บทที่ 15
มลพิษทางอากาศ (Air Pollution Meteorology)

15.1 ความเร็วลม (Wind Speed)

15.2 ความมีเสถียรภาพของอากาศ (Air Stability)

15.2.1 อุณหภูมิกลับชั้น (Temperature Inversions)

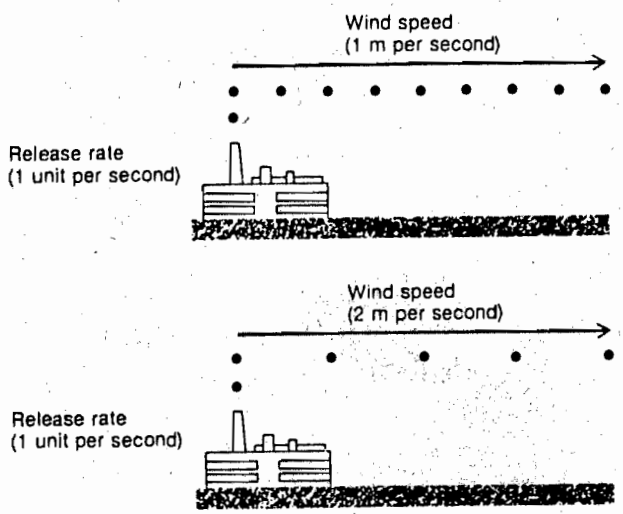
15.3 แนวโน้มของการเกิดมลพิษทางอากาศ (Air Pollution Potential)

15.4 กระบวนการทางธรรมชาติที่ทำให้เกิดความสะอาด (Natural Cleansing Processes)

มลพิษทางอากาศไม่ใช่สิ่งใหม่แต่เก่าแก่เช่นเดียวกับอารยธรรมเอง ปรากฏการณ์เกี่ยวกับมลพิษทางอากาศเกิดขึ้นเมื่อมนุษย์ตั้งแต่สมัยเริ่มแรกได้พยายามก่อกองไฟในถ้ำที่ปราศจากการถ่ายเทอากาศ มลพิษทางอากาศจะมีอันตรายก็ต่อเมื่อสภาวะของบรรยากาศยอมให้อากาศมีฝุ่นพิษ (pollutants) ได้เข้มข้นมากที่สุด เมื่อฝุ่นพิษถูกพ่น (emitted) เข้าสู่บรรยากาศความเข้มข้นมักจะลดลง อัตราการลดลงของความเข้มข้นหรือการเจือจางจะพิจารณาจากการที่ฝุ่นพิษเข้าผสมกับอากาศบริสุทธิ์ ถ้าการผสมผสมกันได้โดยทั่วถึงการเจือจางก็จะเร็วขึ้น ในกรณีที่สภาวะของบรรยากาศยอมให้มีการเจือจางได้อย่างรวดเร็วการกระทบกระเทือนโดยฝุ่นพิษก็จะมีน้อย แต่ในกรณีที่มีชื่อว่าฉากของมลพิษทางอากาศ (air pollution episodes) สภาวะของบรรยากาศถูกทำให้เกิดการเจือจางได้น้อยมากดังนั้นการกระทบของมลพิษจะเกิดขึ้นได้รุนแรงโดยเฉพาะต่อสุขภาพของมนุษย์ สภาวะของกาลอากาศ 2 ชนิดที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจือจางก็คือความเร็วลมและความมีเสถียรภาพของอากาศ

15.1 ความเร็วลม

อากาศมักจะผสมกันอย่างรวดเร็วในวันที่ลมพัดจัดมากกว่าในวันที่ลมสงบ กฎโดยทั่วไปถ้าอัตราเร็วของลมเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ความเข้มข้นของฝุ่นพิษจะลดลงครึ่งหนึ่ง (ดูรูป 15.1) แบบของกาลอากาศบางชนิดจะทำให้เกิดลมพัดเบา ดังนั้นจะไม่ทำให้ฝุ่นพิษเกิดการกระจายออกได้โดยง่าย เช่นภายในแอนติไซโคลนซึ่งมีความชันของความกดในแนวนอนอ่อนและมีลมที่ใกล้ศูนย์กลางค่อนข้างเบาเป็นต้น



รูป 15.1 การเพิ่มความเร็วขึ้นเป็นสองเท่าจาก 1 เมตรต่อวินาทีเป็น 2 เมตรต่อวินาทีจะเพิ่มระยะห่างของควันแต่ละจุดขึ้นเป็นสองเท่า ดังนั้นความเข้มของมลพิษจะลดลงครึ่งหนึ่ง

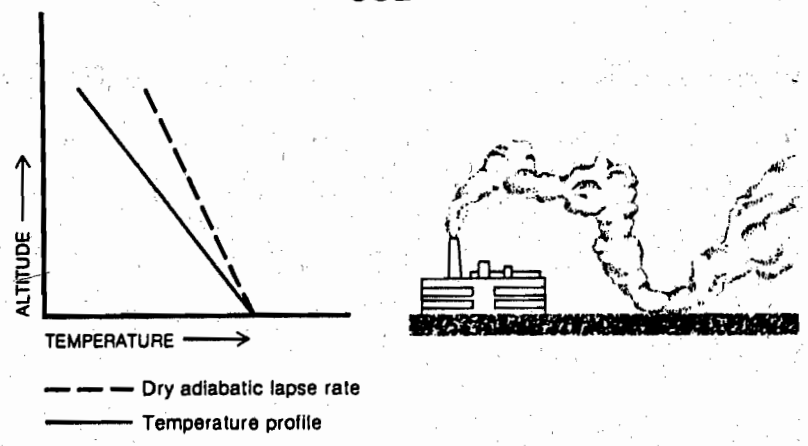
ความเร็วลมไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของความขันของความกดเพียงอย่างเดียวแต่เกิดจากแรงเสียดทานด้าย ในเมืองลมจะถูกทำให้ช้าลงโดยความขรุขระของพื้นผิวซึ่งเกิดจากภูมิประเทศของตึกรามบ้านช่องที่สูง ๆ คล้ายกับภูเขา โดยความจริงแล้วอัตราเร็วของลมในเมืองจะน้อยกว่าอัตราเร็วนอกเมืองโดยรอบประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมลพิษจึงมักเกิดขึ้นในเมือง

15.2 ความมีเสถียรภาพของอากาศ

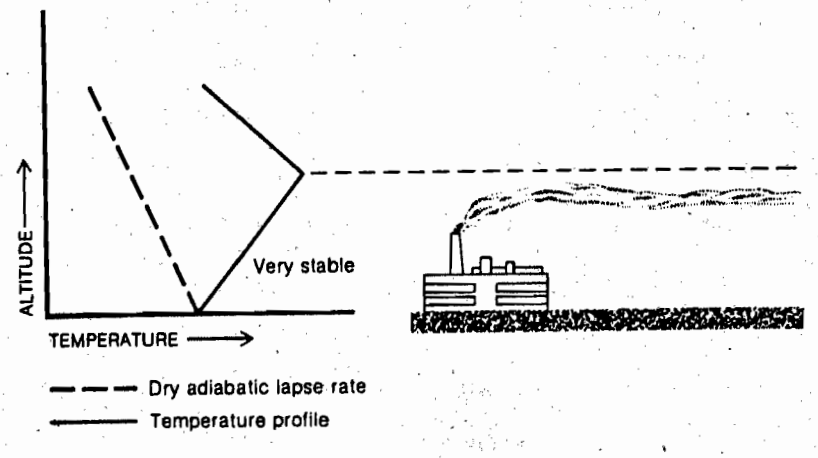
เราทราบแล้วว่าความมีเสถียรภาพมีผลกระทบการไหลในแนวดิ่งของบรรยากาศสำหรับการพาความร้อน และการพัดแบบอลวล (turbulence) จะเกิดขึ้นได้มากเมื่ออากาศไม่มีเสถียรภาพ และกลับกันทั้งสองอย่างนี้จะไม่เกิดขึ้นเมื่ออากาศมีเสถียรภาพ ดังนั้นความมีเสถียรภาพของอากาศจะมีอิทธิพลต่ออัตราที่อากาศสกปรกจะผสมกับอากาศบริสุทธิ์ ก้อนอากาศสกปรกที่พ่นเข้าไปในอากาศที่ไม่มีเสถียรภาพจะผสมกันได้ดีกว่าก้อนอากาศสกปรกที่พ่นเข้าไปในอากาศที่มีเสถียรภาพทั้งนี้เพราะอากาศที่มีเสถียรภาพจะห้ามการขนถ่ายฝุ่นพิษขึ้นสู่ข้างบน สำหรับชั้นที่มีเสถียรภาพที่อยู่เบื้องบนจะกระทำตนเหมือนฝาปิด (lid) ซึ่งจะปิดกั้นฝุ่นพิษเอาไว้และในการพ่นสิ่งแปดเปื้อนอย่างต่อเนื่องเข้าไปในอากาศที่มีเสถียรภาพก็จะเป็นผลให้เกิดการสะสมและเพิ่มความเข้มข้นของฝุ่นพิษเช่นเดียวกัน

ชั้นความหนาที่ผสมกัน (mixing depth) ก็คือระยะทางในแนวดิ่งระหว่างพื้นดินและความสูงซึ่งอากาศมีการผสมกัน เมื่อความหนาของชั้นที่ผสมยิ่งมากเช่นหลาย ๆ กิโลเมตร จำนวนอากาศบริสุทธิ์ซึ่งยอมให้ฝุ่นพิษผสมกันก็จะมีมากขึ้นและจะช่วยให้เกิดการเจือจางอย่างรวดเร็วแต่ถ้าความหนาของการผสมค่อนข้างน้อย ฝุ่นพิษจะถูกจำกัดอยู่ในปริมาตรของอากาศที่มีจำนวนน้อยกว่าซึ่งจะทำให้เกิดความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอันตรายได้ ในกรณีที่อากาศมีเสถียรภาพจะไม่มีการพาในแนวดิ่งผลก็คือจะทำให้เกิดชั้นความหนาที่ผสมกันได้น้อยแต่ในกรณีที่อากาศไม่มีเสถียรภาพการพาในแนวดิ่งจะมีได้มาก ความหนาที่ผสมกันก็มีได้มากด้วยซึ่งมักเกิดในตอนบ่ายมากกว่าในช่วงเช้าและจะเกิดขึ้นในเวลากลางวันมากกว่าในตอนกลางคืน รวมทั้งจะเกิดขึ้นในฤดูร้อนมากกว่าในฤดูหนาว

บางครั้งเราสามารถประมาณความมีเสถียรภาพของชั้นอากาศโดยการสังเกตุพฤติกรรมทางเดินของควันไฟ (plume of smoke) ที่พ่นออกจากปล่องไฟถ้าควันไฟเข้าสู่ชั้นของอากาศที่ไม่มีเสถียรภาพทางของควันจะคดเคี้ยวอย่างในรูป 15.2 และตรงกันข้ามถ้าทางของควันไฟแบนและแผ่ยืดออกเป็นเส้นริบบิ้นยาวก็จะแสดงถึงสภาวะที่มีเสถียรภาพมากซึ่งจะทำให้เกิดการเจือจางได้น้อยมาก (ดูรูป 15.3)



รูป 15.2 การไหลวกเวียนของควันจะทำให้เกิดการเจือจากของมลพิษทางอากาศและเป็นลักษณะของควันที่เกิดขึ้นในอากาศที่ไม่มีเสถียรภาพ



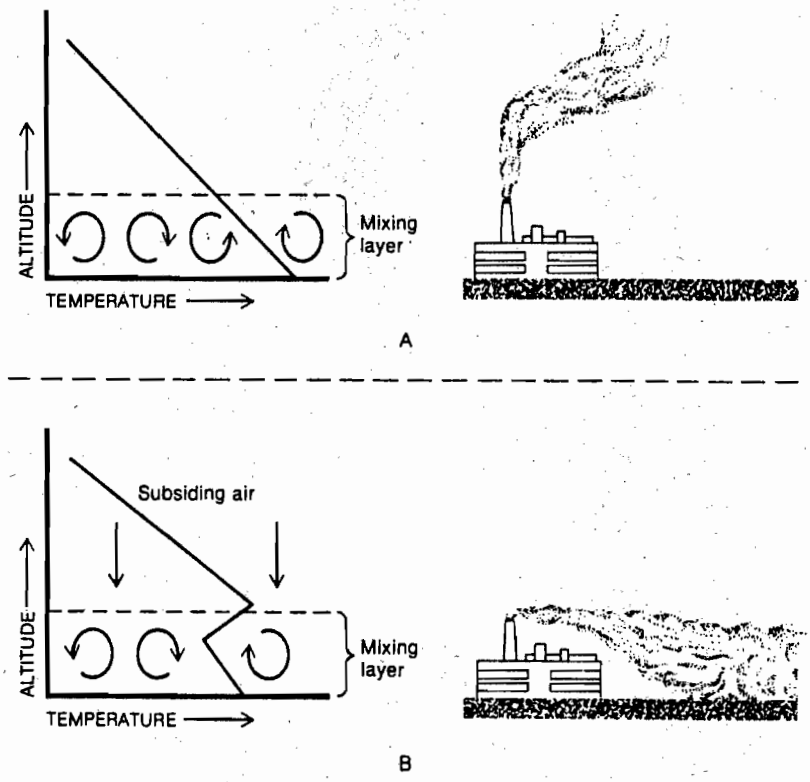
รูป 15.3 อุณหภูมิกลับชั้นที่ติดกับพื้นดินแสดงถึงสภาวะที่มีเสถียรภาพสูง ทางของควันไฟจะมีลักษณะเป็นริบบิ้นยืดยาวไปตามลมลักษณะเช่นนี้การทำให้เจือจางเกิดขึ้นได้น้อย

15.2.1 อุณหภูมิกลับชั้น (Temperature Inversion)

การเกิดมลภาวะของอากาศมักเกิดขึ้นเมื่อบรรยากาศที่พื้นผิวเกิดอุณหภูมิกลับชั้นที่คงทนขึ้นซึ่งก็คืออุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มขึ้นตามความสูง อากาศอุ่นที่เบาจะอยู่เหนืออากาศที่เย็นและหนาแน่นมากกว่าเกิดเป็นชั้นที่มีเสถียรภาพสูงสุดซึ่งจะห้ามไม่ให้เกิดการพาในแนวดิ่งที่จะทำให้มีการผสมกันแล้วเกิดการเจือจางขึ้น อุณหภูมิกลับชั้นสามารถเกิดขึ้นได้ 3 วิธีคือ (1) การจมลง

ของอากาศ (subsidence of air) (2) การแผ่รังสีแล้วทำให้เย็นลง (3) การพาความร้อนในแนวนอน (advection) ของมวลอากาศ

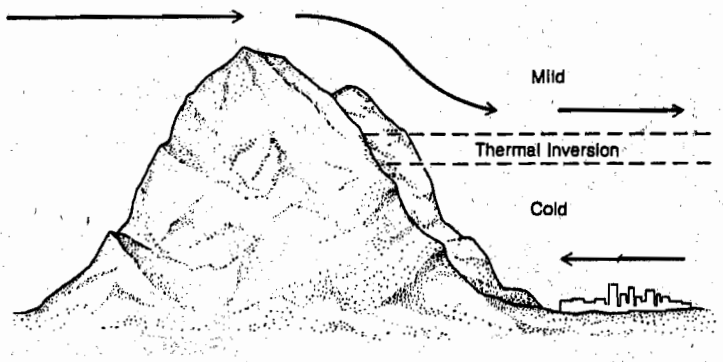
การจมลงแล้วทำให้เกิดอุณหภูมิกลับชั้นจะทำให้เกิดฝาปิดอยู่ข้างบนเป็นบริเวณกว้าง อุณหภูมิกลับชั้นแบบนี้เกิดขึ้นในบริเวณความกดสูง ลักษณะอากาศที่จมลงอัดตัวแล้วทำให้อุ่นขึ้นจะแผ่ขยายพุ่งลงไปยังพื้นโลก อากาศอุ่นนี้จะถูกป้องกันไม่ให้มาถึงพื้นผิวโดยชั้นที่มีการผสมกันอยู่แล้ว (mixing layer) ซึ่งก็คือ ชั้นที่เกิดจากการพาความร้อนในแนวดิ่ง (ดูรูป 15.4) อุณหภูมิของชั้นที่มีการผสมอยู่แล้วจะลดลงตามความสูง แต่อากาศที่อยู่เหนือถัดไปถูกทำให้อุ่นโดยการอัดตัว และจะอุ่นกว่าอากาศที่ส่วนยอดของชั้นที่มีการผสมกันอยู่แล้ว ดังนั้นอุณหภูมิกลับชั้นจะแยกชั้นที่มีการผสมอยู่แล้วออกจากอากาศอุ่นที่เกิดจากการอัดตัวซึ่งอยู่เบื้องบน ภายใต้สภาวะเช่นนี้ฝุ่นพิษจะกระจายโดยทั่วในชั้นที่มีการผสมอยู่แล้วจนกระทั่งถึงความสูงของชั้นที่มีอุณหภูมิกลับชั้นสถานการณ์เช่นนี้บางครั้งเรียกว่าฟูมิเกชัน (fumigation) (แปลว่าการอบ)



รูป 15.4 การจมลงของอากาศเหนือชั้นที่มีการผสมอยู่แล้ว (mixing leyer) ทำให้เกิดชั้นของอุณหภูมิกลับชั้นในที่สูงซึ่งจะทำตนเหมือนฝาปิดขังมลพิษเอาไว้ สำหรับรูป A เป็นรูปก่อนที่มีการจมตัวส่วนรูป B เกิดขึ้นเมื่ออากาศมีการจมตัวแล้ว

การแผ่รังสีแล้วทำให้เกิดอุณหภูมิกลับชั้นบางทีจะพบบ่อยและมักเกิดในท้องถิ่นได้มากกว่าวิธีการจมลง ในเวลากลางคืนภายใต้ท้องฟ้าที่แจ่มใส ความอุ่นของโลกจะสูญเสียอย่างรวดเร็วสู่เบื้องบนโดยการแผ่รังสีอินฟราเร็ด อากาศชั้นที่ติดกับพื้นผิวจะถูกทำให้เย็นลงโดยการสัมผัสเนื่องจากอากาศที่พื้นผิวเย็นที่สุดดังนั้นอุณหภูมิกลับชั้นจะเกิดขึ้นที่พื้นผิว ควันไฟที่พ่นออกมาจากชั้นอากาศนี้จะก่อตัวเป็นริ้วบางซึ่งลอยช้า ๆ ตามลม หลังจากดวงอาทิตย์ขึ้นมาแล้ว แสงอาทิตย์ถูกดูดกลืนโดยพื้นดินและโดยการแผ่รังสีและการนำความร้อนจะขึ้นสู่อากาศเบื้องบน อุณหภูมิกลับชั้นก็จะค่อย ๆ หายไป และเล็พเรทของอุณหภูมิก็จะกลับเหมือนเดิม อย่างไรก็ตามในฤดูหนาว เมื่อหิมะปกคลุมพื้นดินและแสงแดดมีน้อย อุณหภูมิกลับชั้นชนิดเกิดจากการแผ่รังสีสามารถดงอยู่ได้หลายวันและจะทำให้ไม่มีการกระจายของฝุ่นพิษที่รุนแรงได้

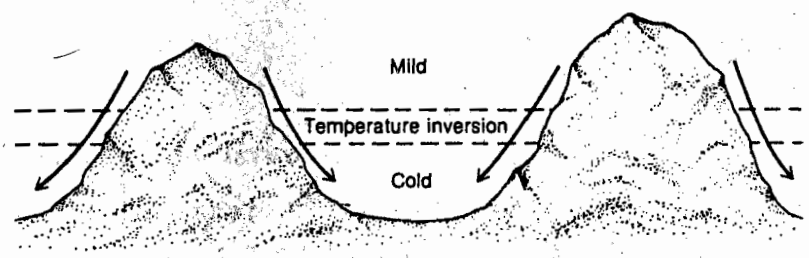
การพาในแนวนอน (advection) ของมวลอากาศก็สามารถทำให้เกิดอุณหภูมิกลับชั้นได้ดังแสดงในรูป 15.5 ลมที่พัดจากตะวันตกข้ามภูเขาแล้วจมลงมาจะถูกทำให้อุ่นขึ้นโดยการอัดตัว ส่วนที่ตีนเขาด้านหลังจะมีลมเย็นที่พื้นผิวพัดเข้ามาทำให้เกิดชั้นอุณหภูมิกลับชั้นในเบื้องบน



รูป 15.5 ชั้นของอุณหภูมิกลับชั้นจะก่อตัวขึ้นด้านหลังภูเขาโดยเกิดจากลมที่พัดข้ามภูเขาจมตัวลงไปอยู่เหนือชั้นของอากาศเย็นที่พัดมาจากด้านหลังภูเขา สถานการณ์เช่นนี้จะทำให้เกิดมลพิษในเมืองที่อยู่ด้านหลังภูเขา

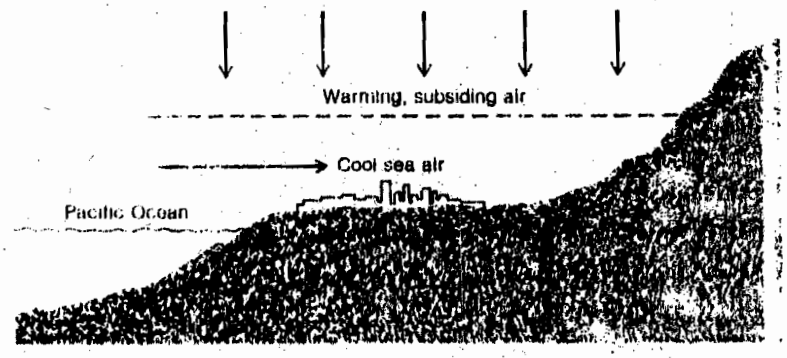
15.3 แนวโน้มของการเกิดมลพิษทางอากาศ (Air Pollution Potential)

สภาวะอากาศซึ่งทำให้อากาศไม่เคลื่อนไหว (stagnation) และเกิดมลพิษขึ้นเปลี่ยนแปลงตามเวลาและสถานที่ สถานที่ที่มีแนวโน้มทำให้เกิดมลพิษสูงได้แก่เทือกเขาเนื่องจากมันสามารถกั้นลมในแนวนอนที่จะช่วยให้เกิดการกระจายของอากาศสกปรกไหลเข้ามาและบวกกับอุณหภูมิกลับชั้นที่เกิดจากการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นในหุบเขาแล้ว ก็จะทำให้มลภาวะแรงยิ่งขึ้นโดยจะเกิดการสะสมของอากาศเย็นที่ไหลลงจากภูเขาทั้ง 2 ข้าง (ดูรูป 15.7)



รูป 15.6 เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกอากาศเย็นจะไหลลงมาสู่หุบเขาทำให้เพิ่มความแรงของอุณหภูมิกลับชั้น

นครลอสเอเจลิสมีความไวที่จะเกิดมลพิษทางอากาศได้ง่ายเนื่องจากลักษณะที่ตั้งทางภูมิประเทศบวกกับความเข้มข้นของฝุ่นพิษที่เกิดจากรถยนต์นับสิบล้านคันและจากการที่อากาศมีเสถียรภาพเกิดขึ้นบ่อยครั้ง อากาศของเมืองนี้จะได้รับอิทธิพลจากลมในภาคตะวันออกของแปซิฟิกแอนติไซโคลน อากาศที่จมลงในบริเวณความกดสูงจะทำให้เกิดอุณหภูมิกลับชั้นที่ความสูงประมาณ 700 เมตร ดังนั้นจะทำให้เกิดชั้นความหนาที่ผสมกัน (mixing depth) บ่อย ๆ นับได้เกือบสองในสามของปี นอกจากนี้ลักษณะภูมิประเทศที่นครลอสเอเจลิสตั้งอยู่บนใหล่เขาที่มีภูเขาอยู่รอบด้านและเมื่อมีลมเย็นจากมหาสมุทรพัดเข้ามาสู่แผ่นดินก็จะถูกขังเอาไว้ไม่สามารถขับไล่ฝุ่นพิษออกจากเมืองได้ ภาวะยิ่งเลวร้ายลงไปอีกเมื่อแสงอาทิตย์ทำให้เกิดปฏิกริยาทางเคมีต่อฝุ่นพิษเกิดเป็นสมือกขึ้น (ดูรูป 15.8)



รูป 15.7 แบบของไหลเวียนของอากาศและรูปลักษณะของภูมิประเทศทำให้เมืองลอสเองเจลิสมีแนวโน้มที่จะเกิดมลพิษทางอากาศได้สูง

15.4 กระบวนการทางธรรมชาติที่ทำให้เกิดความสะอาด (Natural cleansing processes)

สภาวะที่มักทำให้เกิดการสะสมและมีฝุ่นพิษเข้มข้นขึ้นในอากาศจะถูกจำกัดโดยกลไกของการชะล้างโดยธรรมชาติ อนุภาคของฝุ่นบางอย่างจะถูกนำออกจากอากาศเมื่อมันไปชนและเกาะติดกับตึกและสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ กระบวนการนี้เรียกว่าอิมเพ็คชัน (impaction) นอกจากนี้แรงดึงดูดของโลกก็มีผลต่อฝุ่นเช่นกัน และเรียกว่าการตกตะกอนโดยแรงดึงดูด (gravitation settling) ฝุ่นที่มีรัศมีโตกว่าเศษหนึ่งส่วนสิบไมตรอนจะมีผลจากแรงดึงดูดของโลกมากที่สุด ฝุ่นที่หนักและมีขนาดโตจะตกตะกอนเร็วกว่าฝุ่นที่มีขนาดเล็ก โดยเหตุนี้ฝุ่นที่มีขนาดโตจะพยายามตกใกล้กับแหล่งกำเนิดของมัน ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กจะถูกนำออกไปไกลได้หลายกิโลเมตร และจะขึ้นไปสูงก่อนที่จะตกลงมาสู่พื้นดิน การรวมเอากระบวนการอินเพ็คชันและการตกตะกอนโดยแรงดึงดูดเข้าด้วยกันเรียกว่าการตกตะกอนแห้ง (dry deposition)

กลไกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการขจัดฝุ่นออกอย่างธรรมชาติ ก็คือการไล่ความสกปรก (scavenging) โดยฝนและหิมะใน ท้องถิ่นที่มีฝนตกปานกลางประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของฝุ่นที่แขวนตัวอยู่ในอากาศจะถูกขจัดโดยวิธีการนี้ แม้ว่าการไล่ความสกปรกจะส่งเสริมคุณภาพของอากาศแต่ในทางตรงข้างจะทำให้คุณภาพของน้ำฝนลดลงจนบางครั้งถึงจุดที่น้ำสกปรกบนพื้นดินเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัย เช่นการเกิดฝนกรดอันเกิดจากแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) รวมตัวกับน้ำฝนแล้วกลายเป็นกรดซัลฟูริดหรือกรดกำมะถันขึ้นเป็นต้น