

บทที่ 1

ความทั่วไปเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ

1.1 สารมลพิษทางอากาศ

กฎหมายของรัฐวิสคอนซินในสหรัฐอเมริกา ได้ให้คำนิยามของมลพิษทางอากาศไว้ว่า "คือการคงอยู่ของสิ่งแปลกปลอม ตั้งแต่หนึ่งสิ่งขึ้นไป ซึ่งมีความเข้มข้นในช่วงเวลาดังกล่าวที่เพียงพอจะทำให้มีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือชุมชนหรือพืชหรือสัตว์หรือทรัพย์สินสมบัติ หรือทำให้เกิดการรบกวนต่อการดำรงชีวิตหรือพักผ่อน" โดยปรกติเราจะอธิบายปริมาณของสารมลพิษทางอากาศในรูปของความเข้มข้นในหน่วยของ สัดส่วนเป็นหนึ่งในส่วนโดยปริมาตร (ppm) หรือในรูปหน่วยน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรที่สภาวะปรกติคือที่อุณหภูมิ 25° เซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เช่นในหน่วย มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) หรือ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

เมื่อมีความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งจะเริ่มมีผลต่อสุขภาพอนามัย สารมลพิษทางอากาศมีมากมายหลายชนิดที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ พืชและสัตว์ และแปลกไปจากสิ่งแวดล้อม สารมลพิษเหล่านี้แต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันออกไป ผลจากการเผาไหม้จะเป็นเหตุ ซึ่งก่อให้เกิดเป็นบริเวณกว้างมากเพราะองค์ประกอบในควัน เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), และฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate, TSP)

สารมลพิษทางอากาศมาได้จากสองแหล่งคือจากน้ำมีมนุษย์ และจากธรรมชาติ เช่น

ก. ฝุ่น

เป็นทั้งอนุภาคของแข็งและของเหลวซึ่งไม่ใช่สารที่มีโมเลกุลเดียวขนาดของอนุภาคทำให้อัตราการคงอยู่ในอากาศเป็นไปได้ตั้งแต่ 2-3 วินาที ไปจนถึงหลายๆ เดือน ฝุ่นทำให้ทัศนวิสัยลดลง โดยอนุภาคทั้งของแข็งและของเหลวที่มีขนาดระหว่าง 0.1 ถึง 1 μm จะเป็นสาเหตุสำคัญที่เป็นตัวลดทัศนวิสัย ตัวฝุ่นละอองเองและการรวมตัวของฝุ่นกับสารมลพิษทางอากาศอื่นทำให้เกิดเป็น พิษมากขึ้น จะเข้าสู่ร่างกายโดยทางระบบหายใจ ทำให้รบกวนระบบการหายใจโดยตรง โดยประมาณ ขนาดของฝุ่น 0.01 ถึง 0.1 μm จะมีอยู่ในฝุ่นทั้งหมดประมาณ 50 % ฝุ่นขนาดนี้สามารถเข้าไปสะสม อยู่ในถุงลมปอดได้ ความสัมพันธ์โดยตรงระหว่าง ความเข้มข้นของฝุ่นกับผลทางร่างกาย ไม่น่าอน เพราะว่าลักษณะในการส่งผลเสริมกับสารมลพิษตัวอื่น และลักษณะปฏิกิริยาของฝุ่นคือ

ก. องค์ประกอบทางเคมีในฝุ่น

ข. ลักษณะทางกายภาพ เช่นรูปร่างของฝุ่น

ก. ขนาดของฝุ่นและความสามารถในการดูดซับสารพิษและพาเข้าสู่ร่างกาย

ข. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ถ้ามีความเข้มข้น ระดับ 0.3 ถึง 1 ppm จะเริ่มได้กลิ่น ถ้ามีถึงระดับ 3 ppm จะมีกลิ่นเหม็นฉุน แสบจมูก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อนานเข้าจะถูกเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ไรต์และกรดซัลฟูริกและเกลือซัลเฟต SO_2 มักเกิดจากการเผาไหม้ของซัลเฟอร์ที่ปรากฏอยู่ในเชื้อเพลิงที่มาจากปิโตรเลียม และถ่านหิน เมื่อนำเชื้อเพลิงเหล่านี้ไปใช้ ซัลเฟอร์ที่ผสมอยู่จะสันดาปกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังนั้นในการประมาณการระบายออก ก็จะประมาณจากปริมาณซัลเฟอร์ที่ปรากฏอยู่ในแต่ละเชื้อเพลิง แหล่งสำคัญอีกแหล่งหนึ่งคืออุตสาหกรรมถลุงโลหะ ซึ่งสิ้นเปลืองอย่าง เช่น สังกะสี และทองแดง มักอยู่ในรูปซัลไฟด์ และ จากโรงงานผลิตกรดซัลฟูริก

ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้ ทศนะวิสัยลดลง ผลของ SO_2 มีกับวัตถุอย่างมากเช่นทำให้ผิวหนังจะแห้งซาลง สีจะไม่มี ความคงทน SO_2 มีผลต่อการกัดกร่อนโลหะมาก โดยการเปลี่ยนรูปเป็นกรดทั้งในอากาศและที่ ผิวของโลหะ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อปรากฏอยู่ร่วมกับฝุ่นและความชื้นจะมีผลต่อสุขภาพเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อมีระดับถึง 1 ppm จะเริ่มเกิดผลกับสุขภาพหรือให้ผลแตกต่างระหว่างคนปกติ เมื่อระดับถึง 20 ppm ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลเฉียบพลัน ไม่มีผลเรื้อรัง

ค. ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส เบากว่าอากาศเล็กน้อยมีความคงตัวสูงมาก มีช่วงชีวิต ประมาณ 2-3 เดือนในบรรยากาศ CO ไม่ปรากฏว่ามีผลต่อผิวของวัตถุจากการทดลองพบว่า CO ไม่มีผลต่อพืช ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเลือดได้ดีกว่าออกซิเจนถึง 200-250 เท่า เกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบินซึ่งจะลดความสามารถของเลือดในการพาออกซิเจนจากปอดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ทำให้เกิดอาการขาดออกซิเจนในคน นอกจากผลโดยตรงที่ เช่น ในกรณีการสูดดม CO ความเข้มข้น 10-15 ppm เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะทำให้ COHb ประมาณ 2.5 % (ความเข้มข้นระดับนี้เป็นความเข้มข้นที่พบได้ตามท้องถนนทั่วไป) ก็จะทำให้เกิดอาการเครียดเพิ่มขึ้น เพิ่มจากอาการปกติ ในระดับ 100 ppm ของ CO จะเป็นระดับสูงสุดที่จะยอมให้คนมีสุขภาพที่ทำงานได้ ติดต่อกัน 8 ชั่วโมง ในควันทูรี่จะมี CO อยู่ราว 400-450 ppm ผู้สูบบุหรี่ 1 ของต่อวัน จะมี COHb 6.3 % และ 2 ของต่อวัน มี COHb 7.7 %

ง. ไนโตรเจนออกไซด์ NO_x

ออกไซด์ของไนโตรเจนมี 7 รูป ที่มีปรากฏอยู่ในบรรยากาศ คือ N_2O , NO, NO_2 , NO_3 , N_2O_5 แต่อย่างไรก็ตามมีเพียง NO และ NO_2 ที่เป็นสารมลพิษที่สำคัญ แหล่งกำเนิด NO_2 และ NO สูบรรยากาศจะมาจากการเผาไหม้และอุตสาหกรรมเคมี บางชนิด เมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้โดยใช้อากาศเป็น

ตัวให้ออกซิเจน เนื่องจากในอากาศมีไนโตรเจนอยู่ด้วย ส่วนหนึ่งของไนโตรเจนจึงถูกออกซิไดส์ กลายเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) ปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกออกซิไดส์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเปลวไฟ และความเร็วในการทำให้เย็นลง เนื่องจากความเข้มข้นของไนตริกออกไซด์ที่สภาวะสมดุลย์ทางเคมีจะ สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และอัตราเร็วในการทำให้เย็นทำให้มี NO เพิ่ม เนื่องจากอัตราการแตกตัวจาก NO เป็นไนโตรเจนอิสระและออกซิเจน จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิต่ำลง นอกจากจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแล้ว อุตสาหกรรมผลิตกรดไนตริกจะปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ เป็นปริมาณมาก โดย ประมาณว่าจะคายออกราว ๆ 25 กิโลกรัมต่อตัน ของกรดที่ผลิต แหล่งต่อไปก็จากยานยนต์ โดยขณะ เร่งเครื่องจะมีไนโตรเจนออกไซด์ ออกมาราว 6000 ppm และจะลดลงเหลือ 3000 ppm เมื่อใช้ ความเร็วคงที่ NO_x กำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยใช้อากาศเป็นแหล่งออกซิเจนซึ่งขึ้นอยู่กับ ชนิดเชื้อเพลิงและชนิดของหน่วยที่ใช้เชื้อเพลิงนั้นปริมาณของ NO_x ที่ระบายออกได้จากการหาอัตราการระบายออกเฉลี่ยของรถแต่ละประเภท

ทั้ง NO และ NO_2 ไม่มีผลโดยตรงต่อวัตถุ ใดๆก็ตาม NO_2 จะทำปฏิกิริยากับความชื้นให้ เกิด กรดไนตริก ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดกร่อนโลหะ NO_2 มีคุณสมบัติในการดูดซับแสง ทำให้เป็นตัว การหนึ่งของการลดทัศนวิสัย เมื่อความ เข้มข้นในอากาศขึ้นไปถึง 0.25 ppm

ผลต่อสุขภาพนั้นพบว่าถ้าระดับความเข้มข้นของ NO_2 สูงถึงระดับ 300-500 ppm จะเป็น อันตรายถึงแก่ชีวิตหรือ สลบ เนื่องจากสมองขาดออกซิเจน ความเข้มข้นระดับ 0.7-20 ppm ในเวลา 10 นาที จะทำให้หายใจไม่ออก และระดับ 0.11-0.22 ppm. จะเริ่มได้กลิ่น

สารประกอบชนิดแรกของการเกิดของออกไซด์ของไนโตรเจนส่วนใหญ่คือ NO ซึ่งต่อมาก็ จะทำปฏิกิริยา กับ ออกซิเจน หรือ โอโซน เกิดเป็น NO_2 นอกจากนี้ในบรรยากาศจะมี สารไฮโดร คาร์บอนอยู่ด้วยทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นเกิดขึ้นอย่างซับซ้อนระหว่างอะตอมของออกซิเจน โอโซน และ NO โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยา เกิดเป็นกลุ่มสารมลพิษทางอากาศที่เรียกว่า Photochemical Oxidants ดังนั้นผลจากการทำนาย ความเข้มข้น ของการแพร่กระจาย NO_2 จึงให้ผล เกินจริงราว 1-10 เท่า เนื่องจาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีสมมติฐานว่ารูปทั้งหมดที่เกิดขึ้นของ NO_x คือ NO_2

1.2 การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดและเคลื่อนที่ฟุ้งกระจายหรือปกคลุมอยู่ ณ ที่นั้น จะมีผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาและสภาพภูมิประเทศ รูปแบบของมลพิษทางอากาศจะเริ่มจาก สารมลพิษถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศและจบลงที่การตกลงสู่ พืช สัตว์ ดิน และน้ำ และวัตถุอื่น ๆ หรือถูกชะล้างโดยฝน และในบางกรณีมันสามารถกลับเข้าสู่ บรรยากาศได้อีก โดยลม

ในเขตเมืองใหญ่ที่มีการระบายออกของสารมลพิษมาก ๆ ทำให้พื้นที่ต่าง ๆ ได้รับความผลกระทบจาก ระบายออกนี้จากหลายแหล่งกำเนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางลม ตำแหน่งของตึกและอื่น ๆ ดังนั้นถ้ามีการ กำหนดความเข้มข้นของสารมลพิษค่าหนึ่งไม่ให้เกิดระดับหนึ่ง ๆ ก็จะต้องมีการประเมินของการกระจาย ของสารมลพิษอันเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแต่ละแห่งนั้น เหตุผลนี้จึงเป็นที่มาของการพยายาม สร้างรูปแบบ ของการกระจายของมลพิษในที่ต่าง ๆ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยข้อมูล เฉพาะของแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ถ้าเราสามารถทราบอัตราการปล่อย สารมลพิษของพื้นที่นั้นแล้ว ใส่เข้าไปในรูปแบบการกระจายที่สร้างขึ้นเราสามารถทำนายความเข้มข้น ของสารมลพิษต่าง ๆ ในบริเวณ นั้นได้ ถ้าเราจำลองได้ดี ค่าที่คำนวณได้จะใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ในที่ต่าง ๆ แบบจำลองที่ดียังสามารถใช้ในการกำหนดมาตรฐานมลพิษจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม ได้ด้วย เพื่อควบคุมมาตรฐานคุณภาพอากาศ ในบรรยากาศ

การแพร่กระจายของสารมลพิษในบรรยากาศจากปล่องหรืออื่น ๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างคือ คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของสารมลพิษ สภาพทางอุตุนิยมวิทยาในขณะนั้น ตำแหน่งที่ตั้งของ ปล่องซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการชะล้างมิให้อากาศเคลื่อนที่ไปตามปกติ ลักษณะของพื้นผิวในทิศใต้ลม มี วิธีการมากมายที่พยายามเชื่อมโยงผลของปัจจัยที่กล่าวมาแล้วเข้ากับการกระจายของมลพิษทางอากาศ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีวิธีใดที่สามารถครอบคลุมได้ทั้งหมด

การทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศมีความจำเป็นในกรณีที่มีมาตรฐานคุณภาพ อากาศในบรรยากาศและต้องการที่จะควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานอันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของ อุตสาหกรรม และเขตที่อยู่อาศัย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษา แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษา การแพร่กระจายของอากาศพัฒนามาจาก Eddy Diffusion Model เพื่อศึกษา การแพร่กระจายใน 3 ทิศทาง ซึ่งรู้จักกันในรูปของ Fickian Diffusion Equation แต่ สมการนี้ก็ยังไม่ใช้ได้อย่าง จึง เพิ่มสมมติฐานเพิ่มเติมอีก คือ

1. ความเข้มข้นของสารมลพิษมาจากแหล่งกำเนิดชนิดต่อเนื่องตลอดเวลา
2. ขบวนการที่เกิดขึ้นเมื่ออยู่ในภาวะ Steady State

3. ทิศทางการเคลื่อนที่เป็นไปตามทิศทางลมซึ่งอยู่บนแกน x
4. ความเร็วลม u เป็นค่าคงที่ ณ ทุก ๆ ที่ในระบบแกน x, y, z
5. การเคลื่อนที่ของสารมลพิษทางอากาศในแนว x ซึ่งเป็นแนวของทิศทางลมทำให้อิทธิพลของลมมีมากกว่าผลจากการแพร่กระจายมาก

ในท้ายที่สุดจึงได้สมการที่ใช้ทำนายความเข้มข้นสารมลพิษคือ

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left\{ \exp\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

โดย C = ความเข้มข้นสารมลพิษที่ตำแหน่ง (x, y, z)

Q = อัตราการระบายสารมลพิษของแหล่งกำเนิด

u = ความเร็วลมที่ความสูง 10 เมตร

σ_y, σ_z = ความกว้างของการกระจายสารมลพิษ ขึ้นกับ ระยะทาง x และความคงตัวของบรรยากาศ

H = ความสูงของแหล่งกำเนิด

x = ระยะจากแหล่งกำเนิดไปถึงจุดต้องการทราบความเข้มข้นในแนวทิศทางลม

y = ระยะจากแหล่งกำเนิดไปตั้งฉากกับแนวแกน x

z = ความสูงของจุดต้องการทราบความเข้มข้นจากระดับพื้น

ดังนั้นถ้าทราบตำแหน่งของแหล่งกำเนิด ทราบอัตราการระบายสารมลพิษ ทราบความสูงของแหล่งกำเนิด (เช่นความสูงของปล่องโรงงาน) สภาพทางอุตุนิยมวิทยา (ความคงตัวของบรรยากาศ ทิศทางและความเร็วลม) ก็จะสามารถความเข้มข้นสารมลพิษ (ที่แตกต่างกัน) ที่ตำแหน่งใดๆได้