



บทที่ 2

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะพื้นที่ศึกษา

ภาคเหนือตั้งอยู่บนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ประมาณ 250 - 400 เมตร ตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 20 องศา 25 ลิปดาเหนือ กับ 17 องศา 10 ลิปดาเหนือและเส้นลองจิจูดที่ 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก กับ 101 องศา 10 ลิปดาตะวันออก เขตการปกครองแบ่งตามสภาพภูมิศาสตร์ แบ่งออกเป็น 9 จังหวัด การศึกษาค้นคว้ากำหนดพื้นที่ศึกษา 8 จังหวัดได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ น่าน พะเยา แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน ตามจำนวนสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ พื้นที่ภาคเหนือมีแนวอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งสหภาพพม่าและสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศใต้	ติดต่อกับภาคกลาง และภาคตะวันตก
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งสหภาพพม่า

2.1.1 สภาพภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของ 8 จังหวัดภาคเหนือส่วนใหญ่เป็นภูเขาและที่ราบระหว่างหุบเขา มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 85,852.26 ตารางกิโลเมตร (กรมการปกครอง, 2556) โดยมีลักษณะทิวเขาทอดยาวจากเหนือลงมาใต้ ทิวเขาที่สำคัญได้แก่ ทิวเขาถนนธงชัย เป็นทิวเขาที่ใหญ่และยาวที่สุดของภาคเหนือ มียอดเขาสูงเป็นอันดับหนึ่งของประเทศคือ ยอดเขาตอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ สูงจากระดับน้ำทะเล 2,565 เมตร ส่วนพื้นที่ราบบริเวณหุบเขาและแถบลุ่มแม่น้ำปิง วัง ยม น่าน ลุ่มน้ำกก และน้ำอิง มีความอุดมสมบูรณ์สามารถทำการเกษตรได้ตลอดทั้งปี (รูปที่ 2.1)

2.1.2 สภาพภูมิอากาศ

ภาคเหนือมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับร้อนแห้งแล้ง หรือฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของภาคเหนือประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนเมษายนประมาณ 42 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนมกราคมประมาณ 15 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,230 มิลลิเมตรต่อปี โดยมีวันที่ฝนตกปีละประมาณ 110 วัน เขตที่มีฝนตกน้อยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 800-1,000 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนเขตที่ฝนตกชุกจะมีปริมาณฝนสูงสุดถึง 2,000 มิลลิเมตรต่อปี สภาพอากาศของภาคเหนือแบ่งได้เป็น 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)



1389650164



รูปที่ 2.1 สภาพภูมิศาสตร์ของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย
ที่มา: The Geo Names (2013)

- ฤดูฝน ซึ่งเป็นฤดูที่เริ่มทำการเพาะปลูกพืชเมืองร้อน จะเริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคมและไปสิ้นสุดฤดูในเดือนกันยายนหรือต้นเดือนตุลาคม มีอุณหภูมิอยู่ที่ 20.6-35.7 องศาเซลเซียส ฝนที่ตกเป็นฝนจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดมาจากอ่าวเบงกอลกับฝนจากพายุดีเปรสชันที่พัดจากทะเลจีนใต้ลักษณะเป็นฝนภูเขาพื้นที่หน้าเขาจะได้รับฝนมากกว่าด้านหลังเขา จังหวัดที่มีปริมาณน้ำฝน มากที่สุดของภาคเหนือ คือ เชียงราย และจังหวัดที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุด คือ ลำพูน
- ๓ ฤดูหนาว เป็นฤดูของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคม และสิ้นสุดประมาณเดือนกุมภาพันธ์ มีอุณหภูมิอยู่ที่ 12.5-34.3 องศาเซลเซียส ฤดูหนาวในภาคเหนือมีลักษณะเห็นเด่นชัดกว่าภาคกลางและภาคใต้เพราะอยู่ใกล้แนวเคลื่อนที่ของอากาศหนาวเย็นที่เคลื่อนที่จากเขตความกดอากาศสูงในไซบีเรียและผ่านประเทศจีน
- ๔ ฤดูร้อน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์และไปสิ้นสุดประมาณกลางเดือนพฤษภาคม ภาคเหนือตั้งอยู่ในภาคพื้นทวีปมากที่สุดจึงทำให้มีพิกัดภูมิสูง โดยอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 13.8 – 38.0 องศาเซลเซียส ในเดือนกุมภาพันธ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มอ่อนกำลังลง ทำให้ลมตะวันออกเฉียงใต้จากทะเลจีนมีกำลังแรงขึ้น เป็นผลให้เกิดพายุฤดูร้อนขึ้นในภาคเหนือเป็นครั้งคราวในเดือนมีนาคมและเมษายนอุณหภูมิในภาคเหนือขึ้นสูงมาก

2.1.3 ประชากร

ประชากรของ 8 จังหวัดภาคเหนือมีทั้งสิ้น 6,141,268 คน ความหนาแน่น 71.5 คนต่อตารางกิโลเมตรโดยมีจำนวนประชากรชาย 2,972,909 คนและประชากรหญิง 3,168,359 คน

(กรมการปกครอง, 2557) จังหวัดที่มีประชากรมากที่สุดในภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ รองลงมา คือ เชียงราย ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน ลำพูน และแม่ฮ่องสอน มีจำนวนประชากรน้อยที่สุดเพราะเป็นจังหวัดที่อยู่ห่างไกลติดชายแดนพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าเขาและที่ราบระหว่างหุบเขา ดังนั้นการกระจายของประชากรในภาคเหนือมีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศอย่างมาก บริเวณภูมิประเทศที่มีภูเขาสูง จะมีประชากรอาศัยอยู่น้อยและเบาบาง ส่วนบริเวณที่มีประชากรอยู่หนาแน่นจะอยู่ในบริเวณที่ราบระหว่างหุบเขา ซึ่งเป็นแอ่งแผ่นดินที่มีลำน้ำไหลผ่านหรือมีการตัดถนนผ่านทำให้ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรเป็นหลักเนื่องจากมีพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์สามารถทำการเกษตรได้ตลอดทั้งปีแต่มีข้อจำกัดในด้านพื้นที่เพาะปลูก

2.1.4 การใช้ที่ดิน

พื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือมีทั้งหมด 53,657,662.5 ไร่ แบ่งออกเป็นพื้นที่ป่าไม้มากที่สุด 30,071,678.72 ไร่ ร้อยละ 56.04 ของพื้นที่ รองลงมาใช้เป็นพื้นที่การเกษตรเพื่อการเพาะปลูก 16,443,630.79 ไร่ ใช้ประโยชน์อื่นๆ 7,142,352.99 ไร่ และที่อยู่อาศัย 682,381.19 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 30.65, 13.31 และ 1.27 ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) มีระบบการชลประทานธรรมชาติทำให้สามารถทำการเพาะปลูกได้เกือบตลอดปีในบางแห่ง ผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญได้แก่ ข้าว เหนียว ข้าวเจ้า ยาสูบ พืชผักหลายชนิด และสัตว์เศรษฐกิจ ได้แก่ โค ไก่พื้นเมือง และสุกร สัตว์น้ำเศรษฐกิจ ได้แก่ ปลานิล ปลาดุก และกุ้งก้ามกราม

2.2 ไฟป่า

2.2.1 ความหมาย

Brown and Davis (1973) ให้คำจำกัดความของไฟป่า ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายว่า “ไฟที่ปราศจากการควบคุม ลุกลามไปอย่างอิสระ แล้วเผาผลาญเชื้อเพลิงธรรมชาติในป่า ได้แก่ ดินอินทรีย์ ใบไม้แห้ง หญ้า กิ่งก้านไม้แห้ง ท่อนไม้ ตอไม้ วัชพืช ไม้พุ่ม ใบไม้สด และในระดับหนึ่งสามารถเผาผลาญต้นไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ ลักษณะสำคัญที่แยกแยะไฟป่าออกจากไฟที่เผาตามกำหนด (Prescribe Burning) คือ ไฟป่ามีการลุกลามอย่างอิสระ ปราศจากการควบคุม ในขณะที่ไฟที่เกิดจากการเผาตามกำหนดจะมีการควบคุมการลุกลามให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดเอาไว้เท่านั้น

ศิริ อัคระอัคร (2543) ไฟป่า หมายถึง ไฟที่เกิดขึ้นจากสาเหตุอันใดก็ตาม แล้วลุกลามไปได้โดยอิสระปราศจากการควบคุม องค์ประกอบของการเกิดไฟป่า มี 3 ประการ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความร้อนจากธรรมชาติ เช่น ไฟผ่า การเสียดสีของกิ่งไม้ และความร้อนจากไฟป่าอันเกิดจากมนุษย์ เช่น กิจกรรมนันทนาการ การเก็บหาของป่า การเกษตรกรรม เป็นต้น

ดังนั้นไฟป่า หมายถึง ไฟที่เกิดขึ้นจากสาเหตุใดก็ตาม แล้วลุกลามไปได้โดยอิสระปราศจากการควบคุม ทั้งนี้ไม่ว่าไฟนั้นจะเกิดขึ้นในป่าธรรมชาติหรือสวนป่า



2.2.2 องค์ประกอบของไฟ

ไฟเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากขบวนการทางเคมี เมื่อมีองค์ประกอบทั้ง 3 ประการมารวมตัวกันในสัดส่วนที่เหมาะสมและเกิดการสันดาปให้เกิดไฟขึ้น คือ

- 1) เชื้อเพลิง ได้แก่ อินทรีย์สารทุกชนิดที่ติดไฟได้ เช่น ต้นไม้ ไม้พุ่ม กิ่งไม้ ก้านไม้ ตอไม้ กอไม้ รวมไปถึงดินอินทรีย์ และชั้นถ่านหินที่อยู่ใต้ผิวดิน
- 2) ความร้อน ซึ่งจะมาจาก 2 แหล่ง คือแหล่งความร้อนตามธรรมชาติ เช่น ไฟผ่า การเสียดสีของกิ่งไม้และแหล่งความร้อนจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การจุดไฟในป่า
- 3) ออกซิเจน เป็นก๊าซที่มีโดยทั่วไปในป่า ซึ่งจะมีการแปรผันตามทิศทางของลม

2.2.3 สาเหตุของการเกิดไฟป่า

1) เกิดจากธรรมชาติ

ไฟป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น ไฟผ่า กิ่งไม้เสียดสีกัน ภูเขาไฟระเบิด ก้อนหินกระทบกัน แสงแดดตกกระทบผลึกหิน แสงแดดส่องผ่านหยดน้ำ ปฏิกิริยาเคมีในดินป่าพรุ การลุกไหม้ในตัวเองของสิ่งมีชีวิต (Spontaneous Combustion) มีสาเหตุสำคัญ คือ

- 1.1) ไฟผ่า เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดไฟป่าในเขตอบอุ่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศแคนาดา พบว่ากว่าครึ่งหนึ่งของไฟป่าที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากไฟผ่า
- 1.2) กิ่งไม้เสียดสีกัน อาจเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ป่าที่มีไม้ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น และมีสภาพอากาศแห้งจัด เช่น ในป่าไผ่หรือป่าสน

2) สาเหตุจากมนุษย์

ไฟป่าที่เกิดในประเทศกำลังพัฒนาในเขตร้อนส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์ สำหรับประเทศไทยจากการเก็บสถิติไฟป่าตั้งแต่ปี 2528 - 2542 ซึ่งมีสถิติไฟป่าทั้งสิ้น 73,630 ครั้ง พบว่าเกิดจากสาเหตุตามธรรมชาติ คือ ไฟผ่าเพียง 4 ครั้ง เท่านั้น คือ เกิดที่ภูกระดึง จังหวัดเลย ที่ห้วยน้ำดัง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ท่าชะะ จังหวัดชุมพร และที่เขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา แห่งละหนึ่งครั้ง (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, 2556) ดังนั้น ไฟป่าในประเทศไทยทั้งหมดเกิดจากการกระทำของคน โดยมีสาเหตุ ดังนี้

2.1) เก็บหาของป่า เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟป่ามากที่สุด การเก็บหาของป่าส่วนใหญ่ ได้แก่ ไข่มดแดง เห็ด ใบตองตึง ไม้ไผ่ น้ำผึ้ง ผักหวาน และไม้พิน การจุดไฟส่วนใหญ่เพื่อให้พื้นป่าโล่ง เดินสะดวก หรือให้แสงสว่างในระหว่างการเดินทางผ่านป่าในเวลากลางคืน หรือจุดเพื่อกระตุ้นการงอกของเห็ด หรือกระตุ้นการแตกใบใหม่ของผักหวานและใบตองตึง หรือจุดเพื่อไล่ตัวมดแดงออกจากรัง รมควันไล่ผึ้ง หรือไล่แมลงต่างๆ ในขณะที่อยู่ในป่า

2.2) เผาไร่ เป็นสาเหตุที่สำคัญรองลงมา การเผาไร่เพื่อกำจัดวัชพืชหรือเศษซากพืชที่เหลืออยู่ภายหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกในรอบต่อไป ทั้งนี้โดยปราศจากการทำแนวกันไฟและปราศจากการควบคุม ไฟจึงลามเข้าป่าที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

2.3) แกล้งจุด ในกรณีที่ประชาชนในพื้นที่มีปัญหาความขัดแย้งกับหน่วยงานของรัฐในพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาเรื่องที่ทำกินหรือถูกจับกุมจากการกระทำผิดในเรื่องป่าไม้ ก็มักจะหาทางแก้แค้นเจ้าหน้าที่ด้วยการเผาป่า

2.4) ความประมาท เกิดจากการเข้าไปพักผ่อนในป่า ก่อกองไฟแล้วล้มดับหรือทิ้งก้นบุหรี่ลงบนพื้นป่า เป็นต้น

2.5) ล่าสัตว์ โดยใช้วิธีไล่เหล่า คือจุดไฟไล่ให้สัตว์หนีออกจากที่ซ่อน หรือจุดไฟเพื่อให้แมลงบินหนีไฟ นกชนิดต่างๆ จะบินมากินแมลง แล้วตักยงนกอีกทอดหนึ่ง หรือจุดไฟเผาทุ่งหญ้า เพื่อให้หญ้าใหม่แตกระบัด ล่อให้สัตว์ชนิดต่างๆ เช่น กระตัง กวาง กระต่าย มากินหญ้า แล้วตกรอยยิงสัตว์

2.6) เลี้ยงปศุสัตว์ ประชาชนที่เลี้ยงปศุสัตว์แบบปล่อยให้หากินเองตามธรรมชาติ มักลักลอบจุดไฟเผาป่าให้โล่งมีสภาพเป็นทุ่งหญ้าเพื่อเป็นแหล่งอาหารสัตว์

2.7) ความคึกคะนอง บางครั้งการจุดไฟเผาป่าเกิดจากความคึกคะนองของผู้จุด โดยไม่มีวัตถุประสงค์ใดๆ แต่จุดเล่นเพื่อความสนุกสนาน เท่านั้น

2.2.4 ลักษณะไฟป่าในประเทศไทย

ไฟป่าส่วนใหญ่จะเป็นไฟผิวดิน โดยจะมีความสูงเปลวไฟตั้งแต่ 0.5-3 เมตร ในป่าเต็งรัง จนถึงความสูงเปลวไฟ 5-6 เมตร ในป่าเบญจพรรณที่มีกอไม้หนาแน่น ไฟป่าชนิดนี้ หากสามารถตรวจพบได้ในขณะกำลังเกิดสามารถเข้าไปควบคุมได้ แต่ถ้าเกิดไฟป่าลุกลามเป็นระยะเวลาจะทำให้การควบคุมไฟป่ายากยิ่งขึ้น (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, 2557)

2.2.5 ผลกระทบจากไฟป่า

1) ผลกระทบต่อสังคมพืชและสัตว์ป่า

เมื่อเกิดไฟป่าขึ้นความร้อนและเปลวไฟจากไฟป่า จะทำลายลูกไม้ กล้าไม้เล็กๆ ในป่า หมดโอกาสเติบโตเป็นไม้ใหญ่ ส่วนต้นไม้ใหญ่หยุดการเจริญเติบโต เนื้อไม้เสื่อมคุณภาพลง เป็นผลเกิดเชื้อโรคและแมลงเข้ากัดทำลายเนื้อไม้ สภาพป่าที่อุดมสมบูรณ์เปลี่ยนสภาพเป็นทุ่งหญ้าไปในที่สุดและไฟป่าส่งผลให้สัตว์ป่าได้รับบาดเจ็บล้มตายเพราะหนีไฟไม่ทันโดยเฉพาะอย่างยิ่งลูกอ่อนและสัตว์ที่เคลื่อนไหวช้า ที่หนีรอดก็ขาดที่อยู่อาศัยรวมไปถึงแหล่งอาหารในที่สุดก็อาจต้องตาย

2) ผลกระทบต่อสภาวะอากาศ

ไฟป่าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากอุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้นเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ทำให้มลพิษในอากาศเพิ่มสูงขึ้น อาทิ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น หมอกควันที่เกิดจากไฟป่าก่อให้เกิดทัศนวิสัยไม่ดีต่อการบินเครื่องบิน บางครั้งไม่สามารถขึ้นบินหรือลงจอดได้ส่งผลให้เกิดผลเสียหายทางเศรษฐกิจ รวมไปถึงสูญเสียสภาพความสวยงามตามธรรมชาติ ทำให้สภาพไม่เหมาะในการท่องเที่ยวอีกต่อไป

3) ผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน

หมอกควันจากไฟป่าจัดได้ว่าเป็นมลพิษทางอากาศที่สำคัญ ผลผลิตของกระบวนการเผาไหม้หรือสันดาปที่ไม่สมบูรณ์เป็นต้นกำเนิดของสารมลพิษทางอากาศที่ฝังตัวอยู่กับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก เช่น ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเมื่อเข้าไปในปอดแล้วไม่สามารถขับออกมาได้ทำให้ประชาชนเกิดการเจ็บป่วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือดและตาอักเสบและยังพบสารมลพิษกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งเป็นสารกลุ่มที่ก่อให้เกิดมะเร็ง

4) ผลกระทบจากต่อดินป่าไม้

ไฟป่าเผาทำลายสิ่งปกคลุมดิน หน้าดินจึงเปิดโล่ง เมื่อฝนตกลงมาเม็ดฝนก็จะตกกระแทกกับหน้าดินโดยตรง เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่าย ทำให้น้ำที่ไหลป่าไปตามหน้าดินพัดพาหน้าดินอันอุดมสมบูรณ์ไปด้วย และดินอัดตัวแน่นที่ชั้นการซึมน้ำไม่ดี ทำให้การอุ้มน้ำหรือดูดซับความชื้นของดินลดลงไม่สามารถเก็บกักน้ำและธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชได้

5) ผลกระทบจากไฟป่าต่อน้ำ

น้ำที่เต็มไปด้วยตะกอนและซี้เถ้าจากผลของไฟป่าจะไหลสู่ลำห้วยลำธาร ทำให้ลำห้วยชุ่มชื้นมีสภาพไม่เหมาะต่อการใช้อีกต่อไป เมื่อดินตะกอนไปถล่มในแม่น้ำมากขึ้น ลำน้ำก็จะตื้นเขิน จุน้ำได้น้อยลง เมื่อฝนตกลงมาน้ำก็จะเอ่อล้นท่วมสองฝั่งเกิดเป็นอุทกภัย ที่สร้างความเสียหายในด้านการเกษตรการเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ และสร้างความเสียหายเมื่อน้ำทะเลลึกเข้าท่วมบ้านเรือนทำให้ทรัพย์สินได้รับความเสียหาย หน้าแล้งพื้นดินที่มีแต่กรวดทรายและชั้นดินแน่นที่บจากผลของ"ไฟป่า" ไม่สามารถเก็บกักน้ำในช่วงฤดูฝนเอาไว้ได้ ทำให้ลำน้ำแห้งขอดเกิดสภาวะแห้งแล้งขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคและเพื่อการเกษตร

6) ผลกระทบจากไฟป่าต่อการนันทนาการ

ผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากไฟป่านั้น มีส่วนในการทำลายธรรมชาติ ซึ่งเป็นสถานที่และแหล่งท่องเที่ยวอันเป็นรายได้สำคัญของประเทศ รวมทั้งจะทำให้ขาดแหล่งพักผ่อนหย่อนใจตามธรรมชาติ ผลกระทบจากไฟป่าต่อทรัพย์สิน สุขภาพ และชีวิตของมนุษย์ ในพื้นที่ที่เกิดไฟป่า ส่วนใหญ่จะทำความเสียหายให้กับบ้านเรือนที่อาศัยอยู่บริเวณชายป่า ทั้งบ้านเรือนที่ถูกไฟไหม้และผลผลิตทางการเกษตร

2.3 มลพิษทางอากาศจากไฟป่า

กระบวนการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ของชีวมวล (Biomass burning) เมื่อเกิดไฟป่า ทำให้ควันซึ่งประกอบด้วยสารมลพิษอากาศ 2 กลุ่ม ได้แก่ สารมลพิษที่มีลักษณะเป็นอนุภาค และสารมลพิษที่มีลักษณะเป็นก๊าซ

2.3.1 สารมลพิษที่มีลักษณะเป็นอนุภาค (Particulate Matter)

เป็นอนุภาคสารมลพิษที่อยู่ในรูปของแข็งหรือของเหลวที่อุณหภูมิและความดันปกติ อนุภาคจะมีขนาดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดและแหล่งที่ปล่อยออกมาโดยจะมีขนาดตั้งแต่ 0.01 - 1,000 ไมครอน แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีขนาดเล็กกว่า 50 ไมครอน อนุภาคที่ทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพและเข้าสู่ร่างกายได้ คืออนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดิน

หายใจของร่างกายมนุษย์ได้อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน เรียกว่า สารอนุภาค (Suspended particulate matter) PM_{10} หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า ฝุ่นละออง สามารถจะลอยและฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศได้เป็นเวลาดือนาน โดยจะถูกแรงดึงดูดของโลกทำให้ตกลงบนพื้นและอาจจะกลับฟุ้งกระจายขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักของอนุภาคมลสารที่เป็นอนุภาค

2.3.1.1 ฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter: SPM)

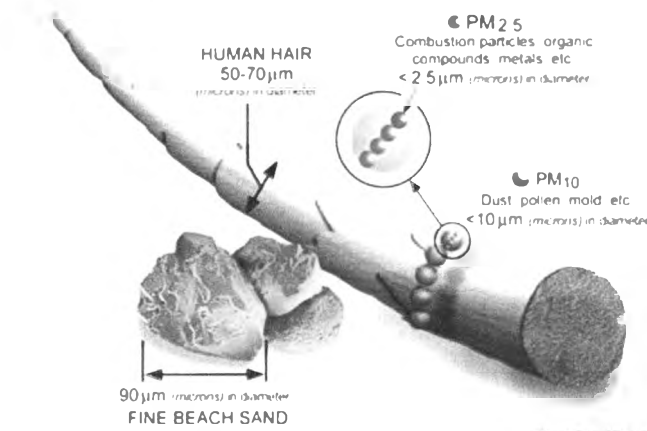
ฝุ่นละอองเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบอาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลว ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ตัวเรา มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน (เป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน) ไปจนถึงฝุ่นที่ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน (ฝุ่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป) ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการตกต่ำและจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศกระแสนม เป็นต้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอนอาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นฝุ่นละอองในบรรยากาศอาจแยกได้เป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดโดยตรงและฝุ่นละอองซึ่งเกิดขึ้น โดยปฏิกิริยาต่าง ๆ ในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์หรือปฏิกิริยาทางเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical reaction)

2.3.1.2 ประเภทของฝุ่นละออง

1) ฝุ่นทั้งหมด (Total Suspended Particulate) คือ ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอนทั้งหมด ฝุ่นชนิดนี้จะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนต้นได้โดยจะก่อให้เกิดการระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจ แหล่งกำเนิดของฝุ่นชนิดนี้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม โดยจะเกิดจากกระบวนการผลิตคือ การบดไม้และการขัด เกิดจากการเกษตรกรรม โดยเกิดจากการไถนาการสีข้าว และการฉีดยาฆ่าแมลง และยังเกิดจากการก่อสร้าง การขนส่ง เป็นต้น

2) ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นชนิดนี้มีขนาดเล็กมากจึงสามารถที่จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนปลายได้โดยจะไปเกาะอยู่ตามแขนงและผนังของทางเดินหายใจ ซึ่งจะทำให้ระบบทางเดินหายใจเกิดการระคายเคืองและอักเสบได้ ยิ่งถ้าร่างกายอยู่ในสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดโรคด้วยแล้วก็จะยิ่งเพิ่มความเสี่ยงมากขึ้น ฝุ่นชนิดนี้ดังที่กล่าวมาแล้วว่ามีขนาดเล็กมาก ดังนั้นเราอาจจะได้รับเข้าสู่ร่างกายโดยที่เราไม่รู้ตัว ถ้าเราได้รับในปริมาณที่มาก หรือได้รับในปริมาณที่น้อย แต่ได้รับทุกวันก็จะทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย เมื่อเวลาผ่านไป ก็จะก่อให้เกิดอาการที่ชัดเจนขึ้น แหล่งกำเนิดของฝุ่นชนิดนี้ เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็ง เช่น ถ่านหิน ไม้ฟืน มีสถานะเป็นของเหลวเช่น ดีเซล เบนซิน น้ำมันเตา เป็นต้น และเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นแก๊ส เช่น แก๊สหุงต้ม แก๊สธรรมชาติ เป็นต้น นอกจากนี้การคมนาคมขนส่ง การผลิตไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงก็จะสามารถก่อให้เกิดสารมลพิษที่เป็นอนุภาคขนาดเล็กได้อีกด้วย

3) ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเมตร เกิดจากควันไอเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การใช้ฟันในการหุงต้มอาหาร และปฏิกิริยาของแก๊ส SO₂ NO_x และสาร VOCs กับสารอื่นๆ ในบรรยากาศ ที่ทำให้เกิดฝุ่นละออง (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ขนาดฝุ่นละอองเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผมมนุษย์
ที่มา: U.S. Environmental Protection Agency. (2013)

2.3.2 สารมลพิษที่เป็นก๊าซ (Gases Pollutants)

สารพิษที่อยู่ในสภาพก๊าซและไอที่เกิดจากไฟป่า ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) มีเทน (CH₄) โอโซน (O₃) แอมโมเนีย (NH₃) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) สารอินทรีย์ระเหย (VOCs) และ polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) (Crutzen and Andreae, 1990 และ Mckenzie et al., 2002) การศึกษาครั้งนี้สนใจศึกษา คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) โอโซน (O₃) สารอินทรีย์ระเหย BTEX โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.2.1 แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เป็น ก๊าซพิษที่ไม่มีสีไม่มีรส และไม่มึนกลิ่น เบากว่าอากาศเล็กน้อย มีความคงตัวสูงมาก มีช่วงชีวิตประมาณ 2-3 เดือน ในบรรยากาศ ดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น 467 ไมครอน ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นแสงอินฟราเรด แหล่งที่มาหรือแหล่งเกิดของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จำแนกได้ 2 แหล่ง คือ

1) แหล่งธรรมชาติ ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของมีเทนหรือโฟโตเคมีคัลออกซิเดชันของสารอินทรีย์บนผิวทะเล

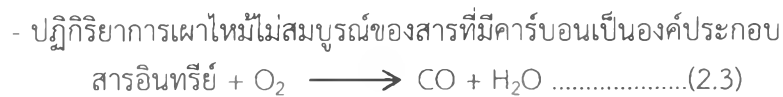
- ปฏิกิริยาออกซิเดชันมีเทนในบรรยากาศ



- CO ที่เกิดจากมหาสมุทร



2) จากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน หรือถ่านไม้ ซึ่งมีส่วนผสมของคาร์บอน (C) เป็นต้น คาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดเมื่อคาร์บอนในเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่แพร่กระจายถูกปล่อยสู่บรรยากาศ ร้อยละ 60 มาจากยานพาหนะ สำหรับในเขตเมืองคาร์บอนมอนอกไซด์ถูกปล่อยจากยานพาหนะเป็นหลัก ซึ่งเป็นผลให้ในพื้นที่ที่มีการจราจรติดขัดมีปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์สูง นอกจากนี้กระบวนการอุตสาหกรรมและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากแหล่งกำเนิดประเภทเตาเผาหรือหม้อต้มน้ำก็เป็นแหล่งที่ปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์



2.3.2.2 โอโซน (O₃)

โอโซน คือ ก๊าซธรรมชาติรูปแบบหนึ่งของออกซิเจนที่ไม่เสถียรแต่มีพลังงานในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง โดยเมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะไม่เหลือสารพิษตกค้างใดๆ นอกจากออกซิเจน จึงมีการนำโอโซนไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งในครัวเรือน สำนักงานจนถึงโรงงานอุตสาหกรรม ก๊าซโอโซน (O₃) บริสุทธิ์จะมีสีน้ำเงินแกมมีกลิ่นคล้ายคลอรีน ละลายน้ำได้มากกว่าออกซิเจน มีจุดเดือดที่ -111.5 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวที่ -251 องศาเซลเซียส โดยปกติพบก๊าซโอโซนได้ในชั้นบรรยากาศ 2 บริเวณ คือ ร้อยละ 90 พบในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ที่ความสูงประมาณ 8 ถึง 50 กิโลเมตร พบโอโซนหนาแน่นที่ประมาณ 15 - 35 กิโลเมตร เรียกว่า ชั้นโอโซนส่วนที่เหลือร้อยละ 10 พบที่บริเวณชั้นล่างลงมาคือชั้นโทรโพสเฟียร์ โมเลกุลของโอโซนใน 2 บริเวณนี้มีลักษณะทางเคมีเหมือนกัน เพราะประกอบด้วยอะตอมออกซิเจน 3 อะตอมรวมกันด้วยสูตรเคมี O₃ แต่มีผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตต่างกัน โอโซนในบรรยากาศสตราโตสเฟียร์มีบทบาทสำคัญในการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เป็นอันตรายทางชีวภาพ ที่เรียกว่า UV-B มีเพียงส่วนน้อยที่ส่องถึงพื้นโลกการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้เกิดความอบอุ่นในบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ ซึ่งมีลักษณะอุณหภูมิสูงขึ้นตามความสูง โอโซนจึงมีความสำคัญต่อระบบอุณหภูมิในบรรยากาศโลก หากปราศจากการกรองรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วจะมีรังสีส่องถึงพื้นโลกมากขึ้น และส่งผลกระทบต่อมนุษย์สัตว์และพืชส่วนที่ผิวพื้นโลกโอโซนกลับเป็นอันตรายเพราะว่าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น และระดับโอโซนที่สูงจะเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นผลกระทบเชิงลบ ตรงกันข้ามกับคุณประโยชน์ในการช่วยกรองรังสี UV-B บทบาททั้งสองประการของโอโซนนำไปสู่เรื่องของสิ่งแวดล้อมที่แยกประเด็นกันชัดเจน คือ

1) ความเป็นห่วงเรื่องการสูญเสียโอโซนในบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ เครื่องมือต่างๆ ทั้งภาคพื้นดิน และดาวเทียมตรวจพบว่ามีโอโซนลดลงมากเหนือทวีปแอนตาร์กติกถึงร้อยละ 60 ระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายนของทุกปี que เรียกว่าปรากฏการณ์ "รูรั่วโอโซนในทวีปแอนตาร์กติก" (Antarctic Ozone Hole) และเกิดการลดลงทำนองเดียวกันในขั้วโลกเหนือคือทวีปอาร์กติกในฤดูหนาวถึงฤดูใบไม้ผลิ ตามปกติ คือ เดือนมกราคมถึงมีนาคม ในช่วงเวลากว่า 10 ปีที่ผ่านมา อัตราการลดลงของโอโซนเฉลี่ยถึงร้อยละ 20 - 25 ส่งผลทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

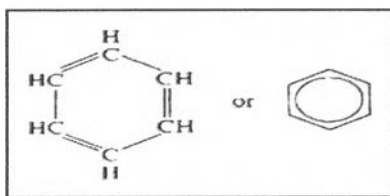
2) ความเป็นห่วงในโอโซนผิวพื้นที่เพิ่มขึ้น โอโซนที่ระดับพื้นเป็นสารมลพิษทุติยภูมิ (secondary pollutant) เกิดจากปฏิกิริยาเคมี Photochemical Oxidation ระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดได้ง่ายในถนน เพราะแหล่งกำเนิด คือ รถดีเซล และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ที่เกิดจากไฟป่าที่นับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดสภาพโฟโตเคมีคอลสม็อก ซึ่งมีลักษณะเหมือนหมอกสีขาวๆ ปกคลุมอยู่ทั่วไปในอากาศ นอกจากนี้เมื่อมีปริมาณก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศที่มนุษย์อาศัยอยู่เพิ่มขึ้นทำให้ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต

2.3.2.3 สารอินทรีย์ระเหย BTEX

สารอินทรีย์ระเหย BTEX หมายถึง เบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylene) เรียกรวมว่าสารกลุ่ม BTEX เป็นสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มของสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิงในวัตถุดิบของอุตสาหกรรมประเภทปิโตรเคมีพลาสติกและโพลีเมอร์ สารกลุ่มนี้ถูกนำไปใช้เป็นตัวทำละลายในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท และเป็นสารเคมีที่ใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง สารเหล่านี้มีอันตรายต่อระบบประสาทและเบนซีนจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งองค์การอนามัยโลกกำหนดค่ามาตรฐานในบรรยากาศที่ระดับความเข้มข้น 5 ppb หรือ $16.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Decha; Jinsart and Martin, 2006)

1. โครงสร้างและคุณสมบัติของสารอินทรีย์ระเหย BTEX

1.1 เบนซีน (Benzene) หรือ Phenyl hydride สูตรเคมี คือ C_6H_6 บางครั้งอาจเขียนเป็นตัวย่อ Ph-H โครงสร้างของเบนซีนมีลักษณะคาร์บอนต่อกันเป็นวงยึดกันด้วยพันธะเดี่ยว สลับกับพันธะคู่เป็นสารไม่อิ่มตัว ดังรูปที่ 2.3



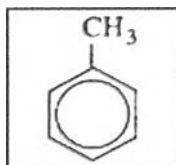
รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของสารเบนซีน

ที่มา : Seinfeld and Pandis. (1998)

คุณสมบัติของเบนซีน

เบนซีนมีคุณสมบัติ คือ เป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นนำดม ระเหยได้เร็ว ละลายน้ำได้เล็กน้อย ไวไฟมาก เกิดได้ทั้งจากการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติและกระบวนการผลิต เบนซีนเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติก เรซินไนลอน และใยสังเคราะห์ ผลิตภัณฑ์บางชนิด ได้แก่ ยาง สารหล่อลื่น สี ดีเทอโรเจนท์ และยาฆ่าแมลง อาจใช้เบนซีนในการผลิตด้วย ภูเขาไฟระเบิด และไฟไหม้ป่าทำให้เกิดเบนซีนตามธรรมชาติได้ เบนซีนยังเป็นส่วนหนึ่งของน้ำมันดิบ (crude oil) น้ำมันเบนซินที่เราใช้เติมในรถยนต์ (gasoline) และในควันทูหรือ

1.2 โทลูอิน (Toluene) สูตรเคมี คือ C_7H_8 เกิดจากโครงสร้างของเบนซีนมีลักษณะคาร์บอนต่อกันเป็นวงยึดกันด้วยพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่เป็นสารไม่อิ่มตัว กลุ่ม Monosubstituted benzene ที่มีหมู่แทนที่ ไฮโดรเจนหมู่เดียว ไม่ต้องบอกตำแหน่งหมู่แทนที่ ดังรูปที่ 2.4

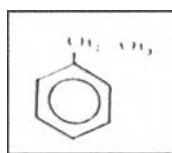


รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของโทลูอิน
ที่มา : Seinfeld and Pandis. (1998)

คุณสมบัติของโทลูอิน

เป็นของเหลว ไม่มีสี ระเหยเป็นไอและติดไฟได้ง่ายที่ความดันอากาศและอุณหภูมิปกติมีกลิ่นคล้ายเบนซีน คือ กลิ่นหอมหวานแรง ใช้เป็นสารตัวทำละลายในสี แลคเกอร์ กาว เป็นสารเติมในน้ำมัน เป็นสารสกัดสารอื่น ใช้ในการผลิตกรดเบนโซอิก เบนซิลดีไฮด์ วัตถุระเบิดและสารประกอบอินทรีย์อีกหลายชนิด ผู้ทำอาชีพที่เกี่ยวข้องเป็นกลุ่มเสี่ยงในการเกิดโรคพิษโทลูอิน

1.3 เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) หรือ Phenyl ethane สูตรเคมี คือ C_8H_{10} เกิดจากโครงสร้างของเบนซีนมีลักษณะคาร์บอนต่อกันเป็นวงยึดกันด้วยพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่เป็นสารไม่อิ่มตัว กลุ่ม Monosubstituted benzene ที่มีหมู่แทนที่ ไฮโดรเจนหมู่เดียว ไม่ต้องบอกตำแหน่งหมู่แทนที่ เรียกชื่อหมู่แทนที่ก่อนตามด้วยเบนซีน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของเอทิลเบนซีน
ที่มา : Seinfeld and Pandis. (1998)

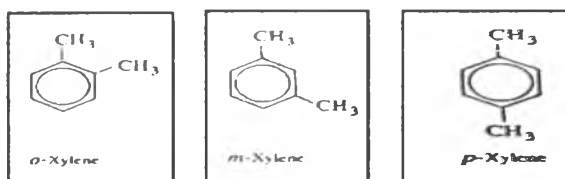
คุณสมบัติของเอทิลเบนซีน

เป็นของเหลว ไม่มีสี กลิ่นคล้ายอะโรมาติก ละลายน้ำได้น้อย เป็นตัวทำละลาย ในกระบวนการดูดซับ และในน้ำมันปิโตรเลียม ใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก ยา สิ่งพิมพ์ สารกำจัดศัตรูพืช อุตสาหกรรมปิโตรเคมี รวมทั้งใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารเอทิลเบนซีน ได้แก่ การเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ ควันบุหรี่ รวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

1.4 ไชลีน (Xylene) หรือ Dimethylbenzene, Methyl toluene, Xylol สูตรเคมี คือ $C_6H_4(CH_3)_2$ หรือ C_8H_{10} เกิดจากโครงสร้างของเบนซีนมีลักษณะคาร์บอนต่อกันเป็นวงยึดกัน

ด้วยพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่เป็นสารไม่อิ่มตัว กลุ่ม Disubstituted benzene เป็นเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ แทนไฮโดรเจน 2 หมู่ ดังรูปที่ 2.6 ประกอบด้วย 3 ไอโซเมอร์ ดังนี้

- o-xylene, อาจเรียก o-methyltoluene หรือ 1,2-dimethylbenzene
- m-xylene อาจเรียก m-methyltoluene หรือ 1,3-dimethylbenzene
- p-xylene อาจเรียก p-methyltoluene หรือ 1,4-dimethylbenzene



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของ o-xylene, m-xylene และ p-xylene
ที่มา : Seinfeld and Pandis. (1998)

คุณสมบัติของไซลีน

เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอมอโรมาติกคล้ายกลิ่นเบนซีน ระเหยเป็นไอได้ ไซลีนเป็นตัวทำละลายในกลุ่มอะโรมาติกชนิดหนึ่ง ระเหยได้ในอุณหภูมิห้อง ใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด ไอระเหยของสารชนิดนี้ทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา เยื่อบุทางเดินหายใจ และกดระบบประสาทได้ การสัมผัสในรูปของเหลวทำให้ระคายเคืองผิวหนัง การกินเข้าไปทำให้ระคายเคืองทางเดินอาหาร

2.4 ปัญหามลพิษทางอากาศและหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

2.4.1 สภาวะปัญหามลพิษและหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

ปัญหามลพิษทางอากาศและหมอกควันในภาคเหนือของประเทศไทยจะเกิดขึ้นในฤดูแล้งช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนของทุกปี โดยที่วิฤตความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นข่าวไปทั่วโลกในเดือนมีนาคม 2550 เมื่อมีหมอกควันปกคลุมในหลายพื้นที่ในระดับที่ไม่เคยปรากฏมาก่อน โดยพบว่าหมอกควันปกคลุมพื้นที่ในจังหวัดเชียงใหม่มากที่สุด กรมควบคุมมลพิษได้รายงาน ปริมาณ PM_{10} สูงสุด $383 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งสูงกว่าระดับมาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ค่าเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมงไม่เกิน $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ไปกว่า 3 เท่า เป็นสถิติสูงสุดของประเทศไทยเท่าที่ได้มีการตรวจวัดคุณภาพอากาศอย่างเป็นทางการเป็นต้นมา เฉพาะในช่วงวันที่ 15-23 มีนาคม 2550 สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขได้รับรายงานจำนวนประชาชนในภาคเหนือได้รับผลกระทบสุขภาพจากภาวะหมอกควันในช่วงนั้นถึง 61,380 คน (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) ต่อมาในปี 2553 ได้ตรวจพบค่าเฉลี่ย ของปริมาณ PM_{10} ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนสูงถึง $518.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เกินเกณฑ์มาตรฐานมากกว่า 4 เท่า และเป็นค่าสูงสุดในรอบ 20 ปี นับแต่เริ่มมีการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในประเทศไทยและในช่วงสถานการณ์ไฟป่าและหมอกควันในปี 2555 ได้ตรวจพบค่าเฉลี่ยของปริมาณ PM_{10} สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดในช่วงเดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนเมษายน 2555 เป็นระยะเวลาถึง 55 วันและมีค่าสูงสุดอยู่ที่ $470.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่จังหวัดเชียงใหม่และในปี 2556 ปริมาณเฉลี่ย $135.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีระดับ PM_{10} สูงสุดในรอบปีที่ $388 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีจำนวนวันของค่า PM_{10}

เกินค่ามาตรฐานสูงสุดจำนวน 37 วัน แสดงถึงภาวะปัญหามลพิษอากาศและหมอกควันยังคงมีความรุนแรงอย่างต่อเนื่อง พิจารณาจากจำนวนวันที่มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM₁₀ เกินกว่ามาตรฐานในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553-2556 ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 จำนวนวันที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) เกินกว่ามาตรฐาน ในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553-2556 : จำแนกตามจุดตรวจวัด

จังหวัด	จุดตรวจวัด	จำนวนวันที่ค่า PM ₁₀ เกินมาตรฐาน			
		พ.ศ. 2553	พ.ศ. 2554	พ.ศ. 2555	พ.ศ. 2556
เชียงใหม่	โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย	25	*	15	24
	ศาลากลางเชียงใหม่	19	0	15	10
ลำปาง	ศาลหลักเมืองลำปาง	17	0	26	14
	รพ.สต.บ้านสบป่าด แม่เมาะ	11	0	17	8
	รพ.สต.บ้านท่าสี่ แม่เมาะ	19	0	25	22
	การประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ	3	0	22	11
ลำพูน	สนามกีฬา อบจ.ลำพูน	41	0	24	13
แม่ฮ่องสอน	สนง.ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม	38	4	33	37
เชียงราย	สนง.ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม	40	1	33	25
	สสอ.แม่สาย	*	*	54	19
พะเยา	ศูนย์การเรียนรู้บ้านพะเยา	0	5	28	17
แพร่	อุดุนิยมวิทยาแพร่	0	1	26	27
น่าน	สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน	20	0	27	23
	รวม	233	11	345	250

หมายเหตุ * ไม่มีการตรวจวัด

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2556)

2.4.2 หมอกควัน

1) ความหมายของหมอกควัน

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2552 ได้ให้คำจำกัดความของหมอกและควันไว้ดังนี้ หมอก(fog) หมายถึง ละอองน้ำขนาดเล็กมากที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำ ลอยอยู่ในอากาศ หรือ สีเทาแก่อ่างสีเมฆ เป็นฝ้ามัว เช่น ตาหมอก ควัน(smoke) หมายถึง สิ่งที่เห็นเป็นสีดำหรือขาวคล้ายหมอกลอยออกมาจากของที่กำลังไหม้ไฟ หรือจากการเผาไหม้ ถ้ามีความหมายเฉพาะสาขาวิทยาศาสตร์ ควัน หมายถึง แก๊สที่มีอนุภาคละเอียดของของแข็งแขวนลอยอยู่

หมอกควัน คือปรากฏการณ์ที่ฝุ่น ควัน และอนุภาคแขวนลอยในอากาศ รวมตัวกันในสภาวะที่อากาศปิด หมอกควัน เกิดขึ้นได้ง่ายในสภาพอากาศแห้ง ลักษณะภูมิประเทศที่เอื้อให้เกิดหมอกควันปกคลุม ได้แก่ พื้นที่แอ่งกระทะ หรือพื้นที่ปิดระหว่างหุบเขาประกอบกับบรรยากาศเหนือภูมิประเทศนั้นมีชั้นอุณหภูมิผกผันเกิดขึ้น (Temperature Inversion) ซึ่งก็คือ มวลอากาศเย็นจะอยู่ใกล้พื้นดิน เพราะมีความหนาแน่น และมีน้ำหนักมากกว่ามวลอากาศร้อน หากมวลอากาศร้อนที่ไหลอยู่ด้านบนของอากาศเย็น เคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วและรุนแรง จะสามารถปิดกั้นการถ่ายเทความร้อน และอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศด้านล่างไม่ให้ขึ้นมาด้านบนได้ (วิจารณ์ สิมานายา, 2555)

2) ประเภทของหมอกควัน สามารถแบ่งตามสภาวะออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

2.1) หมอกปนควันแบบลอสแอนเจลิส (Los Angeles-type smog) เกิดจากสารมลพิษอากาศปฐมภูมิ (โดยเฉพาะ NO_x) ทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศและได้รับการกระตุ้นของแสงอาทิตย์ (photochemical smog) ทำให้ได้แก๊สโอโซนจำนวนมาก หมอกที่เกิดขึ้นจะมีสีน้ำตาล มักจะเกิดขึ้นช่วงบ่าย ในสภาวะอากาศร้อนจัดและแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

2.2) หมอกปนควันแบบลอนดอน (London-type smog) เกิดจากการใช้ไม้ฟืนและถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลักในการให้ความร้อนในครัวเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเขม่าควันไฟที่ออกมาประกอบไปด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อไอน้ำในบรรยากาศ รวมตัวกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะทำให้เกิดอนุภาคแขวนลอยของสารประกอบกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ทำให้อากาศมีความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้น ลักษณะหมอกปนควันที่เกิดขึ้นเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่า หมอกปนควันแบบซัลฟิวรัส มักเกิดขึ้นในช่วงเช้ามืด ในสภาวะอากาศหนาวเย็น มีหมอกจัด ความชื้นสัมพัทธ์สูง

3) สาเหตุของการเกิดหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่

3.1) ไฟป่า

การเกิดไฟป่าส่วนใหญ่เกิดจากการที่คนจุดไฟเผาป่าเพื่อหาของป่า ล่าสัตว์ เผาไร่หรือเกิดจากความประมาท เลินเล่อหรือมีทัศนคติที่ไม่ถูกต้องต่อปัญหาไฟป่า จากสถิติการเกิดไฟป่าของภาคเหนือตอนบน 5 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปี 2552 ถึง 2556 มีไฟป่าเกิดขึ้น 11,983 ครั้ง มีพื้นที่เสียหาย 83,569 ไร่ พบว่าในปี 2556 มีจำนวนการเกิดไฟป่าเพิ่มขึ้นเกือบหนึ่งเท่าจากปี 2554 จากการศึกษาของเจียมใจ เครือสุวรรณและคณะ (2551) พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กมีแหล่งกำเนิดจากไฟป่าและการเผาพื้นที่การเกษตรประมาณร้อยละ 50 - 70 จากเครื่องยนต์ดีเซลประมาณร้อยละ 10 โดยส่วนที่เหลือเป็นการพัดพาจากแหล่งกำเนิดภายนอก อาทิ อุตสาหกรรม ครัวเรือนและฝุ่นละอองจากถนน

3.2) การเผาขยะมูลฝอยจากชุมชน

การเผาขยะจากชุมชนที่ไม่ได้มีการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงทำให้เกิดหมอกควัน ซึ่งปริมาณของควันในรูปของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดจากการเผาขยะ โดยเฉลี่ยจะเท่ากับ 45 กรัมต่อครัวเรือนต่อวัน นอกจากนี้ในขยะมูลฝอยที่มีพลาสติกปนอยู่หากมีการเผาในที่โล่งจะก่อให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยที่มีสารมลพิษอยู่ด้วย ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ระเหยคิดเป็นน้ำหนัก 14 กรัมต่อการเผาขยะมูลฝอย 1 กิโลกรัม โดยสารมลพิษที่พบ ได้แก่ เบนซีนและไดออกซินซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

3.3) การเผาเศษพืชหรือเศษวัสดุทางการเกษตรและวัชพืชริมถนน

เกิดจากความเชื่อของเกษตรกรที่ว่า เผาเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิต ช่วยกำจัดวัชพืชและเชื้อโรคในดิน การเผาเพียงเล็กน้อยไม่ก่อให้เกิดปัญหา

3.4) มลพิษจากอุตสาหกรรม

เกิดจากการเผาไม้เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสร้างความร้อนให้กับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ

3.5) มลพิษจากการจราจร

เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะ

2.4.3 ผลกระทบต่อสุขภาพจากหมอกควันและมลพิษอากาศ

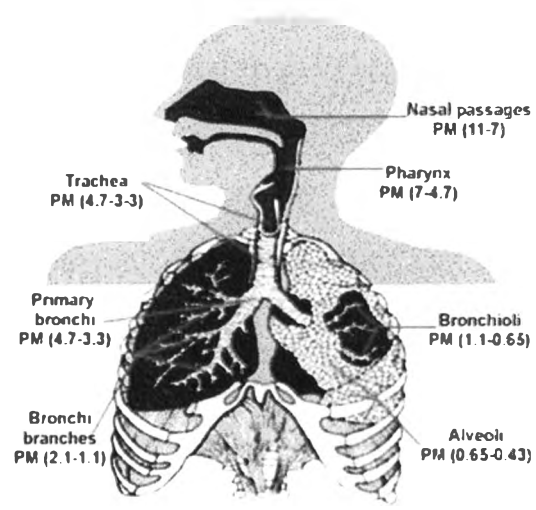
หมอกควันจัดได้ว่าเป็นมลพิษทางอากาศที่สำคัญของภาคเหนือเป็นผลผลิตของกระบวนการเผาไหม้หรือสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ เป็นต้น กำเนิดของสารมลพิษทางอากาศที่ฝังตัวอยู่กับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ เช่น โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ หอบหืด โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดแข็ง เป็นต้น โดยบุคคลที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยง เช่น เด็กเล็ก ผู้สูงอายุ หญิงตั้งครรภ์ ผู้ป่วยโรคเรื้อรัง และผู้ต้องทำงานกลางแจ้ง จะต้องระมัดระวังการสัมผัสมลพิษเป็นพิเศษ ซึ่งมลพิษจากหมอกควันจะทำให้เกิดโรค 4 กลุ่มโรค ได้แก่ โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด โรกระบบทางเดินหายใจ โรคตาอักเสบ และโรคผิวหนังอักเสบ (ชัชวาลสิงห์กันต์, 2555)

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงสนใจศึกษาสารมลพิษอากาศที่เกิดจากหมอกควันและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ได้แก่ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนอกไซด์ โอโซน และสารอินทรีย์ระเหย BTEX

2.4.3.1 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀)

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) สามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจ โดยระบบทางเดินหายใจแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนบนตั้งแต่ จมูก คอหอยถึงหลอดลมคอ และส่วนล่าง ได้แก่ หลอดลม คอส่วนนอก หลอดลมและปอด ส่วนต่างๆ ของทางเดินหายใจจะถูกกระทบโดยสารพิษต่างๆ ที่หายใจได้ ทางเดินหายใจ ส่วนบนมีขนจมูกและความชื้นกรองฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ทางผ่านอากาศส่วนล่างในปอดประกอบด้วยหลอดลมฝอยมากมาย ซึ่งจะทำให้ความเร็วของการไหลของอากาศในปอดลดลงจึงมีผลต่อการตกค้างของฝุ่นละอองในปอด ดังรูปที่ 2.7





รูปที่ 2.7 ขนาดของฝุ่นละอองที่สามารถผ่านระบบทางเดินหายใจตามส่วนต่างๆ
ที่มา: กระทรวงสาธารณสุข (2556)

1. กลไกการตกค้างของฝุ่นละอองในทางเดินหายใจ (U.S.EPA.,2005b) ได้แก่

- 1.1) การปะทะเนื่องจากความเฉื่อย (inertial impaction)
- 1.2) การตกตะกอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (sedimentation)
- 1.3) การแผ่ซ่านของโมเลกุลแบบบราวเนียน (diffusion)
- 1.4) กลไกการทำอันตรายของอนุภาคมลสาร (Mechanism of particulates damage)

2. ผลของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ต่อบริเวณทางเดินหายใจร่างกาย

2.1) การอักเสบของถุงลมปอด (alveolar inflammation)

การคั่งค้างของอนุภาคมลสารขนาดเล็กมากเกิดจากความล้นเหลวของเม็ดเลือดขาวที่จะจับและทำลายอนุภาคมลสารขนาดเล็ก หลักฐานในสัตว์ทดลองนำไปสู่สมมุติฐานที่ว่าอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กและไวต่อปฏิกิริยาทางเคมีจะทำให้เกิดปฏิกิริยาตอบสนองอย่างเดียวกันในมนุษย์ทำให้เกิดการอักเสบของถุงลมปอดจากการกระตุ้นของอนุภาคมลสารขนาดเล็ก กระบวนการเกิดการอักเสบของปอดพบได้จากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในพลาสมาที่จะกลายเป็นไฟบรินและมีจำนวนเม็ดเลือดขาวที่เพิ่มขึ้น

2.2) การจับตัวเป็นลิ่มของทางเดินโลหิต (clotting pathway)

เม็ดเลือดขาวที่ถูกกระตุ้นโดยสิ่งเร้าต่างๆ นำไปสู่กระบวนการตกตะกอนของเลือดโดยโปรตีนในพลาสมาจะเปลี่ยนไปเป็นโปรตีน (ไฟบริโนเจน) ที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดซึ่งหลั่งออกมาจาก pneumatocytes เนื่องจากการอักเสบของเซลล์ถุงลมในปอด มีส่วนส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนของเลือดและเป็นสาเหตุของอุบัติการณ์ของโรคหัวใจล้มเหลว



2.3) ความข้นเหนียวของพลาสมา (plasma viscosity)

การศึกษาในเยอรมนี พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของพลาสมากับการเปลี่ยนแปลงระดับมลพิษทางอากาศในกลุ่มผู้หญิงและกลุ่มผู้ชายที่ไม่สูบบุหรี่ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของโลหิตเนื่องมาจากกระบวนการอักเสบของเซลล์ถุงลมในปอดนำไปสู่ปฏิกิริยาเฉียบพลันทางพยาธิวิทยาที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นละอองในอากาศและอุบัติการณ์การเสียชีวิต

2.4) การถูกกระตุ้นของทางผ่านอากาศในท่อหายใจ (airway reactivity)

การหดตัวของกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นเมื่อตัวรับสัมผัสในหลอดลมคอ (trachea) และหลอดลมใหญ่ (large bronchi) ถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้า เช่น อากาศเย็น ควันบุหรี่และมลพิษทางอากาศ สารเคมีที่หลังจากกล้ามเนื้อเรียบของทางเดินหายใจที่สำคัญคือ สารก่อภูมิแพ้และสารที่มีฤทธิ์กระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบ เช่น พรอสตาแกลนดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งในหลอดลมของผู้ป่วยที่เป็นโรคหืดจะทำให้มีอาการกำเริบได้มาก การหดตัวของหลอดลมมีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของทางผ่านอากาศลดลง ซึ่งมีผลทำให้เพิ่มแรงต้านของอากาศที่ผ่านเข้าออกในท่อหายใจ การหดตัวของหลอดลมทำให้เกิดอาการหายใจมีเสียงวีซหรือฮืดในอก ไอ แน่นหน้าอกหายใจลำบากและอาการรุนแรงขึ้นเมื่อออกกำลังกาย

3. สรุปผลของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ต่อระบบทางเดินหายใจร่างกาย

3.1) อาการของระบบทางเดินหายใจ ตั้งแต่อาการน้อย เช่น ไอ จามมีน้ำมูก จนไปถึงการอักเสบของไซนัส เจ็บคอ ไอมีเสมหะ หรือมีไข้หรืออาจจะมีอาการของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ได้แก่ หายใจลำบาก เจ็บหน้าอกหรือหายใจมีเสียงดัง วีซ (Wheez) เนื่องจากการหดตัวของหลอดลม

3.2) หลอดลมอักเสบ (Bronchitis) ในกลุ่มประชากรที่สัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในปริมาณที่มาก จะมีอุบัติการณ์ของการเกิดโรคหลอดลมอักเสบสูงกว่าและในรายที่มีโรคหัวใจเป็นโรคประจำตัวอยู่แล้วเมื่อเกิดโรคหลอดลมอักเสบ (Bronchitis) หรือปอดบวม (Pneumonia) จะซ้ำเติมให้การทำงานของหัวใจแย่ลง จนเกิดหัวใจวายได้ (Heart Failure)

3.3) ปอดเป็นพังผืดจากการระคายเคืองเรื้อรัง (Pneumoconiosis) การที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าไปในปอดไประคายเคืองระบบทางเดินหายใจเรื้อรัง จนเกิดพังผืดขึ้นในเนื้อปอด

3.4) มะเร็งของระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีส่วนผสมของสารบางอย่างเช่น Arsenic, Chromate, Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), Nickel, สารกัมมันตรังสี ซึ่งเมื่อสัมผัสกับเนื้อปอด จะทำให้เป็นมะเร็งปอดได้ และถ้าสารดังกล่าวที่กล่าวมาข้างต้นสามารถละลายน้ำได้ เมื่อไปสู่อวัยวะต่างๆ นอกปอด ก็สามารถทำให้อวัยวะเหล่านั้นเกิดมะเร็งได้เช่นกัน

3.5) เพิ่มอัตราการตาย และอัตราการนอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาล จากการศึกษาในสหรัฐอเมริกา ในปี 1944 ถ้าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับปกติ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะทำให้อัตราการตายสูงขึ้นร้อยละ 1.0 - 3.2 และเพิ่มการนอนรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจขึ้นร้อยละ 1 - 2 และจากการศึกษาในสหราชอาณาจักร พบว่า PM_{10} เพิ่มอัตราการตายร้อยละ 1.9 และเพิ่มการนอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาล การศึกษาอื่นๆ พบว่า ถ้า PM_{10} เพิ่มขึ้นจากระดับปกติ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะทำให้อัตราการตายเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 อัตราการตายจากโรคหัวใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.4 การนอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8 และการรักษาตัวในห้องฉุกเฉินเพิ่มขึ้นร้อยละ 1

2.4.3.2 แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

คาร์บอนมอนนอกไซด์เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจเป็นหลัก นอกจากนี้อาจเกิดขึ้นจากเมตาโบลิซึมของสารอื่นในร่างกาย เช่น เมธิลีนคลอไรด์ เป็นต้น ตามปกติคาร์บอนมอนนอกไซด์จะถูกขจัดออกจากร่างกายทางการหายใจในรูปแบบที่ไม่เปลี่ยนแปลง และส่วนน้อยถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

กลไกการเกิดพิษของคาร์บอนมอนนอกไซด์สามารถเกิดได้มากกว่าหนึ่งวิธี กลไกหลักคือการรบกวนการขนส่งออกซิเจนจากถุงลมไปยังเนื้อเยื่อ เนื่องจากคาร์บอนมอนนอกไซด์สามารถแพร่ผ่าน alveolar - capillary membrane ได้อย่างรวดเร็วและจับตัวกับฮีโมโกลบินเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (CO-Hb) ได้ดีกว่าออกซิเจนมากกว่า 200 เท่า กลไกการเกิดพิษอีกอย่างหนึ่ง ได้แก่ การจับตัวกับ cytochrome oxidase ในไมโทคอนเดรียเป็นผลให้มีการรบกวนการหายใจระดับเซลล์ และชักนำให้เกิดการเสื่อมของระบบหัวใจและหลอดเลือด แล้วตามด้วยการเกิดอันตรายต่อ endothelium

ความรุนแรงของการได้รับพิษขึ้นกับอัตราการหายใจ ระยะเวลาการได้รับ สัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์และออกซิเจน การลดความดันบรรยากาศ การเพิ่มการระบายอากาศในถุงลม เช่น การออกกำลังกาย การมีโรคหลอดเลือดหัวใจและหลอดเลือดสมองอยู่ก่อน

1. อาการวิทยา

1.1 การได้รับพิษเฉียบพลัน ลักษณะการได้รับพิษคาร์บอนมอนนอกไซด์ไม่มีอาการที่แน่นอน ผู้ป่วยอาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ ครั่นเนื้อครั่นตัว อ่อนเพลีย ไม่มีแรง แน่นหน้าอก ใจสั่น และหายใจลำบาก อาการที่สัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ 105-205 ppm กับระดับ CO-Hb ร้อยละ 10-20 ได้แก่ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ สภาพจิตใจบกพร่อง ถ้าระดับ CO-Hb เพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 30-60 ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางมากขึ้น อาจทำให้หมดสติและเสียชีวิตได้

1.2 การได้รับพิษเรื้อรัง ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการศึกษาผลกระทบจากการสัมผัสคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆ เป็นระยะเวลานานๆ อย่างชัดเจนในมนุษย์

2.4.3.3 โอโซน (O₃)

การได้รับ Ozone ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของปอดและระบบทางเดินหายใจ ทำให้เยื่อหุ้มปอดมีการอักเสบ และถ้ามีการสัมผัสอย่างยาวนานสามารถทำให้เกิดผังผืดที่ปอดอย่างถาวรได้ ทำให้เกิดอาการหายใจลำบากเนื่องจากหลอดลมหดตัว หายใจมีเสียงดังวีซ (Wheezing) ไอ และเจ็บเมื่อหายใจเข้าแรงๆ หรือทำให้หายใจลำบากเมื่อเวลาออกกำลังกาย หรือมีกิจกรรมกลางแจ้ง (World Health Organization [WHO.], 2003) จากการศึกษาของ Weinhold. (2008) พบว่าการเสียชีวิตก่อนเวลาอันควรมีความสัมพันธ์กับการได้รับสัมผัส O₃ และทำให้ผู้ป่วยโรคหลอดลมอักเสบ ถุงลมโป่งพองและหอบหืดมีอาการแย่ลง ผลกระทบในระยะยาวพบว่าการสัมผัสโอโซนในระยะยาวเพิ่มความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากอาการป่วยระบบทางเดินหายใจ จากการศึกษา 450,000 คนที่อาศัยอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ระยะเวลาการติดตาม 18 ปี แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับโอโซนและโรคระบบทางเดินหายใจ ผลการศึกษาพบว่าคนที่อาศัยอยู่ในเมืองที่มีระดับโอโซนสูง เช่น ฮิวสตัน (Houston) ลอสแอนเจลิส (Los Angeles) มีความเสี่ยงของการตายด้วยโรคปอดเพิ่มสูงขึ้น ร้อยละ 30 (Jerrett et al., 2009 ; Wilson and Elizabeth, 2009)

2.4.3.4 สารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

1. ผลกระทบจากการรับสัมผัสสารเบนซีน (Benzene)

การหายใจเอาเบนซีนเข้าไปในระดับสูงมาก ๆ สามารถทำอันตรายถึงสิ้นชีวิตได้ในระดับสูงรองลงมาก็เป็นเหตุให้ เชื่องซึม วิงเวียน หัวใจเต้นเร็ว ปวดศีรษะ ใจสั่น สับสนและหมดสติ การดื่ม และการกิน อาหารปนเปื้อนเบนซีนในระดับสูงสามารถทำให้มีอาการอาเจียน กระเพาะถูกกัดกร่อน เวียนศีรษะ ง่วงนอน ชัก หัวใจเต้นเร็วและเสียชีวิต การได้รับเบนซีน โดยต่อเนื่องเป็นเวลานาน (365 วัน หรือนานกว่า) จะมีผลต่อเลือด เบนซีนจะทำลายไขกระดูกเป็นเหตุให้จำนวนเม็ดเลือดแดงลดลงและนำไปสู่โรคโลหิตจาง (anemia) ทำให้เลือดไหลหยุดได้ยากกว่าปกติ ทำลายระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เพิ่มโอกาสการติดเชื้อ สตรีที่สูดดมเบนซีนเป็นเวลาหลายเดือนจะมีระยะรอบเดือนไม่ปกติ มีขนาดรังไข่เล็กลง ยังไม่ทราบว่าเบนซีนมีผลต่อทารกในครรภ์หรือไม่ แต่ผลการทดลองกับสัตว์พบว่าตัวอ่อนมีน้ำหนักต่ำกว่าปกติ มีการสร้างกระดูกช้า และหากตัวแม่สูดดมเบนซีนก็จะทำให้ไขกระดูกของลูกในครรภ์ถูกทำลาย

รายงานที่แสดงให้เห็นถึงความเกี่ยวข้องระหว่างเบนซีนกับการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวได้ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ.1928 โดย Delore และ Borgomano ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาก็ได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางจนนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า เบนซีนเป็นสารก่อมะเร็งโดยเป็นพิษต่อสารพันธุกรรมทำให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว เมื่อเบนซีนเข้าสู่ร่างกายจะกระจายตัวในเลือดอย่างรวดเร็วและถูกเมตาโบไลต์ (Metabolized) ที่ตับไปเป็นสารตัวกลาง (Metabolites) เช่น ฟีนอล เบนซีนออกไซด์ และกรดมิวโคนิก สารตัวกลางบางตัวจะกลายสภาพไปเป็นสารก่อมะเร็งที่มีความไวต่อความผิดปกติทางพันธุกรรม (Mutation) ผลทางพิษวิทยาเมื่อได้รับสารเบนซีนเข้าสู่ร่างกายทั้งแบบ

เฉียบพลันและแบบเรื้อรัง ได้แก่ ทำให้เกิดการระคายเคืองและพุพอง พิษต่อระบบประสาท ทำให้ปวดศีรษะ มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน ชักหมดสติ และเสียชีวิตได้ พิษต่อระบบเลือด ทำลายไขกระดูกทำให้จำนวนเม็ดเลือดขาวและเกล็ดเลือดต่ำ ทำให้เกิดภาวะโลหิตจางแบบ Aplastic anemia องค์การระหว่างประเทศด้านการศึกษาวิจัยเรื่องโรคมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer : IARC) ระบุให้เบนซีนเป็นสารเคมีที่ได้รับการยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Group 1 : Carcinogenic to humans) (IARC, 2010)

2. ผลกระทบจากการรับสัมผัสสารโทลูอีน (Toluene)

2.1 อาการเฉียบพลัน โทลูอีนเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งจากการหายใจ การกิน และซึมผ่านผิวหนัง ไอรระเหยทำให้ระคายเคือง จมูก คอ ทางเดินหายใจ ไอ หลอดลมตีบ แน่นหน้าอก และปอดบวม น้ำการสัมผัสที่ผิวหนังทำให้ผิวหนังแห้ง แดง เกิดผื่นแพ้ และตุ่มน้ำขึ้นได้ หากเข้าตาจะทำให้ระคายเคืองตา ถ้าเป็นมากอาจเกิดเยื่อตาขาวบวม (conjunctival hyperaemia) และกระจกตาบวมได้ (corneal edema) ฤทธิ์ต่อกล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจเต้นผิดจังหวะ เป็นเหตุให้ผู้ที่สัมผัสปริมาณสูงอาจเสียชีวิตแบบฉับพลันได้ (sudden death) ฤทธิ์กดประสาททำให้ ง่วงซึม มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน ความรู้สึกตัวลดลง ชัก ความดันตก และหมดสติได้ การศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสเสียงดังร่วมกับโทลูอีน จะทำให้มีโอกาสเกิดประสาทหูเสื่อมจากเสียงดังได้มากขึ้น

2.2 อาการระยะยาว การสัมผัสในระยะยาว เช่น ในคนดมกาว หรือจากการทำงานที่ไม่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่ตีพอ จะทำให้มีอาการมึนเมา อ่อนเพลีย ปวดหัว วิงเวียน เบื่ออาหาร ความจำไม่ดี ความสามารถในการคิดคำนวณไม่ดี อาการทางสมองนี้สามารถเป็นอย่างถาวรได้ กล้ามเนื้ออ่อนแรง ตับเสื่อม ไตเสื่อม (renal tubular acidosis) ระดับเกลือแร่ในเลือดผิดปกติ (hypokalemia) การดื่มสุรา (ethylalcohol) จะทำให้การกำจัดโทลูอีนออกจากร่างกายทำได้น้อยลง ในคนงานที่ทำงานสัมผัสโทลูอีนจึงไม่ควรดื่มสุราจัด เพราะจะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดพิษโทลูอีนได้ IARC ระบุเป็นกลุ่มสารที่ยังจำแนกไม่ได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Group 3 : Not classifiable as to its carcinogenicity to humans)

3. ผลกระทบจากการรับสัมผัสสารเอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)

เมื่อได้รับสารอินทรีย์ระเหย BTEX ทางเดินหายใจ ผิวหนัง และปาก จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือก และทางเดินหายใจส่วนบน กดประสาทส่วนกลาง เมื่อการกลืนกินเข้าไป จะทำให้เกิดการระคายเคือง คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะเมื่อได้รับสัมผัสถูกผิวหนัง จะทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง (Skin Eyes Mucous Membranes) การสัมผัสถูกตา จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา อวัยวะเป้าหมาย คือระบบประสาทส่วนกลาง ปอด ทรวงอก ระบบหายใจ ไต ตับ กระเพาะปัสสาวะ อวัยวะสืบพันธุ์ เป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

ผลการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่ามีผลทำให้เกิดมะเร็งที่ปอด ตับและไต IARC ระบุให้เอทิลเบนซีน เป็นสารที่จัดว่าอาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Group 2B : Possibly carcinogenic to humans)

4. ผลกระทบจากการรับสัมผัสสารไซลีน (Xylene)

ไซลีนส่วนใหญ่เข้าสู่ร่างกายโดยการดูดซึมผ่านทางผิวหนังและการหายใจ มีความเป็นพิษเฉียบพลันรุนแรงกว่าเบนซีนและโทลูอีน โดยจะทำให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนังอย่างรุนแรง เมื่อเข้าสู่ปอดก็สามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตได้ สำหรับการได้รับพิษแบบเรื้อรังจะมีอาการคล้ายคลึงกับอาการที่เกิดขึ้น จากการสัมผัสแบบเฉียบพลัน คือ มีอาการผิวหนังอักเสบ แห้ง เยื่อตาอักเสบ สันกระดูก

เมื่อได้รับสารไซลีนทางการหายใจเข้าไป จะก่อให้เกิดการระคายเคืองและหายใจติดขัด เมื่อกลิ่นหรือกินเข้าไป เป็นอันตรายต่อร่างกาย ทำให้มีการขับของน้ำลายออกมามากมีเหงื่อออก คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ปวดท้อง และเบื่ออาหาร เมื่อสัมผัสผิวหนังจะทำให้เกิดการระคายเคือง เกิดแผลสเปกใหม่ และทำให้ผิวหนังอักเสบ และสัมผัสสูดดมจะก่อให้เกิดการระคายเคือง และเกิดเป็นแผลไหม้ IARC ระบุไซลีน อยู่ในกลุ่มสารที่ยังจำแนกไม่ได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Group 3 : Not classifiable as to its carcinogenicity to humans)

2.5 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk assessment)

2.5.1 คำจำกัดความของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

1) ความเสี่ยง (Risk) คือ ลักษณะของสถานการณ์ หรือการกระทำใด ๆ ที่มีผลลัพธ์ได้มากกว่า 2 อย่างที่ไม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าจะเกิดขึ้นหรือไม่ และอย่างน้อยหนึ่งในผลลัพธ์นั้น ไม่พึงประสงค์ อาจสรุปได้ว่า ความเสี่ยงประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ คือ “ไม่แน่นอน” และ “ไม่พึงประสงค์” คำว่า “ไม่แน่นอน” หมายความว่า ไม่สามารถบอกได้ด้วยความมั่นใจว่าจะเกิดเหตุการณ์ที่ก้ำกึ่งสนใจหรือไม่ แต่บอกได้แต่เพียงโอกาสของการเกิด โดยบอกในรูปของ “ความน่าจะเป็น” (probability) ซึ่งกำหนดเป็น ตัวเลขได้ เช่น การโยนเหรียญ 1 ครั้ง จะไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่าผลของการโยนจะออกหัวหรือก้อย แต่สามารถบอกได้ว่าโอกาสที่จะออกหัวหรือก้อยเท่ากัน คือ ร้อยละ 50 สำหรับองค์ประกอบที่ 2 คือ “ไม่พึงประสงค์” หมายความว่าเหตุการณ์หรือผลที่จะเกิดขึ้นนั้นเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ (พงศเทพ วิวรรณเดชะ, 2556)

2) การประเมินความเสี่ยง หมายถึง กระบวนการประเมินโอกาสและความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นกับ มนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อมจากการได้รับสัมผัสความเสี่ยงตามสภาวะการณ์ รวมทั้งการระบุความไม่แน่นอนที่ตามมา มักต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญจากหลากหลายสาขา พิษวิทยา สาธารณสุข ระบาดวิทยา สถิติ วิศวกรรมศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น สามารถแบ่งลักษณะการประเมินเป็น 2



กลุ่ม คือ การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment) และการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment) (พงศเทพ วีวรรณะเดช, 2556)

ดังนั้น การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ (Human Health Risk Assessment) คือ กระบวนการคาดคะเนความเป็นไปได้หรือประเมินโอกาสที่จะเกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ที่อาจมีการรับสัมผัสสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทั้งในปัจจุบันและในอนาคต โดยจะทำการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ เพื่อนำมาประกอบการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ จากการรับสัมผัสสารมลพิษ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์มีคำถามที่จะช่วยในการอธิบายความเสี่ยงได้ดีขั้นมีดังนี้

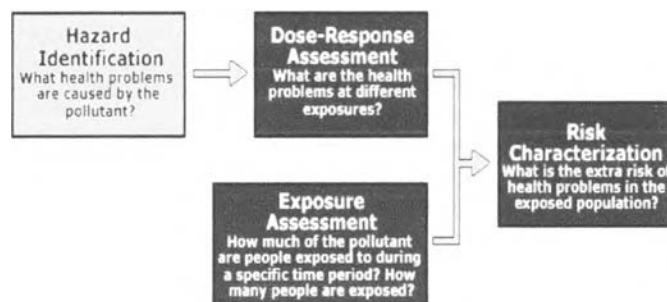
- ประเภทของปัญหาสุขภาพที่อาจมีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น สารเคมี หรือสารกัมมันตภาพรังสี
- โอกาสที่ประชาชนจะประสบปัญหาด้านสุขภาพ เมื่อได้รับสัมผัสสารที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน
- ที่ระดับต่ำสารเคมีบางชนิดอาจไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัย
- การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอะไรบ้างที่ประชาชนจะได้รับสัมผัส ได้รับสัมผัสในระดับไหนและได้รับเป็นเวลานานเท่าไร
- ประชาชนบางคนมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนทางสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีปัจจัยอื่นๆ มาประกอบด้วย เช่น อายุ พันธุกรรม สถานภาพของสุขภาพก่อนมีการปนเปื้อนและสุขภาพในขณะที่เป็นอยู่ เพศ สถานที่ทำงาน การทานอาหาร เป็นต้น

2.5.2 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน (U.S. EPA., 2013c) ดังนี้

1. การระบุ/บ่งชี้อันตราย/สิ่งคุกคาม (Hazard Identification)
2. การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Assessment)
3. การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)
4. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)

The 4 Step Risk Assessment Process



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนกระบวนการประเมินความเสี่ยง

ที่มา: U.S. Environmental Protection Agency. (2013d)

ขั้นตอนที่ 1 การระบุ/บ่งชี้อันตราย/สิ่งคุกคาม (Hazard Identification) (U.S. EPA., 2013c)

เป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อระบุว่าการได้รับสัมผัสสารเคมีที่เรากำลังสนใจนั้นมีความเป็นอันตรายหรือมีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือไม่ โดยทำการตรวจสอบว่าการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมีศักยภาพที่จะก่อให้เกิดความเป็นอันตรายต่อมนุษย์และนำเสนอหลักฐานสนับสนุนการวินิจฉัยประกอบการอธิบายลักษณะความเป็นอันตรายของสารเคมีเชื่อมโยงกับผลกระทบเชิงลบต่อสุขภาพ แต่เนื่องจากมีสารเคมีเพียงไม่กี่สารเท่านั้นที่จะมีข้อมูลความเป็นพิษในมนุษย์อย่างแน่ชัด ดังนั้นในขั้นตอนของการระบุความเป็นอันตรายของสารต่อมนุษย์ จึงต้องใช้ผลการศึกษาจากแหล่งข้อมูล (Sources of Data) ได้แก่ สถิติจากการศึกษาทางคลินิกในมนุษย์ใช้เป็นหลักฐานที่ดีที่สุดที่สามารถเชื่อมโยงไปถึงการรับสัมผัสสารเคมีได้ โดยมากมักจะเป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดผลกระทบ แต่มักไม่ค่อยมีการศึกษาและให้ความสำคัญ เนื่องจากอาจผิดต่อหลักจริยธรรมเกี่ยวกับการทดลองความเป็นอันตรายทางสิ่งแวดล้อมในมนุษย์ จึงมีการเลือกใช้ข้อมูลจากการศึกษาทางระบาดวิทยาร่วมกับการประเมินทางสถิติของประชากรมนุษย์เป็นอีกทางเลือก แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของความอ่อนไหว โดยทั่วไปไม่ได้มีข้อมูลการรับสัมผัสที่ถูกต้องแม่นยำและยากที่จะหาผลกระทบจากการรับสัมผัสสารเคมีมากกว่า 1 สาร ออกมาเมื่อไม่มีข้อมูลจากการศึกษาในมนุษย์ก็จะต้องอาศัยข้อมูลจากการศึกษาในสัตว์ทดลอง โดยการวาดข้อสรุปเกี่ยวกับศักยภาพของความเป็นอันตรายต่อมนุษย์ การศึกษาในสัตว์ทดลองสามารถออกแบบการทดลอง ควบคุมและดำเนินการเฉพาะในช่วงที่เรามีความรู้ได้ แต่จะมีความไม่แน่นอนเกี่ยวกับการคาดคะเนผลความเป็นอันตรายจากสัตว์ทดลองสู่มนุษย์ โดยมีองค์ประกอบของการระบุความเป็นอันตรายของสาร ดังนี้

1) Toxicokinetics พิจารณาการดูดซับของร่างกาย การแพร่กระจาย การเผาผลาญ และการกำจัดเฉพาะสารเคมี

2) Toxicodynamics มุ่งไปที่ผลกระทบตอนที่มีสารเคมีอยู่ในร่างกายของมนุษย์ โดยแบบจำลองมีฐานข้อมูลมาจากการศึกษากลไกของสารเคมีที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งทำให้สามารถเข้าใจถึงผลกระทบที่เป็นไปได้ของสารเคมี

การประเมินสารเคมีสำหรับศักยภาพของพฤติกรรมที่ก่อให้เกิดมะเร็ง จะมุ่งเน้นไปที่รูปแบบการทำงานของสารตามลำดับของเหตุการณ์ ตั้งแต่การเริ่มปฏิสัมพันธ์ของสารกับเซลล์การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคและการส่งผลให้เกิดการก่อมะเร็ง สารที่ได้รับเข้าไปอาจทำงานโดยมีรูปแบบของพฤติกรรมมากกว่า 1 รูปแบบ การวิเคราะห์รูปแบบของพฤติกรรมจะอยู่บนพื้นฐานข้อมูลทางกายภาพ เคมีและชีวภาพซึ่งจะช่วยอธิบายเหตุการณ์สำคัญ อิทธิพลของสารต่อการพัฒนาของเนื้องอก องค์ประกอบที่สำคัญของการอธิบายลักษณะของความเป็นอันตราย รวมทั้งการประเมินน้ำหนักของหลักฐานเกี่ยวกับศักยภาพของสารเคมีที่ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ น้ำหนักของหลักฐานเชิงลบอาจประกอบด้วยมาตรฐานที่เป็นข้อบ่งชี้ถึงความแน่นอนของคุณภาพของหลักฐาน ความมั่นใจที่จะพบ เช่น การก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์หรือหลักฐานที่บ่งชี้ถึงศักยภาพการก่อให้เกิดมะเร็ง

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Assessment)

(U.S. EPA., 2013c)

การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับสัมผัสเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ได้รับกับความรุนแรงของความเป็นพิษทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงตัวเลขระหว่างการรับสัมผัสและผลกระทบที่ได้รับซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่ได้มาจากการศึกษาในสัตว์ทดลอง และอาจจะมีบางส่วนที่ได้จากการศึกษาในมนุษย์ การคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารเคมีจะทำได้นั้น ต้องทราบความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างความเป็นพิษและปริมาณสารที่ได้รับ ความสัมพันธ์ของการตอบสนองต่อปริมาณสารจะอธิบายถึงโอกาสและความรุนแรงของผลเสียต่อสุขภาพ ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนและสภาพของการรับสัมผัสสาร หลักการทั่วไปที่ใช้สำหรับการศึกษาการรับสัมผัสความเข้มข้นของสาร (ความเข้มข้นในอากาศได้นำไปใช้ในการศึกษาการรับสัมผัสทางการหายใจ) และข้อมูลที่ได้จะ เรียกว่า ความสัมพันธ์ของการตอบสนองต่อความเข้มข้น ในเทอมของความสัมพันธ์ของการตอบสนองต่อการรับสัมผัสอาจถูกใช้เพื่ออธิบายการตอบสนองต่อปริมาณสาร หรือการตอบสนองต่อความเข้มข้น

โดยปกติถ้าปริมาณสารเพิ่มขึ้น การตรวจวัดการตอบสนองก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ที่ปริมาณสารต่างๆ อาจจะไม่มีการตอบสนองและที่ปริมาณสารบางระดับจะเริ่มเกิดการตอบสนองขึ้นในส่วนเล็กน้อยของประชากรที่ทำการศึกษาหรือที่อัตราความเป็นไปได้ต่ำ ทั้งปริมาณสารที่เริ่มปรากฏให้เห็นการตอบสนอง และอัตราที่มันจะเพิ่มปริมาณเพิ่มขึ้น ให้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันระหว่างสารมลพิษ บุคคล และช่องทางการรับสัมผัส มีอยู่บ่อยครั้งที่ขาดข้อมูลการตอบสนองต่อปริมาณสารของมนุษย์ เมื่อข้อมูลที่มีอยู่มักจะครอบคลุมเฉพาะบางส่วนของช่วงข้อมูลที่เป็นไปได้ของความสัมพันธ์การตอบสนองต่อปริมาณสาร ในบางการคาดการณ์ต้องทำเพื่อที่จะคาดการณ์ถึงระดับของปริมาณสารที่ต่ำกว่าช่วงของข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้การบ่งชี้ถึงความเป็นอันตรายในส่วนของการศึกษาในสัตว์ได้มีการศึกษาบ่อยครั้ง เพื่อเป็นการเพิ่มเติมหรือขยายข้อมูลที่มีอยู่ การศึกษาเรื่องการใช้สัตว์มาทดลองได้อนุญาตให้ใช้การออกแบบที่สามารถควบคุมจำนวนวันและองค์ประกอบของสิ่งที่นำมาทดสอบ (อายุ, เพศ, ชนิดพันธุ์) ตลอดจนระดับของปริมาณสารที่นำมาทดสอบและการตอบสนองที่เฉพาะเจาะจง การใช้การศึกษาที่ออกแบบมามักจะนำไปสู่ข้อสรุปทางสถิติที่มีความหมายมากกว่าการศึกษาเชิงการสังเกตที่ไม่สามารถควบคุมปัจจัยรบกวนเพิ่มเติมได้ จึงต้องพิจารณาผลกระทบลงในข้อสรุปด้วย แต่อย่างไรก็ตามการสังเกตความสัมพันธ์ของการตอบสนองต่อปริมาณสารจากการศึกษาในสัตว์มักจะทำในปริมาณที่สูงมาก เพื่อที่จะได้คาดการณ์ผลกระทบสำหรับมนุษย์จึงต้องคาดการณ์ที่ปริมาณสารต่ำ และการศึกษาในสัตว์ต้องคาดการณ์จากชนิดของสัตว์กับมนุษย์ เพื่อทำนายความสัมพันธ์สำหรับมนุษย์

การประเมินการตอบสนองต่อการรับสัมผัสมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกคือการประเมินข้อมูลที่มีอยู่หรือที่สามารถรวบรวมผ่านการทดลองได้ ในเอกสารความสัมพันธ์ของการตอบสนองต่อปริมาณสารในช่วงที่สังเกตได้ (ปริมาณสารที่มีการรายงานในข้อมูลที่เกี่ยวข้อง) ขั้นตอนที่ 2 ประกอบด้วย การคาดการณ์การประเมินความเสี่ยง (อาจเป็นผลเสีย) ในขั้นตอนนี้จะคาดการณ์ความเสี่ยงโดยจะแบ่งการประเมินความเสี่ยงตามความเป็นพิษของสารเคมีออกเป็น 2 กลุ่ม คือ



198550164

1.) สารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) รวมถึงสารก่อมะเร็งที่ไม่มีผลต่อยีนและความเป็นพิษอย่างอื่นที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง แนวคิดของสารไม่ก่อมะเร็งคือ สารเคมีกลุ่มนี้แสดง threshold ซึ่งหมายถึงปริมาณสารเคมีที่มากที่สุด เมื่อได้รับเข้าไปทุกวันแล้วจะไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ในขั้นตอน dose-response assessment สำหรับสารไม่ก่อมะเร็งจะมีแนวทางในการประเมินดังนี้

Non-linear dose-response assessment

Non-linear dose-response assessment มีจุดเริ่มแบบ threshold ซึ่งช่วงของการรับสัมผัสจะอยู่ในช่วง 0 ถึงค่าจำกัดที่สามารถทนได้ โดยสิ่งมีชีวิตไม่มีโอกาสที่จะแสดงออกถึงความเป็นพิษและ threshold ของความเป็นพิษ คือจุดที่เริ่มจะมีผลกระทบเกิดขึ้น ต้องมีความรอบคอบและสมควรที่จะมุ่งไปที่ประชากรกลุ่มที่มีความอ่อนไหว โดยทั่วไปมักจะพยายามให้รับสัมผัสต่ำกว่า threshold ของประชากร ซึ่งถูกกำหนดให้เป็น threshold ต่ำสุดของภายในกลุ่มประชากร ถ้าข้อมูลพฤติกรรมของสารแสดงให้เห็น threshold ของความเป็นพิษ จะถูกกำหนดเป็นปริมาณสารต่ำสุดซึ่งไม่มีผลเป็นอันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ในการประเมินจำเป็นต้องใช้ค่าต่างๆ ทางพิษวิทยา ดังต่อไปนี้

No-Observed – Effect Level (NOEL) หมายถึง ปริมาณสารเคมีที่มากที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ต่อร่างกาย

No-Observed-Adverse-Effect Level (NOAEL) หมายถึง ปริมาณของสารเคมีที่มากที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษหรือผลเสียใดๆ ต่อร่างกาย หรือระดับการรับสัมผัสสูงสุด ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ได้มีนัยสำคัญทางชีวภาพเพิ่มขึ้น

Lowest-Observed-Effect Level (LOEL) หมายถึง ปริมาณสารเคมีที่น้อยที่สุด ซึ่งได้รับแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของร่างกายอย่างใดอย่างหนึ่ง

Lowest-Observed-Adverse-Effect Level (LOAEL) หมายถึง ปริมาณสารเคมีที่น้อยที่สุด ซึ่งได้รับแล้วทำให้เกิดความเป็นพิษหรือผลเสียต่อร่างกายอย่างใดอย่างหนึ่ง

การทดลองการหาค่า NOEL, NOAEL, LOEL, LOAEL ทำได้โดยการศึกษาความผิดปกติหรือการเปลี่ยนแปลงจากการได้รับสัมผัสสารเคมีในสัตว์ทดลองแต่ละตัวในแต่ละ Dose

Reference Dose (RfD) หมายถึง ปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบหรือความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพของมนุษย์ RfD มาจากค่า NOAEL หรือ LOAEL เปรียบเทียบกับค่า Uncertainty Factor (UF) โดยปัจจัยความไม่แน่นอนจะนำเป็นค่าความแปรปรวนและความไม่แน่นอน ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างที่เป็นไปได้ระหว่างการทดสอบในสัตว์และมนุษย์ (โดยทั่วไปจะเป็น 10 เท่า) และความแปรปรวนภายในประชากรมนุษย์มีค่า UF คือ การคูณเข้าด้วยกันเป็น $10 \times 10 = 100$ เท่า แต่ในกรณีที่ไม่มีค่า NOAEL จะใช้ค่า LOAEL สำหรับหาค่า RfD แทน โดยทั่วไปจะใช้ค่า UF เพิ่มขึ้นกว่าเดิมอีก 10 เท่า RfD สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$\text{RfD} = \text{NOAEL/UF หรือ (LOAEL/ (10 \times \text{UF}))} \dots\dots\dots 2.4$$

Uncertainty Factor (UF) เป็นค่าที่นำมาใช้เพื่อแก้ไขหรือปรับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการนำเอาค่า NOAEL ในสัตว์ทดลองมาคำนวณหาค่า RfD สำหรับมนุษย์ โดยค่า UF (U.S. EPA.,

2013c และ The Interdepartmental Group on Health Risks from Chemicals. (IGHRC), 2003) ประกอบด้วยปัจจัยย่อยอีก 5 ปัจจัย ได้แก่

- **Factor10H** เป็นค่าที่ใช้ปรับแก้ไขความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในประชากรมนุษย์ เนื่องจากมนุษย์แต่ละคนมีความไวต่อการตอบสนองต่อสารเคมีได้ไม่เท่ากัน จึงได้มีการใช้ factor นี้ เพื่อปกป้องมนุษย์ที่มีความไวต่อสารเคมีมากที่สุด และเป็น factor พื้นฐานที่ต้องใช้ในการคำนวณค่า RfD ทุกครั้ง

- **Factor10A** เมื่อมีข้อมูลในมนุษย์ไม่เพียงพอหรือไม่มีข้อมูล เราจึงต้องมีการใช้ค่า NOEL ที่ได้จากการศึกษาความเป็นพิษเรื้อรังในสัตว์ทดลอง การนำค่าในสัตว์ทดลองมาใช้ในมนุษย์ จะต้องพิจารณาถึงความไวต่อการตอบสนองต่อสารเคมีของมนุษย์มีมากกว่าในสัตว์ทดลอง โดยทั่วไป จะพิจารณาให้มนุษย์มีความไวเป็น 10 เท่า

- **Factor10S** ค่า NOEL ที่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลองที่มีระยะเวลาสั้นกว่า การศึกษาความเป็นพิษเรื้อรัง เช่น การศึกษาน้อยกว่า 2 ปี จะมีค่ามากกว่าค่า NOEL ที่ทำการศึกษา เป็นเวลา 2 ปี จึงต้องมีการแก้ไขโดยการหารด้วย 10

- **Factor10L** ใช้ในกรณีที่ไม่ค่า NOEL และมีการนำค่า LOEL มาใช้แทน เนื่องจาก ค่า LOEL มีค่ามากกว่า NOEL จึงต้องมีการปรับค่า LOEL โดยการหารด้วย 10

- **Factor10D** สำหรับในกรณีที่ไม่มีความรู้ข้อมูลทางพิษวิทยาต่อระบบสืบพันธุ์และการพัฒนา ของตัวอ่อน

Factor ทั้ง 5 นี้ยังประกอบไปด้วย Factor ย่อยอีก 2 Factor โดยทั้ง 2 Factor ย่อยคูณกัน จะมีค่าเท่ากับ 10 ดังนั้นในแต่ละ Factor ย่อยมีค่าเท่ากับ $(10)^{1/2}$ ซึ่งมีค่าประมาณ 3

โดยทั่วไป RfD ถูกกำหนดให้เป็นการประเมินค่าของความไม่แน่นอนในการรับสัมผัสสารทาง ปากรายวันของประชากรมนุษย์ รวมถึงกลุ่มที่มีความอ่อนไหว เช่น ผู้ป่วยโรคหอบหืด เด็ก ผู้สูงอายุ ซึ่งมีแนวโน้มที่ไม่เห็นถึงความเสี่ยงของผลอันตรายในระหว่างช่วงชีวิต RfD ทั่วไปจะแสดงในหน่วยของ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวต่อวัน (mg/kg.day)

2.) สารก่อมะเร็งที่มีผลต่อยีน (carcinogen) สำหรับสารก่อมะเร็งจะใช้แนวคิดที่ว่าสาร กลุ่มนี้เป็นสารกลุ่ม non-threshold ซึ่งหมายความว่าไม่ว่าจะได้รับสารก่อมะเร็งในปริมาณมากน้อย เพียงใด ก็มีโอกาที่จะเกิดมะเร็งได้ ในขั้นตอน dose-response assessment สำหรับสารก่อมะเร็ง จะมีแนวทางในการประเมินดังนี้

Linear dose-response assessment (U.S. EPA., 2005a)

Linear dose-response assessment คือ จากข้อมูลพฤติกรรมของสารแสดงให้เห็นถึง ความเป็นพิษแบบ non-threshold โดยรูปแบบของการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารจะอยู่ ในรูปแบบของ linear ในกรณีของสารก่อมะเร็ง ข้อมูลรูปแบบของพฤติกรรมการตอบสนองต่อสารจะ ไม่มีระดับของการรับสัมผัส เช่น สารเคมีไม่ก่อให้เกิดผลเล็กๆ แต่มีความน่าจะเป็นที่แน่นอนว่ามี โอกาสในการก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ สำหรับในขั้น dose-response assessment ของสารก่อมะเร็งมี ความยุ่งยากมากกว่าสารไม่ก่อมะเร็ง เพราะ dose-response ของสารก่อมะเร็งไม่มี threshold ส่วน ใหญ่ในการศึกษาการเกิดมะเร็งจะทำเฉพาะที่ dose สูงๆ dose ต่างๆ ทำการศึกษาได้ค่อนข้างยาก



มากเพราะต้องใช้สัตว์ทดลองจำนวนมาก เพื่อให้ได้เห็นผลการทดลอง ดังนั้นจึงต้องมีการอาศัยแบบจำลองในการคาดการณ์การเกิดมะเร็งจาก dose สูงๆ มายัง dose ต่างๆ โดยความสัมพันธ์ของการตอบสนองต่อปริมาณสารจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่งจะถูกลากจากจุดของข้อมูลที่สามารถสังเกตเห็นผลกระทบไปยังจุดกำเนิด ความชันของเส้นตรงนี้เรียกว่า Slope Factor (SF) หรือ Cancer Slope Factor (CSF) มีหน่วยเป็น (mg/kg.วัน)¹ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของสารเคมีที่จะทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ถ้าสารใดมีค่า CSF สูง แสดงว่าสารนั้นมีศักยภาพที่จะทำให้เกิดมะเร็งได้สูงด้วยเช่นกัน หรือสารนั้นสามารถทำให้เกิดมะเร็งได้ในปริมาณต่างๆ ค่า CSF จะใช้ในการประเมินความเสี่ยงที่ระดับการสัมผัสตามแนวเส้นตรง เมื่อการตอบสนองต่อปริมาณสารเชิงเส้นตรงถูกนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง โดยคำนวณช่วงอายุการทำงานที่เกิดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (ความน่าจะเป็นที่แต่ละบุคคลจะเป็นมะเร็งตลอดช่วงชีวิต) ที่เกิดจากการสัมผัสสารปนเปื้อนทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะพิจารณาระดับที่บุคคลได้รับสัมผัสเปรียบเทียบกับ Slope Factor

$$\text{Cancer Risk} = \text{Exposure} \times \text{Slope Factor} \dots\dots\dots (2.5)$$

ความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งทั้งหมดถูกคำนวณโดยการนำค่าความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งของแต่ละสารมลพิษในแต่ละเส้นทางการสัมผัสมารวมกัน (การหายใจ, การกินและการดูดซึมทางผิวหนัง) ดังสมการที่ 2.5 จากนั้นจึงสรุปความเสี่ยงสำหรับทุกเส้นทางการสัมผัส

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment) (U.S. EPA., 2013c)

การประเมินการสัมผัสหรือเป็นการประเมินปริมาณสารเคมีที่มนุษย์คนหนึ่งหรือประชากรกลุ่มหนึ่งที่เราสนใจได้รับจากสิ่งแวดล้อมโดยทำการตรวจสอบเกี่ยวกับความถี่ เวลา และระดับของการสัมผัสกับสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในตัวกลางทางสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างมากของการประเมินความเสี่ยง ทั้งนี้เพราะความเป็นพิษของสารเคมีต่อสุขภาพของมนุษย์จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการได้รับสัมผัสสารเหล่านั้นเข้าสู่ร่างกาย ถึงแม้ว่าสารเคมีนั้นจะมีความเป็นพิษแต่ถ้าหากเราไม่ได้มีการสัมผัส ก็จะได้ถือว่าสารนั้นไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย และความรุนแรงของความเป็นพิษของสารเคมีขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ได้รับ ดังนั้นถ้าการประเมินปริมาณสารที่ได้รับมีความผิดพลาดจากความเป็นจริง การคำนวณความเสี่ยงก็จะมีผลคลาดเคลื่อนสูง

การรับสัมผัสเป็นการสัมผัสระหว่างสารและลักษณะภายนอกของร่างกายมนุษย์ที่สามารถมองเห็นได้ เช่น ผิวหนัง และช่องเปิดของร่างกายที่สามารถรับสารเข้าสู่ร่างกายได้ การประเมินการสัมผัส คือกระบวนการของการตรวจวัดหรือการประเมินขนาด ความถี่ และช่วงเวลาหรือระยะเวลาในการสัมผัสสารมลพิษของมนุษย์ในสิ่งแวดล้อม หรือเป็นการประเมินการสัมผัสสารมลพิษในอนาคตสำหรับสารที่ยังไม่มีการปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อม การประเมินการสัมผัสจะรวมถึงการอภิปรายบางส่วนของคุณภาพ ธรรมชาติและรูปแบบการสัมผัสสารของประชากรมนุษย์ การสัมผัสสารมลพิษสามารถตรวจวัดได้โดยตรง โดยปกติเป็นการประเมินทางอ้อมผ่านการพิจารณาของการตรวจวัดความเข้มข้นในสิ่งแวดล้อมการพิจารณารูปแบบของการขนส่งสารเคมีและสภาพในสิ่งแวดล้อม และการประเมินการนำสารเข้าสู่ภายในร่างกายมนุษย์เมื่อเวลาผ่านไป



การประเมินการรับสัมผัสสารต้องพิจารณาทั้งเส้นทางการรับสัมผัสสาร (Pathway) ในตัวกลางสิ่งแวดล้อม โดยดูเส้นทางของสารจากแหล่งกำเนิดจนถึงคนว่ามีการได้รับสัมผัสสารจากเส้นทางไหน และช่องทางการรับสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย (Route) ช่องทางในการรับสารเข้าสู่ร่างกาย โดยทั่วไปสารจะเข้าสู่ร่างกายผ่านทางช่องเปิดของร่างกาย เช่น การได้รับสารเคมีผ่านทางปากหรือทางการกิน การดื่ม โดยการได้รับสารที่มีการปนเปื้อนอยู่ในอาหารและน้ำดื่ม นอกจากนี้ยังอาจได้รับสารมลพิษจากการบริโภคที่เราไม่ได้ตั้งใจ เช่น การขีดปากด้วยมือที่เปื้อนดิน การบริโภคผักและผลไม้ที่เปื้อนดิน การหายใจ และการดูดซึมผ่านทางผิวหนังหรือผ่านเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น ตา

ช่วงของการรับสัมผัสสำหรับสารที่มีความเฉพาะเจาะจงมีช่วงของการรับสัมผัสตามประสบการณ์จริงของแต่ละบุคคล บางคนอาจจะมีการรับสัมผัสในระดับสูงตามช่วงระยะเวลาที่ขยายออกไป เช่น คนงานในโรงงานได้รับสัมผัสสารเคมีจากการทำงาน คนอื่นๆ อาจจะมีการรับสัมผัสสารในระดับต่ำในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น คนที่ใช้สถานที่ในการสนทนาการอยู่บริเวณใต้ลมของโรงงาน ดังนั้นการประเมินการรับสัมผัสสารต้องทำการประเมินค่าเฉลี่ยของประสบการณ์ของประชากรที่ได้ผลกระทบ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณสารที่ปรากฏอยู่ในสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ตลอดจนถึงความถี่และระยะเวลาในการรับสัมผัสสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม

การรับสัมผัสเชิงปริมาณ มี 3 วิธีพื้นฐาน แต่ละวิธีขึ้นอยู่กับข้อมูลที่แตกต่างกันและจุดแข็งและจุดอ่อนที่ต่างกัน ซึ่งสามารถช่วยสร้างความน่าเชื่อถือให้กับการประเมินความเสี่ยงต่อการรับสัมผัส

1. จุดของการตรวจวัดการสัมผัส การรับสัมผัสสารสามารถตรวจวัดได้ในจุดที่มีการรับสัมผัสในขณะที่อยู่ในสถานที่ โดยตรวจวัดทั้งความเข้มข้นในการรับสัมผัสและเวลาในการรับสัมผัส
2. การประเมินสถานการณ์ การรับสัมผัสสามารถประเมินโดยแยกการประเมินความเข้มข้นในการรับสัมผัสและเวลาในการรับสัมผัส
3. การสร้างใหม่ การรับสัมผัสสามารถประเมินจากปริมาณ ซึ่งในทางกลับกันสามารถสร้างตัวชี้วัดภายในใหม่ได้ (ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ ภาวะของร่างกาย ระดับของการขับถ่าย) หลังจากการรับสัมผัส

ในขั้นตอนการประเมินการรับสัมผัสสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ร่างกายจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะของสารว่าเป็นสารเคมีหรือสารทางชีวภาพ ระดับความเข้มข้นของสารมลพิษที่มีการปนเปื้อนในตัวกลางสิ่งแวดล้อม เช่น ในน้ำ ดิน อากาศ อาหาร เป็นต้น ที่ประชาชนในแต่ละกลุ่มจะได้รับสัมผัสหรือมีความเกี่ยวข้อง และที่สำคัญไม่แพ้กันคือ ต้องทราบระยะเวลาในการรับสัมผัสสารว่าได้รับสัมผัสสารในช่วงเวลาสั้นๆ หรือได้รับสัมผัสสารในระยะยาว และความถี่ในการรับสัมผัสสารว่ามีการสัมผัสสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมบ่อยแค่ไหน เพื่อที่จะได้นำมาคำนวณหาปริมาณสารที่เราได้รับสัมผัสเข้าสู่ร่างกาย โดยขั้นตอน Exposure Assessment สามารถแบ่งการประเมินการรับสัมผัสสารออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1.) กลุ่มสารไม่ก่อมะเร็ง (U.S. EPA., 2009)

การประเมินการรับสัมผัสสารมลพิษในอากาศที่เป็นสารไม่ก่อมะเร็งจะแสดงอยู่ในรูปของปริมาณสารที่ได้รับสัมผัสในแต่ละวัน (Exposure concentration : EC) มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3)

$$\text{EC} (\text{mg}/\text{m}^3) = C \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED} / \text{AT} \dots\dots\dots(2.6)$$

- เมื่อ EC = ปริมาณสารที่ได้รับสัมผัสในแต่ละวัน (mg/m^3)
 C = ความเข้มข้นของสารมลพิษในตัวกลางสิ่งแวดล้อม (mg/m^3)
 ET = เวลาในการรับสัมผัส (ชั่วโมง/วัน)
 EF = ความถี่ในการรับสัมผัส (วัน/ปี)
 ED = ระยะเวลาที่รับสัมผัสสาร (ปี)
 AT = ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร (ชั่วโมง)

2.) กลุ่มสารที่มีความเป็นพิษเรื้อรัง (U.S. EPA., 2009)

การประเมินการรับสัมผัสสารมลพิษในอากาศที่เป็นสารที่มีความเป็นพิษเรื้อรัง จะแสดงอยู่ในรูปของ Chronic daily intake (CDI) คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน มีหน่วยเป็น mg/m^3

$$\text{CDI} = C \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED} / \text{AT} \dots\dots\dots(2.7)$$

- เมื่อ CDI = ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน (mg/m^3)
 C = ความเข้มข้นของสารมลพิษในตัวกลางสิ่งแวดล้อม (mg/m^3)
 ET = เวลาในการรับสัมผัส (ชั่วโมง/วัน)
 EF = ความถี่ในการรับสัมผัส (วัน/ปี)
 ED = ระยะเวลาที่รับสัมผัสสาร (ปี)
 AT = ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร (ชั่วโมง)

สมการในการคำนวณค่า Exposure concentration (EC) และChronic daily intake (CDI) ใช้สูตรในการคำนวณเดียวกันแต่การกำหนดค่าของตัวแปรในสมการแตกต่างกัน โดยอ้างอิงตาม U.S. EPA., 2009

ขั้นตอนที่ 4 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)

คือ การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง โดยทำการรวบรวมเอาข้อมูลและผลการวิเคราะห์ของทั้ง 3 ขั้นตอนข้างต้นมาตรวจสอบ และนำมาคำนวณความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะเกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์จากการได้รับสัมผัสสารเคมีในสิ่งแวดล้อม พร้อมกับการสรุปข้อมูลเพื่อเป็นการสนับสนุนเกี่ยวกับธรรมชาติและขอบเขตของความเสี่ยงจากการรับสัมผัสการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม (U.S. EPA., 2000)

ลักษณะของความเสี่ยงที่จะช่วยในการตัดสินใจของผู้ประเมินความเสี่ยงว่าสารมลพิษที่เราสนใจนั้นมีความเสี่ยงหรือไม่มีความเสี่ยง พร้อมกับข้อมูลเกี่ยวกับวิธีในการประเมินความเสี่ยง สมมติฐานและความไม่แน่นอนที่มีอยู่ ในทางปฏิบัติแต่ละส่วนประกอบของการประเมินความเสี่ยง เช่น ขั้นตอนในการประเมินความเป็นอันตราย การประเมินการตอบสนองของร่างกายมนุษย์ต่อปริมาณสารที่ได้รับสัมผัส



การประเมินการรับสัมผัส จะมีลักษณะของความเสี่ยงของแต่ละบุคคลที่จะนำมาอธิบาย เพื่อค้นหาความสำคัญ สมมติฐาน ข้อจำกัด และความไม่แน่นอนของการประเมินความเสี่ยง แต่ละลักษณะของความเสี่ยงจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเขียนวิเคราะห์ลักษณะของความเสี่ยงรวม (U.S. EPA., 2000)

สุดท้ายลักษณะของความเสี่ยงโดยรวมจะประกอบไปด้วยความเสี่ยงในแต่ละลักษณะบวกกับการวิเคราะห์โดยรวม (แบบบูรณาการ) สำหรับในขั้นตอน Risk Characterization จะแยกการประเมินออกเป็น 2 กลุ่ม ตามผลกระทบของสารเคมีต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังนี้

1.) Risk Characterization ของสารที่มีความเป็นพิษเรื้อรัง (U.S. EPA., 2009)

สามารถคำนวณได้จากสมการ Hazard Quotient (HQ)

$$HQ = CDI / RfC \dots\dots\dots (2.8)$$

โดย Reference Concentration (RfC) จะใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากการหายใจที่ระดับความเข้มข้นอ้างอิงในอากาศ (โดยทั่วไปจะแสดงอยู่ในหน่วยของมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร : mg/m³)

การแปลผลคือ

HQ > 1 แสดงว่าการรับสัมผัสการปนเปื้อนของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมมีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

HQ ≤ 1 แสดงว่าการรับสัมผัสการปนเปื้อนของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมไม่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

การคำนวณความเสี่ยงสำหรับสารไม่ก่อมะเร็งโดยใช้ HQ เป็นเพียงการคำนวณเชิงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวันกับ RfC เท่านั้น ไม่ใช่ค่าที่แสดงถึงความเสี่ยงที่แท้จริงดังเช่น Carcinogenic risks (CR) สำหรับสารก่อมะเร็ง แต่ผู้จัดการความเสี่ยงก็สามารถใช้ค่า HQ ในการตัดสินใจได้ คือ ถ้า HQ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 จะหมายความว่า การได้รับสัมผัสสารเคมีที่มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมยังไม่รุนแรงจนอาจทำให้เกิดความเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน แต่ถ้าหาก HQ มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่า การได้รับสัมผัสสารเคมีค่อนข้างมีความรุนแรงจนอาจก่อให้เกิดความเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ดังนั้นจึงควรหาทางในการจัดการความเสี่ยงที่เกิดขึ้นเพื่อลดการรับสัมผัสสารที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมต่อไป

2) การคำนวณ Hazard Index (U.S. EPA., 2009)

$$HI = \sum HQ \dots\dots\dots (2.9)$$

การแปลผล

HI ≤ 1 มีสารมลพิษเข้าสู่ร่างกายปริมาณน้อยกว่าปริมาณอ้างอิง อาจไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนได้

HI > 1 มีสารมลพิษเข้าสู่ร่างกายเป็นปริมาณมากกว่าปริมาณอ้างอิง อาจจะมีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนได้

3) การคำนวณ Carcinogenic risks (CR) ของสารก่อมะเร็ง (U.S. EPA., 2009)

$$CR = IUR \times EC \dots\dots\dots (2.10)$$

การแปลผลคือ

$CR > 10^6$ แสดงว่า การได้รับสัมผัสสารที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมีโอกาสที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์

$CR \leq 10^6$ แสดงว่า การได้รับสัมผัสสารที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมีโอกาสที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์แต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2.5.3 หลักการของการดำเนินการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (U.S. EPA., 2013)

การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงที่ดีจะต้องมีการกำหนดขอบเขตของการประเมินให้ชัดเจน ต้องแสดงผลได้อย่างชัดเจน มีสมมติฐานหลักและค่าความไม่แน่นอนที่ชัดเจน ต้องมีการระบุทางเลือกในการตีความที่เหมาะสม และแยกข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์จากนโยบายในการตัดสินใจ การดำเนินการอธิบายลักษณะของความเสี่ยงต้องดำเนินการให้สอดคล้องกับหลักการดังต่อไปนี้

1) **ความโปร่งใส (Transparency)** ต้องบอกลักษณะให้ครบถ้วนและเปิดเผยวิธีการประเมินความเสี่ยงให้ชัดเจน สมมติฐานเริ่มต้น ตรรกะ เหตุผล การคาดการณ์ ความไม่แน่นอนและจุดแข็งโดยรวมของแต่ละขั้นตอนในการประเมินเสี่ยง

2) **ความชัดเจน (Clarity)** ผลที่ได้จากการประเมินความเสี่ยงควรจะทำให้ความเข้าใจได้ง่ายทั้งในผู้อ่านภายในและภายนอกของการประเมินความเสี่ยง เอกสารควรจะมีระดับที่ชัดเจน ใช้ตาราง กราฟ และสมการตามความจำเป็นในการแสดงผล เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่ายขึ้น

3) **ความสอดคล้อง (Consistent)** การประเมินความเสี่ยงควรดำเนินการและนำเสนอในลักษณะที่สอดคล้องตรงกันกับนโยบายของการประเมินความเสี่ยง อีกทั้งยังควรสอดคล้องกับลักษณะของความเสี่ยงอื่นๆ ที่มีขอบเขตคล้ายกัน

4) **ความเหมาะสม (Reasonable)** การประเมินความเสี่ยงควรจะต้องขึ้นอยู่กับวิธีการตัดสินใจของเสียส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่กับวิธีการและสมมติฐานที่สอดคล้องกับสภาพทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน ต้องมีการถ่ายทอดข้อมูลในลักษณะที่สมบูรณ์และสมดุล

จาก 4 หลักการที่ได้กล่าวมาข้างต้นคือ ความโปร่งใส ความชัดเจน ความสอดคล้อง และความเหมาะสม เพื่อให้บรรลุในการอธิบายลักษณะความเสี่ยงตามหลักการดังกล่าว เราควรนำหลักการนี้ไปใช้ในทุกขั้นตอนของการประเมินความเสี่ยงก่อนที่จะนำมาสู่การอธิบายลักษณะความเสี่ยงที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ ผู้ประเมินความเสี่ยงจะต้องประเมินความถี่และขนาดของการรับสัมผัสในมนุษย์และทางนิเวศวิทยาที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรับสัมผัสกับตัวกลางทางสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนทั้งในปัจจุบันและในอนาคตการประเมินการรับสัมผัสพร้อมกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเป็นพิษโดยธรรมชาติของสารเคมี (คือ การตอบสนองที่คาดว่าจะได้รับระดับของการรับสัมผัส) เพื่อทำนายหรือคาดการณ์ความน่าจะเป็น ลักษณะ และขนาดของผลเสียต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น ในอุดมคติการประเมินความเสี่ยงทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับฐานความรู้ที่แข็งแกร่ง ข้อมูลที่เชื่อถือได้และความสมบูรณ์ของลักษณะและขอบเขตของการปนเปื้อน สถานะ กระบวนการขนส่งความเป็นพิษโดยธรรมชาติของสารเคมี ขนาดและความถี่ของการรับสัมผัสของมนุษย์ แต่อย่างไรก็ตามในชีวิตจริงข้อมูลมักจะถูกจำกัดข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณในการประเมินความเสี่ยง ผู้ประเมินความเสี่ยงมักจะเป็นคนทำการประเมินและตัดสินใจในการคำนวณความเสี่ยง ดังนั้นการ

ประเมินความเสี่ยงทั้งหมดจึงมีความไม่แน่นอนในระดับหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ส่วนสำคัญของการประเมินความเสี่ยงที่ดีทั้งหมด คือ ความยุติธรรมและการนำเสนอข้อมูลอย่างเปิดเผยในส่วนของความไม่แน่นอนต่างๆ ในการคำนวณและวิธีการที่สามารถเชื่อถือได้ในผลการประเมินความเสี่ยง

2.6 ระบบภูมิสารสนเทศ (Geo-information System : GIS)

ระบบภูมิสารสนเทศ (Geo-information System : GIS) คือการผสมผสานเทคโนโลยีระบบการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing System : RS) ที่เป็นข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเรดาร์ และเครื่องรับชนิดต่างๆ เข้ากับเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้โปรแกรม ArcGIS โปรแกรม ArcGIS เป็นชุดโปรแกรมประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โปรแกรมหนึ่ง ที่ใช้ในการจัดการข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อตอบสนองความต้องการการใช้งานของหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐ เอกชน และสถานศึกษา

องค์ประกอบของ ArcGIS

ประกอบด้วยชุดโปรแกรม ArcView, ArcEditor, ArcInfo เพื่อนำเข้า แก้ไข วิเคราะห์ และแสดงผลเป็นแผนที่ ชุดโปรแกรม ArcSDE และ Enterprise Database เพื่อการจัดการระบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ ชุดโปรแกรม ArcIMS เพื่อการให้บริการแผนที่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของ ArcGIS
ที่มา: สุเพชร จิรขจรกุล (2552)

ArcGIS แบ่งเป็นระดับการนำไปใช้งาน 3 ระดับด้วยกัน คือ ArcView ArcEditor และ ArcInfo โดยการเลือกนำไปใช้งานต้องคำนึงถึงความต้องการขององค์กรนั้นๆ เช่น ขนาดและการทำงานของฐานข้อมูล ArcGIS ทุกประเภทจะประกอบด้วยโปรแกรมประยุกต์ 3 โปรแกรมกันคือ

ArcCatalog ArcMap และ ArcToolbox ซึ่งโปรแกรมประยุกต์ทั้งสามโปรแกรมสามารถเชื่อมโยงกันได้ ทั้งจากข้อมูล GIS แผนที่ และเครื่องมือต่าง ๆ ArcCatalog ใช้เพื่อเข้าถึงข้อมูล สร้างฐานข้อมูล และปรับแก้ข้อมูล ส่วน ArcMap เหมาะสำหรับแสดง ปรับแก้ สืบค้นข้อมูล และสร้างเอกสารแผนที่ และสำหรับ ArcToolbox จะใช้วิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์ มีเครื่องมือสำหรับช่วยในการวิเคราะห์และแปลงประเภทของข้อมูล

ArcMap ใช้สำหรับแสดงภาพ ปรับแก้ข้อมูลเชิงพื้นที่ สร้างแผนที่ กราฟ และรายงาน ฐานข้อมูล GIS จะแสดงบนแผนที่ที่เรียกว่าชั้นข้อมูล (Layer) ในแต่ละชั้นข้อมูล จะแยกเป็นข้อมูลแต่ละประเภทที่จัดเก็บ ส่วนบริเวณ Table of Content (TOC) ของ ArcMap จะแสดงรายการของชั้นข้อมูลบนแผนที่ โดยค่าตั้งต้นของ TOC จะอยู่ทางด้านซ้ายมือ แต่สามารถเลื่อนไหวไปอยู่ตำแหน่งอื่นๆ ได้ตามต้องการ ลำดับการวางชั้นข้อมูลใน TOC จะเป็นลำดับ การแสดงข้อมูลในส่วนแสดงแผนที่ ลำดับที่อยู่บนสุดก็จะแสดงภาพอยู่บนสุดด้วย ดังนั้นควรนำข้อมูลที่เหมาะสมกับฉากหลังไว้ล่างสุด

ArcCatalog เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูล มีประสิทธิภาพหลัก คือ มีความสามารถเลือกเส้นทางข้อมูล (browse) ดูโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล (organize) จำหน่ายจ่าย แจกเอกสารแผนที่หรือข้อมูล หน้ากากของ ArcCatalog มีลักษณะคล้ายกับ Windows Explorer แต่ต่างกันที่สามารถเรียกดูข้อมูล แผนที่ และเมตาดेटา (metadata) ได้

ArcToolbox เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล GIS ขั้นสูง เช่น การแปลงระบบพิกัด หรือแปลงข้อมูลจากชนิดต่างๆ ไปเป็น Geodatabase ด้วยการทำงานแบบ drag and drop ทำให้สามารถลากที่และเส้นทางของข้อมูลจาก ArcCatalog ไปยัง ArcToolbox ได้

ข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ในโปรแกรม ArcGIS จะต้องอยู่ในรูปแบบ dBase (*.dbf) หรือ Delimited Text (*.txt) โดยเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Data) จะต้องมีการจัดจุด ลองติจูด เพื่อนำมา Convert to Shape file แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธี Kriging Interpolation ซึ่งผลที่ได้จะแสดงออกมาเป็นรูปภาพ JPEG File

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ward and Smith. (2001) ทำการเปรียบเทียบปริมาณมลพิษอากาศในช่วงก่อนเกิดไฟป่า และหลังเกิดไฟป่าโดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศในช่วงก่อนเกิดไฟป่าและหลังเกิดไฟป่า ในปี 2000 ซึ่งตัวอย่างที่สนใจศึกษา ได้แก่ PM_{2.5} PM₁₀ CO และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds; VOCs) จำนวน 54 ชนิด ในเมือง มิสซูลา รัฐมอนแทนา ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ปริมาณ PM_{2.5} PM₁₀ CO ในช่วงหลังเกิดไฟป่าสูงกว่าก่อนเกิดไฟป่าและมีความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์ การเกิดไฟป่า และจากการสกัดสาร VOCs พบว่ามี สาร เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และ ไซลีน เพิ่มขึ้นหลังเกิดไฟป่า โดยปริมาณของเบนซีนและโทลูอิน มีความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์การเกิดไฟ ป่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Johnston et al. (2002) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM₁₀ จากหมอกควันกับ จำนวนผู้ป่วยรายวันที่เข้ารับรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคหอบหืดในช่วงที่เกิดไฟป่า ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ PM₁₀ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มจำนวนของผู้ป่วยที่เข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรค หอบหืดอันตรายรายสัปดาห์ ร้อยละ 1.20 (95% CI คือ 1.09 - 1.34; p < 0.001) เมื่อปริมาณ PM₁₀



เฉลี่ยเพิ่มขึ้นระดับ $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และเมื่อ PM_{10} สูงกว่า $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีผลทำให้ต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคหืดหอบร้อยละ 2.39 (95% CI คือ 1.46 - 3.90) เมื่อเทียบกับวันที่ปริมาณ PM_{10} ต่ำกว่า $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Viswanathan et al. (2006) ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากไฟฟ้าที่มีต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพของผู้อาศัยอยู่ในซานติเอโก โดยใช้ข้อมูลผลการตรวจวัดปริมาณสารมลพิษอากาศ ได้แก่ PM_{10} 24 ชั่วโมง CO , O_3 และก๊าซที่ทำให้โอโซนเพิ่มขึ้น ได้แก่ CH_4 และ Total hydrocarbon (THC) พบว่า ปริมาณสารมลพิษอากาศเพิ่มสูงขึ้น โดย PM_{10} และ CO มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานกำหนด ส่วน O_3 , CH_4 และ Total hydrocarbon (THC) มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด เนื่องจากไม่มีแสงแดดและเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ป่วยรายวันที่เข้ารับรักษาในโรงพยาบาล 15 แห่งด้วยโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ หอบหืด หลอดลมฝอยอักเสบ ถุงลมโป่งพองและมีอาการเจ็บหน้าอก พบว่า มีผู้ป่วยเข้ารับการรักษาทั้งหมดจำนวน 31,321 คน เฉลี่ย 1,423 คนต่อวัน และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณมลพิษอากาศอย่างมีนัยสำคัญ

Buadong et al. (2009) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน กับโรคระบบหลอดเลือดหัวใจในกรุงเทพมหานคร โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของจำนวนผู้ป่วยรายวันที่มารักษาตัวในสามโรงพยาบาลใหญ่ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฝุ่นละอองในหนึ่งวันที่ผ่านมา มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มจำนวนของผู้ป่วยที่เข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคหลอดเลือดหัวใจในกลุ่มผู้สูงอายุ (≥ 65 ปี) โดยเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.10 (95% CI คือ 0.03, 0.19) เมื่อปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นระดับ 10 ไมครองรมต่อลูกบาศก์เมตร

Pengchai et al. (2009) ศึกษาการแหล่งที่มาของ PM_{10} และ PM_{10} -bound PAHs ในอากาศทั่วไปของจังหวัดเชียงใหม่และลำพูนโดยทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} และ PM_{10} -bound PAHs ทุก 3 วันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตั้งแต่เดือนมิถุนายนปี 2005 ถึงมิถุนายน 2006 ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} และ PM_{10} -bound PAHs เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคมและสูงสุดในเดือนมีนาคมก่อนที่จะลดลงในช่วงปลายเดือนเมษายน และพบว่าสาเหตุเกิดจากการเกษตรและไฟป่ามากที่สุด รองลงมาคือจากการไอเสียของยานพาหนะและอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 46-82, 12-49 และร้อยละ 3-19 ตามลำดับ และในฤดูฝนพบว่าความเข้มข้นของสารทั้งหมดมาจากไอเสียของยานพาหนะมากที่สุด ร้อยละ 16-37

Martins et al. (2012) ศึกษาผลกระทบจากไฟฟ้าที่มีต่อระดับ PM_{10} และ O_3 ในพื้นที่ตอนเหนือของประเทศโปรตุเกสเป็นระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี 2003 - 2005 โดยใช้ LOTOS - EUROS โมเดลในการสร้างแบบจำลองลักษณะการกระจายตัวของมลพิษอากาศจากไฟฟ้าและพื้นที่ที่ถูกเผา เมื่อเปรียบเทียบช่วงที่เกิดไฟฟ้าและไม่เกิดไฟฟ้า พบว่า ปริมาณ PM_{10} และ O_3 ในช่วงที่เกิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และปี 2005 มีปริมาณ PM_{10} และ O_3 สูงสุด

