สถานที่ ช่วงเวลา และปริมาณที่วัตถุอันตรายถูกปล่อยจาก แหล่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยชี้ให้เห็นว่ามนุษย์น่าจะได้รับสัมผัสกับวัตถุอันตรายที่ต้องการประเมิน หรือไม่ ในลักษณะใด แหล่งของวัตถุอันตราย ได้แก่ ปล่องไฟของโรงงาน ท่อน้ำทิ้งของโรงงาน ท่อไอเสียรถยนต์ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาความเข้มข้นของวัตถุอันตรายในภาคต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมเพื่อ ประเมินการได้รับสัมผัสปริมาณของวัตถุอันตรายที่จุดใดจุดหนึ่ง เป็นผลสืบเนื่องมาจากปริมาณของ วัตถุอันตรายที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม (ภาพที่ 5) คุณสมบัติโดยการกระจายตัวซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติเฉพาะ ของวัตถุอันตราย (เช่น ความหนาแน่น การละลาย สัมประสิทธิ์การกระจายตัว) และคุณสมบัติของ ตัวกลาง (เช่น อัตราการไหล ทิศทางของกระแสการเคลื่อนย้าย เป็นต้น) รวมทั้งอัตราการเคลื่อนย้าย วัตถุอันตรายออกจากสิ่งแวดล้อม ทั้งโดยวิธีทางกายภาพและชีวภาพ วัตถุอันตรายจากแหล่งปล่อย ต้องเคลื่อนย้ายไปยังจุดสัมผัสโดยวิถี (path-ways) ของการเคลื่อนย้ายในสิ่งแวดล้อม (พลาทิง ฮิลเซน, 2540 อ้างอิงจาก Holdgate, 1974) ภาคต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมที่วัตถุอันตรายเคลื่อนย้าย ได้ แก่ ภาวบรรยากาศ (atmosphere) คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของวัตถุ ร่างกายจะเป็นตัวกำหนด ศักยภาพในการออกฤทธิ์ และการเคลื่อนย้าย (mobility) ไปในภาคต่างๆ ทางสิ่งแวดล้อม โดยสิ่งแวดล้อมซึ่งมีความแปรผันในอุณหภูมิ, pH, ความเข้มข้นของแสง, ทิศทางลม ก็จะควบคุมการแสดง ศักยภาพดังกล่าวของวัตถุร่างกายนั้นๆ

การเฝ้าระวังสัมผัส (exposure monitoring) แบ่งออกได้ 2 แบบ

1. การเฝ้าติดตามตรวจที่บุคคล (personal monitoring) มักทำโดยการประมาณความเข้มข้นของวัตถุอันตรายบนจุดสัมผัสบนร่างกาย เช่น บนผิวหนัง หรือบนผนังทางเดินอาหาร หรือ ตัวอย่างที่หายใจ บางครั้งข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลความเข้มข้นในของเหลวของร่างกายหรือใน เนื้อเยื่อของร่างกาย เรียกว่า การเฝ้าคุมทางชีวภาพ (biomonitoring) เช่น การวัดทางชีวภาพในของเหลวของร่างกาย เช่น โลหิต ปัสสาวะ เป็นต้น การใช้จุดวัดต่างๆ ในการเฝ้าคุมทางชีวภาพเพื่อแสดง การได้รับสัมผัส หรือเพื่อแสดงผลที่เกิดจากวัตถุอันตราย ต้องเลือกจากจุดวัดที่มีข้อมูลว่าประชากร มีความไว (susceptibility) ต่อวัตถุอันตรายนั้น และต้องพยายามอธิบายลักษณะความสัมพันธ์

ระหว่างผลในการตรวจวัดกับค่าการได้รับสัมผัสหรือกับผลที่เกิดขึ้น เพื่อให้ทราบช่วงขนาดที่อ้างอิง (reference ranges) และสามารถยืนยันความถูกต้อง (validation) ความไว (sensitivity) และความจำเพาะเจาะจง (specificity) ของจุดวัดนั้นได้ และพิจารณาผลที่ศึกษาในห้องปฏิบัติการและผลที่เกิดขึ้นภาคสนามด้วย และควรคำนึงถึงหลักปฏิบัติที่ดีในทุกขั้นตอน เช่น การสุ่มตัวอย่างโดยหลักการทางสถิติ เป็นต้น



ภาพที่ 5 วิธีการสัมผัสวัตถุอันตราย (Lagrega, Buckingham, & Evans, 1994)

2. การเฝ้าติดตามตรวจในสิ่งแวดล้อม (ambient monitoring) เป็นการเก็บตัวอย่างของน้ำ อากาศ ดิน ในสถานที่นั้น เพื่อวิเคราะห์ระดับวัตถุอันตราย วิธีนี้จะปฏิบัติได้สะดวกกว่าในกรณีที่มีประชากรจำนวนมากเกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าการปล่อยวัตถุอันตรายจากแหล่งกำเนิดขึ้นเป็นประจำ สม่าเสมอ ความผันผวนของค่าการได้รับสัมผัสเกิดขึ้นได้ เช่น จากการที่คน คนนั้นเคลื่อนย้ายที่เนื่องจากกิจกรรมต่างๆ ทำให้ได้รับวัตถุอันตรายจากหลายๆแหล่ง ช่วงเวลาที่อ่านค่าระดับวัตถุอันตราย ถ้าทำที่ช่วงเวลาต่างกัน และมีการปล่อยวัตถุอันตรายจากแหล่งในช่วงเวลาต่างกัน ดังนั้นการเลือกสถานที่ (สถานีวิัด) และเวลาเก็บตัวอย่างจึงต้องคำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศและลักษณะอากาศด้วย ข้อดีของวิธีนี้คือ การวัดจริงๆในบริเวณใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อมที่ประชากรได้รับสัมผัส

การหาปริมาณที่มนุษย์สัมผัสกับสิ่งแวดล้อม

ขนาดที่มนุษย์รับประทานอาหาร ดื่มน้ำ หายใจ หรือได้รับสัมผัสบนผิวหนังกับวัตถุอันตรายที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม เป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการหาขนาด เนื่องจากขนาดที่ได้รับสัมผัสมีความสัมพันธ์กับขนาดของวัตถุอันตรายที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพิษที่เกิดขึ้น

ดังนั้นความเข้าใจหลักการในเรื่องการดูดซึม เมตาบอลิซึม การกระจายตัว และการขับถ่ายของวัตถุอันตรายจึงมีความสำคัญต่อการหาขนาดของวัตถุอันตรายที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย

การทราบข้อมูลอัตราการดูดซึม (absorption rates) วัตถุอันตรายผ่านปอด ผิวหนัง ทางเดินอาหาร จะทำให้สามารถหาขนาดของวัตถุอันตรายที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้

การคำนวณขนาดที่ได้รับต่อวัน

การประมาณขนาดสูงสุดที่ได้รับในแต่ละวัน (maximum daily dose; MDD) อาจคำนวณจากข้อมูลที่ได้รับสารอันตรายในช่วงระยะเวลาต่างกัน เช่น ได้รับสัมผัสเป็นแบบเฉียบพลัน หรือเรื้อรัง โดยพิจารณาการได้รับสัมผัสเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว ต่อช่วงเวลา ค่ามาตรฐานที่นำมาใช้คำนวณที่ได้รับต่อวันกำหนดขึ้นตามความเหมาะสมของแต่ละประเทศ ในปัจจุบันในประเทศไทย คณะอนุกรรมการจัดทำแนวทางการประเมินความเสี่ยง (พาลาภ สิงหเสนี, 2540 อ้างอิงจาก คณะอนุกรรมการจัดทำแนวทางการประเมินความเสี่ยง, 2538) อนุโลมให้ใช้ค่ามาตรฐานดังแสดงตามตารางที่ 12 นอกจากนั้น องค์การป้องกันสิ่งแวดล้อมของสหรัฐ ได้กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการคำนวณการสัมผัส โดยการประมาณค่าสูงสุดใช้หลักปรัชญาการสัมผัสสูงสุด (reasonable maximum exposure (RME)) (พาลาภ สิงหเสนี, 2540 อ้างอิงจาก U.S.EPA, 1989) ดังแสดงตามตาราง 14

ตารางที่ 11 ค่ามาตรฐานที่นำมาพิจารณาในการคำนวณขนาด (พาลาภ สิงหเสนี, 2540 อ้างอิงจาก
คณะกรรมการจัดทำแนวทางการประเมินความเสี่ยง, 2538)

องค์ประกอบในมนุษย์			
มวลของมนุษย์ เฉลี่ย	ผู้ชาย	ผู้หญิง	เด็ก
	70 กิโลกรัม	60 กิโลกรัม	20 กิโลกรัม
พื้นที่ผิวหนัง			
ทั้งร่างกาย (ผู้ชายสูง 180 เซนติเมตร)			1.8 ตารางเมตร
เฉพาะใส่เสื้อแขนสั้น กางเกง รองเท้า			0.8 ตารางเมตร
เฉพาะใส่เสื้อแขนยาว กางเกง รองเท้า ถุงมือ			0.1 ตารางเมตร
การหายใจ	ผู้ชาย	ผู้หญิง	เด็ก
อัตราขณะพักผ่อน	7.5 ลิตร/นาที	6 ลิตร/นาที	4.8 ลิตร/นาที
ประเภทกิจกรรมเบาๆ	20 ลิตร/นาที	19 ลิตร/นาที	1.3 ลิตร/นาที
ปริมาณอากาศที่หายใจ	23 เมตร3/นาที	21 เมตร3/นาที	15 เมตร3/นาที
ของเหลวที่ดื่ม	2 ลิตร/วัน	1.4 ลิตร/วัน	1.4 ลิตร/วัน
	(นม น้ำ เครื่องดื่มที่เป็นน้ำ)		
อาหาร	(ทุกคน) 1,500 กรัม		
องค์ประกอบที่ใช้ในการอนุมาน			
น้ำหนัก	หนูขาว	0.35 กิโลกรัม	
	หนูเล็ก	0.03 กิโลกรัม	
อาหาร	หนูขาว	17.5 กรัม/วัน	
	หนูเล็ก	3.9 กรัม/วัน	

ตารางที่ 12 ข้อสมมติปริมาณสูงสุดของการสัมผัสจากองค์กรป้องกันสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา
(Watts, 1997 อ้างอิงจาก U.S.EPA, 1989)

Factor	Assumption
Body weights	Adults 70 kg Children (1-6 years) 16 kg
Water intake	Adults 2 l/d Children 1 l/d
Inhalation rates (air intake)	Adults 20 m ³ /d Children 5 m ³ /d
Soil ingestion	Children (1-6 years) 200 mg/d Children (>6 years) 100 mg/d
Food consumption	Fin fish 54 g/d Beef 0.112 kg/meal Eggs 0.064 kg/meal
Exposure times	Showering 12 min/d Swimming 2.6 h/d
Exposure frequency	Pathway-specific (typically 350 d/year for ingestion of contaminated food and water and inhalation)
Exposure duration	Pathway-specific (typically 30 years for residential exposure pathways for adults)
Average time of exposure	Carcinogenic chemicals---70 years (365 d/years) Noncarcinogenic chemicals---number of days in the exposure duration

การคำนวณปริมาณวัตถุอันตรายที่ร่างกายได้รับสัมผัสโดยระบบทางเดินหายใจ จะใช้อัตราการหายใจเป็นหลักในการคำนวณ (Watts, 1997 อ้างอิงจาก U.S.EPA, 1989)

$$I = \frac{CA \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

เมื่อ I หมายถึง ปริมาณวัตถุอันตรายที่ร่างกายได้รับสัมผัสทางระบบทางเดินหายใจ (intake by inhalation) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน

CA หมายถึง ความเข้มข้นของวัตถุอันตรายในอากาศ (contaminant concentration in air) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

CR หมายถึง อัตราการหายใจ (contract rate) มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วัน

EF หมายถึง ความถี่ของการได้รับสัมผัส (exposure frequency) มีหน่วยเป็น วัน/ปี

ED หมายถึง ระยะเวลาการรับสัมผัส (exposure duration) มีหน่วยเป็น ปี

BW หมายถึง น้ำหนักของร่างกาย (body weight) มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

AT หมายถึง อายุขัยเฉลี่ย (averaging time) มีหน่วยเป็น ปี

ผลจากการคำนวณปริมาณการสัมผัส สามารถนำไปคู่กับข้อมูลการเกิดพิษของโครเมียม (integrated risk information system, IRIS) ดังตาราง 14

การประเมินปริมาณวัตถุอันตรายที่ร่างกายได้รับสัมผัสโดยระบบทางเดินหายใจ

ระบบทางเดินหายใจเป็นหนทางที่สำคัญสำหรับวัตถุอันตรายจำพวกก๊าซหรืออนุภาคฝุ่น เส้นใยต่างๆที่จะเข้าสู่ร่างกายได้ วัตถุอันตรายจะเข้าสู่ทางเดินหายใจได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ อัตราการหายใจ (ventilation rate) หมายถึงปริมาณอากาศที่หายใจเข้าไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยมากจะคิดเป็นลิตรต่อนาที

ในเด็กที่อายุต่ำกว่า 12 ปี อัตราการหายใจของเพศชายและเพศหญิงจะไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก แต่ในผู้ใหญ่ เพศชายจะมีอัตราการหายใจมากกว่าผู้หญิง

ข้อที่น่าสังเกตคือ ในขณะที่ทำงานหรือออกกำลังกาย อัตราการหายใจจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าในระยะพัก ดังนั้น ถ้าในอากาศที่หายใจมีวัตถุอันตราย วัตถุอันตรายก็จะเข้าสู่ร่างกายได้มากกว่าในระยะพัก นอกจากนี้ ในขณะที่ออกกำลังกายหรือทำงานหนัก ร่างกายจะเปลี่ยนมาหายใจทางปากมากขึ้น ทำให้วัตถุอันตรายบางตัวที่อาจจะถูกกรองได้โดยขนจมูก เมื่อหายใจทางปากวัตถุอันตรายนี้ก็จะเข้าไปสู่ถุงลมปอดได้มากขึ้น นอกจากนี้ วัตถุอันตรายที่จะผ่านเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ก็จะต้องมีขนาดเล็กพอสมควรด้วย คือ ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอนลงมา ถ้าโต

กว่านี้มันก็จะถูกกรองโดยทางเดินหายใจส่วนบนก่อน ทำให้ผ่านต่อไปไม่ได้ นอกจากนี้วัตถุอันตรายที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ก็มักจะละลายในน้ำที่แทรกอยู่ตามเยื่อของทางเดินหายใจส่วนบน ทำให้มีเพียงส่วนที่จะผ่านเข้าไปถึงถุงลมปอด

ตารางที่ 13 อัตราการหายใจของมนุษย์ (ลิตร/นาที) จำแนกตามกลุ่มอายุ เพศ และการทำกิจกรรม (พาลาก สิงห์เสนี, 2540)

อายุ	เพศ	ขณะพัก	ทำงานเล็กน้อย	ทำงานหนัก	ออกกำลังกายอย่างหนัก
ผู้ใหญ่	ชาย	7.5	29	43	111
	หญิง	6	19	25	90
14-16 ปี	ชาย	5.2	-	-	113
	หญิง	4.5	-	-	88
10 ปี		4.8	14	-	-
10-11 ปี	ชาย	-	-	-	71
	หญิง	-	-	-	61
4-6 ปี	ชาย	-	-	-	40
	หญิง	-	-	-	34

หมายเหตุ 1 ลิตร/นาที = 1.44 ลูกบาศก์เมตร/วัน

การอธิบายลักษณะความเสี่ยง การพัฒนาการประเมินความเสี่ยงจากวัตถุอันตรายที่มีฤทธิ์ก่อมะเร็ง เริ่มขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากความกังวลต่อสุขภาพและปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม (พาลาก สิงห์เสนี, 2540 อ้างอิงจาก Rodricks, 1994) จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2523 ศาลสูงของประเทศสหรัฐอเมริกาให้ใช้การประเมินความเสี่ยงต่อพิษของวัตถุอันตรายในการตัดสินใจที่นำไปสู่การควบคุมการจัดการวัตถุอันตรายอย่างเหมาะสมโดยให้มีการพิจารณาการประเมินความเสี่ยงในลักษณะที่เป็นคือ การที่นำข้อมูลผลการทดสอบวัตถุอันตรายในสัตว์ทดลอง และ/หรือข้อมูลการศึกษาด้านระบาดวิทยาในมนุษย์มาใช้ในกระบวนการที่จะหาโอกาสความเป็นไปได้ (probability) ที่อันตรายจะเกิดขึ้นต่อกลุ่มประชากรที่ได้รับสัมผัสกับวัตถุอันตรายนั้นนั่นเอง

ทฤษฎีแบบจำลองดังกล่าว ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและผลที่ได้รับ และสามารถคำนวณเพื่อกำหนดขนาดที่เมื่อใช้สารนั้นแล้วเกิดความปลอดภัยในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ เช่น การยอมรับความเสี่ยงต่อสารที่แต่งใจเจือปนอาหาร (food additives) ที่ยอมรับเป็นสากล

คือ ระดับความเสี่ยงต่อโอกาสสารเกิดเนื้องอกเพิ่มขึ้นหนึ่งรายในประชากรที่มีความเสี่ยง 1 ล้านราย (พาลาก สิงห์เสนี, 2540 อ้างอิงจาก Knudsen, 1992 และ Sobels, 1989)

ระดับดังกล่าวข้างต้น มโนทัศน์ (concept) ได้ถูกนำมาใช้ (พาลาก สิงห์เสนี, 2540 อ้างอิงจาก Lowe, 1992) ได้แก่ การกำหนดปริมาณน้อยที่สุดของวัตถุอันตรายที่บุคคลจะสัมผัส โดยไม่กลัวต่อความเสี่ยงต่อพิษของวัตถุอันตรายที่จะมีต่อสุขภาพอนามัย

องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (The United States Environmental Protection Agency, U.S.EPA.) และองค์การอาหารและยา (Food and Drug Administration) ใช้มโนทัศน์นี้ในการออกกฎหมายควบคุมวัตถุอันตรายที่มีฤทธิ์ก่อมะเร็ง เพื่อที่จะอนุญาตให้มีการได้รับสัมผัสในระดับที่น้อยมากจนถือว่าเกือบไม่มีการสัมผัสเลย องค์การดังกล่าวได้ยอมรับที่จะใช้ปริมาณความเสี่ยงที่น้อยที่สุด คือ ยอมรับให้มีหนึ่งกรณีของผู้ป่วยมะเร็งเพิ่มขึ้นหนึ่งรายในจำนวนประชากรหนึ่งล้านราย ตลอดหนึ่งช่วงชีวิตมนุษย์

การประเมินความเสี่ยงเป็นโอกาสที่เป็นไปได้ (probability) วิธีการดังกล่าวทำได้โดยการคำนวณหาขนาดของสารที่ได้สัมผัส (exposure dose) แล้วนำมาหาค่าปริมาณวัตถุอันตราย (หน่วยมิลลิกรัม/กิโลกรัม) ของน้ำหนักตัว/วัน โดยเฉลี่ยแล้วนำมาคูณด้วย SF (carcinogenic potency factor)

$$\text{risk} = I \times \text{SF}$$

risk มีนิยามว่า ความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากได้รับสัมผัสต่อเนื่องตลอดช่วงชีวิต ต่อหนึ่งหน่วยของความเข้มข้นของวัตถุอันตรายที่มีฤทธิ์ก่อมะเร็ง

วิธีปฏิบัติ ทำได้โดยนำ SF คูณกับค่าการได้รับสัมผัส จะได้ค่าความเสี่ยง ถ้าค่านี้เกินกว่าค่าความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นที่ยอมรับได้ ก็ถือว่าเป็นค่าความเสี่ยงที่มีนัยสำคัญ และต้องพิจารณาแก้ไขการจัดการความเสี่ยงต่อไป

ตัวอย่างวิธีการคำนวณการอธิบายลักษณะความเสี่ยง

การได้รับสัมผัส X SF	=	ความเสี่ยง
ถ้า SF ของคลอโรฟอร์ม	=	$6.1 \times 10^3 \text{ (มก./กก./วัน)}^{-1}$
ค่าความเสี่ยง (ตลอดช่วงชีวิต)	=	$6.1 \times 10^3 \times 0.017$
	=	0.0001

เขียนอธิบายความเสี่ยงว่า ผู้ที่ดื่มน้ำมีคลอโรฟอร์ม 60 พีพีบี (60 ไมโครกรัม/ลิตร) ตลอดช่วงชีวิต ถูกทำนายโดยมีค่าความมั่นใจที่ขอบสูงระดับ 95% ว่าจะมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นจากค่า

มาตรฐาน หรือค่าที่พบในประชากรปกติ (background) เป็นปริมาณความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น 1×10^{-4} หรือ 1 รายในประชากรหมื่นรายในหนึ่งช่วงชีวิต โดยค่าความเสี่ยงดังกล่าวเป็นค่าที่ประเมินโดยอนุรักษนิยม และค่าความเสี่ยงจริงอาจต่ำกว่านี้ และอาจต่ำถึงศูนย์ก็ได้

ตารางที่ 14 แสดงค่า SF หรือค่าความลาดชันของกราฟซึ่งแสดงการตอบสนองต่อวัตถุอันตรายก่อนมะเร็งต่างกัน (Watts, 1997)

รายชื่อสารเคมี	ชั้นที่ถูกจำแนก	องค์ประกอบความชันของ สารก่อมะเร็ง (SF) (มก./กก./วัน) ⁻¹
Chromium VI (inhl)	1	41

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นันทวิทย์ บุญเทศ (2535) ได้ทำการศึกษาลึถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเสื่อมสมรรถภาพปอดของตำรวจจราจรในเขตกรุงเทพฯ โดยใช้กลุ่มตัวอย่างคือ ตำรวจจราจรจำนวน 174 คน และกลุ่มเปรียบเทียบคือตำรวจธุรการ จำนวน 173 คน ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้สูงสุดเมื่อตำรวจสัมผัสเท่ากับ 647.69 ± 280.72 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการตรวจสอบสมรรถภาพปอดพบว่าตำรวจจราจรมีความเสื่อมสมรรถภาพปอดจำนวน 44 คน และพบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเสื่อมสมรรถภาพปอดของตำรวจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ อายุ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้สะสม ระยะเวลาทำงานและการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจในอดีต

อุทัย ดิยะวิสุทธิศรี (2535) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ใช้ทั้งระบบ WDX และ EDX ตัวอย่างฝุ่นจากอากาศบริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุหลักในฝุ่นเป็นดังนี้ ธาตุอะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก และกำมะถัน มีค่าเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับดังนี้ 6.32, 22.04, 1.80, 10.36, 1.82 และ 4.17 สำหรับธาตุปริมาณน้อยบางธาตุ เช่น ตะกั่ว แมงกานีส โบรมีน นิกเกิล สังกะสี ไททาเนียม และทองแดง มีค่าเป็น 2.084, 0.272, 0.512, 0.443, 3.635, 1.775 และ 2.066 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างฝุ่นจากบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุหลักในฝุ่นเป็นดังนี้ ธาตุอะลูมิเนียม

ซัลฟอน โปแตสเซียม แคลเซียม เหล็ก และกำมะถัน มีค่าเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังนี้ 7.41, 32.18, 2.87, 2.72, 2.07 และ 2.31 สำหรับธาตุปริมาณน้อยบางธาตุ เช่น ตะกั่ว แมงกานีส โบรมีน นิกเกิล สังกะสี ไททาเนียม และทองแดง มีค่าเป็น 0.486, 0.551, 0.428, 0.523, 0.205, 2.944 และ 0.604 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

วคิน มหัตน์นิรันดร์กุล (2536) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นและตะกั่วในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร โดยวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ) ระหว่างปี 2528-2533 พบว่าความเข้มข้นฝุ่นและตะกั่วในบรรยากาศกรุงเทพมหานครมีความสัมพันธ์กัน โดยในบรรยากาศริมถนนมีความสัมพันธ์สูงกว่าในบรรยากาศทั่วไป และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เท่ากับ 0.6858 และ 0.2103 ตามลำดับ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเข้มข้นของตะกั่วในบรรยากาศทั่วไปมีความเข้มข้นฝุ่น ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณการใช้น้ำมันเบนซิน ปี ความเร็วลมและวันทำงาน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.708 และองค์ประกอบหลักของฝุ่นคือ สารประกอบคาร์บอน โดยมีปริมาณอยู่ 22 % ในบรรยากาศทั่วไป และ 46 % ในบรรยากาศบริเวณริมถนน แสดงให้เห็นว่าฝุ่นมีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจรค่อนข้างสูง

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2537) ได้ทำการตรวจวัดและศึกษาเรื่องมลพิษทางอากาศ จากผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในกรุงเทพฯ พ.ศ.2537 พบว่าคุณภาพอากาศบริเวณถนนมีปัญหาด้านมลพิษทางอากาศสูงกว่าบริเวณพื้นที่ทั่วไปหรือชุมชนที่อยู่อาศัยซึ่งอยู่ห่างจากริมถนน โดยปัญหาหลักที่พบคือ ฝุ่นละออง ซึ่งแหล่งกำเนิดสำคัญของมลพิษนี้มาจากยานพาหนะในรูปควันดำหรือเขม่าควันจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังเกิดจากดินที่หล่นและฟุ้งกระจายจากรถบรรทุกดินและวัสดุ ก่อสร้างที่ไม่มีวัสดุหรือผ้าคลุมให้มีดริค รวมทั้งเกิดจากกิจกรรมการก่อสร้างอาคารหรือถนนต่างๆ สำหรับมลพิษอื่นที่มีการตรวจวัดและยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซไนตริกออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรคาร์บอน

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2537) ทำการศึกษาเรื่องสุขภาพของประชาชนกับมลพิษทางอากาศ จากการศึกษาพบว่ามลพิษทางอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยปกติปริมาณมลพิษทางอากาศจะมีระดับไม่สูงจนก่อให้เกิดผลเสียโดยตรงต่อสุขภาพ ผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงเป็นแบบเรื้อรัง โดยส่วนใหญ่จะก่อให้เกิดโรคต่อระบบทางเดินหายใจเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถประเมินได้โดยอ้อมจากข้อมูลสถิติของกองสถิติสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข มีผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น

ตลอดจาก พ.ศ.2534-2536 โดยสูงกว่าโรกระบบทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นอันดับสองถึงเท่าตัว ข้อมูลสถิติโรคเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี

เนื่องจากกรุงเทพฯ เป็นเมืองที่มีสภาพการจราจรหนาแน่นและติดขัดอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงเกิดปัญหามลพิษทางอากาศที่มีสาเหตุมาจากยานพาหนะสูง เช่น สารตะกั่วซึ่งเป็นมลสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงต่อประชาชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็ก เพราะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางร่างกายและสติปัญญาเด็กได้อย่างถาวร ดังนั้นรัฐบาลจึงได้ออกมาตรการต่างๆ เพื่อลดระดับปริมาณของสารตะกั่ว ส่งผลให้ระดับตะกั่วในบรรยากาศของกรุงเทพฯ ให้ลดลง นอกจากนี้ปัญหการจราจรยังเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดสารมลพิษทางอากาศอื่นๆ ที่กระทบต่อสุขภาพอีกมาก ปัจจุบันที่เป็นปัญหามากคือ ปริมาณฝุ่นละอองซึ่งตรวจพบใน พ.ศ.2537 ปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดประจำของกรมอนามัยและกรมควบคุมมลพิษเกินมาตรฐานอย่างน้อย 2 เท่า และฝุ่นละอองที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ โดยตรงคือฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งได้รับการแจ้งเตือนว่าจะเป็นตัวก่อปัญหาสุขภาพที่สำคัญ เพราะนอกจากจะทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพโดยตัวมันเองแล้วยังสามารถนำพาเอามลพิษอื่นๆ ที่เกาะติดอยู่เข้าไปในร่างกายตัว สำหรับสารมลพิษที่เกิดจากยานพาหนะตัวอื่นๆ ที่มีแนวโน้มจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัยต่อไปในอนาคตเช่นกัน แม้ว่าใน พ.ศ.2537 ยังตรวจไม่พบว่ามีค่าเกินมาตรฐานก็ตาม

กรมอนามัย (2539) ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมาได้ศึกษาสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กในโรงเรียนย่านอุตสาหกรรม โรงโม้หิน จังหวัดสุรินทร์และบุรีรัมย์ โดยตรวจวัดคุณภาพอากาศที่โรงเรียนบ้านกะทม ต.นาบัว อ.เมือง จ.สุรินทร์ และ โรงเรียนบ้านพลวง ต.สวายจิก อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ พบว่าสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ณ โรงเรียนบ้านพลวง ต.สวายจิก อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2538 เท่ากับร้อยละ 53 ของจำนวนตัวอย่างที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด และ โรงเรียนบ้านกะทม ต.นาบัว อ.เมือง จ.สุรินทร์ มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกินมาตรฐานเท่ากับร้อยละ 40.0 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่วัดได้ และอาจถือได้ว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งนับได้ว่าค่ามาตรฐานเป็นร้อยละที่สูง ช่วงเวลาที่มีปริมาณฝุ่นสูงมักเป็นช่วงเวลากลางคืน เวลาประมาณ 19.00-01.00 น ซึ่งเป็นเวลาที่มีสภาพทางภูมิอากาศที่ทำให้การกระจายตัวของอากาศเป็นไปได้ช้า ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองมีความเข้มข้นสูงไปด้วย

รวิษ เหลี่ยมสมบัติ (2539) ได้ทำการสำรวจภาวะสุขภาพและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการป่วยเป็นโรกระบบทางเดินหายใจและสมรรถภาพปอดผิดปกติของนักเรียนโรงเรียนในชุมชนโรงโม้หินหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี โดยประชากรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ถึงชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ของโรงเรียนที่มีที่ตั้งอยู่ในชุมชนโรงโม้หินหน้าพระลาน รวม 3

แห่ง จำนวนนักเรียน 114 คน ระยะเวลาที่ทำการศึกษาระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม 2539 ผลการศึกษาพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีภาวะโภชนาการเมื่อเทียบกับน้ำหนักและส่วนสูงอยู่ในขั้นปกติร้อยละ 57 การตรวจสุขภาพโดยทั่วไปพบว่านักเรียนป่วยพบโรค ร้อยละ 80.7 โดยโรคที่ตรวจพบได้แก่ โรคฟันผุร้อยละ 67.4 รองลงมาได้แก่ เหา โรคอื่นๆ (เช่น โรคปอด หอบหืดและโรคโลหิตจาง เป็นต้น) พบได้ร้อยละ 30.4 และ 26.1 สมรรถภาพการทำงานของปอดส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ปกติร้อยละ 86.8 และสมรรถภาพการทำงานของปอดต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 13.2 ภาพรังสีปอดส่วนใหญ่อยู่ในระดับปกติร้อยละ 88.6 และภาพรังสีปอดผิดปกติ 13 คน ร้อยละ 11.4 โดยพบว่ามีเชื้อหุ้มปอดหนา 2 คน วัณโรค 1 คน และพบว่ามีจุดทึบในปอดด้านซ้าย 1 คน คิดเป็นร้อยละ 7.7 ที่เหลือพบว่าภาพไม่สมบูรณ์ ส่วนการตรวจวัดปริมาณฝุ่นซิลิกาอิสระในห้องเรียนพบว่าในห้องเรียนโรงเรียน 3 แห่ง จำนวน 3 ตัวอย่าง มีปริมาณฝุ่นซิลิกาอิสระไม่เกินมาตรฐานทุกตัวอย่าง (ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงดำเนินการเก็บตัวอย่างอากาศในห้องเรียนนั้นอยู่ในเดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน) โดยสรุปผลจากการศึกษาพบว่าระยะทางจากบ้านถึงโรงโมหินที่ใกล้ที่สุด ระยะทางจากโรงเรียนถึงโรงโมหินที่ใกล้ที่สุด เพศ อายุ ระยะเวลาที่อาศัย สมรรถภาพปอดและภาพรังสีปอด ไม่มีความสัมพันธ์กันกับการป่วยเป็นโรคระบบทางเดินหายใจและสมรรถภาพปอดผิดปกติ

นพมาศ หริมเทพาธิป (2541) ได้ศึกษาการเสื่อมสมรรถภาพปอดของประชาชนและปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในบรรยากาศทั่วไปในบริเวณพื้นที่ที่มีกิจกรรมการระเบิดหินและข่อยหินในตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี รวมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสมรรถภาพปอดของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณตำบลหน้าพระลานด้วย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือ ประชาชนที่มีอายุ 15 ปีขึ้นไป ที่อาศัยอยู่ในชุมชนเป็นระยะเวลา 1 ปีขึ้นไป จำนวน 86 คน และกลุ่มเปรียบเทียบคือ ประชาชนที่อาศัยอยู่ในตำบลหนองบัว อำเภอบ้านหมอ อายุ 15 ปีขึ้นไปอาศัยอยู่ในชุมชนเป็นระยะเวลา 1 ปีขึ้นไป โดยทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยใช้ high volume air sampler, แบบสัมผัสภาชนะและทำการตรวจสมรรถภาพปอด ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง บริเวณพื้นที่ตำบลหน้าพระลานอยู่ในช่วง 131-406 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ประชาชนมีการเสื่อมสมรรถภาพปอดจำนวน 49 คน (ร้อยละ 86) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองและสมรรถภาพปอดมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสมรรถภาพปอดของประชาชนคือ ระยะเวลาที่สัมผัสฝุ่น และระยะทางระหว่างที่พักอาศัยกับพื้นที่ที่มีกิจกรรมการระเบิดและข่อยหิน

อรุณ โชติพงษ์ (2541) ได้ศึกษาปริมาณฝุ่นที่มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ โดยทำการตรวจวัดฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และปริมาณฝุ่นรวมในบริเวณสถานีตรวจวัด 4 จุด คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรมประชาสัมพันธ์, หมวดยการทางพระสมุทรเจดีย์ และวัดมณฑป พบว่า ในบริเวณสถานีตรวจวัดทั้ง 4 จุด ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณฝุ่นทั้งสองประเภทสูงกว่าในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในสถานที่ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการจราจรคือกรมประชาสัมพันธ์ ถนนวิภาวดีรังสิตพบว่ามีปริมาณฝุ่นรวมและฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมากกว่าสถานีอื่นๆ ในทั้งสองช่วงลมมรสุม ส่วนการศึกษาการกระจายของโลหะในฝุ่นรวมและฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน พบว่าตะกั่ว สังกะสี และทองแดง มีการกระจายตัวในฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมากกว่าในฝุ่นขนาดใหญ่ ส่วนแมงกานีสมีการกระจายตัวในฝุ่นขนาดใหญ่มากกว่าในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และเมื่อเปรียบเทียบการกระจายของฝุ่นโลหะทั้งตะกั่ว สังกะสี และทองแดง พบว่าการกระจายตัวของโลหะในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่ามากกว่าในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนแมงกานีสไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน

สายจิตร์ จະวะนะ (2542) ได้ศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในเขตชุมชนหน้าพระลานจังหวัดสระบุรี โดยทำการศึกษาดังมูลค่าความเสียหายไปที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลกระทบของมลภาวะทางอากาศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากฝุ่นละออง ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ในจำนวนประชากรวัยแรงงานที่เจ็บป่วยด้วยโรคทางเดินหายใจทั้งจังหวัดมีสัดส่วนของประชากรวัยแรงงานที่เจ็บป่วยด้วยโรคทางเดินหายใจที่อาศัยอยู่ในเขตพื้นที่ที่ศึกษาต่อเขตพื้นที่เปรียบเทียบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5 : 1 ในระยะเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2538-2540 สำหรับการศึกษาถึงมูลค่าของต้นทุนสุขภาพของประชากรในวัยแรงงานเมื่อศึกษาถึงค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลทั้งหมดตลอดระยะเวลา 3 ปี คือระหว่างปี พ.ศ. 2538-2540 พบว่ามูลค่าของการใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาต่อพื้นที่เปรียบเทียบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.7 : 1 (36,061,135 บาท : 7,648,284 บาท) และเมื่อศึกษามูลค่าของรายได้ที่ควรเกิดขึ้นแต่ไม่เกิดขึ้นเนื่องจากการพักรักษาตัวหรือการขาดงานจากการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ เฉพาะกรณีผู้ป่วยที่เกิดขึ้นในเขตพื้นที่ที่ศึกษาต่อเขตพื้นที่เปรียบเทียบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2 : 1 (611,917 บาท : 292,327 บาท) และมูลค่าของต้นทุนสุขภาพทั้งหมดของประชาชนวัยแรงงานที่เจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจที่อาศัยอยู่ในเขตพื้นที่ที่ศึกษาเขตพื้นที่ที่เปรียบเทียบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.6 : 1 (36,673,052 บาท : 7,940,607 บาท)

โรด และอีแวนส์ (Rodes & Evan, 1985) ได้ทำการศึกษาฝุ่นขนาดเล็กที่มีผลกระทบต่อทางเดินหายใจ และฝุ่นรวมใน 8 พื้นที่ของสหรัฐอเมริกา พบว่าสัดส่วนของฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นรวมมีค่าเท่ากับ 0.485 และปริมาณฝุ่นรวมทั้งสองขนาดมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง และความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 15 ไมครอนและ 10 ไมครอนก็มีความสัมพันธ์

ในเชิงเส้นตรงเช่นกันที่ทำการตรวจวัด นอกจากนี้ผลการศึกษาในเรื่องความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน พบว่ามีค่าเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 34.8-74.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีเพียง 12 วันใน 1 ปีที่เกินค่า 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าสูงสุดที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 199.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ลีโอย และวาลแมน (Liroy & Waldman, 1990) ได้ศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาด 10 ไมครอนในย่านอุตสาหกรรมและย่านที่พักอาศัยของเมืองเล็ก ๆ ในรัฐนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดฝุ่นไว้ในอาคาร นอกอาคาร และให้บุคคลผู้ไม่สูบบุหรี่สวมใส่เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นที่ติดตามตัวบุคคล ภายนอกอาคาร และในอาคารมีค่า 16, 48 และ 42 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ฝุ่นละอองที่ติดตามตัวบุคคลที่เก็บตัวอย่างครบ 24 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 8.8 ของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 150 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยมากกว่าฝุ่นในอาคาร ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นนอกอาคารเป็นฝุ่นหยาบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปะปนอยู่มากมาย การศึกษาครั้งนี้ขาดกลุ่มตัวอย่างในอาคารที่สูบบุหรี่เข้ามามีส่วนร่วมด้วย นอกจากนี้ยังพบว่ามีเพียง 1 วันเท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ยถึงค่าสูงสุดของค่ามาตรฐานฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง ซึ่งวันดังกล่าวส่งผลให้ระดับของค่าเฉลี่ยในกลุ่มในอาคารและกลุ่มบุคคลมีค่าสูงตามไปด้วย อาจเนื่องมาจากฝุ่นนอกอาคารฟุ้งเข้ามาในกลุ่มในอาคารทั้งสองกลุ่ม

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความเชื่อมโยงระหว่างเชื้อโรคที่มากับฝุ่น และสาเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดการตายที่ในลอสแอนเจลิส, นิวยอร์ก, ฟิลาเดลเฟีย, คีทรอยด์, ซิดาโก, แชนดาคาลาร่าและซินแอทเทิล, เดนเวอร์, โปรโรอุทาห์ ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับการตายที่มีสาเหตุมาจากการเป็นโรคหัวใจ และโรคระบบทางเดินหายใจที่มีอาการไม่รุนแรง พบว่าอาการป่วยเหล่านี้จะแสดงอาการรุนแรงมากขึ้นเมื่อมีปริมาณฝุ่นซึ่งเป็นพิษในอากาศเพิ่มขึ้น

จากพื้นฐานในการศึกษาเกี่ยวกับสาเหตุการตายและมลพิษจากฝุ่น มีประมาณการจำนวนของผู้เสียชีวิต เชื่อว่าในแต่ละปีมีชาวอเมริกันเสียชีวิตประมาณ 64,000 คน มีสาเหตุมาจากฝุ่น ข้อกำหนดเกี่ยวกับมาตรฐานที่เป็นทางการของหน่วยงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมจะสามารถช่วยชีวิตคนได้ 15,000 คน จากมลพิษของฝุ่น และสามารถป้องกันการเป็นโรคภูมิแพ้ที่ระบบทางเดินหายใจ และโรคปอดของคนนับร้อยนับพันต่อปี

ดาลเลน (Daalen, 1991) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของโลหะในฝุ่นที่เมืองริจมันด์ในประเทศเนเธอร์แลนด์ จากการเก็บฝุ่นตามช่วงขนาดต่างๆคือขนาดน้อยกว่า 7.02, 3.0-7.2, 5-3.0, 0.95-1.5 และ 0.01-0.50 ไมครอน พบว่าในช่วงขนาดของฝุ่นที่มีปริมาณโลหะประเภทอาร์เซนิก แคลเดเมียม โคบอลต์ โครเมียม ทองแดง แมงกานีส นิกเกิล ตะกั่ว ซีลีเนียม วานาเดียม และสังกะสี

มากที่สุดคือ ช่วง 0.01-0.50 ไมครอน นั่นคือโลหะทุกชนิดที่ทำการทดลองจะพบในฝุ่นขนาดเล็ก
นั่นเอง

จากรายงานของ องค์การอนามัยโลก (WHO Expert Committee, 1972) พบว่าปริมาณ
โลหะของฝุ่นในอากาศในเขตพื้นที่เมือง มีปริมาณ แคดเมียม 0.005-0.015 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์
เมตร โครเมียม 0.004-0.070 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และแมงกานีสน้อยกว่า 70 ไมโครกรัมต่อ
ลูกบาศก์เมตร ส่วนในเขตพื้นที่ชานเมือง พบโลหะแคดเมียม 0.001-0.005 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์
เมตร แมงกานีส 0.010-0.030 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตะกั่ว 0.001-0.010 ไมโครกรัมต่อลูก
บาศก์เมตร อาร์ซีเนียม 0.001-0.0010 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากการทดลองของดาลเลน
(Daalen, 1991) จากการตรวจวัดโลหะในเขตพื้นที่เมืองพบว่ามีปริมาณแคดเมียม 0.003 ไมโครกรัม
ต่อลูกบาศก์เมตร โครเมียม 0.005 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทองแดง 0.015 ไมโครกรัมต่อลูก
บาศก์เมตร แมงกานีส 0.015 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตะกั่ว 60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
สังกะสี 0.070 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในเขตพื้นที่นอกเมืองมีปริมาณแคดเมียม 0.001
ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โครเมียม 0.003 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทองแดง 0.005
ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แมงกานีส 0.010 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตะกั่ว 0.040
ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สังกะสี 0.035 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นั่นคือในเขตพื้นที่เมืองจะ
พบปริมาณโลหะมากกว่าในเขตพื้นที่ชานเมือง

ชวาส (Schwartz, 1994) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและการเข้ารับ
การรักษาตัวในโรงพยาบาลของผู้สูงอายุในเมืองดีทรอยต์ และมิชิแกน ในช่วงปี ค.ศ. 1986-1989
พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีความสัมพันธ์กับการรักษาตัวในโรงพยาบาล
ด้วยโรกระบบทางเดินหายใจในผู้ป่วยที่มีอายุ 65 ปีและมากกว่า 65 ปีในเมืองดีทรอยต์ และ
เมืองมิชิแกน โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนทุก 10 ไมโครกรัมต่อ
ลูกบาศก์เมตร ทำให้มีการเสี่ยงของการรับเข้ารักษาในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นจากปกติร้อยละ 3.5
สำหรับโรคปอดอักเสบ และร้อยละ 6 สำหรับโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง

แอ๊ปปี, หวาง, เบอร์เซทส์, แวนคิวรี, และมิว (Abbey, Hwang, Burchette, Vancureu, &
Mills, 1995) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า
10 ไมครอนและการเพิ่มขึ้นของอาการแสดงโรกระบบทางเดินหายใจในประชาชนที่ไม่สูบบุหรี่ใน
รัฐแคลิฟอร์เนีย ในปี ค.ศ. 1977-1987 โดยเป็นการศึกษาไปข้างหน้า การศึกษานี้เลือกกลุ่มตัวอย่าง
ของ Californai Seventh-day Adventist (SDA) จำนวน 3,914 คน โดยเป็นเพศหญิงและเพศชายที่ไม่
สูบบุหรี่ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีความ

สัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของอาการแสดงของโรคหอบหืดอุดกั้น อาการไอเรื้อรัง และความรุนแรงของโรคหอบหืดอุดกั้นและโรคหอบ ความเสี่ยงของความรุนแรงของโรคหอบหืดอุดกั้น อาการไอ อาการหอบต่อการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่มากกว่า 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 1.17, 1.21 และ 1.30 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนกับความรุนแรงของอาการแสดงโรคระบบทางเดินหายใจในผู้ที่ประกอบอาชีพเกี่ยวกับฝุ่นละอองจะมีความสัมพันธ์มากกว่าผู้ที่ไม่ได้ประกอบอาชีพเกี่ยวกับฝุ่นละออง

ซอลดิวา, และคณะ (Saldiva et al., 1995) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะทางอากาศกับอัตราการตายของคนอายุ 65 ปีขึ้นไปในเมือง เซาเปาโล ประเทศบราซิล ในช่วงเดือน พฤษภาคม ค.ศ.1990 ถึงเดือนเมษายน ค.ศ.1991 พบว่าอัตราการตายมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ไนโตรเจนออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการควบคุมปัจจัยทางด้านฤดูกาล ภูมิอากาศ และปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอัตราการตายเท่ากับร้อยละ 13

เชสตัน, ออสโตร, วิจิต-วาดากาน, และสมิธ (Chestnut, Ostro, Vichit-Vadakan, & Smith, 1998) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีผลต่อสุขภาพในเขตกรุงเทพมหานคร (health effect of particulate matter air pollution in Bangkok) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าฝุ่นละอองในกรุงเทพฯ มีความสัมพันธ์กับผลกระทบทางสุขภาพของประชาชน โดยมีผลต่อภาวะโรคระบบทางเดินหายใจ และมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับที่พบจากการศึกษาที่เมืองต่างๆทั่วโลก ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าปัญหาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพของประชาชน ซึ่งได้ถูกค้นพบในที่อื่นๆกำลังจะเกิดขึ้นในกรุงเทพฯ เช่นเดียวกัน ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าระดับของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพฯ ในปัจจุบันอาจทำให้มีคนในเขตกรุงเทพฯ ตายก่อนวัยอันควรจากการสัมผัสระยะสั้น (ระยะเวลาประมาณ 2-3 ปี) กับฝุ่นละอองในอากาศนอกอาคารถึง 4,000 ถึง 5,500 รายในแต่ละปี (ประมาณการว่ามีประชากร 10 ล้านคน) นอกจากนี้การเข้ารับตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากการเจ็บป่วยด้วยโรคทางเดินหายใจและโรคระบบหลอดเลือดหัวใจสูงขึ้นเมื่อระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนสูงขึ้น ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นด้วยว่าในพื้นที่ที่มีความแตกต่างของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนรายวันมากๆ (ประมาณ 180 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จะทำให้ผู้ใหญ่ซึ่งใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่สัมผัสกับฝุ่นละอองที่มีระดับสูงมีโอกาสมิ้อการเจ็บป่วยทางระบบทางเดินหายใจสูงขึ้นเป็นสองเท่าของคนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีระดับฝุ่นต่ำในวันเดียวกัน แต่สำหรับผู้ใหญ่ที่ใช้เวลา

ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณที่ใช้เครื่องปรับอากาศและสัมผัสฝุ่นละอองที่มีระดับสูงในบางช่วงของเวลา เช่นช่วงเวลาเดินทางจากที่พักไปยังที่ทำงานเป็นต้น มีโอกาสที่จะมีอาการเจ็บปถนทางระบบทางเดินหายใจมากกว่าคนที่สัมผัสฝุ่นละอองในระดับต่ำในวันเดียวกันเพียงร้อยละ 50

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University