ชุดสิ่งแวดล้อมของ UNEP/GEMS เล่มที่ 4

UNEP

มลพิษอากาศในเมือง

หนังสือในชุดเดียวกัน

1. ก๊าซเรือนกระจก
2. ชั้นโอโซน
3. ช้างแอฟริกา
4. มลพิษอากาศในเมือง
5. อาหารปนเปื้อน
6. มลพิษในแหล่งน้ำจืด
7. ผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซน
8. ปรากฏการณ์เอลนิโญ
9. ธารน้ำแข็งกับสิ่งแวดล้อม
10. ผลกระทบเมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง
11. ความหลากหลายทางชีวภาพของโลก
12. มลพิษในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ
13. ผลกระทบของภูมิอากาศต่อการประมง

ปกแสดงภาวะมลพิษอากาศ
ในเขตเมืองเบาโต (Baotou) ประเทศจีน
การแพร่กระจายของกรดจากงานโยธาของเมือง
ซึ่งใช้เหล็กในการก่อสร้าง ทำให้ผู้อยู่อาศัย
ต้องเผชิญภัยทางสุขภาพจากมลพิษอากาศ

มลพิษอากาศในเมือง

Urban Air Pollution

ของ UNEP/GEMS

แปลโดยนักแปลเครือข่ายของกรมวิชาการ

งามจิตต์ ไชยวุฒิ นัยนา ทองศรีเกตุ เพียงใจ ผลโภค
พัชรี สพโชค นิธิพันธ์ ยากี จุรีรัตน์ หอมจันทน์

สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ

Urban Air Pollution

© UNEP 1991

หนังสือชุดสิ่งแวดล้อม เล่มที่ 4
โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ไนโรบี

หนังสือแปลอันดับที่ 170
สาขาสิ่งแวดล้อม

ลิขสิทธิ์ฉบับภาษาไทยเป็นของกระทรวงศึกษาธิการ
สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ แปลและจัดพิมพ์
ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2544 จำนวนพิมพ์ 15,000 เล่ม

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ
สหประชาชาติ. โครงการสิ่งแวดล้อม.
มลพิษอากาศในเมือง. = Urban Air Pollution.-- กรุงเทพฯ:
สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ, 2544.
56 หน้า.
1. มลพิษอากาศ. I. ระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก.
II. งามจิตต์ ไชยวุฒิ และคณะ, ผู้แปล. III. กรมวิชาการ. IV. ชื่อเรื่อง.
577.276
ISBN 974-269-036-7

ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ
เรื่อง อนุญาตให้ใช้หนังสือในโรงเรียน

ด้วยกรมวิชาการได้จัดทำหนังสือแปลชุดสิ่งแวดล้อม รวม 13 เล่ม ได้แก่ 1) ก๊าซเรือนกระจก 2) ชั้นโอโซน 3) ช้างแอฟริกา 4) มลพิษอากาศในเมือง 5) อาหารปนเปื้อน 6) มลพิษในแหล่งน้ำจืด 7) ผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซน 8) ปรากฏการณ์เอลนิโญ 9) ธารน้ำแข็งกับสิ่งแวดล้อม 10) ผลกระทบเมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง 11) ความหลากหลายทางชีวภาพของโลก 12) มลพิษในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ และ 13) ผลกระทบของภูมิอากาศต่อการประมง โดยแปลจากหนังสือชุดสิ่งแวดล้อม ของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก (UNEP/GEMS Environment Library) เพื่อใช้เป็นหนังสือความรู้สำหรับครู นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนประชาชนทั่วไป

กระทรวงศึกษาธิการพิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้หนังสือนี้ในโรงเรียนได้

ประกาศ ณ วันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2544

(นายอำรุง จันทวานิช)
รองปลัดกระทรวง ปฏิบัติราชการแทน
ปลัดกระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

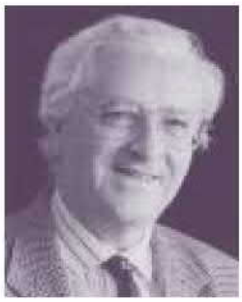
สิ่งแวดล้อมมีคุณค่าอเนกอนันต์แก่มวลชีวิตบนโลก และก่อความรำคาญจนถึงขั้นเป็นอันตรายรุนแรงได้เช่นเดียวกัน สิ่งแวดล้อมใกล้ตัวและสิ่งแวดล้อมโลกมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงโดยธรรมชาติ หากเราทุกคนร่วมกันดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว ระบบสิ่งแวดล้อมทั้งโลกย่อมยั่งยืนและน่าอยู่ตลอดไป

กรมวิชาการเห็นว่าหนังสือชุดสิ่งแวดล้อมของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก (UNEP/GEMS Environment Library) ประกอบด้วยประเด็นสิ่งแวดล้อมหลักๆ ของโลกรวม 13 เรื่อง เสนอสาระที่น่าเรียนรู้อย่างมาก ก่อให้เกิดความตระหนักในเรื่องสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตเราสมควรเผยแพร่ให้แพร่หลาย จึงได้จัดประชุมปฏิบัติการนักแปลเครือข่าย ของกรมวิชาการเพื่อร่วมกันแปลหนังสือชุดนี้ สำหรับใช้ในโรงเรียนตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาขึ้นไป และเผยแพร่แก่สาธารณชนทั้งหลาย

กรมวิชาการขอขอบคุณนักแปลเครือข่าย ผู้ตรวจ วิทยากร และผู้เกี่ยวข้องทุกคนที่ร่วมกันจัดทำหนังสือนี้ และขอขอบคุณโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติเป็นพิเศษที่เอื้อเฟื้อลิขสิทธิ์การแปล

(นายประพัฒน์พงศ์ เสนาฤทธิ์)
อธิบดีกรมวิชาการ
22 มิถุนายน 2544

มลพิษอากาศในเมือง



ไมเคิล ดี. กวินน์

ระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก หรือ เจมส์ (Global Environment Monitoring System – GEMS) ของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ หรือยูเนป (United Nations Environment Programme – UNEP) ดำเนินงานจนประสบผลสำเร็จอย่างดีเยี่ยมมาเกินกว่าทศวรรษแล้ว ตลอดเวลาได้ประเมินผลสิ่งแวดล้อมที่สำคัญๆ อาทิ ปัญหาภาวะเรือนกระจก ปัญหาการลดลงของป่าไม้เขตร้อนของโลก และสิ่งมีชีวิตถูกคุกคามจนลดจำนวนลง อันได้แก่ ช้างแอฟริกา

เนื่องจากเป็นเรื่องเฉพาะ ผลการประเมินเหล่านี้จึงจัดพิมพ์เป็นเอกสารวิชาการตามปกติ แต่ยังไม่เคยนำมาจัดพิมพ์ในรูปแบบที่ง่ายต่อการเข้าใจของผู้ที่ไม่มีพื้นฐานความรู้ทางวิชาการด้านนี้ ดังนั้น UNEP และ GEMS จึงจัดพิมพ์หนังสือชุดนี้ขึ้นเพื่อตอบสนองจุดประสงค์ดังกล่าว

หนังสือเล่มนี้เป็นลำดับที่ 4 ของชุด ส่วนเรื่องอื่นๆ จะทยอยพิมพ์ตามมา โดยมุ่งหวังให้สาธารณชนได้รับรู้สภาพสิ่งแวดล้อมจากผลการประเมินของ UNEP จนเกิดเป็นมติมหาชนเรียกร้องให้หยุดยั้งการทำลายสิ่งแวดล้อม และรักษาไว้ให้ชนรุ่นหลังในอนาคตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างผาสุกเท่าที่จะสามารถทำได้

ไมเคิล ดี. กวินน์
ผู้อำนวยการระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก

สารบัญ

คำนำ	
ถ้อยแถลง	7
บทนำ	8
ภูมิหลังทางวิทยาศาสตร์	10
ความเป็นมา	10
สาเหตุและผลกระทบของมลพิษ	12
มลพิษในประเทศกำลังพัฒนา	13
แหล่งกำเนิดมลพิษ	15
มลพิษภายในอาคาร	19
การประเมินผลของ GEMS	21
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	24
อนุภาคสารแขวนลอย	30
ออกไซด์ของไนโตรเจน	35
คาร์บอนมอนอกไซด์	40
ตะกั่ว	45
ข้อสรุปและการควบคุม	49
ข้อสรุปของ GEMS	49
มาตรการควบคุม	52
แหล่งอ้างอิง	55

ถ้อยแถลง

มอสตาฟา เค. ทอลบา

ระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก (GEMS) ได้เฝ้าติดตามตรวจสอบมลพิษอากาศในเขตเมืองมาตั้งแต่ ค.ศ. 1974 ต้องขอบคุณในความมานะพยายามที่ช่วยให้เราเห็นภาพความคืบหน้าของการพัฒนาสภาพอากาศในเมืองสำคัญๆ ของโลกเป็นลำดับมา ใน ค.ศ. 1988 องค์การอนามัยโลกและโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติได้ร่วมกันประเมินผลมลพิษอากาศในเมืองครั้งที่สองของ GEMS จนสมบูรณ์ขึ้น

ประมาณการตัวเลขจากข้อมูลของ GEMS ทำให้ยากที่จะสบายใจได้ ประชากรที่อาศัยในเมืองประมาณ 1.2 พันล้านคนทั่วโลก กำลังเผชิญกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ควันและอนุภาคต่างๆ ในอากาศในระดับที่เกินมาตรฐาน เกือบ 1 ใน 3 ของเมืองใหญ่ที่เครือข่ายตรวจสอบอากาศของ GEMS/Air ติดตามอยู่ มีไนโตรเจนไดออกไซด์เกินเกณฑ์ที่องค์การอนามัยโลกกำหนด และมากกว่าครึ่งของเมืองทั้งหลายทั่วโลกมีคาร์บอนมอนอกไซด์เกินกว่าเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลกเช่นกัน กล่าวโดยสรุป ประชากรในเมืองใหญ่ของโลกเพียงร้อยละ 20 ของจำนวน 2.26 พันล้านคนเท่านั้น ที่อาศัยอยู่ในเมืองที่คุณภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สุขภาพของผู้อาศัยอยู่ในเมืองอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วอีกมากมายกำลังได้รับผลกระทบโดยตรงจากมลพิษที่สูงมากซึ่งมากับอากาศ

อย่างไรก็ตาม แม้เรื่องที่กล่าวมาจะให้ภาพที่เลวร้ายขุ่นมัว แต่ประเทศพัฒนาแล้วหลายประเทศแม้จะมีมลพิษอากาศในเขตเมืองในระดับสูงก็กำลังลดลง ความสำเร็จนี้เป็นผลโดยตรงจากมาตรการควบคุมการแพร่กระจายภาวะมลพิษดีขึ้น ชี้ให้เห็นว่าอุตสาหกรรมและการกลายเป็นเมืองมิได้ก่อมลพิษที่เลวลงเสมอไป แต่น่าเศร้าใจที่ลักษณะดังกล่าวไม่เกิดขึ้นในประเทศกำลังพัฒนาและประเทศพัฒนาแล้วแต่ยังยากจนอยู่ มลพิษอากาศในเขตเมืองของประเทศดังกล่าวยังคงเพิ่มขึ้น นั่นหมายถึงอนาคตที่น่าตกใจกำลังจะตามมา

ใน ค.ศ. 2000 คาดว่าประชากร 4 ใน 10 คนในประเทศกำลังพัฒนาจะอยู่ในเมืองใหญ่ ขณะที่ใน ค.ศ. 1990 เมืองใหญ่ 68 เมืองมีประชากรเกินกว่า 3 ล้านคน ใน ค.ศ. 2000 คาดว่าจะมีเมืองใหญ่ 66 เมืองที่มีประชากรมากกว่า 4 ล้านคน และ ค.ศ. 2025 จะมีเมืองใหญ่ถึง 135 เมืองที่มีประชากรมากเช่นนั้น สถิติดังกล่าวไม่ได้คาดการณ์ถึงคุณภาพของอากาศที่เราจะต้องใช้หายใจ หากไม่มีความพยายามอย่างแน่วแน่ที่จะควบคุมมลพิษ หมอกควันแห่งยุควิกตอเรียของอังกฤษอาจแพร่กระจายไปทั่วโลกอีกครั้งหนึ่งและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรอย่างรุนแรง

มอสตาฟา เค. ทอลบา
ผู้อำนวยการบริหาร
โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

บทนำ

มลพิษอากาศในเขตเมืองเพิ่มมากขึ้นนับตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมา การขยายตัวทางอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว การเจริญของเมือง และการใช้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์อย่างมากมาย เป็นจุดเริ่มต้นในการเพิ่มสารมลพิษที่เป็นอันตราย ทำให้ชีวิตความเป็นอยู่ของคนในเมืองไม่น่าอภิรมย์และเป็นผลร้ายต่อสุขภาพยิ่งขึ้น

ประชากรส่วนใหญ่ของโลกอาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ที่มีภาวะมลพิษสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

สารมลพิษในอากาศที่มีอันตรายร้ายแรงและพบมากที่สุด ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อนุภาคแขวนลอย ออกไซด์ของไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และตะกั่ว นอกจากนั้นยังมีหลักฐานว่าสารมลพิษภายในอาคาร เช่น สารเรดอน ฟอร์มัลดีไฮด์ ใยหิน ปรอท และสารอินทรีย์ ได้คุกคามสุขภาพของมนุษย์เพิ่มมากขึ้น

ต้องขอบคุณที่สาธารณชนให้ความสนใจต่อผลกระทบของมลพิษที่คุกคามสุขภาพและทำลายสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จึงทำให้ประเทศอุตสาหกรรมหลายประเทศกำหนดมาตรการควบคุม และลดสารมลพิษที่เป็นอันตรายร้ายแรงได้ แต่ในอีกหลายประเทศโดยเฉพาะสหภาพโซเวียต ยุโรปตะวันออก และประเทศตะวันตกที่มีอุตสาหกรรมน้อย ยังคงประสบปัญหานี้อยู่

การควบคุมมลพิษต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง และท้าทายความสามารถของรัฐบาลที่จะหาวิธีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมในขณะที่มีมาตรการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างเข้มงวด

มลพิษอากาศในเขตเมืองในประเทศกำลังพัฒนาเกือบทั้งหมดกำลังเลวร้ายลง การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของเมือง การจราจรที่คับคั่งยิ่งขึ้น การใช้เชื้อเพลิงสกปรก กระบวนการอุตสาหกรรมที่ล้าสมัย การบริโภคพลังงานเพิ่มขึ้น ตลอดจนการขาดการกำหนดเขตอุตสาหกรรมและการบังคับใช้กฎหมายสิ่งแวดล้อม ล้วนมีส่วนทำให้คุณภาพอากาศในเมืองเสื่อมลง และทำลายสุขภาพของประชาชนอย่างยิ่ง

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว องค์การอนามัยโลกและโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติได้ร่วมมือกันจัดตั้งโครงการตรวจสอบคุณภาพอากาศในเขตเมืองตั้งแต่ ค.ศ. 1974 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนาม GEMS/Air โครงการนี้ได้ประเมินระดับสารมลพิษและผลกระทบต่อสุขภาพจากสารมลพิษที่พบมากที่สุด 5 ชนิด โดยเก็บข้อมูลจาก 50 ประเทศ หนังสือเล่มนี้เป็นผลสรุปจากการประเมินดังกล่าว

ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าประชากรจำนวนมากของโลกอาศัยอยู่ในเขตเมืองที่มีมลพิษเกินกว่าระดับมาตรฐานที่องค์การอนามัยโลกกำหนดขึ้น ดังนั้นประชากรเหล่านี้จึงได้รับสารที่เป็นอันตรายคุกคามสุขภาพ ตัวอย่างเช่น ประชากรมากกว่า 1,200 ล้านคน อาจได้รับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระดับที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน และประชากรอีก 1,400 ล้านคน อาจได้รับอนุภาคสารแขวนลอยและควันในระดับที่เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ประชากรในเขตเมืองในอเมริกาเหนือและยุโรปร้อยละ 15–20 อาจได้รับไนโตรเจนไดออกไซด์ในระดับที่เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน อากาศในเมืองต่างๆ ครึ่งหนึ่งของโลกมีคาร์บอนมอนอกไซด์ในระดับที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน และประชากรในเมืองใหญ่ 1 ใน 3 ของทุกเมืองอาจได้รับสารตะกั่วในระดับเกินมาตรฐาน

มีทางเลือกในการควบคุมมลพิษที่แตกต่างกันหลายวิธี เช่น ใช้เชื้อเพลิงที่สะอาด ทำเชื้อเพลิงให้สะอาดก่อนและระหว่างการเผาไหม้ กรองสารพิษก่อนที่จะปล่อยทิ้ง ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และที่สำคัญที่สุดคือวางแผนอย่างรัดกุม การควบคุมมลพิษต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง และท้าทายความสามารถของรัฐบาลที่จะหาวิธีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมในขณะที่มีมาตรการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างเข้มงวด

GEMS/Air ได้ข้อสรุปที่สำคัญเกี่ยวกับสารมลพิษ 4 ประการคือ

- มาตรการควบคุมภาวะพิษกำลังเริ่มได้ผลในประเทศอุตสาหกรรมหลายประเทศ มีแนวโน้มการแพร่กระจายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อนุภาคสารแขวนลอย และตะกั่วน้อยลง
- การควบคุมคาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ มีประสิทธิภาพน้อย ส่วนใหญ่เป็นเพราะสารมลพิษทั้งสองนี้เกิดจากการจราจรบนท้องถนนที่เพิ่มขึ้นเกือบทุกหนทุกแห่ง
- ข้อมูลที่ได้จากประเทศกำลังพัฒนานั้นยังไม่สมบูรณ์ แต่ชี้ให้เห็นว่าสารมลพิษทั้ง 5 ชนิดแพร่กระจายเพิ่มขึ้น
- มีเมืองใหญ่หลายเมืองโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนา มีมลพิษเกินระดับมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

ใน ค.ศ.2005 ประชากรทุก ๆ 2 คนของโลกจะเป็นผู้ที่อยู่อาศัยในเขตเมือง และใน ค.ศ. 2025 ประชากรในเขตเมืองทั้งหมดในประเทศกำลังพัฒนาจะเพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่า เป็น 4,050 ล้านคน แต่ในทางกลับกัน การเติบโตอย่างรวดเร็วของเมืองและมาตรการแก้ไขปัญหามลพิษในเขตเมืองที่มักแปรเปลี่ยน กลับทำให้สุขภาพในอนาคตของประชากรในเขตเมืองเสี่ยงอยู่ในอันตราย

ใน ค.ศ. 2005 ประชากรทุก ๆ 2 คน ของโลกจะเป็นผู้อยู่อาศัยในแขตมือง และ 8 ใน 10 คน จะอาศัยอยู่ในประเทศกำลังพัฒนา

ภูมิหลังทางวิทยาศาสตร์

ความเป็นมา

ปัญหามลพิษอากาศได้เพิ่มพูนขึ้นเรื่อยๆ นับตั้งแต่การปฏิวัติอุตสาหกรรมเมื่อ 300 ปีที่ผ่านมา การปฏิวัติอุตสาหกรรมนั้นได้เริ่มต้นจากการคิดค้นเทคโนโลยีที่สามารถใช้พลังงานใหม่ นั่นคือ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซ เป็นผลให้อุตสาหกรรมขยายตัวเพิ่มมากขึ้นทุกที การเผาไหม้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ดังกล่าวปล่อยสารมลพิษจำนวนมากสู่อากาศ ที่เห็นเด่นชัดได้แก่ เขม่า ควัน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเมื่ออุตสาหกรรมขยายตัวขึ้น จึงเกิดมลพิษจากกระบวนการอุตสาหกรรมใหม่ๆ คุณภาพอากาศและน้ำที่เลวร้ายลงในบางพื้นที่อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์

ตัวอย่างเช่น ในกรุงลอนดอน หมอกควันพิษทำให้คนตายถึง 500 คน ใน ค.ศ. 1873 และ2,000 คน ใน ค.ศ. 1880 ตามลำดับ

เมืองใหญ่ที่เติบโตในศตวรรษ 19 เป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่มีคนงานพักอาศัยอยู่ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ ซึ่งเกือบทั้งหมดได้ทวีความรุนแรงขึ้นในปลายศตวรรษ 19 ผู้คนส่วนใหญ่ยังคงใช้ถ่านหินจำนวนมากในการทำความร้อนภายในบ้าน ควันจากเชื้อเพลิงดังกล่าวและควันจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อให้เกิดหมอกควันพิษที่หนาทึบและเป็นอันตรายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในเมืองใหญ่ๆ ตัวอย่างเช่น ในกรุงลอนดอน หมอกควันพิษทำให้คนตายถึง 500 คนใน ค.ศ. 1873 และ 2,000 คน ใน ค.ศ 1880 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม ในระยะนั้นมีการควบคุมสารมลพิษบางชนิดหรือสนับสนุนการป้องกันสิ่งแวดล้อมได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นจนกระทั่งถึงกลางศตวรรษ 20 ปัจจุบันนี้เราใช้ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมมากมาย โดยเฉพาะน้ำมันที่ใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์บนท้องถนน ทำให้เกิดมลพิษอากาศที่ยากจะหลีกเลี่ยงได้ การแพร่กระจายออกไซด์ของไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และตะกั่ว มักบั่นทอนคุณภาพชีวิตคนในเมืองอย่างรุนแรง

จุดเปลี่ยนแปลงทัศนคติทางสังคมและการเมืองเมื่อเข้าสู่ปลายทศวรรษ 1940 และทศวรรษ 1950 นั้นเกิดจากปัญหามลพิษมากมายที่รุนแรงในยุโรปและอเมริกาเหนือที่เปิดเผยและเป็นที่สนใจของสาธารณชนอย่างกว้างขวาง แม้ว่ากรุงลอนดอนจะอยู่ในภาวะหมอกควันพิษมาเป็นเวลานาน แต่เหตุการณ์ใน ค.ศ. 1952 ได้ทวีความรุนแรงขึ้นจนทำให้คนตายถึง 4,000 คน จึงเป็นผลให้นำมาสู่การกำหนดพระราชบัญญัติคุ้มครองอากาศขึ้นใน ค.ศ. 1956 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ทำให้เกิดการบัญญัติกฎหมายในลักษณะเช่นเดียวกันนี้ในอีกหลายประเทศ

ในทศวรรษ 1950 ความรู้เกี่ยวกับสาเหตุและผลกระทบของมลพิษอากาศได้ขยายเพิ่มขึ้นจนสาธารณชนเรียกร้องให้มีมาตรการเพื่อควบคุมในเรื่องนี้ เมื่อเรามีความเข้าใจถึงปฏิสัมพันธ์ในระบบสิ่งแวดล้อมดีขึ้น จึงเกิดความกระจ่างว่ามลพิษอากาศเป็นเรื่องที่ซับซ้อนมาก และไม่สามารถที่จะดำเนินการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพได้โดยง่าย

ทุกวันนี้สารมลพิษอากาศจำนวนมากมายมีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม เช่น การถลุงแร่ เป็นที่ทราบกันว่าโดยทั่วไปสารมลพิษต่างๆ มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ในระดับความรุนแรงต่าง ๆ กันไป ประกอบด้วยโรคทางเดินหายใจ และโรคหัวใจที่ร้ายแรงยิ่งกว่าเดิม การเปลี่ยนแปลงในเลือดทำให้ความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนลดลง พฤติกรรมในการเคลื่อนไหวมากเกินกว่าปกติ และผลกระทบต่อระบบประสาท

การปล่อยสารพิษสู่ชั้นบรรยากาศเป็นผลมาจากอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรมที่สำคัญ ดังเช่นที่เมืองโภปาล (Bhopal) ซึ่งได้เรียกร้องให้มีการควบคุมป้องกันโรงงานอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษร้ายแรงอย่างเข้มงวดขึ้น

นับตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยีได้เปลี่ยนแปลงคุณภาพชีวิตของมนุษย์ไปในทางที่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าในเวลาเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ทำลายคุณภาพสิ่งแวดล้อมอยู่เสมอ การใช้มาตรการควบคุมมลพิษก็มักจะมีปัญหาที่ยุ่งยากที่ว่า ใครจะเป็นผู้แบกรับภาระค่าใช้จ่ายในการควบคุมมลพิษนี้ โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดมลพิษ รัฐบาล หรือสังคม? นักสิ่งแวดล้อมจำนวนมากเชื่อว่า วิธีการป้องกันอย่างเป็นองค์รวมในการควบคุมมลพิษเป็นสิ่งจำเป็นสูงสุด เพราะการมองเห็นปัญหามลพิษที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวควบคู่ไปกับการพัฒนาอุตสาหกรรมเท่านั้นที่สามารถจะกำหนดค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการควบคุมมลพิษได้อย่างเหมาะสม

สาเหตุและผลกระทบของมลพิษ

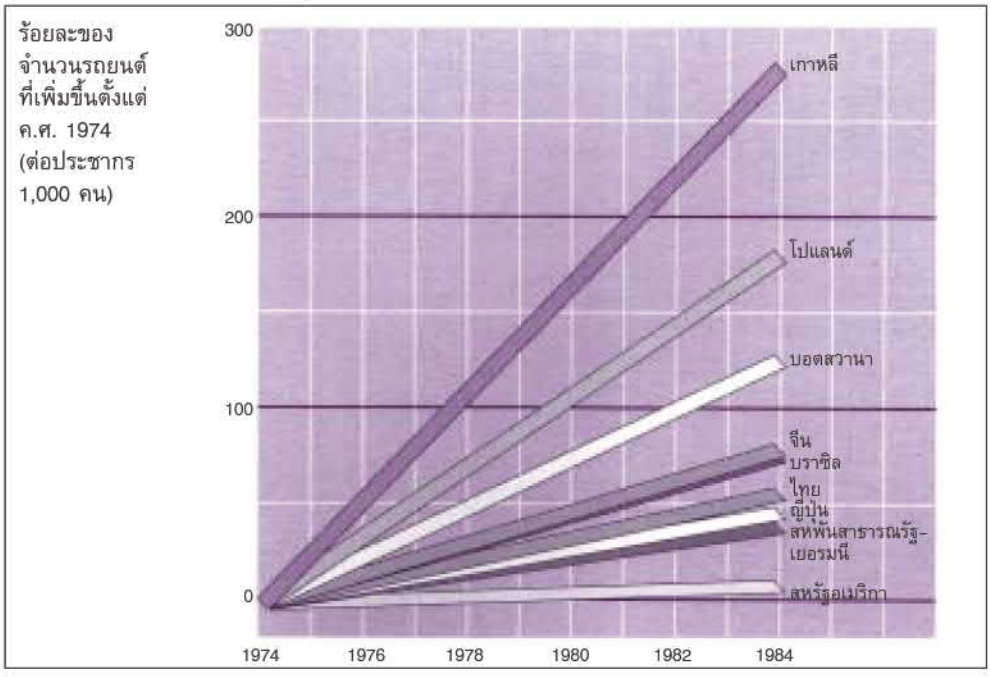
มลพิษอากาศรุนแรงขึ้นเนื่องจากการพัฒนา 4 ประการ ได้แก่ การเจริญเติบโตเป็นเมืองใหญ่ การจราจรที่คับคั่ง การพัฒนาทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว และการบริโภคพลังงานมากขึ้น

มลพิษอากาศรุนแรงขึ้นเนื่องจากการพัฒนา 4 ประการ ได้แก่ การเจริญเติบโตเป็นเมืองใหญ่ การจราจรที่คับคั่ง การพัฒนาทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว และการบริโภคพลังงานมากขึ้น

การเผาไหม้น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในยานยนต์เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศที่สำคัญซึ่งจะปล่อยสารมลพิษจำนวนหนึ่งไปในอากาศ และจะรวมตัวจนอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายในเมืองที่มีการจราจรติดขัดมาก

มลพิษอากาศอาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่นอกเขตพรมแดนประเทศ และเป็นที่ทราบกันว่าเป็นภัยคุกคามต่อสภาวะแวดล้อมของโลก การแก้ปัญหาแบบเดิมโดยการสร้างปล่องควันสูงๆ เพื่อกระจายควันออกไปนั้น เป็นเพียงการขจัดมลพิษให้พ้นจากแหล่งกำเนิดเท่านั้น เพราะสารมลพิษสามารถขนถ่ายไปได้ไกลในชั้นบรรยากาศ สารมลพิษบางอย่างเมื่ออยู่ในชั้นบรรยากาศอาจเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบที่มีสภาพเป็นกรด ทำลายป่าไม้ สามารถทำให้ทะเลสาบและแม่น้ำเป็นกรดกัดกร่อนวัตถุ และก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพมนุษย์

ระดับคาร์บอนมอนอกไซด์และสารมลพิษอื่น ๆ ที่เพิ่มขึ้น (ซึ่งส่วนมากเกิดจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมและการเผาไหม้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์) ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งอาจนำไปสู่ผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ การเกษตรกรรม การเปลี่ยนแปลงของระดับทะเล และระดับน้ำใต้ดินในระยะยาวได้



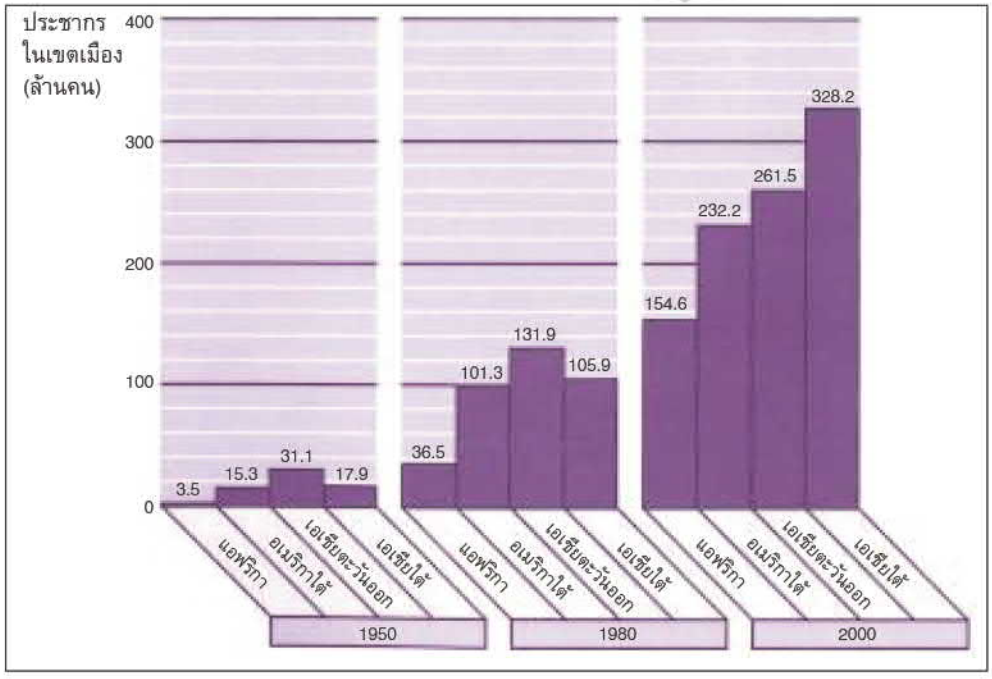
รูปที่ 1 *จำนวนยานยนต์ (ต่อประชากร 1,000 คน) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในประเทศกำลังพัฒนาระหว่าง ค.ศ. 1974–1984*

คลอโรฟลูออโรคาร์บอนซึ่งใช้กันในรูปของละอองไอ สารทำความเย็น ตัวละลาย และพลาสติกโฟม ได้ทำลายชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศของโลกซึ่งป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต ไม่ให้ทำอันตรายต่อมนุษย์

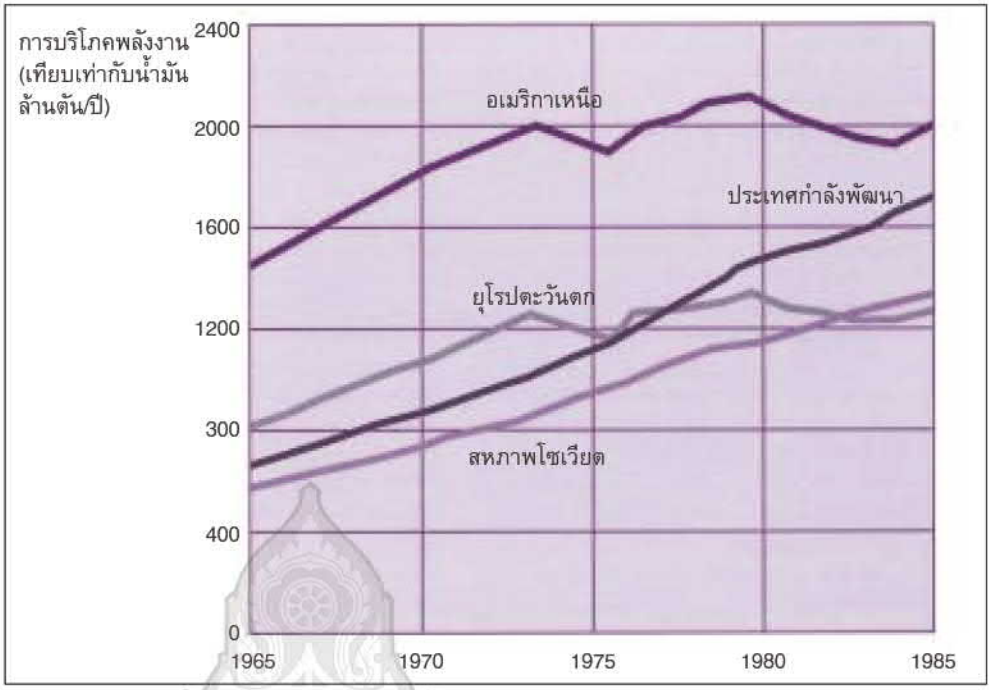
เมื่อเร็วๆ นี้สังคมได้หันกลับมาสนใจปัญหามลพิษอากาศในอาคารมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากวัสดุต่างๆ เช่น สารเรดอนในวัสดุก่อสร้าง ไนโตรเจนไดออกไซด์จากการประกอบอาหารและอุปกรณ์ให้ความร้อนต่าง ๆ สารฟอร์มัลดีไฮด์จากวัสดุที่เป็นฉนวนใยหินจากเสื้อกันไฟ และควันบุหรี่

มลพิษในประเทศกำลังพัฒนา

ในระหว่าง ค.ศ. 1950–1960 จำนวนเมืองใหญ่ที่มีประชากรอาศัยอยู่เกินกว่า 4 ล้านคน เพิ่มขึ้นจาก 13 เมืองเป็น 35 เมือง ซึ่งคาดการณ์ว่า ใน ค.ศ. 2000 จะมีจำนวนเพิ่มถึง 66 เมือง และใน ค.ศ. 2025 จะเพิ่มเป็น 135 เมือง เมืองที่เพิ่มขึ้นเหล่านี้ส่วนใหญ่อยู่ในประเทศกำลังพัฒนาที่มีการเปลี่ยนแปลงไปสู่การเป็นเมืองใหญ่และเมืองอุตสาหกรรมระดับโลกอย่างรวดเร็ว การขยายตัวที่เพิ่มมากขึ้นเป็นผลมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจากการอพยพเข้าเมืองของชาวชนบท ถ้าแนวโน้มอัตราการขยายตัวดังกล่าวยังคงเป็นเช่นนี้อยู่ต่อไป เมืองในประเทศกำลังพัฒนาอย่างเช่น เม็กซิโกซิตี และเซาเปาโล จะกลายเป็นเมืองใหญ่ของโลกภายใน ค.ศ. 2000



รูปที่ 2 *แสดงประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ในประเทศกำลังพัฒนาที่มีประชากรเกิน 1 ล้านคน หรือมากกว่านั้นในช่วง ค.ศ. 1950–1980 และแสดงจำนวนประชากรที่คาดการณ์ไว้ใน ค.ศ. 2000 เมื่อถึงเวลานั้นประชากรของเมืองใหญ่ในเอเชียใต้จะเพิ่มขึ้นเกือบ 20 เท่าของประชากรใน ค.ศ. 1950*



***รูปที่ 3** เสถียรภาพในการบริโภคพลังงานขั้นพื้นฐานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในยุโรปและอเมริกาเหนือ ซึ่งเป็นประเทศพัฒนาแล้ว และในสหภาพโซเวียต ระหว่าง ค.ศ. 1965–1985*

ในการปรับปรุงโครงสร้างทางเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ที่ดีของสังคม ประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศมักให้ความสำคัญกับการพัฒนาทางอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าการพัฒนาดังกล่าวสามารถนำไปสู่ความเจริญก้าวหน้าและการปรับปรุงคุณภาพชีวิต แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้เกิดการทำลายสิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็วได้ หากไม่ควบคุมอย่างระมัดระวัง

ในหลาย ๆ เมืองที่กำลังพัฒนา ซึ่งมีการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัยนั้น มักไม่มีการวางแผนล่วงหน้า ไม่มีแบบแผน และไม่มีการแบ่งเขต สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดการสร้างที่พักอาศัยอยู่ใกล้ ๆ กับโรงงานและอุตสาหกรรม ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงในการได้รับอุบัติเหตุจากอุตสาหกรรมต่อชีวิตผู้ที่อยู่อาศัย

ผลที่เกิดจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วและปราศจากการวางแผน คือ ระดับมลพิษอากาศเพิ่มขึ้น ปัญหาด้านสุขภาพที่สัมพันธ์กับมลพิษเพิ่มมากขึ้น การหยุดงานบ่อยครั้ง และความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ ปัจจุบันนี้ผู้คนอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แม้จะไม่เป็นอันตรายร้ายแรงแต่ก็ไม่ดีต่อสุขภาพ

การจราจรที่คับคั่งและการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองเป็นสิ่งที่ควบคู่ไปกับการเจริญเติบโตของเมือง ตั้งแต่ ค.ศ. 1979 เป็นต้นมา การใช้รถยนต์เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วในประเทศกำลังพัฒนา ปริมาณรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดอยู่ในเอเชียและอเมริกาใต้ มีรถยนต์ส่วนตัวเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ถึงแม้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ในอเมริกาเหนือและยุโรปจะช้ากว่าก็ตาม แต่ก็ยังมีการจราจรที่คับคั่งที่สุด

ในขณะที่อเมริกาเหนือและยุโรปตะวันตกบริโภคพลังงานของโลกในเชิงพาณิชย์จำนวนร้อยละ 43 และในการวางแผนเศรษฐกิจของรัฐบาลอีกร้อยละ 35 แต่สัดส่วนการบริโภคพลังงานในประเทศกำลังพัฒนาก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมาก เนื่องจากประเทศเหล่านั้นมีการขยายฐานการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมมากขึ้น การใช้ถ่านหิน น้ำมัน และเชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์จึงเพิ่มขึ้นด้วย การเจริญโดยไม่มีกฎหมายควบคุมมลพิษ จะนำไปสู่สภาพแวดล้อมที่เลวร้ายลง โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ที่เป็นศูนย์กลางของประเทศกำลังพัฒนา

ในประเทศกำลังพัฒนา มลพิษที่เกิดภายในอาคารยังก่อให้เกิดปัญหาร้ายแรงต่อสุขภาพเพิ่มขึ้นอีกด้วย ส่วนใหญ่มลพิษดังกล่าวมักเกิดจากการที่ยังอาศัยไม้และมูลสัตว์เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ในบริเวณที่จำกัดและไม่มีการระบายอากาศ ทำให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตราย

แหล่งกำเนิดมลพิษ

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปรากฏอยู่ในชั้นบรรยากาศนั้นมาจากแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเกิดจากการกระทำของจุลินทรีย์ การระเบิดของภูเขาไฟ และละอองเกลือจากน้ำทะเลซึ่งได้เพิ่มปริมาณซัลเฟตให้แก่ชั้นบรรยากาศ การแพร่กระจายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากธรรมชาติมีเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณ SO_2 ทั้งหมดในชั้นบรรยากาศ ทั้งนี้ปริมาณที่มีอยู่ดังกล่าวจะไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดขึ้นและหมดไปโดยธรรมชาติ แต่การแพร่กระจาย SO_2 ที่เกิดจากมนุษย์ได้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะซีกโลกเหนือ ซึ่งประมาณร้อยละ 90 ของ SO_2 ทั้งหมดที่มนุษย์สร้างขึ้นเกิดในบริเวณนี้

SO_2 จากการกระทำของมนุษย์ส่วนมากมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์โดยธรรมชาติ ซัลเฟอร์จะมีอยู่ในถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติซึ่งจะกระจายไปสู่ชั้นบรรยากาศเมื่อเผาไหม้ SO_2 ประมาณร้อยละ 10 มาจากการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวในการหลอมโลหะ และการผลิตกรดซัลฟุริก ซัลเฟอร์จะกลับคืนสู่บรรยากาศในลักษณะของฝุ่นปล่องควันที่สร้างสูงจะพาซัลเฟอร์ไปได้ไกลหลายร้อยกิโลเมตร ซัลเฟอร์จะทำปฏิกิริยากับความชื้นในชั้นบรรยากาศ ก่อตัวเป็นอนุภาคซัลเฟตและตกลงมาเป็นกรดซัลฟุริก ดังนั้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์จึงเป็นสาเหตุที่สำคัญของฝนกรด

อนุภาคสารแขวนลอย

อนุภาคสารแขวนลอย (suspended particulate matter หรือ SPM) ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งและของเหลวที่แพร่กระจายออกมาจากแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ SPM เป็นสารประกอบเชิงซ้อนและของผสมของอนุภาคขนาดต่างๆ กับองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลาย อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าอาจได้จากฝุ่นที่ถูกลมพัดพามา และเศษฝุ่นจากแหล่งอุตสาหกรรม จากภูเขาไฟระเบิด และละอองเกสรดอกไม้ อนุภาคที่มีขนาดเล็กมักเกิดจากการเผาไหม้ และการเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของอนุภาคก๊าซ (ส่วนใหญ่มาจาก SO_2) องค์ประกอบของ SO_2 ที่มีความแตกต่างกันในเมืองมักประกอบด้วยอนุภาคของคาร์บอน และโพลีนิวเคลียร์อะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน (PAH) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และอนุภาคต่างๆ เป็นสารมลพิษ 'ดั้งเดิม' เพราะพบได้ในหมอกควันพิษจากซัลเฟอร์ในถ่านหิน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ลักษณะที่สำคัญของเมืองอุตสาหกรรมในยุคแรกๆ ปัญหา SPM ในยุคปัจจุบันยิ่งเลวร้ายกว่าเดิม เพราะขาดกฎข้อบังคับในการปล่อยสารมลพิษจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้บรรทุกขนส่งสินค้า ซึ่งนับวันมีจำนวนเพิ่มขึ้นๆ

ไนโตรเจนออกไซด์

ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่แพร่กระจายออกมาจากธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์มีปริมาณเกือบเท่ากัน แหล่งกำเนิด NO_x ตามธรรมชาติเกิดขึ้นจากฟ้าแลบ ไฟป่า กระบวนการภูเขาไฟระเบิด และกระบวนการของจุลินทรีย์ในดิน เนื่องจากการแพร่กระจายของ NO_x ตามธรรมชาตินั้นเกิดขึ้นได้ทั่วโลก ดังนั้น NO_x จึงเจือจางลง และเกิดผลกระทบเพียงเล็กน้อยจากการสะสม NO_x ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งโดยเฉพาะ

ยวดยานที่ใช้น้ำมันปิโตรเลียมเป็นพลังงาน... ซึ่งปริมาณ CO ที่ปล่อยออกมาเกือบทั้งหมดได้แพร่กระจายออกไปในพื้นที่ในเขตเมือง

NO_x ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์จะสะสมในบริเวณชีกโลกเหนือซึ่งมีประชากรหนาแน่น การเผาไหม้จะออกซิไดส์ทั้งไนโตรเจนที่มีในเชื้อเพลิงและที่มีอยู่ในอากาศตามธรรมชาติ เกิดเป็นออกไซด์หลายชนิดของไนโตรเจน อย่างไรก็ตาม มีออกไซด์ของไนโตรเจนเพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่รู้จักกันดีว่ามีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมหรือผลกระทบทางชีวภาพ คือ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ประมาณร้อยละ 75 ของ NO_x จากการกระทำของมนุษย์มาจากการปล่อยควันพิษจากยานยนต์และการเผาไหม้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์จากโรงไฟฟ้าในหลายประเทศ อย่างเช่นประเทศสวีเดนซึ่งใช้ปุ๋ยไนเตรตเป็นหลักในปริมาณมาก ประมาณร้อยละ 30–40 ของสารประกอบไนโตรเจนที่มนุษย์สร้างขึ้น มาจากเกษตรกรรม

คาร์บอนมอนอกไซด์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นหนึ่งในสารมลพิษอากาศที่แพร่กระจายมากที่สุด การแพร่กระจายสารมลพิษดังกล่าวทั่วโลกมีปริมาณมากกว่าสารมลพิษชนิดอื่นๆ ในอากาศรวมกัน คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยกระบวนการทางชีวภาพ และกระบวนการออกซิเดชัน แต่ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ แหล่งกำเนิด CO แหล่งใหญ่ที่สุดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือ จากยานยนต์ที่ใช้น้ำมันปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นต้นเหตุของ CO เกือบทั้งหมดที่แพร่กระจายออกไปในพื้นที่ในเขตเมืองบางแห่ง (หากปรับปรุงเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเหมาะสม จะเกิด CO แต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น)

การสะสม CO ในแต่ละประเทศจะสูงมากในบริเวณใกล้กับโรงไฟฟ้า โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานหลอมเหล็ก โรงงานผลิตเหล็กกล้า และเตาเผาขยะ แหล่งกำเนิด CO ที่เกิดจากมนุษย์แหล่งอื่น ๆ ได้แก่ การเผาป่า การเผาถ่านและเผาทุ่งหญ้า และการออกซิเดชันในสารไฮโดรคาร์บอน (ส่วนใหญ่เป็นมีเทน)

ตะกั่ว

ตะกั่วเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมาจากฝุ่นที่พัดพามากับลมและภูเขาไฟระเบิด แต่ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ แหล่งกำเนิดที่ใหญ่ที่สุด (ร้อยละ 60 ของการแพร่กระจายตะกั่วเกิดจากการกระทำของมนุษย์) คือ การจราจรบนท้องถนน ตะกั่วอัลคิลที่ใช้เป็นสารผสมลงในน้ำมันปิโตรเลียมเพื่อป้องกันเครื่องยนต์ดับ จะปล่อยตะกั่วเข้าสู่ชั้นบรรยากาศในลักษณะอนุภาคเล็กๆ ที่ละเอียดเมื่อน้ำมันปิโตรเลียมสันดาปในเครื่องยนต์

แหล่งกำเนิดตะกั่วอื่นๆ ได้แก่ การหลอมและถลุงตะกั่ว การเผาไหม้ถ่านหิน การเผาขยะ การผลิตแบตเตอรี่และสายไฟ การบัดกรีด้วยตะกั่ว และการทาสี ประมาณ 2 ใน 3 ของการบริโภคตะกั่วทั้งหมดในโลก มีมากใน 8 ประเทศในซีกโลกเหนือ

ประมาณ 2 ใน 3 ของการบริโภคตะกั่วทั้งหมดในโลกมีมากใน 8 ประเทศในซีกโลกเหนือ

ตารางที่ 1 แสดงแหล่งกำเนิดสำคัญที่สุดของสารมลพิษภายในและภายนอกอาคาร บางแหล่งทำให้เกิดมลพิษขึ้นทั้ง 2 ชนิด

สารมลพิษ	แหล่งกำเนิด
เฉพาะภายนอกอาคาร	
ซัลเฟอร์ออกไซด์	ถ่านหิน และการเผาไหม้ของน้ำมัน เตาหลอม
โอโซน	ปฏิกิริยาเคมีแสง
ตะกั่ว แมงกานีส	รถยนต์ และเตาหลอม
แคลเซียม คลอรีน ซิลิคอน แคดเมียม	อนุภาคของดิน และการปล่อยของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
สารอินทรีย์	สารละลายปิโตรเคมี และการระเหยของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์
ภายในและภายนอกอาคาร	
ออกไซด์ของไนโตรเจน	การเผาไหม้เชื้อเพลิง
คาร์บอนมอนอกไซด์	การเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์
คาร์บอนไดออกไซด์	การเผาไหม้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ กระบวนการสันดาป
อนุภาคสารแขวนลอย	การลอยตัวอีกครั้ง การรวมตัวของสารระเหยและผลจากการเผาไหม้
สารอินทรีย์	ผลผลิตจากปิโตรเลียม การเผาไหม้ สี กระบวนการสันดาป สารปราบศัตรูพืช สารฆ่าแมลง และสารฆ่าเชื้อรา
แอมโมเนีย	กระบวนการสันดาป ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
เฉพาะภายในอาคาร	
เรดอน	วัสดุอาคาร (หิน คอนกรีต) น้ำ และดิน
ฟอร์มัลดีไฮด์	ฉากกั้นผนังห้อง วัสดุฉนวน เฟอร์นิเจอร์ ควันบุหรี่
แอสเบสทอส ใยสังเคราะห์	สารหน่วงไฟ ผนังกั้นเสียง ฉนวนไฟฟ้าและความร้อน
สารอินทรีย์	กาว สารละลาย การประกอบอาหาร เครื่องสำอาง ควันบุหรี่
ละอองไอของนิโคตินและสารอินทรีย์อื่นๆ	
ปรอท	สารฆ่าเชื้อราในสี ละอองจากอุปกรณ์ทำฟัน หรือห้องทดลอง การรั่วไหลของเทอร์โมมิเตอร์
ละอองไอต่างๆ ขององค์ประกอบที่หลากหลาย	ผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค
สิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่สามารถเจริญเติบโตได้	สิ่งมีชีวิตที่ก่อให้เกิดการติดเชื้อ
สิ่งที่ทำให้เกิดภูมิแพ้	ฝุ่นละอองในบ้าน มูลสัตว์

มลพิษภายในอาคาร

มลพิษอากาศไม่ได้มีขอบเขตจำกัดเพียงแค่อากาศที่อยู่ภายนอกเท่านั้น มนุษย์ใช้ชีวิตอยู่ภายในอาคารถึงร้อยละ 80-90 ของเวลาทั้งหมด จึงจำเป็นต้องเข้าใจสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายจากสารมลพิษที่เกิดขึ้นภายในอาคารด้วย

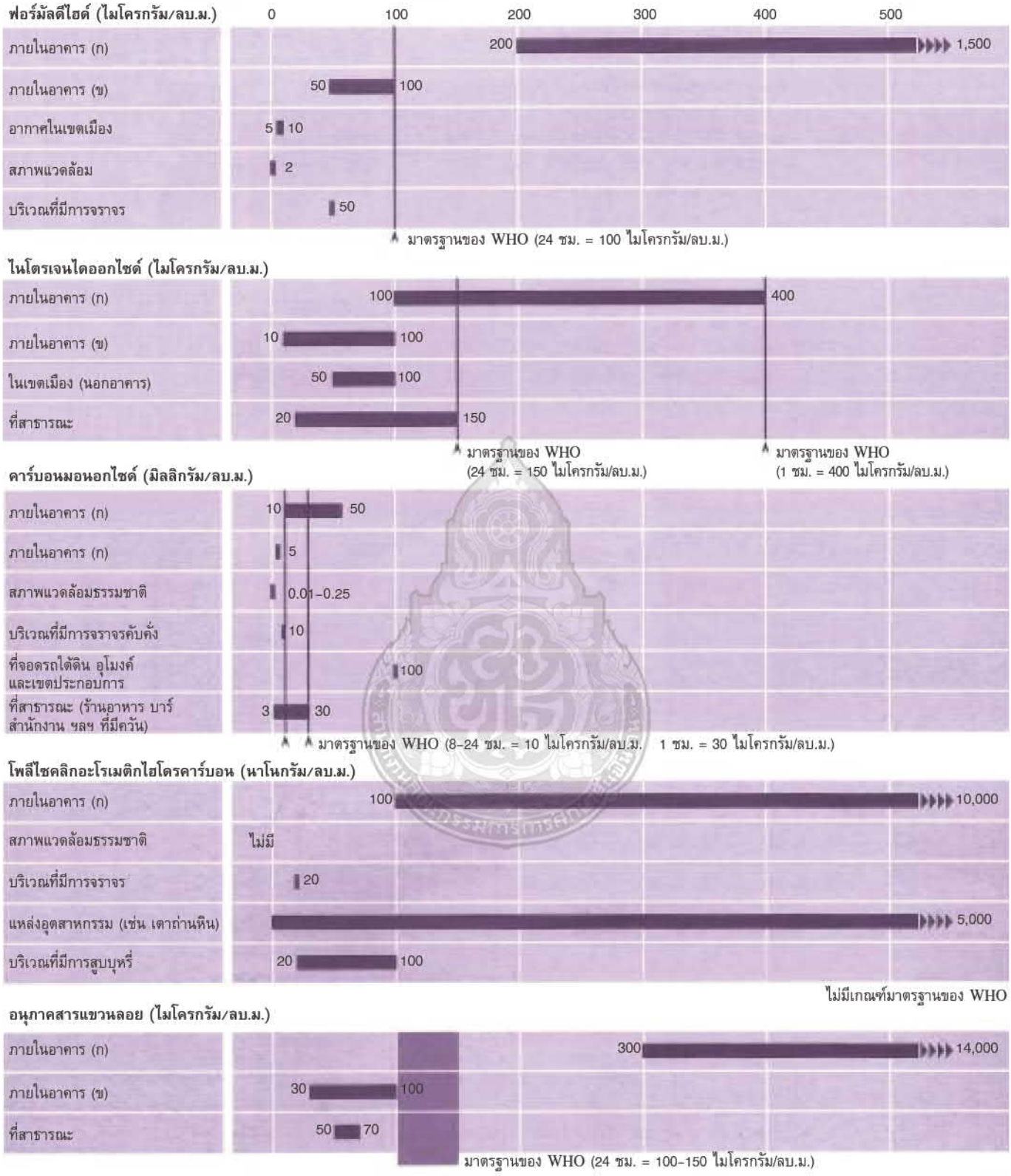
แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในอาคารในประเทศกำลังพัฒนาและประเทศอุตสาหกรรมแตกต่างกัน แหล่งมลพิษที่สำคัญในประเทศกำลังพัฒนา คือ กิจกรรมของมนุษย์ (เช่น การประกอบอาหารและการสูบบุหรี่) วัสดุก่อสร้าง ส่วนสารมลพิษที่สำคัญในประเทศอุตสาหกรรม ประกอบด้วยไนโตรเจนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารเรดอน (จากวัสดุก่อสร้าง น้ำ และดิน) ฟอร์มัลดีไฮด์ (จากฉนวนกันความร้อน) แอสเบสทอส ปรอท เส้นใยสังเคราะห์ สารอินทรีย์ระเหย สิ่งที่ทำให้เกิดภูมิแพ้ ควันบุหรี่ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น แบคทีเรีย ปัจจุบันมีโครงการตรวจสอบสารมลพิษในอาคารไม่มากนัก แต่มีการศึกษาเป็นรายกรณ์เตือนถึงผลกระทบที่เป็นผลร้ายต่อสุขภาพ

ผลกระทบต่อสุขภาพส่วนใหญ่เกิดจากวัสดุก่อสร้างที่ปล่อยสารเรดอน อนุภาค แอสเบสทอส ฟอร์มัลดีไฮด์ และสารประกอบของสารอินทรีย์ระเหย สารมลพิษเหล่านี้วนเวียนอยู่ภายในบ้านและสำนักงานแม้จะมีระบบระบายอากาศที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพก็ตาม โรคลีเจียนแนร์ส (Legionnaire's disease) จากแบคทีเรียมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ ทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า 'แพ้อาคาร' ซึ่งมีอาการระคายเคืองที่หู จมูก และคอ อ่อนเพลีย คลื่นเหียน ปวดศีรษะ และหน้ามืดนั้น มักเกี่ยวข้องกับสร้างอาคารใหม่ หรือปรับปรุงใหม่

มลพิษในอาคารส่วนใหญ่ของประเทศกำลังพัฒนาเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (ไม้ ของเสียจากการเกษตร มูลสัตว์ ฯลฯ) ในการประกอบอาหารและให้ความร้อน การเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ในห้องที่มีการระบายอากาศไม่ดี ทำให้เกิดกลุ่มควันจากชีวมวลซึ่งมีสารหลายชนิด สารที่เป็นอันตรายที่สุด ได้แก่ อนุภาคสารแขวนลอย ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ อีกทั้งยังปล่อยอัลดีไฮด์ เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ ควันเหล่านี้มีโพลีไซคลิกอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอนค่อนข้างสูง ซึ่งรู้จักกันดีว่าเป็นสารก่อมะเร็ง

การรับสารมลพิษที่เกิดขึ้นภายในอาคารในปริมาณสูงทำให้เป็นโรคปอด และโรคหัวใจ มะเร็งปอดและมะเร็งคอส่วนเหนือเพดานอ่อน การติดเชื้อที่ระบบทางเดินหายใจอย่างรุนแรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็ก และทำให้น้ำหนักเด็กแรกคลอดต่ำกว่าปกติ เนื่องจาก 2 ใน 3 ของประชากรโลกอาศัยเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นส่วนใหญ่ ประชากรประมาณ 400-500 ล้านคน ซึ่งมักอาศัยอยู่ในชนบท และส่วนใหญ่เป็นผู้หญิงและเด็กที่อยู่ในบ้านเกือบตลอดเวลา อาจได้รับผลกระทบอย่างร้ายแรงจากมลพิษ

ความเข้มข้นของมลพิษอากาศในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน



__ตารางที่ 2__ ช่วงกว้างของมลพิษอากาศจากตารางแสดงให้เห็นถึงสารมลพิษที่สำคัญ 5 ชนิด ในสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคาร จำนวน 4 ชนิดมีระดับมลพิษภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร โปรดสังเกตหน่วยวัดต่อลูกบาศก์เมตรที่แตกต่างกันในสารมลพิษแต่ละชนิด ดังต่อไปนี้

1 มิลลิกรัม = 10^{-3} กรัม
1 ไมโครกรัม = 10^{-6} กรัม
1 นาโนกรัม = 10^{-9} กรัม

ก บ้านในชนบทในประเทศกำลังพัฒนา
ข บ้านในประเทศพัฒนาแล้ว

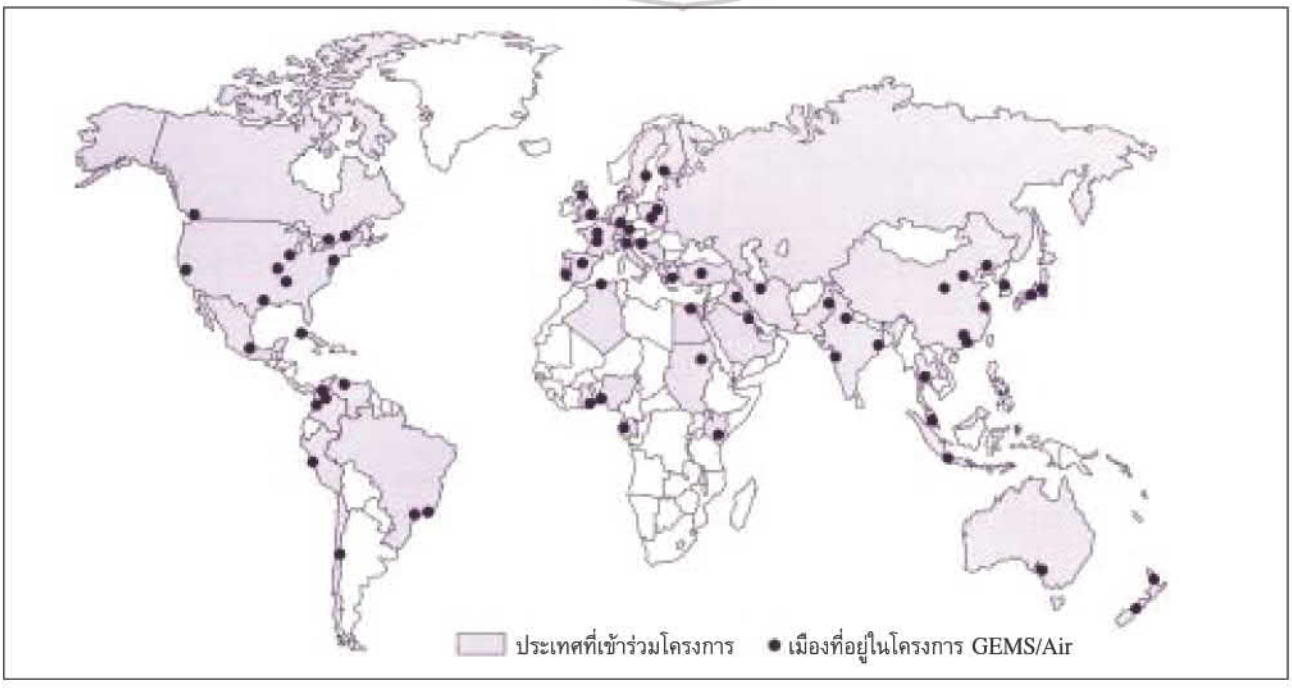
การประเมินผลของ GEMS

องค์การอนามัยโลก (WHO) และโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) ได้ร่วมมือกันดำเนินโครงการตรวจสอบคุณภาพอากาศในเขตเมืองมาตั้งแต่ ค.ศ. 1974 โครงการตรวจสอบอากาศ (GEMS/Air) เป็นส่วนหนึ่งของระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก ซึ่งก่อตั้งใน ค.ศ.1974 โดยการประสานงานของ UNEP นอกจากนี้ยังมีการจัดตั้งโครงการความร่วมมือระหว่าง WHO/UNEP/GEMS ในการติดตามตรวจสอบและประเมินคุณภาพน้ำจืด และร่วมกับองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ในการตวจสอบการปนเปื้อนในอาหาร

การประเมินผลของ GEMS/Air มุ่งเน้นที่สารมลพิษอากาศซึ่งเป็นอันตรายและพบได้ทั่วไป 5 ชนิด ได้แก่

- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- อนุภาคสารแขวนลอย
- ตะกั่ว
- ไนโตรเจนไดออกไซด์
- คาร์บอนมอนอกไซด์

สาเหตุที่เลือกสารมลพิษเหล่านี้เพราะเป็นสารที่พบได้ทั่วทุกหนทุกแห่งในปริมาณมาก ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ กัน และมีกระบวนการเกิดที่แตกต่างกันด้วย อีกทั้งเป็นที่ทราบกันดีว่าความเข้มข้นของสารมลพิษที่พบได้ในปัจจุบันนั้นสามารถส่งผลร้ายต่อสุขภาพมนุษย์ได้ แม้ว่าในขณะนี้จะยังไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ



รูปที่ 4 *GEM/Air มีเมืองที่อยู่ในเครือข่าย 50 เมืองทั่วโลก เมืองในเครือข่ายของ GEM/Air ส่วนใหญ่จะมีสถานีตรวจสอบติดตาม 3 แห่ง หนึ่งแห่งอยู่ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม แห่งหนึ่งอยู่ในแหล่งพาณิชย์ และอีกแห่งหนึ่งอยู่ในพื้นที่พักอาศัย*

ตารางที่ 3 *เกณฑ์มาตรฐานของ WHO ในการได้รับสารมลพิษที่สำคัญและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหากได้รับสารมลพิษสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน*

สารมลพิษ	ผลกระทบที่เป็นไปได้	เกณฑ์มาตรฐานของ WHO *ค่าเฉลี่ยต่อปี*
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ทำให้โรคระบบทางเดินหายใจเลวร้ายลงจากการได้รับสารมลพิษในระยะสั้น อาการป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น รวมทั้งโรคปอดติดเชื้อเรื้อรังหากได้รับสารมลพิษในระยะยาว	40–60 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
อนุภาคสารแขวนลอย	การได้รับ SO_2 ร่วมกับ SPM จะมีผลต่อโรคปอด	ควันดำ 40–60 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร SPM ทั้งหมด 60–90 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ตะกั่ว	การเปลี่ยนแปลงเอนไซม์ของเลือด โรคโลหิตจาง อาการที่ทำงานมากเกินไป และผลของพฤติกรรมทางระบบประสาท	0.5–1 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
		เกณฑ์มาตรฐานของ WHO *ไม่เกินระดับมาตรฐาน*
ไนโตรเจนไดออกไซด์	ผลกระทบต่อการทำงานของปอดในโรคหอบหืดจากการได้รับในระยะอันสั้น	150 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร์ (24 ชั่วโมง)
คาร์บอนมอนอกไซด์	ความสามารถของโลหิตในการลำเลียงออกซิเจนลดลง	10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (8 ชั่วโมง)*

* ระดับมาตรฐานคุณภาพอากาศของสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ที่ 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ติดตามตรวจสอบมลพิษอากาศภายในอาคาร แต่ GEMS ก็ได้ประเมินผลมลพิษดังกล่าว ซึ่งเป็นปัญหาที่เพิ่มมากขึ้นในประเทศอุตสาหกรรมและประเทศกำลังพัฒนา

การประเมินผลของ GEMS/Air เก็บข้อมูลจาก 50 ประเทศ โดยเก็บข้อมูลเกี่ยวกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์และอนุภาคสารแขวนลอยในเขตเมือง 35 ประเทศ สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับสารตะกั่ว ออกไซด์ของไนโตรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์นั้น เลือกศึกษาจากรายงานในระดับประเทศ งานวิจัยที่พิมพ์เผยแพร่ และผลการตอบแบบสอบถามของประเทศดังกล่าว

การใช้ข้อมูลในช่วง ค.ศ. 1973–1984 เน้นการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายของสารมลพิษ และคุณภาพอากาศในเมือง รวมทั้งระดับสารมลพิษเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของ WHO (เท่าที่มีเกณฑ์มาตรฐานระบุไว้) ในการประเมิน ได้คัดเลือกเมืองเตรียมไว้เป็นเครือข่ายของ GEMS/Air ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อเป็นตัวแทนของสภาพภูมิอากาศ ระดับการพัฒนาอุตสาหกรรมและเขตเมือง และสถานการณ์ของภาวะมลพิษจากที่ต่าง ๆ กัน เมืองที่เป็นเครือข่ายของ GEMS/Air เกือบทุกเมืองมีสถานีตรวจสอบ 3 แห่ง แห่งหนึ่งอยู่ในบริเวณแหล่งอุตสาหกรรม แห่งหนึ่งอยู่ในแหล่งพาณิชย์ และอีกแห่งหนึ่งอยู่ในเขตที่อยู่อาศัย ข้อมูลที่รวบรวมได้จากสถานีเหล่านี้ทำให้สามารถประเมินระดับความเข้มข้นสูงสุดและต่ำสุดของมลพิษ และแนวโน้มค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มข้นในระยะยาวได้อย่างมีเหตุผล

การประเมินมีเป้าประสงค์หลัก 2 ประการ คือ เพื่อติดตามกระบวนการประเมินผลมลพิษอากาศในเมืองทั่วโลกเป็นระยะ ๆ อย่างต่อเนื่อง และเพื่อพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคที่ใช้ในการประเมินข้อมูลที่ได้จากการติดตามตรวจสอบระดับมลพิษอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงจากมลพิษอากาศที่มีต่อสุขภาพมนุษย์

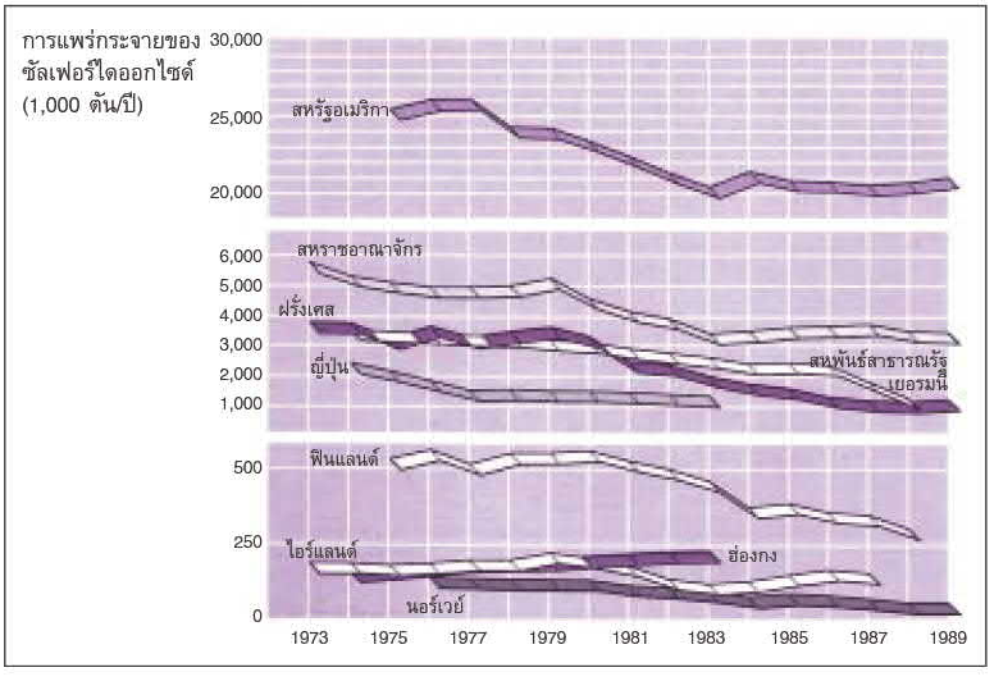
ใน ค.ศ. 1988 ได้รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก GEMS/Air (และข้อมูลเสริมที่เชื่อถือได้จากนานาประเทศทั่วโลก) ซึ่งมีการประเมินแนวโน้มของมลพิษอากาศแต่ละชนิดในระดับภูมิภาค และระดับโลก ซึ่งมีการลงนามรับรองในข้อมูลดังกล่าวในการประชุมผู้เชี่ยวชาญที่เป็นตัวแทนจากรัฐบาลประเทศต่างๆในนครเจนีวา ใน ค.ศ. 1988 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ในปัจจุบัน การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ทั่วโลกมีประมาณ 294 ล้านตันต่อปี โดยเกิดจากการกระทำของมนุษย์ 160 ล้านตัน ตัวเลขการปล่อยทั้งหมดคำนวณจากการคาดคะเนปริมาณการผลิต และการบริโภคเชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ที่มีซัลเฟอร์เจือปนอยู่ และจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากปัจจัยต่าง ๆ ในการแพร่กระจาย แม้ว่าการประมาณค่าปริมาณการปล่อยในระดับประเทศและระดับโลกจะได้รับการปรับปรุงแก้ไขทั้งในด้านคุณภาพและความเที่ยงตรงแล้วก็ตาม แต่ยังคงมีข้อขัดแย้งมากพอจนก่อให้เกิดข้อสงสัยในการประเมินแนวโน้ม

การแพร่กระจายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในโลกครึ่งหนึ่งมาจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติ (ส่วนใหญ่จากการระเบิดของภูเขาไฟ) อีกครึ่งหนึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหิน หรือโรงไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง การแพร่กระจายมลพิษที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ต่อปี ซึ่งเป็นอัตราเดียวกับการบริโภคพลังงานของโลก

การแพร่กระจายประมาณร้อยละ 90 มาจากซีกโลกเหนือ (จากสหรัฐอเมริกาและสหภาพโซเวียต ซึ่งทั้งสองประเทศเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ใหญ่ที่สุด แม้ว่าข้อมูลเท่าที่มีอยู่ในปัจจุบันจะยังไม่แน่ชัดก็ตาม) แต่ประเทศกำลังพัฒนาอีกหลายประเทศกำลังมีส่วนในการปล่อยสารมลพิษดังกล่าว ดังที่มีมลพิษจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์อย่างเด่นชัดในประเทศต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น ประเทศจีน เม็กซิโก และอินเดีย



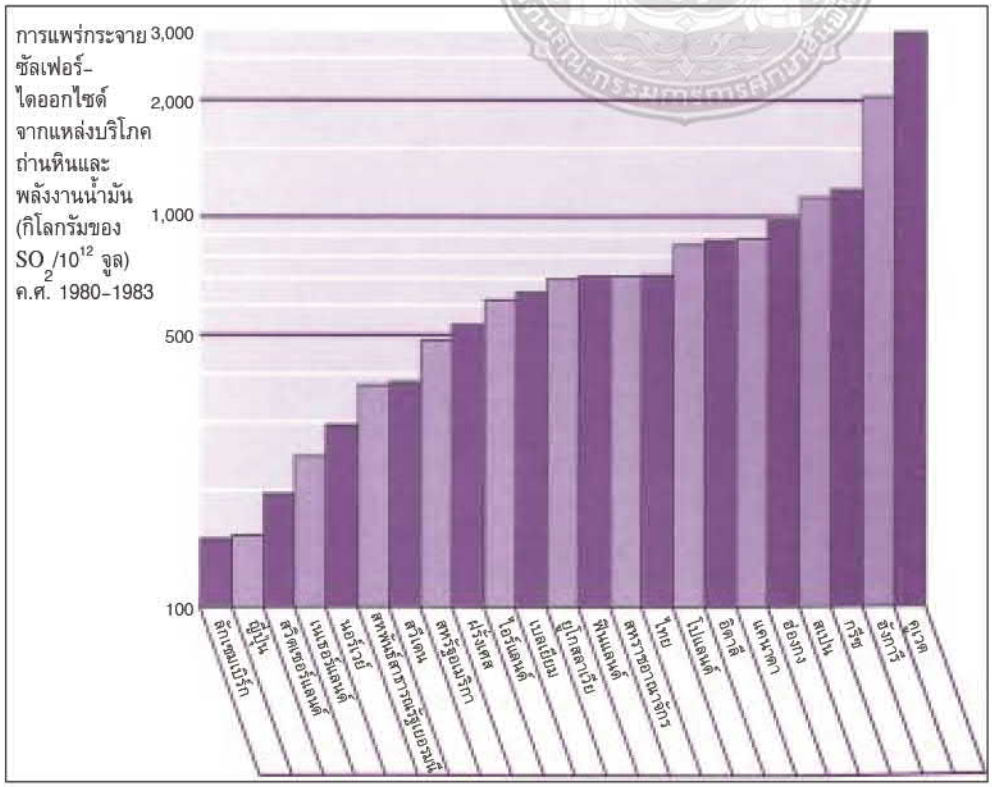
รูปที่ 5 *การแพร่กระจาย SO_2 ลดลงอย่างมากในประเทศพัฒนาแล้ว ตลอดระยะเวลา 15 ปี ที่ผ่านมา ความแตกต่างอย่างมากในการแพร่กระจาย SO_2 ในประเทศต่าง ๆ นั้น จะเห็นได้ชัดเจนจากช่วงตัวเลขที่ไม่ต่อเนื่องในแกนตั้ง*

ในพื้นที่ที่มีการแพร่กระจายของ SO_2 ปริมาณของกรดที่เกิดขึ้น และผลกระทบจากมลพิษของ SO_2 จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพภูมิอากาศ (ลม การปกคลุมของเมฆ ความชื้น และแสงอาทิตย์) การมีสารมลพิษชนิดอื่นๆ ปรากฏอยู่ระดับความสูงที่ SO_2 แพร่กระจายออกไป และระยะเวลาที่ SO_2 อยู่ในชั้นบรรยากาศ

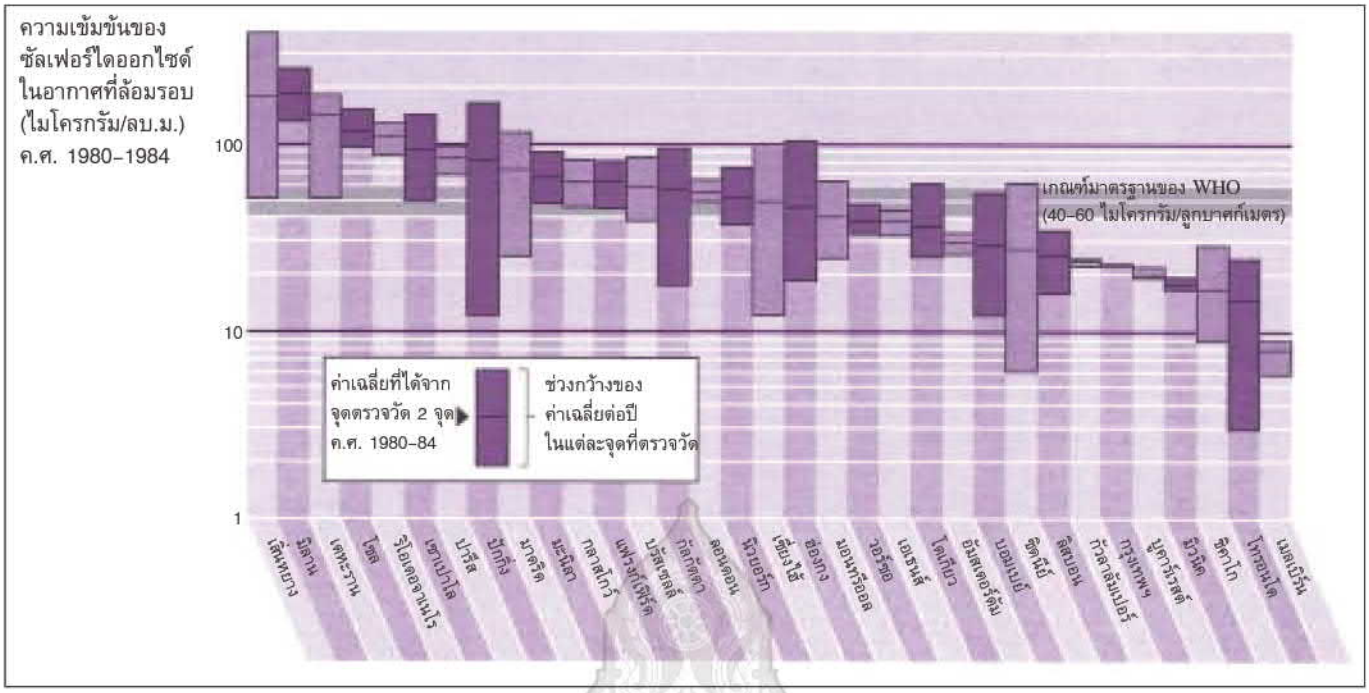
SO_2 ที่ตกกลับมายังโลกในทันที จะอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์แห้งและสะสมอยู่ตามต้นไม้และอาคาร ซึ่งอาจเข้าทางปากใบของพืช หรือมนุษย์และสัตว์หายใจเข้าไป SO_2 ยังคงอยู่เรื่อยไปในชั้นบรรยากาศ และสามารถเปลี่ยนกลับเป็นกรดได้เมื่อทำปฏิกิริยากับความชื้นในระยะเวลาเพียง 1 ชั่วโมง

SO_2 ทำให้เกิดผลกระทบร้ายแรงต่อสุขภาพมากมาย และโยงใยไปเป็นหลอดลมอักเสบ คออักเสบ และเป็นปัญหาต่อระบบทางเดินหายใจ หมอกควันพิษจากซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ เป็นหนึ่งในหมอกควันพิษที่เลวร้ายที่สุดที่เกิดขึ้นในกรุงลอนดอนใน ค.ศ. 1952 เป็นเหตุให้ประชาชนเสียชีวิต 4,000 คน และก่อปัญหาด้านสุขภาพในเมืองใหญ่หลายแห่ง หลังจากนั้น รัฐบาลสหราชอาณาจักรได้ออกกฎหมายใหม่อย่างเร่งด่วนเพื่อควบคุมมลพิษอากาศในเมืองทั่วประเทศ ในเมืองอื่นๆ เช่น กรุงเอเธนส์ ดับลิน ปักกิ่ง และเม็กซิโกซิตี ต่างมี SO_2 ในชั้นบรรยากาศในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งสิ้น

ผลกระทบของ SO_2 ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมประกอบด้วย ความเป็นกรดในดิน ในทะเลสาบและแม่น้ำสายต่างๆ และความเสียหายต่อพืชพันธุ์และผลิตผลทางการเกษตร สมมุติฐานของ



รูปที่ 6 *การแพร่กระจายของ SO_2 ต่อหน่วยการบริโภคพลังงาน ปริมาณที่แพร่กระจายทั้งหมดสะท้อนให้เห็นถึงมาตรการควบคุม SO_2 ของประเทศพัฒนาแล้ว เช่น ลักเซมเบิร์ก และญี่ปุ่น พลังงานทุกๆ 10^{12} จูล จะผลิต SO_2 ในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ แล้วแต่ชนิดของแหล่งกำเนิดพลังงานและกระบวนการต่างๆ โปรดสังเกตระดับที่แสดงเป็นมาตราส่วนเชิงลอก*



รูปที่ 7 *ระดับ SO_2 มีความแตกต่างกันมากในเมืองใหญ่ๆ ในโลก แต่ SO_2 ในเมืองใหญ่เหล่านี้มีอีกหลายเมืองยังเกินเกณฑ์มาตรฐานของ WHO โปรดสังเกตระดับที่แสดงเป็นมาตราส่วนเชิงลอก*

การเกิดภาวะมลพิษดังกล่าวเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ เช่น ความกดอากาศ การเปลี่ยนแปลงของดินที่เป็นไปอย่างช้าๆ และการระบาดของแมลงศัตรูพืชและเชื้อโรค การสะสมของกรดในดินทำให้ปล่อยสารอะลูมิเนียมออกมา อะลูมิเนียมอาจทำให้สารเคมีชนิดอื่นๆ ลดลง เช่น แมกนีเซียมและแคลเซียม อะลูมิเนียมที่ปล่อยออกมาในสภาพที่เป็นกรดนั้นเมื่อแพร่กระจายลงสู่แม่น้ำและทะเลสาบจะเป็นพิษต่อปลา และสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้โดยการดื่มน้ำดังกล่าว

ท้ายที่สุด SO_2 เป็นตัวกัดกร่อนอาคาร อนุสาวรีย์ งานศิลปะ และพัดพาตามกระแสลมไปยังศูนย์กลางอุตสาหกรรมใหญ่ ๆ SO_2 สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียม-คาร์บอเนตในหินปูนหรือหินทรายก่อตัวเป็นยิปซัม ซึ่งเกาะติดอยู่บนหินคล้ายน้ำตาลบนหน้าขนมเค้ก จึงเป็นเหตุให้พื้นผิวของหินแตกเป็นแผ่นชิ้นเล็กๆ บางๆ จากนั้นจะถูกฝนชะล้างออกไป SO_2 ทำให้เกิดเกลือในหินซึ่งต่อมาอาจขยายตัวหรือหดเล็กลง ทำให้หินสึกกร่อนได้ นอกจากนี้รอยเปื้อนบนกระจกหน้าต่างตามอาคารต่าง ๆ ในยุโรป เช่น มหาวิหารเวสต์มินสเตอร์ในกรุงลอนดอน มหาวิหารของเมืองโคโลญน์ในเยอรมนี ป้อมปราการอะโครโปลิสในกรุงเอเธนส์ สนามกีฬาโคลีเซียมในกรุงโรม และมหาวิหารของเมืองแรงซ์ในฝรั่งเศส เชื่อว่าเป็นผลมาจาก SO_2 ด้วยเช่นกัน

มีวิธีการควบคุมหรือลดการแพร่กระจาย SO_2 หลายวิธี หนึ่งในวิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้เชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ต่ำ อย่างไรก็ตาม ถ่านหินและน้ำมันที่มีซัลเฟอร์ต่ำกว่าร้อยละ 1 นั้นหายาก และหลายภูมิภาคที่ผลิต (และพึ่งพา) ถ่านหินที่มีซัลเฟอร์สูง อาจประสบปัญหาความยุ่งเหยิงทางเศรษฐกิจ และปัญหาการว่างงาน หากอุตสาหกรรมเปลี่ยนไปใช้ถ่านหิน

ที่มีซัลเฟอร์ต่ำจากภูมิภาคอื่น อีกทางเลือกหนึ่งก็คือ ยังคงใช้เชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์สูงต่อไป แต่ต้องทำให้ถ่านหินและน้ำมันบริสุทธิ์จากซัลเฟอร์เสียก่อน

การสกัดซัลเฟอร์จากเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้จะช่วยลดมลพิษของ SO_2 การพ่นหินปูนลงในเตาเผาระหว่างการเผาไหม้ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนซัลเฟอร์เป็นยิปซัมได้เช่นกัน

การดูดซับ SO_2 จากปล่องควันหลังการเผาไหม้ ตลอดจนกระบวนการขจัดซัลเฟอร์ออกจากปากปล่องควันระบายก๊าซ (flue gas desulphurization – FGD) หลังการเผาไหม้ โดยติดตั้งเครื่องกรองบริเวณปากปล่องควันระบายอากาศเพื่อฟอกสารมลพิษก่อนปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง โรงงานที่ใช้พลังงานจากถ่านหินกว่า 500 แห่ง (ส่วนใหญ่อยู่ในประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกา) ต่างใช้วิธีการดังกล่าว และหลายประเทศในยุโรปได้วางแผนที่จะใช้ FGD นี้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

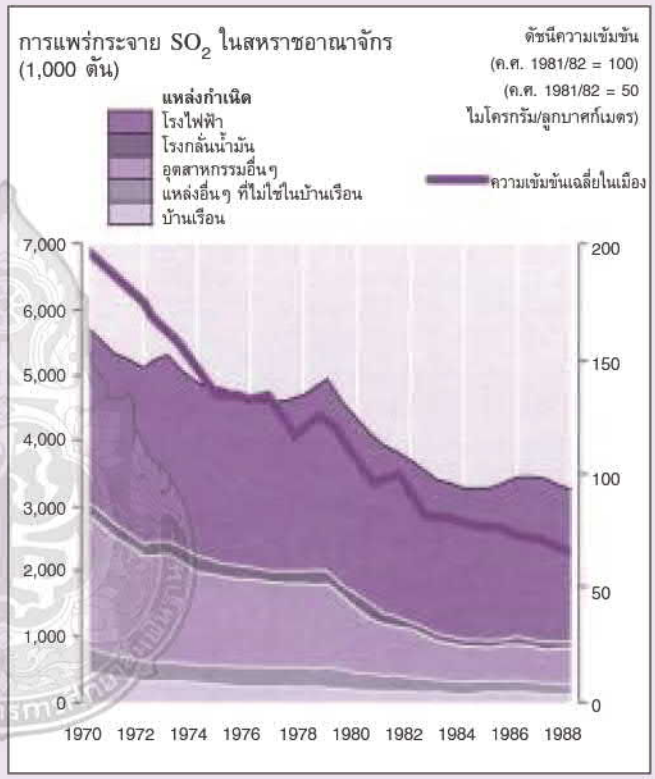
การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และการปรับปรุงการผลิตพลังงานให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่ง วิธีดังกล่าวจะช่วยลดการบริโภคพลังงาน โดยลดจำนวนการใช้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ในการเผาไหม้เพื่อทำให้เกิดพลังงาน

ขณะนี้ประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกาต่างก็ดำเนินการควบคุมสารมลพิษ SO_2 อย่างเข้มงวด ญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกที่ได้เริ่มดำเนินโครงการใช้ FGD ในทศวรรษ 1960 และ FGD ช่วยลดการแพร่กระจายมลพิษชนิดนี้ได้เกือบร้อยละ 40 ใน ค.ศ. 1974–1983 ในช่วงปลาย ค.ศ. 1986 ได้มีการดำเนินการติดตั้ง FGD ถึง 1,755 หน่วย ส่วนใหญ่ติดตั้งกับเตาเผาและเตาหลอมขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม แม้ว่าแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งหมดรวมทั้งโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินได้เข้าโครงการนี้ด้วยก็ตาม สหรัฐอเมริกาติดตั้ง FGD 100 หน่วยในโรงงานที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน ซึ่งสามารถลดการปล่อย SO_2 ได้ถึงร้อยละ 18 ใน ค.ศ. 1974–1985 ใน ค.ศ. 1989 ฝ่ายบริหารของรัฐบาลสมัยประธานาธิบดีจอร์จบุชได้ออกกฎหมายให้สหรัฐอเมริกาลดการปล่อย สารมลพิษดังกล่าวลงร้อยละ 50 เมื่อสิ้นสุดศตวรรษนั้น

เพื่อให้เป็นไปตามข้อกฎหมายของประชาคมยุโรป และอนุสัญญาเรื่องมลพิษอากาศข้ามพรมแดนในระยะยาวของประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (Economic Commission for Europe – UN/ECE) ใน ค.ศ. 1979 ซึ่งขณะนี้ประเทศอุตสาหกรรมตะวันตกหลายประเทศได้ดำเนินการลด SO_2 โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดภาวะมลพิษที่เป็นกรด ไม่ใช่ลดระดับ SO_2 ในเขตเมือง ประเทศอื่นๆ อีกหลายประเทศ เช่น ออสเตรีย ฝรั่งเศส สวีเดน และสวิตเซอร์แลนด์ ลด SO_2 ลงได้กว่าร้อยละ 40 เยอรมนีเป็นประเทศที่เกิดกรดมลพิษซึ่งทำลายป่าไม้เป็นบริเวณกว้างอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงได้วางโครงการใช้ FGD ในยุโรป สหราชอาณาจักรซึ่งเป็นหนึ่งในประเทศที่ปล่อย SO_2 ในยุโรปเห็นด้วยกับ

SO_2 ในสหราชอาณาจักร

เนื่องจากเป็นประเทศอุตสาหกรรมประเทศแรก สหราชอาณาจักรจึงเป็นประเทศแรกที่ประสบปัญหามลพิษอากาศในวงกว้าง นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อโรเบิร์ต ออกุส สมิท ได้พิสูจน์ให้เห็นถึงกระบวนการเกิดภาวะมลพิษที่เป็นกรดในทศวรรษ 1850 แต่การดำเนินการเพื่อลดการแพร่กระจาย SO_2 มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หลังจากเหตุการณ์หมอกควันพิษในกรุงลอนดอน ใน ค.ศ. 1952 จึงได้มีการควบคุมมลพิษ ทำให้การแพร่กระจาย SO_2 ลดลงอย่างมาก หมอกควันพิษที่เรียกว่า 'พีซุป' (pea soup) ในกรุงลอนดอน และเมืองใหญ่อื่นๆ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปได้ลดน้อยลง ในช่วงทศวรรษ 1970 ประเทศสวีเดนและนอร์เวย์เป็นสองประเทศใหญ่ที่ได้รับผลกระทบจาก SO_2 จากประเทศอังกฤษ จึงเพิ่มแรงกดดันให้ประเทศอังกฤษนำมาตรการควบคุม SO_2 มาใช้ ต้นทศวรรษ 1980 ประเทศอังกฤษเป็นประเทศที่ปล่อย SO_2 มากเป็นอันดับ 4 ของโลก และเป็นเพียงประเทศเดียวที่ยอมรับการควบคุมสาร SO_2 ในระดับประเทศ ภายใต้กฎหมายประชาคมยุโรป ประเทศอังกฤษจะต้องลดการแพร่กระจายของ SO_2 ลงร้อยละ 60 ของปริมาณซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ที่แพร่กระจายใน ค.ศ. 1980 ให้ได้ภายใน ค.ศ. 2003 ทั้งนี้ทำได้โดยการใช้ถ่านหินที่มีปริมาณซัลเฟอร์ต่ำ การเปลี่ยนไปใช้ก๊าซ และการติดตั้งอุปกรณ์กำจัด SO_2 (FGD) ในปล่องควันของโรงงานไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดในอังกฤษ



กฎหมายของ EC ที่บังคับให้ลดการปล่อย SO_2 ลงจากระดับเดิมใน ค.ศ. 1980 ให้ได้ร้อยละ 60 ใน ค.ศ. 2003

ถึงแม้การแพร่กระจาย SO_2 จะลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การเกิด SO_2 ในโลกยังคงเพิ่มขึ้นอยู่ต่อไป GEMS/Air ได้ประเมินระดับ SO_2 ใน 33 เมืองในระหว่าง ค.ศ. 1973–1985 พบว่า 27 เมืองมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ SO_2 ลดต่ำลง (ร้อยละ 3 ต่อปีหรือมากกว่า) ในขณะที่อีก 6 เมืองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น การแก้ไขที่ดีที่สุดทำได้ในประเทศพัฒนาแล้ว เนื่องจากในตัวอาคารมีปล่องระบายอากาศขนาดสูง ซึ่งช่วยกระจายมลพิษออกไปนอกเมือง ระดับ SO_2 ที่เพิ่มขึ้นทุกปีนั้น พบได้ในกรุงนิวเดลี (ร้อยละ 20 ต่อปี ค่าเฉลี่ยได้จากช่วงระยะเวลามากกว่า 8 ปี) เตหะราน (ร้อยละ 10 ต่อปี ค่าเฉลี่ยได้จากช่วงระยะเวลามากกว่า 10 ปี) วุรอทสลาฟและฮ่องกง (ร้อยละ 8 ต่อปี ค่าเฉลี่ยได้จากช่วงระยะเวลามากกว่า 8 ปี และ 9 ปี ตามลำดับ)

องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดเกณฑ์ความเข้มข้นของ SO_2 2 ประการ โดยอาศัยฐานการค้นพบของนักวิทยาศาสตร์ และการศึกษาเกี่ยวกับระบาดวิทยา ซึ่งเกณฑ์ทั้งสองควรใช้พร้อมกัน เกณฑ์แรกเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยจากการได้รับ SO_2 ในระยะยาว โดยใช้เกณฑ์ระดับค่าเฉลี่ยต่อปี เกณฑ์ที่สองเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยจากการได้รับ SO_2 เฉลี่ยต่อวัน ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าการได้รับ SO_2 ในระยะยาว เกณฑ์กำหนดระดับ SO_2 โดยเฉลี่ยต่อปีเป็น 40–60 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (1 ไมโครกรัม (μg) = 10^{-6} กรัม) ช่วยลดความเสี่ยงจากการป่วยเป็นโรคระบบทางเดินหายใจในเด็กที่ได้รับ SO_2 ในช่วงระยะเวลาอันสั้น หรือลดอาการที่เกี่ยวข้องกับโรคระบบทางเดินหายใจในเด็กและผู้ใหญ่ที่ได้รับ SO_2 ในระยะเวลายาวนาน เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 100–150 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นค่าเฉลี่ยใน 1 วัน สำหรับค่าเฉลี่ยรายวันที่กำหนดไว้ก็เพื่อให้แน่ใจว่า แม้แต่ประชากรที่ไวต่อการได้รับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร้อยละ 98 ก็จะไม่เป็นอันตรายเมื่อได้รับสารมลพิษดังกล่าว มีหลายเมืองที่ยังคงได้รับ SO_2 ในระดับที่เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และบางเมืองมีระดับ SO_2 ถึงขีดวิกฤตแล้ว

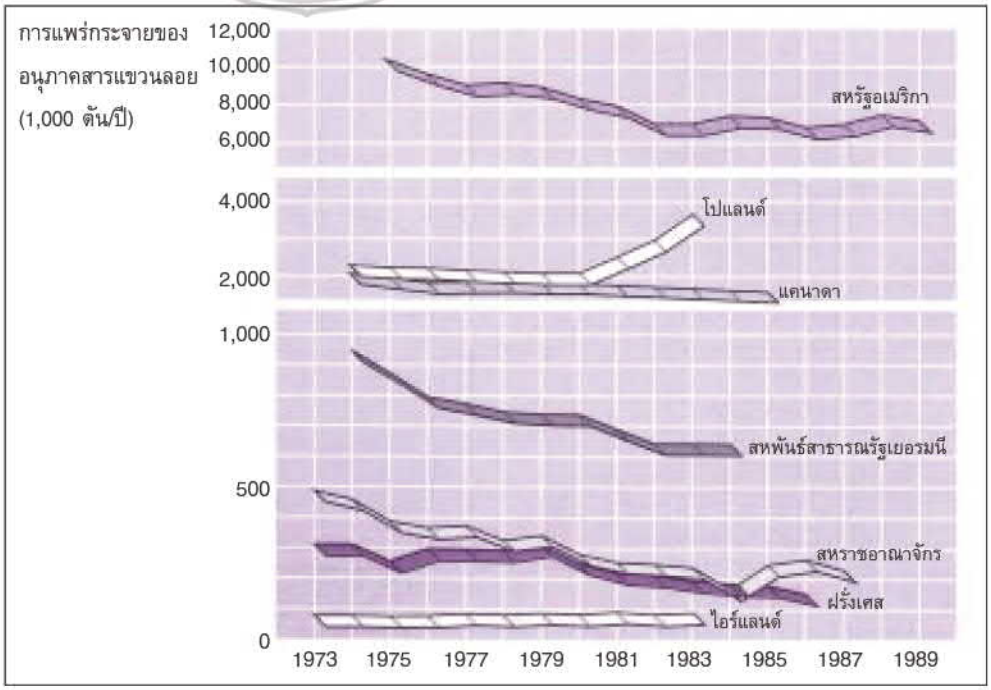
จากข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณ SO_2 ตามที่ GEMS/Air รวบรวมไว้ พบว่ามีประชากร 625 ล้านคนทั่วโลกอาศัยอยู่ในเขตเมือง มีค่าเฉลี่ยของ SO_2 ในระดับที่เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ WHO และอีก 975 ล้านคน (เกือบ 1 ใน 5 ของประชากรโลก) อาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ที่มีค่าเฉลี่ยต่อวันสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือมากกว่า 7 วันต่อปี และมีเพียงร้อยละ 30 ของประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเมืองของเมืองใหญ่ที่มี SO_2 เฉลี่ยทั้งปีต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ WHO

อนุภาคสารแขวนลอย

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการแพร่กระจายอนุภาคสารแขวนลอย (SPM) ในโลกที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์นั้นยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงทำให้การคาดการณ์แนวโน้มของสารดังกล่าวเป็นไปได้ยาก ข้อมูลที่เชื่อถือได้ในช่วง ค.ศ. 1982–1984 แสดงถึงการแพร่กระจาย SPM ปีละประมาณ 27 ล้านตัน แต่แท้ที่จริงแล้วปริมาณ SPM ทั้งโลกอาจจะมีถึง 135 ล้านตัน

อนุภาคที่แพร่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศนั้น เกิดจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ทั้งจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ โดยก่อตัวขึ้นจากก๊าซชนิดต่างๆ และไอน้ำควบแน่นรวมกัน กิจกรรมหลายอย่างของมนุษย์ก่อให้เกิด SPM ได้โดยตรง เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ความยุ่งยากประการหนึ่งในการประเมินผลกระทบของ SPM ที่มีต่อสุขภาพ คือ ความแตกต่างของวิธีการติดตามตรวจสอบและคำศัพท์เฉพาะทางที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ในสหรัฐอเมริกา SPM วัดได้โดยน้ำหนัก (อนุภาคสารแขวนลอยทั้งหมดที่ตกลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลก) แต่ในหลายประเทศใช้วิธีดูการตกค้างของควันดำ (ดูจากความดำของรอยเปื้อนที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษกรองสีขาว ซึ่งอากาศผ่านเข้าไป)

อนุภาคต่างๆ ที่ผู้อาศัยอยู่ในเขตเมืองหายใจเข้าไปประกอบด้วย ตะกั่ว โลหะ และสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ กรดซัลฟุริก และสารประกอบซัลเฟตชนิดต่างๆ ก่อเป็นอนุภาคต่างๆ ได้ถึงร้อยละ 20 ดังนั้นจึงเกิดผลกระทบต่อสุขภาพเช่นเดียวกับ SO_2 ใน



รูปที่ 8 *แม้ว่าการเผาไหม้ถ่านหินจะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการแพร่กระจายของ SPM ในประเทศอุตสาหกรรมต่างๆ กลับลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิคการเผาไหม้ที่สะอาดขึ้น โปรดสังเกตช่วงแบ่งของปริมาณในแกนตั้ง*

ช่วงทศวรรษ 1950-1960 พบว่าในกรุงลอนดอนและนครนิวยอร์ก ซึ่งประสบปัญหาหมอกควันพิษมากกว่าเมืองอื่น ๆ นั้นมี SPM อยู่ในระดับสูงที่ทำให้คนตายนับพันคน การได้รับซัลเฟตและอนุภาคต่างๆ เป็นระยะเวลานาน ก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจหรือทำให้อาการของโรคนี้รุนแรงยิ่งขึ้น (โดยเฉพาะโรคหอบหืดและโรคถุงลมโป่งพอง) และอาจจะทำอันตรายต่อปอดได้ สารประกอบอินทรีย์หลายชนิดที่พบในอนุภาคสารแขวนลอยนั้นเป็นที่วิตกกังวล เพราะส่วนใหญ่เป็นสารก่อมะเร็ง

ผู้สูงอายุ คนหนุ่มสาว และคนทั่วไปที่เป็นโรคปอดเรื้อรังและโรคหัวใจเป็นกลุ่มคนที่เสี่ยงต่อการได้รับ SPM ผู้ที่เสียชีวิตจากหมอกควันพิษในกรุงลอนดอน ใน ค.ศ. 1952 ต้องทนทุกข์ทรมานจากโรคหลอดลมอักเสบ การหายใจล้มเหลว และโรคหัวใจ (SPM ทำให้เกิดอาการรุนแรงขึ้น) โดยเฉพาะเด็กที่ได้รับ SPM อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนานจะเป็นอันตรายร้ายแรง เริ่มตั้งแต่การป่วยเป็นโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจเมื่อยังเด็กและอาจลุกลามกลายเป็นโรคเรื้อรังได้ภายหลัง

SPM สามารถทำลายระบบการสังเคราะห์แสงที่จำเป็นของพืชด้วยการเข้าไปเกาะที่ใบ อุดตันปากใบ ทำให้ใบดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแสงอาทิตย์ได้น้อยลง

อนุภาคก็เช่นเดียวกับซัลเฟตที่ก่อให้เกิดรอยเปื้อนที่เนื้อผ้า พื้นผิวที่ทาสี และอาคารต่างๆ ทำให้อายุการใช้งานของวัสดุนั้นลดน้อยลง รวมทั้งทำลายพื้นผิว รอยดำของอาคารต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจาก SPM เป็นหนึ่งในผลกระทบที่เห็นได้จากมลพิษในเมือง โดยเฉพาะผลกระทบที่เกิดขึ้นที่กรุงลอนดอน ในปัจจุบันต้องชำระล้างรอยดำที่สะสมมาเป็นเวลานานหลายสิบปีตามอาคารต่างๆ เช่น รัฐสภา และโบสถ์เวสต์มินสเตอร์

จากข้อมูลที่บันทึกไว้ในประเทศต่างๆ ปริมาณการแพร่กระจายของ SPM ในบางประเทศได้ลดลง (แม้ว่าจำนวนโรงไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น) เป็นเพราะมีการใช้ถ่านหินที่สะอาด การเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงที่ควันน้อยและก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนภายในบ้าน การอนุรักษ์พลังงาน การใช้วิธีการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพและใช้อุปกรณ์กำจัดอนุภาคในโรงงานไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม การแพร่กระจายอนุภาคยังคงเพิ่มขึ้นในยุโรปตะวันตก และในประเทศกำลังพัฒนาบางประเทศ ทั้งนี้เพราะยังคงใช้ถ่านหินที่มีซัลเฟอร์สูงอยู่ และเครื่องมือที่ช่วยลดปริมาณอนุภาคยังคงด้อยประสิทธิภาพ (หรืออาจจะไม่มีประสิทธิภาพเลยก็ได้) ในยุโรปตะวันตกและอเมริกาเหนือ มีไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลเพิ่มขึ้น เครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปสามารถก่อให้เกิดอนุภาคได้มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินถึง 10 เท่า และเป็นต้นเหตุของการแพร่กระจายควันในเมืองถึงร้อยละ 70

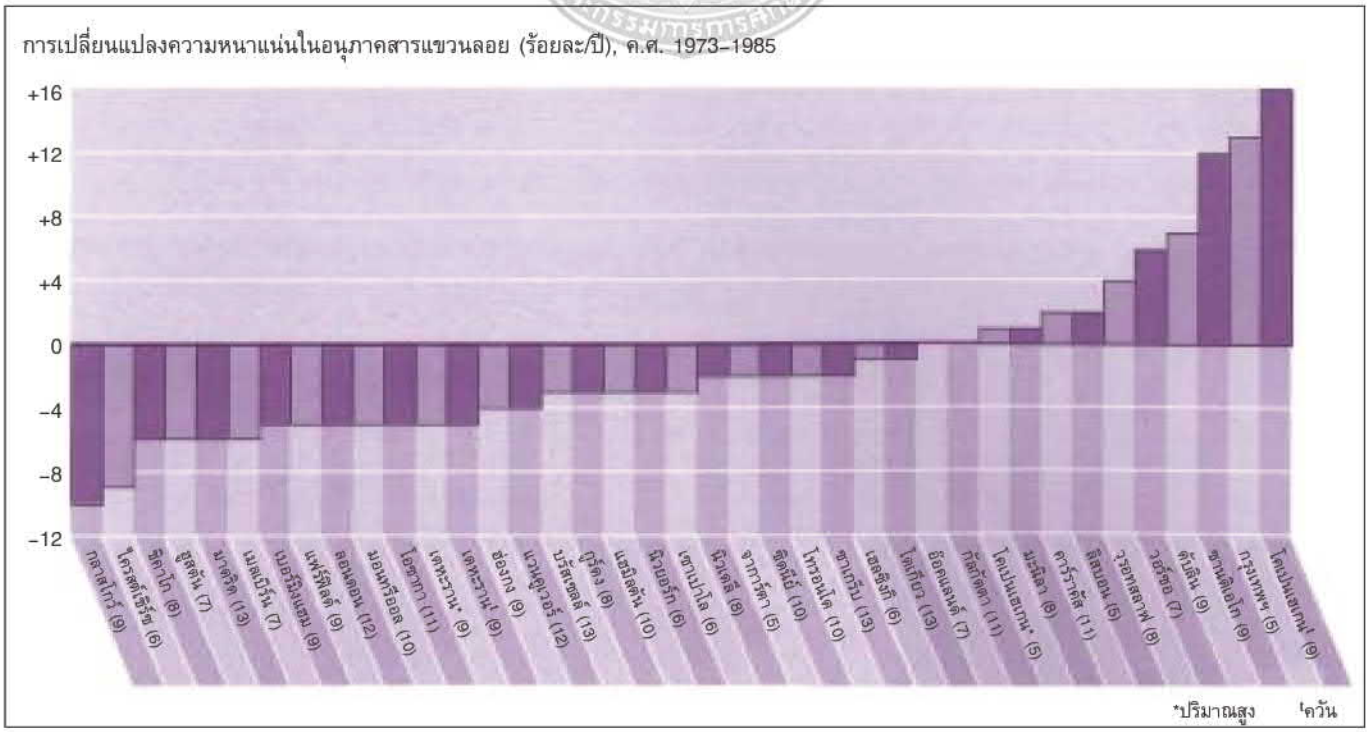
ในช่วงระหว่าง ค.ศ. 1973-1985 สหราชอาณาจักรสามารถลดการแพร่กระจายของควันลงไปได้ถึงเกือบครึ่งหนึ่ง ทั้งนี้เป็นผลมาจากพระราชบัญญัติอากาศบริสุทธิ์

(Clean Air Acts) ค.ศ. 1956–1968 โดยได้กำหนดเขตปลอดควันในเมืองและบังคับไม่ให้โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยควัน ออกระเบียบข้อบังคับกว่า 6,000 ฉบับ และควบคุมการแพร่กระจายของควันในพื้นที่ในเขตเมืองได้ถึงครึ่งหนึ่งของประเทศ ความหนาแน่นเฉลี่ยของควันในพื้นที่ต่างๆ ในเมืองลดลงไปกว่าร้อยละ 60 ตั้งแต่ ค.ศ. 1973 เป็นต้นมา ซึ่งในปัจจุบันความหนาแน่นของควันมีระดับต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดของ WHO โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในอังกฤษไม่ค่อยมีบทบาทในการปล่อย SPM มากนัก เนื่องจากโรงไฟฟ้าเหล่านั้นมีเครื่องดักจับอนุภาคโดยหลักการของไฟฟ้าสถิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง

ในระหว่าง ค.ศ. 1975–1984 สหรัฐอเมริกาสามารถลดปริมาณการแพร่กระจาย SPM ได้ถึง 1 ใน 3 ส่วนหนึ่งจากการใช้เครื่องมือควบคุมการแพร่กระจายของ SPM ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นนับตั้งแต่ ค.ศ. 1984 เป็นต้นมา สหรัฐอเมริกาสามารถควบคุมปริมาณการแพร่กระจายของ SPM ให้คงที่ไว้ได้

แต่ในช่วงเวลาเดียวกัน แม้ว่าการแพร่กระจายของ SPM จะลดลงในบางประเทศ แต่มิได้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงในนโยบายที่ได้ไตร่ตรองไว้แล้ว แต่เป็นเพราะการลดกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรมลงและปริมาณหยาดน้ำฟ้าที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยมาก (โดยเฉพาะในช่วง ค.ศ. 1982–1983) น้ำฝนสามารถลดปริมาณฝุ่นที่เข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศและช่วยชำระล้างอนุภาคต่างๆ ออกจากอากาศได้ แต่ใน ค.ศ. 1984 ปริมาณน้ำฝนลดลงสู่ระดับปกติ ปริมาณ SPM จึงเพิ่มมากขึ้น และยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปในเขตเมืองในช่วงฤดูร้อน

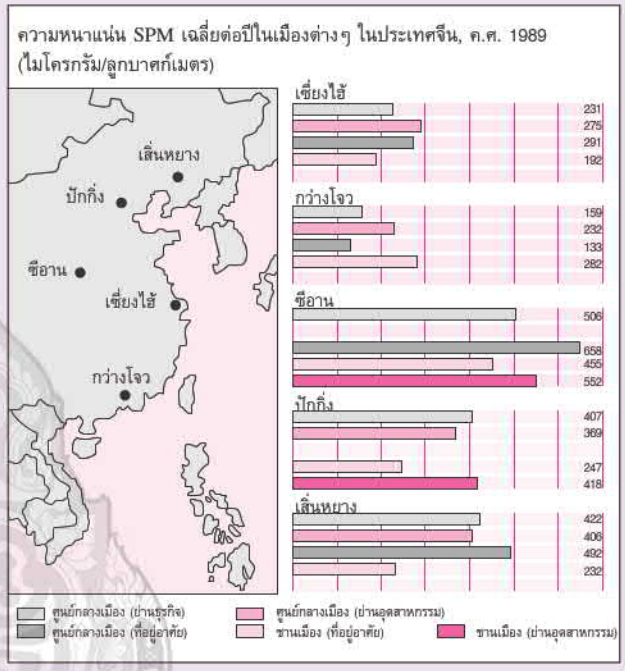
รูปที่ ๑ *แนวโน้มของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของ SPM ในเมือง ค่าในวงเล็บแสดงจำนวนตัวอย่างในปีที่นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ซึ่งบ่งชี้ว่า SPM ลดลงในหลายเมืองทั่วโลก*



SPM ในประเทศจีน

แหล่งกำเนิด SPM ในประเทศจีน คือ การเผาไหม้ถ่านหิน ซึ่งมีจำนวนมากกว่าร้อยละ 70 ของการผลิตพลังงานทั้งหมดในประเทศ การเผาไหม้ถ่านหินส่วนใหญ่ใช้เตาเผาตั้งแต่ขนาดกลางจนถึงขนาดเล็กที่มีปล่องควันเตี้ย อีกทั้งเตาที่ใช้ตามบ้านเรือนก็เป็นแบบเก่าที่ใช้ได้ไม่ค่อยดี อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม SPM เท่าที่มีอยู่ ยิ่งด้อยประสิทธิภาพ หรือบางแห่งก็ไม่มีเลย เป็นผลให้เมืองใหญ่เกือบทั้งหมดมีสภาพที่สลัวเต็มไปด้วยมลพิษอากาศ ประชาชนต้องทนทุกข์ทรมานจากการป่วยด้วยโรคหัวใจและโรคระบบทางเดินหายใจ

การแพร่กระจายของ SPM สามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการปรับกระบวนการใช้เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเหล็กกล้าและปิโตรเคมีสร้างความมั่งคั่งให้แก่ประเทศ จึงได้พัฒนาเทคโนโลยีการใช้เชื้อเพลิงไปมาก แต่การลดการแพร่กระจายของ SPM จากเตาไฟที่ใช้ในครัวเรือนนั้นกลับทำได้ยากกว่า เพราะต้องเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมการใช้เชื้อเพลิงไปใช้ก๊าซและไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ในช่วง ค.ศ. 1980–1985 ได้เริ่มพัฒนาการใช้ก๊าซในการหุงต้มในครัวเรือนกันเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 22



ใน ค.ศ. 1988 ซึ่งอากาศร้อนและแห้งแล้งมาก ปริมาณการแพร่กระจายของ SPM จากยานยนต์ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ และจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ ยังคงที่อยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

จากข้อมูลการประเมิน SPM โดย GEMS/Air ใน 37 เมือง พบว่าแนวโน้มของปริมาณ SPM ได้ลดลง 19 เมือง มีแนวโน้มที่คงที่ 12 เมือง และเพิ่มขึ้น 6 เมือง เมืองที่มี SPM เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยต่อปีในระดับสูงสุด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร (ร้อยละ 13 ต่อปี ซึ่งค่าเฉลี่ย SPM คำนวณได้ในช่วงระยะเวลาเกินกว่า 5 ปี) กรุงโคเปนเฮเกน (ร้อยละ 18 ต่อปี คำนวณในช่วงระยะเวลากว่า 5 ปี) กรุงดับลิน (ร้อยละ 12 ต่อปี ซึ่งคำนวณได้ในช่วงระยะเวลามากกว่า 9 ปี) เมืองวุรอทสลาฟ (ร้อยละ 4 ต่อปี ซึ่งคำนวณได้ในช่วงระยะเวลากว่า 8 ปี)

WHO ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานระดับความหนาแน่นของ SPM และควันโดยเฉลี่ยต่อปี และต่อวัน โดยกำหนดให้ระดับ SPM ไม่เกิน 60-90 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร/ปี และเฉลี่ย 150-230 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร/วัน เมืองส่วนใหญ่ (ร้อยละ 54) ที่ GEMS/Air ได้สำรวจมี SPM เฉลี่ยเกินเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น เมืองที่มีค่าเฉลี่ย SPM อยู่ในระดับอันตรายสูงสุด ได้แก่ กรุงปักกิ่ง กัลกัตตา นิวเดลลี และซีอาน เพียงร้อยละ 12 ของเมืองในโครงการเท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ย SPM ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งต่อวัน และต่อปี

WHO กำหนดระดับความหนาแน่นของควันโดยเฉลี่ยไว้ที่ 40-60 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร/ปี และ 100-150 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร/วัน เกือบ 1 ใน 3 ของเมืองเหล่านี้รวมทั้งกรุงเตหะราน ซานติเอโก และเซาเปาโล ล้วนแล้วแต่มีปริมาณควันเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น

ถึงแม้ว่าตัวเลขที่ปรากฏเริ่มแรกจะเลวร้ายกว่าตัวเลขของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมืองส่วนใหญ่ที่มีความหนาแน่นของอนุภาคสูงสุดจะอยู่ในพื้นที่ที่มีฝุ่นที่ถูกพัดพามาโดยธรรมชาติในระดับสูง ตัวอย่างเช่น ในปักกิ่งมี SPM ร้อยละ 60 ฝุ่นมีอันตรายน้อยมากต่อสุขภาพมนุษย์เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคอื่น ๆ ที่เป็นสารมลพิษที่มนุษย์หายใจเข้าไป

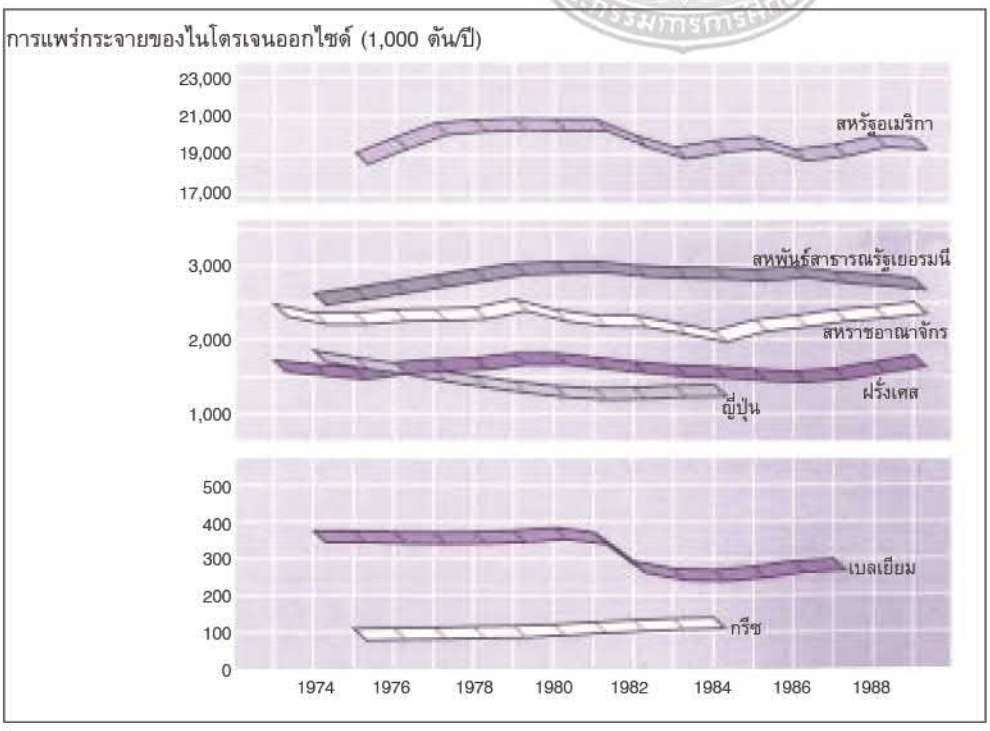
ข้อมูลของ GEMS บ่งชี้ว่าผู้อาศัยอยู่ในเขตเมืองน้อยกว่าร้อยละ 20 เท่านั้นสามารถหายใจด้วยอากาศที่มีคุณภาพ ประชากรมากกว่า 1,250 ล้านคนอาศัยอยู่ในที่ที่มีอนุภาคและควันเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ WHO กำหนดไว้

ออกไซด์ของไนโตรเจน

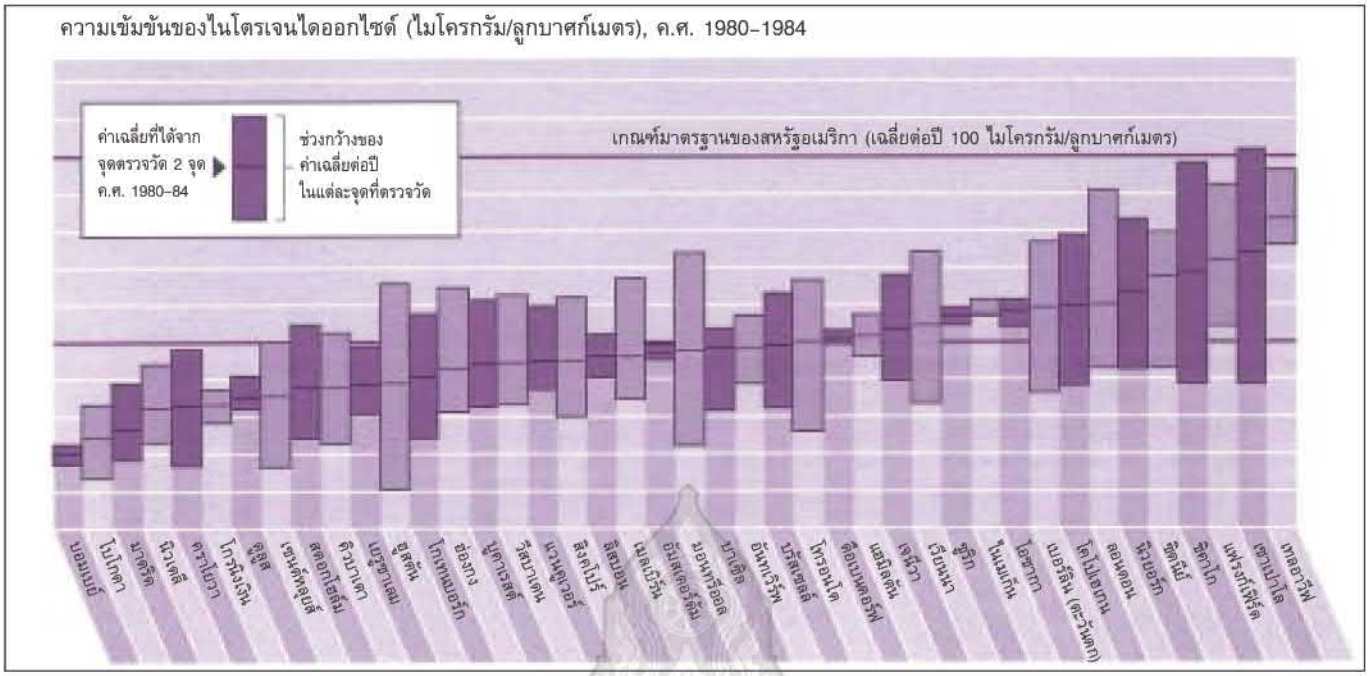
หนึ่งในการคาดคะเนปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่เกิดจากธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ใน ค.ศ. 1980 มีถึง 150 ล้านตัน/ต่อปี มากกว่าครึ่งหนึ่งนี้มาจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติ แหล่งที่แพร่กระจาย NO_x ในธรรมชาติ ได้แก่ ฟ้าแลบ ไฟป่า และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เนื่องจาก NO_x ที่เกิดจากธรรมชาติสามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วโลก จึงมีปริมาณน้อย แต่ในเขตอุตสาหกรรมแถบยุโรปและอเมริกาเหนือ NO_x ที่เกิดขึ้นมาจากการกระทำของมนุษย์มีจำนวนมากกว่าที่เกิดจากธรรมชาติถึง 5–10 เท่า

ในยุโรปตะวันตก NO_x ที่แพร่กระจายจากการกระทำของมนุษย์นั้นมาจากยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ประมาณร้อยละ 30–50 และอีกร้อยละ 30–40 เกิดจากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลัก ใน ค.ศ. 1989 ร้อยละ 40 ของการแพร่กระจาย NO_x ในสหรัฐอเมริกาเกิดจากยานยนต์บนท้องถนน และใน ค.ศ. 1985 ร้อยละ 64 ของการแพร่กระจาย NO_x ในประเทศแคนาดาก็มาจากยานยนต์บนท้องถนนเช่นกัน ในประเทศสวีเดนประมาณร้อยละ 30–40 ของสารประกอบไนโตรเจนเกิดจากกิจกรรมทางการเกษตรและป่าไม้ ซึ่งล้วนต้องอาศัยปุ๋ยไนโตรเจนทั้งสิ้น

ปริมาณและชนิดของ NO_x ที่เกิดโดยกระบวนการทางอุตสาหกรรมนั้น ขึ้นอยู่กับสภาพการเผาไหม้ที่เกิดและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ การเผาไหม้โดยปกติจะออกซิไดส์ไนโตรเจนในถ่านหินร้อยละ 5–40 ในน้ำมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงร้อยละ 40–50 ในน้ำมัน



รูปที่ 10 *แม้ว่าในช่วง ค.ศ. 1973–1987 ประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลายบริโภคพลังงานเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการแพร่กระจายของ NO_x ยังคงค่อนข้างคงที่ โปรดสังเกตระดับของปริมาณ NO_x ที่ไม่ต่อเนื่องในแกนตั้ง*



รูปที่ 11 *ค่าเฉลี่ยของปริมาณ NO_2 ต่อปี ของเมืองใหญ่ในช่วง ค.ศ. 1980–1984 ซึ่งประมาณว่า ปริมาณ NO_2 ที่บอมเบย์และนิวเดลีมีค่าต่ำสุด เพราะสภาพการจราจรไม่คับคั่ง แกนนอนแสดงค่ามาตรฐานของคุณภาพอากาศในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา*

ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และในก๊าซเกือบร้อยละ 100 ยิ่งการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่าไร ก็จะทำให้เกิด NO_x มากขึ้นเท่านั้น

การเผาไหม้ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงก่อให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ซึ่งจะเข้าไปสู่ชั้นบรรยากาศโดยการออกซิเดชันที่อาศัยปฏิกิริยาเคมีแสงและเกิดเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ออกไซด์เหล่านี้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดสารมลพิษชนิดอื่นๆ เช่น โอโซน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของหมอกควันพิษ NO เป็นสารมลพิษที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จากเครื่องทำความร้อนที่ใช้แก๊ส หม้อต้มน้ำ เตาที่ใช้ประกอบอาหาร และการเผาไหม้บุหรี่

เนื่องจาก NO_x ส่วนใหญ่จากแหล่งกำเนิดที่ตั้งอยู่กับที่ เช่น โรงไฟฟ้าปล่อยออกมาทางปล่องระบายอากาศขนาดสูง ทำให้สามารถแพร่กระจายออกไปในชั้นบรรยากาศได้ไกล เมื่อทำปฏิกิริยากับความชื้นในชั้นบรรยากาศจะตกกลับมาสู่พื้นดินในรูปของฝนกรด จึงทำให้เกิดการสะสมกรดในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลออกไปจากแหล่งกำเนิดได้

NO_x ในชั้นบรรยากาศเป็นตัวการสำคัญที่ลดความสามารถในการมองเห็น และรวมตัวกันก่อให้เกิดละอองไอกรด ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) สามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดและทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากขึ้นได้ แม้ว่าระดับ N_2O จะคงที่เนื่องจากการย่อยสลายทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในดินและมหาสมุทร แต่การใช้ปุ๋ยที่มีส่วนผสมของไนเตรตในปริมาณมากสามารถทำให้เกิด N_2O มากขึ้น ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้น และทำลายชั้นโอโซนของโลก

ไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ และเมื่อได้รับในระยะเวลาที่ยาวนานจะเป็นอันตรายต่อปอดจนรักษาไม่ได้ นอกจากนี้ NO_2 ยังทำให้เกิดอาการแน่นหน้าอก แสบตา และปวดศีรษะ โดยเฉพาะผู้ที่เป็นโรคหอบหืด และโรคหลอดลมอักเสบ การได้รับ NO_2 ที่มีความเข้มข้นสูงบางขณะอาจเป็นพิษยิ่งกว่าการได้รับ NO_2 ที่มีความเข้มข้นต่ำอยู่เป็นประจำ

แม้ว่าจะมีการบริโภคพลังงานเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในยานยนต์ การแพร่กระจายของ NO_x ในประเทศพัฒนาแล้วหลายประเทศยังคงมีปริมาณคงที่อยู่ ใน ค.ศ. 1974–1983 ปริมาณการแพร่กระจายของ NO_x ในประเทศญี่ปุ่นลดลงร้อยละ 21 ญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกที่กำหนดมาตรฐานสำหรับ NO_x จากแหล่งกำเนิดที่ตั้งอยู่กับที่ ใน ค.ศ. 1986 ญี่ปุ่นได้จัดตั้งอุปกรณ์กำจัดไนโตรเจนที่ปล่องควันจำนวนกว่า 320 เครื่อง ในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

ช่วงปลายทศวรรษ 1970 เริ่มมีการผลิตอุปกรณ์ฟอกไอเสียโดยการเร่งปฏิกิริยาของไอเสีย (Catalytic converter) ในยานยนต์เป็นครั้งแรก ในปัจจุบันประเทศออสเตรเลีย แคนาดา ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา มีข้อบังคับให้ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวในยานยนต์ใหม่ๆ ซึ่งมีผลให้ระหว่าง ค.ศ. 1972–1978 ปริมาณการปล่อย NO_x จากรถใหม่ในประเทศญี่ปุ่นลดลงถึงร้อยละ 92 และในระหว่าง ค.ศ. 1972–1978 ในสหรัฐอเมริกาลดการแพร่กระจาย NO_x จากรถยนต์ใหม่ที่ใช้เครื่องยนต์เบนซินได้ถึงร้อยละ 75

อย่างไรก็ตาม ในหลายพื้นที่ที่มีการลดการแพร่กระจายของ NO_x แต่กลับถูกหักล้างอย่างมากมายด้วยการเพิ่มขึ้นของการจราจรที่คับคั่งบนท้องถนน ใน ค.ศ. 1973–1983 ระยะทางที่คิดเป็นกิโลเมตรจากการเดินทางด้วยยานยนต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 28 ในสหรัฐอเมริกาและร้อยละ 54 ในญี่ปุ่น

ประเทศแคนาดาในระหว่าง ค.ศ. 1973–1984 มีจำนวนยานยนต์บนท้องถนนเพิ่มขึ้นกว่า 1 ใน 3 ซึ่งในช่วงเวลาเดียวกันนี้แม้ว่ามีการควบคุมปริมาณการปล่อย NO_x ในรถใหม่ แต่จำนวนการแพร่กระจายของ NO_x ก็ยังคงเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 7 ในช่วง ค.ศ. 1970–1980 ปริมาณการแพร่กระจาย NO_x จากแหล่งกำเนิดที่ตั้งอยู่กับที่ในประเทศแคนาดาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 เนื่องจากใช้ไฟฟ้ามากขึ้น แต่ก็ได้รับสิ่งชดเชยจากการลดการแพร่กระจาย NO_x ที่เกิดจากครัวเรือนและจากอุตสาหกรรมถึงร้อยละ 15 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้เชื้อเพลิง (เช่นเพิ่มการใช้ไฟฟ้าในการทำความร้อนในบ้าน)

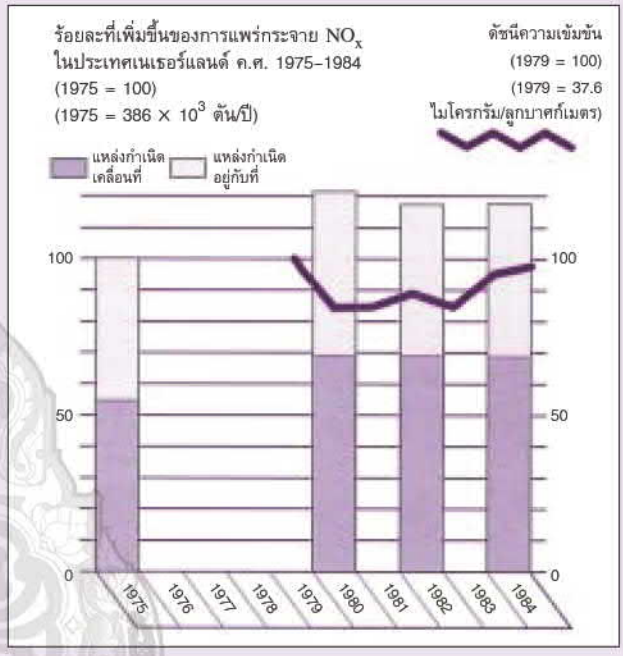
เมืองใหญ่หลายเมืองในยุโรป รวมทั้งกรุงลอนดอน แฟรงก์เฟิร์ต และอัมสเตอร์ดัม มีการแพร่กระจาย NO_x เพิ่มขึ้น แหล่งกำเนิดใหญ่ยังคงเป็นยานยนต์ มีเพียงไม่กี่ประเทศในยุโรปเท่านั้นที่มีเกณฑ์มาตรฐานการปล่อยควันที่เข้มงวด บางประเทศกำหนดให้ใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ที่ปราศจากควัน และประชาคมยุโรปได้เสนอเกณฑ์มาตรฐานในการ

NO_x ในประเทศเนเธอร์แลนด์

ช่วงเวลากว่า 10 ปี ระหว่าง ค.ศ. 1975–1984 ประเทศเนเธอร์แลนด์มีปริมาณ NO_x เพิ่มขึ้นร้อยละ 18 ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่โดยปล่อย NO_x ออกมาถึงร้อยละ 27 ในจำนวนนั้นได้แก่ เมืองอัมสเตอร์ดัม และมาสหลุยส์ (Maassluis) ซึ่งระดับของ NO_x ยังคงเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม ประเทศเนเธอร์แลนด์ตกลงที่จะลดปริมาณ NO_x ร้อยละ 20 ใน ค.ศ. 1993 และร้อยละ 40 ใน ค.ศ. 1998 (จากรูป ค.ศ. 1980) การลดลงของ NO_x อาจจะประสบผลสำเร็จได้ในอนาคตเมื่อนำมาใช้ในการแก้ไขตั้งแต่เดือนตุลาคม ค.ศ. 1988 โดยเข้มงวดในการจำกัดการแพร่กระจาย NO_x กว่าเกณฑ์ข้อบังคับของประชาคมยุโรปในการปล่อย NO_x จากรถโดยสาร

ในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา การแพร่กระจาย SO_2 และ NO_2 จากแหล่งกำเนิดอยู่กับที่ในประเทศเนเธอร์แลนด์ได้ลดลง ทั้งที่มิได้มีกฎควบคุมแต่อย่างใด แต่เป็นเพราะมีการใช้ก๊าซธรรมชาติแทนการใช้ถ่านหินและน้ำมันเพิ่มขึ้น



ควบคุมปริมาณ NO_x จากยานยนต์ขึ้น แต่ยังต้องคอยดูกันต่อไปว่าในที่สุดแล้วมาตรการเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพเพียงใด

ข้อมูล NO_x ในประเทศกำลังพัฒนานั้นมีน้อยมาก แต่ระดับ NO_x ในเขตเมืองของประเทศอุตสาหกรรมอาจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น บราซิล ชิลี ฮ่องกง และอินเดีย (แม้ว่าในประเทศสิงคโปร์จะลดลง) การแพร่กระจาย NO_x อาจจะเพิ่มขึ้นในประเทศอุตสาหกรรมเหล่านี้ ทั้งนี้เนื่องจากยานยนต์จำนวนมากบนท้องถนนยังมีสภาพเก่าและขาดการบำรุงรักษา

ผลกระทบด้านสุขภาพที่เกิดจาก NO_x และสารมลพิษชนิดอื่นๆ นั้นอาจเลวร้ายยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาบางประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากสภาพอากาศและรูปแบบของลมที่พัดพาทำให้เกิดการหมุนเวียนของสารมลพิษในท้องถิ่น ตัวอย่างเช่น เมืองใหญ่หลายเมืองในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ประสบกับสภาพ 'เกาะความร้อน' โดย

เมื่อเมืองใหญ่ซึ่งมีอุณหภูมิสูงถูกรายล้อมด้วยชนบทที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้เกิดกระแสหมุนวนของอากาศเหนือบริเวณเมืองใหญ่ ซึ่งขัดขวางการกระจายตัวของสารมลพิษออกไปยังบริเวณอื่นๆ ดังเช่น หุบเขาเกลันในประเทศมาเลเซียซึ่งมีกรุงกัวลาลัมเปอร์ ที่คาดว่ามีระดับมลพิษสูงมากกว่า 2 หรือ 3 เท่า เมื่อเทียบกับเมืองใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยที่ระหว่าง ค.ศ. 1970–1982 จำนวนยานยนต์ในมาเลเซียเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 400

WHO ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานสำหรับ NO_2 ไว้ที่ 400 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร/ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง และ 150 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร/ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เกณฑ์ 1 ชั่วโมง กำหนดให้เป็นช่วงเวลาที่ปลอดภัยสำหรับผู้เป็นโรคหืด ส่วนเกณฑ์ 24 ชั่วโมง กำหนดให้เป็นช่วงเวลาที่ปลอดภัยสำหรับการได้รับสารเป็นระยะเวลายาวนาน

GEMS/Air ได้ประเมินความเข้มข้นเฉลี่ยโดยรวมของ NO_2 จาก 42 เมืองใหญ่ได้เป็น 20–90 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และพบว่าเมืองใหญ่ทั้งในประเทศกำลังพัฒนาและประเทศพัฒนาแล้วต่างก็มีค่าเฉลี่ย NO_2 เกินค่ามาตรฐานไปมาก บางประเทศมีความเข้มข้น NO_2 ต่ำสุด ซึ่งพบได้ที่กรุงนิวเดลีและบอมเบย์ ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเนื่องจากความหนาแน่นของการจราจรค่อนข้างต่ำอย่างน่าประหลาดใจ เช่นเดียวกับเมืองเซนต์หลุยส์และฮูสตันในสหรัฐอเมริกาทั้ง ๆ ที่มีการจราจรคับคั่ง เมืองใหญ่อื่น ๆ ที่สำรวจได้นอกจากนี้กว่าร้อยละ 25–30 มีค่าเฉลี่ย NO_2 ที่เกินจากค่ามาตรฐาน 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงของ WHO ทั้งสิ้น

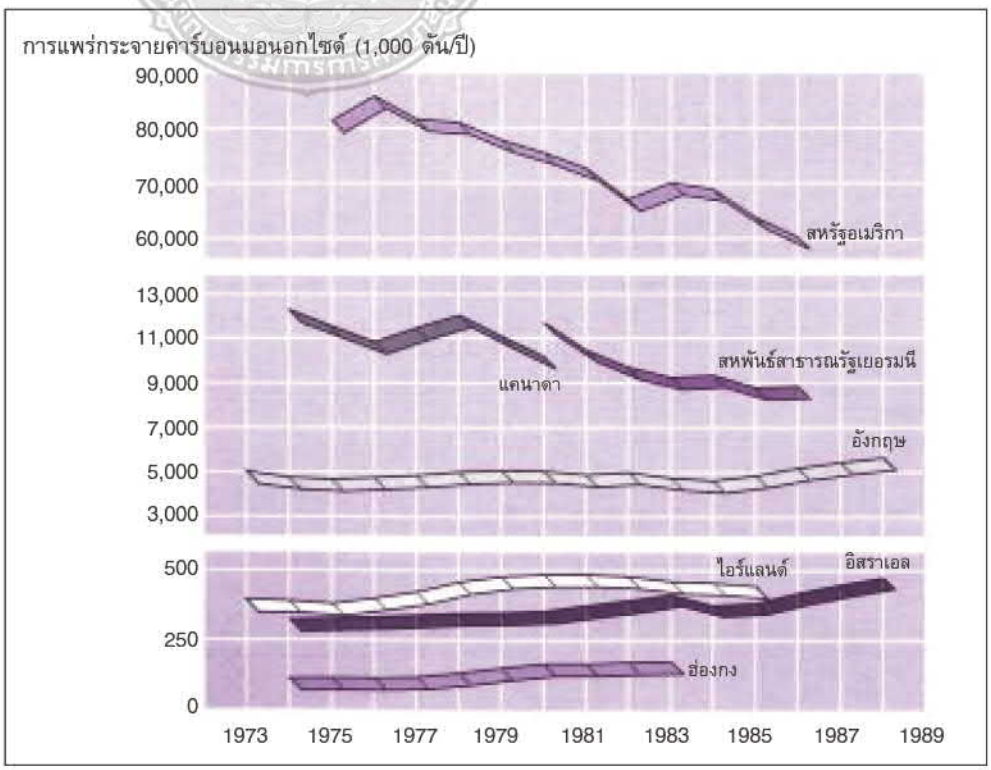
ระดับการหมุนเวียนของสารมลพิษดังกล่าวขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของท้องถิ่นนั้นๆ เช่น การเกิดสภาพหุบเขาจากอาคารสูง สภาพอากาศ (การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้ระดับ NO_2 เปลี่ยนแปลงไปได้) และการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเคมีแสง สถานที่ตั้งของสถานีติดตามตรวจสอบเป็นตัวกำหนดความเข้มข้นที่วัดได้

เนื่องจากข้อมูล (เท่าที่มีอยู่) ส่วนใหญ่ได้มาจากประเทศพัฒนาแล้ว จึงยากที่จะประเมินจำนวนประชากรที่ได้รับ NO_2 ในระดับที่เป็นอันตรายได้ GEMS/Air ประมาณว่า ประชาชนที่อาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ในอเมริกาเหนือและยุโรปราวร้อยละ 15–20 (70–90 ล้านคน) กำลังตกอยู่ในภาวะเสี่ยงอันตรายมากขึ้นทุกที จากการได้รับ NO_2 เป็นจำนวนมากในช่วงระยะเวลาอันสั้น

คาร์บอนมอนอกไซด์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นหนึ่งในสารมลพิษอากาศที่แพร่กระจายอยู่ทั่วไปมากที่สุด คาดว่าการแพร่กระจาย CO ทั่วโลกเฉลี่ย 2,600 ล้านตันต่อปี อาจมีมากกว่าสารมลพิษร้ายแรงชนิดอื่น ๆ ที่แพร่กระจายรวมกันในอากาศ การกระทำของมนุษย์ปล่อย CO ประมาณร้อยละ 60 ของ CO ที่แพร่กระจายไปทั่วโลก หรือประมาณ 1,600 ตันต่อปี จำนวนนี้มาจากการใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง การเผาป่า การเผาทุ่งหญ้า และการออกซิเดชันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งส่วนใหญ่เป็นมีเทน

แหล่งแพร่กระจายคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ใหญ่ที่สุดและทำให้เกิดการแพร่กระจายทั้งหมดในเมืองบางแห่งก็เกิดจากการกระทำของมนุษย์ คือ การจราจร นับตั้งแต่ทศวรรษ 1940 เป็นต้นมา ปริมาณ CO ได้เพิ่มขึ้นตามจำนวนยวดยานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ทศวรรษ 1970 ระหว่าง ค.ศ. 1940–1970 รถยนต์ในสหรัฐอเมริกาเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า ในขณะเดียวกันการแพร่กระจาย CO ในแต่ละปีก็เพิ่มขึ้นจาก 73 ล้านตัน ถึงกว่า 100 ล้านตัน ปัจจุบัน 2 ใน 3 ของการแพร่กระจาย CO ในสหรัฐอเมริกาเป็นผลมาจากการจราจรบนท้องถนน ซึ่งยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ใน ค.ศ. 1977–1988 รถยนต์ในสหรัฐอเมริกาเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 25 และระยะทางในการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนบุคคลของแต่ละบุคคลเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 21

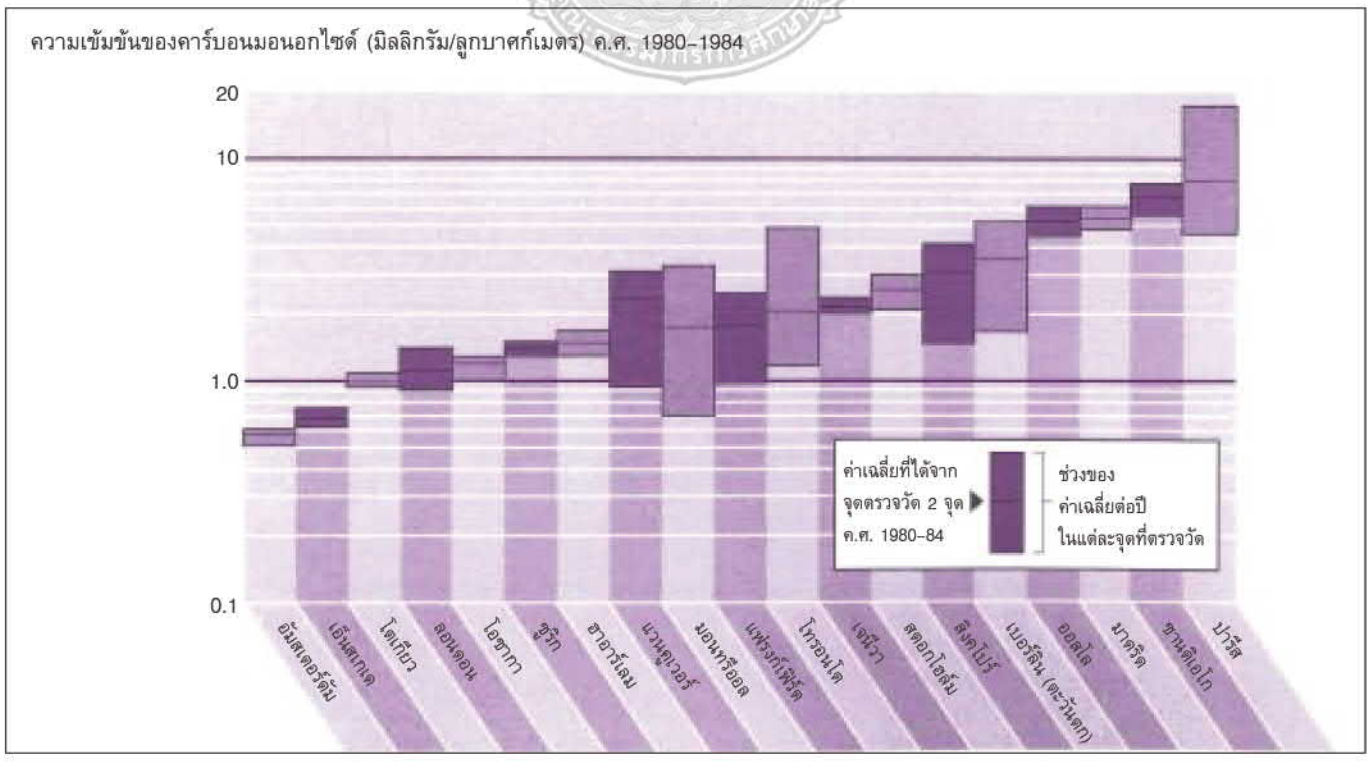


รูปที่ 12 *การควบคุมยานยนต์ที่ปล่อยไอเสียอย่างเข้มงวดในรอบ 15 ปีที่ผ่านมา ทำให้ CO ที่มีอยู่สูงมากในประเทศต่าง ๆ ลดลง เช่น ในสหรัฐอเมริกา ในประเทศอื่น ๆ ที่มีการควบคุมเข้มงวดน้อยกว่า เช่น ไอร์แลนด์ และฮ่องกง ระดับ CO ยังคงเพิ่มขึ้น โปรดสังเกตปริมาณของ CO ในแกนตั้ง*

ความเข้มข้นในแต่ละวันของ CO ที่เพิ่มสูงขึ้นและต่ำลงในพื้นที่ในเขตเมืองนั้น ขึ้นอยู่กับความคับคั่งของการจราจรและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ตัวอย่างเช่น ระดับ CO จะสูงสุดในชั่วโมงเร่งด่วนในช่วงเช้าและช่วงเย็น และมักในสถานที่ที่ปิดทึบ เช่น อุโมงค์ โรงรถ ท่าเรือขนถ่ายสินค้า และอุโมงค์ใต้ดินหนาแน่น ความร้อน หรือการผกผันของอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สารมลพิษเพิ่มความเข้มข้นขึ้นในพื้นที่ที่ต่ำมาก ๆ โดยปกติแล้วชั้นอากาศร้อนพบได้ในบริเวณใกล้พื้นผิวโลก และอากาศที่เย็นกว่าจะอยู่สูงขึ้นไป แต่ในช่วงที่มีอุณหภูมิบรรยากาศผกผันจะเกิดตรงกันข้ามกัน อากาศที่ควรจะลอยขึ้นสูงกลับถูกกักอยู่ใกล้ระดับพื้นดิน จึงทำให้ CO ไม่แพร่กระจายออกไป และโดยปกติแล้ว ในช่วงเช้าความร้อนจะกระจายไปทั่วทุกชั้นในบรรยากาศ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิในทุกชั้นของบรรยากาศจะไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชั้น อย่างไรก็ตามภายใต้สภาพอุตุนิยมวิทยาดังกล่าว บรรยากาศจะอยู่ในภาวะที่สงบไม่มีการหมุนเวียน ทำให้ CO ถูกกักอยู่ ดังนั้นความเข้มข้นของ CO จึงเพิ่มสูงขึ้น

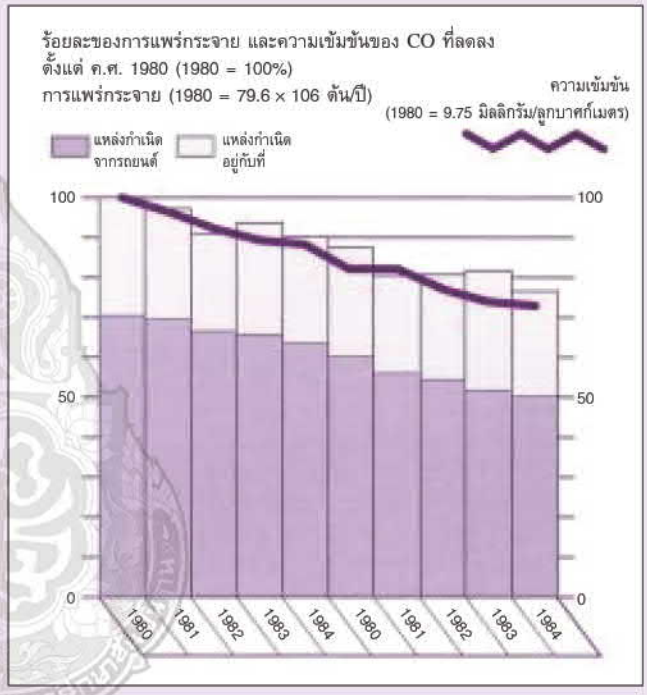
ระดับความเข้มข้นของ CO เท่าที่มีอยู่ ยังไม่ทราบว่ามีผลกระทบใดบ้างต่อพืชหรือวัสดุต่างๆ แต่มีผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของมนุษย์ เมื่อ CO ถูกดูดซึมเข้าในปอดจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน โดยเฉพาะฮีโมโกลบินในเลือด CO จะเปลี่ยนฮีโมโกลบินให้เป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (COHb) ซึ่งทำให้การไหลเวียนของออกซิเจนและการขนส่ง

รูปที่ 13 *ระดับ CO ที่แตกต่างกันมากในเมืองใหญ่ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับความคับคั่งของการจราจรบนท้องถนน กฎหมายที่ควบคุมปริมาณยานยนต์และตำแหน่งที่ตั้งสถานีติดตามตรวจสอบ โปรดสังเกตมาตรส่วนเชิงลอกความเข้มข้นในแกนตั้ง*



CO ในประเทศสหรัฐอเมริกา

ใน ค.ศ. 1989 การคมนาคมขนส่งในสหรัฐอเมริกาทำให้เกิดการแพร่กระจายคาร์บอนมอนอกไซด์ประมาณ 2 ใน 3 ของคาร์บอนไดมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาทั้งหมด ซึ่งลดลงร้อยละ 23 ระหว่าง ค.ศ. 1980–1989 (ตัวเลขจากองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา) ระดับ CO ในสิ่งแวดล้อมโดยเฉลี่ยในระดับประเทศอยู่ที่ร้อยละ 25 ในช่วงเวลาเดียวกัน แม้ว่าจำนวนระยะทางในการเดินทางโดยยานยนต์จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 39 การลดลงของ CO สะท้อนให้เห็นถึงที่ตั้งของสถานีตรวจสอบในบริเวณเมืองใหญ่ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบความสำเร็จอย่างใหญ่หลวงในการลด CO เพราะสหรัฐอเมริกามีมาตรการเข้มงวดในการปล่อยไอเสียจากยานยนต์ (ปัจจุบันนี้สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่เข้มงวดในเรื่องนี้มากที่สุดในโลก) ในทศวรรษเดียวกันนี้การปล่อยสารพิษจากยานยนต์ได้ลดลงอยู่ที่ร้อยละ 33 ในขณะที่การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากแหล่งกำเนิดพลังงานและแหล่งผลิตอื่นๆ ยังคงเท่าเดิม ตั้งแต่ ค.ศ. 1975 มีการเติมสารเร่งการออกซิเดชัน เพื่อลดการปล่อย CO และไฮโดรคาร์บอนในไอเสียซึ่งบังคับให้ใช้กับรถใหม่ทุกคัน เช่นเดียวกับให้มีการติดตั้งเครื่องเร่งปฏิกิริยาสามทาง (three-way catalytic converter) ขจัดไนโตรเจนออกไซด์ตั้งแต่ ค.ศ. 1981 โดยมากกว่าร้อยละ 90 ของยานยนต์ใหม่มีการติดตั้งเครื่องมือควบคุมการปล่อยสารพิษดังกล่าว



ออกซิเจนเข้าสู่เส้นเลือดลดน้อยลง (การสูบบุหรี่ คือ สาเหตุทั่วไปที่ทำให้มีคาร์บอกซีฮีโมโกลบินในเลือดสูง) การหายใจ CO เข้าปอดยังทำให้เกิดปัญหาทางด้านพฤติกรรมซึ่งเกี่ยวกับระบบประสาท และเกิดโรคหัวใจ และการได้รับ CO ในระดับปานกลางจะเกิดผลเสียต่อสุขภาพในระยะสั้นที่สามารถรักษาได้ แต่ถ้ามาก ๆ ไม่ว่าในสภาพแวดล้อมที่ปิดหรือเปิด เกิดอันตรายต่อสุขภาพอย่างถาวรหรืออาจถึงแก่ความตายได้

โดยเฉพาะอย่างยิ่งอันตรายจาก CO ภายในอาคารที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อใช้ประโยชน์ภายในบ้านเรือน เนื่องจากอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มีไม่เพียงพอ

ประชากรในประเทศกำลังพัฒนาที่ต้องพึ่งพาชีวมวล โดยเฉพาะไม้และเศษวัสดุต่างๆ ในการประกอบอาหาร และให้ความร้อน มักได้รับ CO ในระดับสูง เชื้อเพลิงดังกล่าวที่เผาไหม้ด้วยประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 7-8 จะก่อให้เกิด CO ในปริมาณมาก

ตำรวจจราจร พนักงานเฝ้าที่จอดรถ คนขับรถแท็กซี่ คนขับรถบรรทุก และผู้ที่ใช้เวลาอยู่ในสภาพแวดล้อมนอกบ้านในเขตเมือง อาจได้รับ CO ในระดับสูง ระดับ COHb ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1-2 มีผลกระทบต่อพฤติกรรมและทำให้ปัญหาต่อเส้นเลือดหัวใจรุนแรงขึ้น มีหลักฐานแสดงว่าคนที่ได้รับ CO ในระดับค่อนข้างต่ำ จะมี COHb เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 3 ระดับ COHb ที่เกินกว่าร้อยละ 10 จะทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ง่วงนอน ความสามารถในการทำงานลดลง หมดสติ ระบบทางเดินหายใจล้มเหลว และถึงแก่ชีวิตได้ในที่สุด

เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่ามาตรการควบคุมปริมาณ CO นั้นเน้นการควบคุมการแพร่กระจาย CO จากยานยนต์ ปลายทศวรรษ 1960 สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกที่ริเริ่มมาตรการควบคุม CO อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการออกแบบปรับปรุงเครื่องยนต์ และลดการแพร่กระจาย CO จากไอเสีย โดยพัฒนาวิธีการเปลี่ยน CO ในไอเสียให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ วิกฤตการณ์น้ำมันในช่วงทศวรรษ 1970 ช่วยกระตุ้นให้มีการออกแบบและใช้เชื้อเพลิงในยานยนต์อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การแพร่กระจาย CO จึงต่ำลง แคนาดาและอีกหลายประเทศในยุโรป ได้แก่ ออสเตรีย สวีเดน และสวิตเซอร์แลนด์ มีมาตรการควบคุมปริมาณ CO ที่เข้มงวดขึ้น

ผลการควบคุมทำให้ระดับการแพร่กระจาย CO ในอเมริกาเหนือและบางประเทศของยุโรปตะวันตกค่อย ๆ ลดลงหรืออยู่ในระดับที่คงที่ ทั้ง ๆ ที่การจราจรคับคั่งขึ้น การแพร่กระจาย CO จากยานยนต์ในสหรัฐอเมริกาลดลงร้อยละ 33 ใน ค.ศ 1980-1989 (ถึงแม้การแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดที่ตั้งอยู่กับที่ เช่น โรงไฟฟ้า และโรงงานเผาขยะ ยังคงมีอยู่เท่าเดิม) ใน ค.ศ. 1975-1985 การแพร่กระจาย CO ในเนเธอร์แลนด์และเยอรมันตะวันตกลดลงร้อยละ 32 และ 37 ตามลำดับ ในขณะที่การแพร่กระจายในอังกฤษ ไอร์แลนด์ และหลายประเทศในยุโรปตะวันออกยังเพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน

การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณ CO ในประเทศกำลังพัฒนานั้นซับซ้อนยิ่งกว่า เนื่องจากรถรุ่นใหม่ที่ผลิตจากประเทศทางแถบเหนือ ซึ่งใช้เครื่องยนต์ที่ควบคุม NO_x และ CO มากขึ้นนั้น ต้องใช้น้ำมันไร้สารตะกั่วซึ่งหายากในประเทศกำลังพัฒนา ทำให้ใช้รถดังกล่าวไม่ได้ ในขณะเดียวกันประเทศกำลังพัฒนามีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมมากขึ้น ดังนั้นคาดว่าการแพร่กระจายของ CO ในประเทศอุตสาหกรรมใหม่เหล่านี้จะเพิ่มมากขึ้นในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า

เครือข่ายระดับชาติเพื่อตรวจวัด CO มีเพียงไม่กี่แห่ง แต่มีการติดตามตรวจสอบ การแพร่กระจาย CO จากยานยนต์ในเมืองใหญ่ ๆ อย่างกว้างขวาง เมืองใหญ่เพียง 11 เมือง (ส่วนใหญ่ในยุโรปและอเมริกาเหนือ) ที่รายงานแนวโน้มการแพร่กระจาย CO ในแต่ละปีใน ค.ศ. 1973–1985 ปรากฏว่า CO ในทุกเมืองลดลงในแต่ละปี ตั้งแต่ร้อยละ 1.5 ในเจนีวา จนถึงเกือบร้อยละ 8 ในเบอร์ลินตะวันตก มีเพียง 3 ประเทศเท่านั้น (ญี่ปุ่น แคนาดา และเนเธอร์แลนด์) ที่จัดตั้งเครือข่ายติดตามตรวจสอบ CO ระดับชาติในช่วงเวลานั้น การแพร่กระจาย CO ในประเทศทั้งสามลดลงมาก (ญี่ปุ่นมีมาตรการจะลดปริมาณ CO ลงครึ่งหนึ่ง)

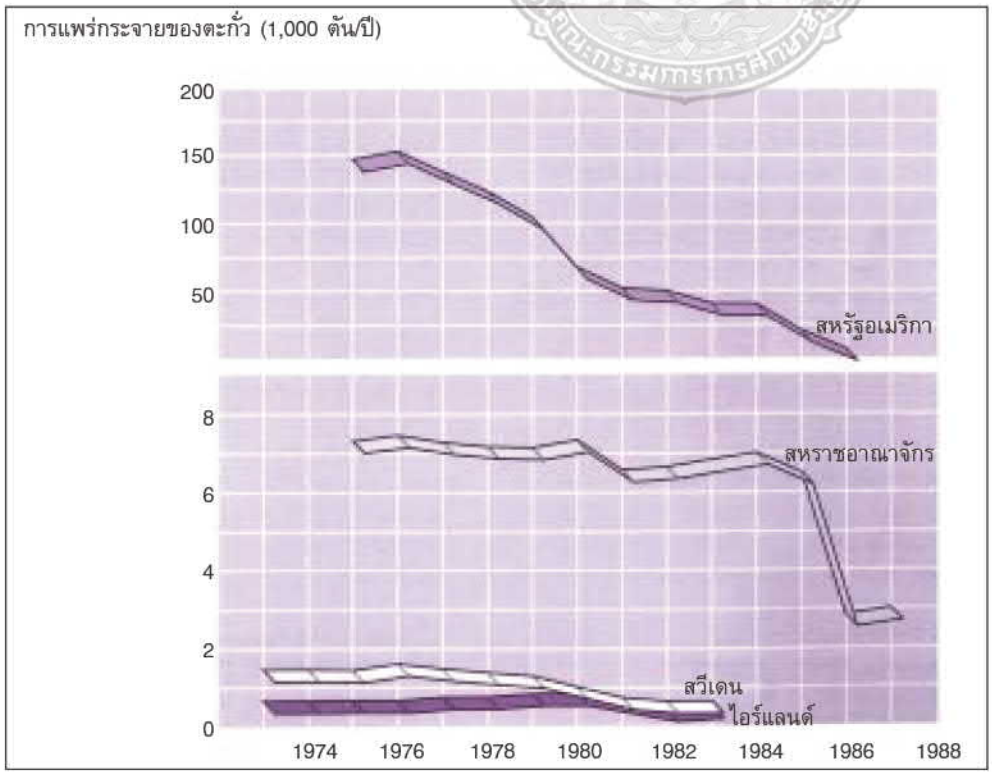
WHO ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของ CO ไว้ที่ 10 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร /8 ชั่วโมง (1 มิลลิกรัมเท่ากับ 10^{-3} กรัม) ใน ค.ศ. 1980–1984 จากการประเมินของ GEMS/Air เกี่ยวกับ CO ที่เกินเกณฑ์มาตรฐานในเมืองใหญ่ 15 เมือง พบว่าบางครั้งมี CO เกินเกณฑ์มาตรฐาน 8 จาก 15 เมืองโดยเฉพาะในอเมริกาเหนือมี CO เกินเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ยเป็นเวลามากกว่า 5 ปี

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินเมืองที่เป็นกลุ่มตัวอย่างเพียงไม่กี่เมืองนั้น เพียงพอจะชี้ให้เห็นได้ว่า ประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ของโลกครึ่งหนึ่งนั้น อาจได้รับ CO ในระดับที่เกินเกณฑ์มาตรฐานระยะสั้นของ WHO

ตะกั่ว

การแพร่กระจายตะกั่วเกิดขึ้นตั้งแต่สมัยก่อนยุคโรมัน โดยการหลอมโลหะที่ไม่มีเหล็กเฟอร์รัส แต่การแพร่กระจายเกิดขึ้นมากที่สุดตั้งแต่สมัยปฏิวัติอุตสาหกรรม ตะกั่วเพิ่มขึ้นสูงสุดตั้งแต่ทศวรรษ 1940 เมื่อนำสารตะกั่วอัลคิลมาเติมในน้ำมันเป็นครั้งแรก การใช้น้ำมันชนิดนี้เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอในทศวรรษ 1970 หลังจากควบคุมการใช้สารตะกั่วในน้ำมัน ปริมาณสารตะกั่วในบรรยากาศจึงลดลง

แนวโน้มการแพร่กระจายของตะกั่วขึ้นอยู่กับรายงานที่ได้บันทึกไว้เพียงไม่กี่ประเทศเท่านั้น (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเทศอุตสาหกรรม) กิจกรรมของมนุษย์ก่อให้เกิดตะกั่วประมาณ 332,000 ตันในทุก ๆ ปี (ตะกั่วจากแหล่งธรรมชาติส่วนใหญ่มาจากฝุ่นที่พัดมาจากภูเขาไฟ ซึ่งตรวจวัดได้ประมาณ 12,000 ตัน) แม้ว่าตะกั่วในน้ำมันรถจะเป็นเพียงร้อยละ 10 ของปริมาณตะกั่วบริสุทธิ์ที่ผลิตขึ้นทั้งหมด แต่ก็สามารถแพร่กระจายได้ถึงร้อยละ 60 ของที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ในเมืองใหญ่ ๆ ที่มีการจราจรคับคั่งและควบคุมปริมาณตะกั่วอย่างไม่มีประสิทธิภาพ หรือไม่ควบคุมเลยนั้น ปริมาณตะกั่วอาจสูงขึ้นถึงร้อยละ 90 การแพร่กระจายตะกั่วเกิดขึ้นได้ในระหว่างการถลุง หลอม และแยกตะกั่วจากสินแร่ และกระบวนการถลุงแร่โลหะอื่น ๆ ที่มีตะกั่วแต่ไม่มีเหล็กเฟอร์รัสเจือปน



รูปที่ 14 *การแพร่กระจายตะกั่วเริ่มลดลงในสองสามประเทศที่ได้รายงานไว้ในการประเมินผลประจำปี ที่สังเกตได้ชัดคือ สหรัฐอเมริกาซึ่งใช้น้ำมันไร้สารตะกั่วมาตั้งแต่ ค.ศ. 1973 โปรดสังเกตช่วงการแบ่งปริมาณในแกนตั้ง*

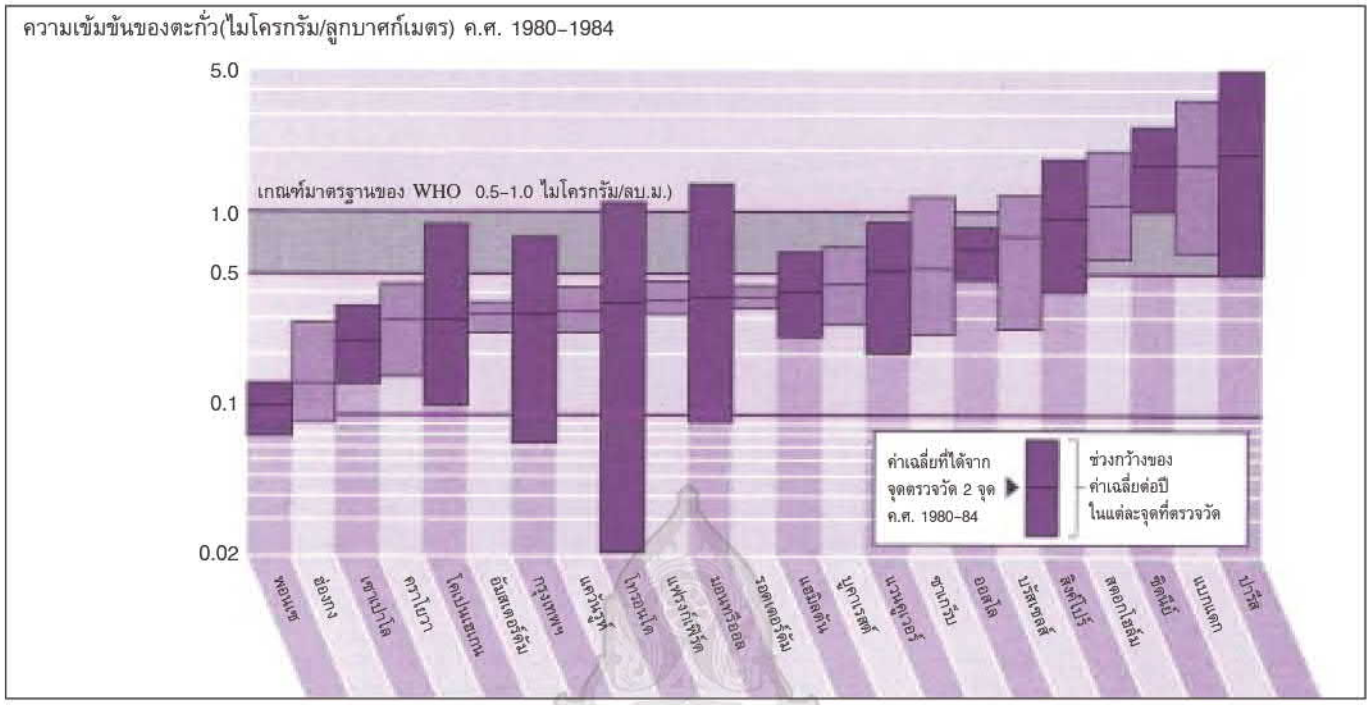
ปริมาณร้อยละ 10 ของตะกั่วที่แพร่กระจายออกมาจากยานยนต์ จะตกค้างอยู่บนท้องถนนภายในระยะทาง 100 เมตร ที่เหลือจะฟุ้งกระจายไปในบริเวณกว้าง ระดับตะกั่วบริเวณเมืองใหญ่จะขึ้นๆ ลงๆ อย่างมาก ขึ้นอยู่กับสภาพทางอุตุนิยมวิทยา รูปแบบและความคับคั่งของการจราจร การวางผังและการออกแบบตัวอาคาร ดังนั้นระดับตะกั่วที่ลอยอยู่ในอากาศที่คนจะได้รับจึงแตกต่างกันไปตามกาลเวลาและสถานที่

มนุษย์ไม่เพียงแต่ได้รับตะกั่วจากการหายใจเอาอนุภาคตะกั่วในบรรยากาศโดยตรงเท่านั้น แต่ยังได้รับตะกั่วจากการดื่มน้ำประปาที่ผ่านท่อตะกั่ว หรือกินอาหารที่ปนเปื้อนตะกั่ว ตะกั่วที่ปนเปื้อนมากับน้ำจะถูกร่างกายดูดซึมได้ง่าย ตะกั่วมีผลกระทบที่รุนแรงต่อเลือดและระบบประสาทของมนุษย์ ภาวะโลหิตจางเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสารพิษตะกั่วในระดับต้นๆ เมื่อได้รับตะกั่วในระยะเวลาที่ยาวนาน ระดับตะกั่วในเลือดจะสูงขึ้นเป็นผลให้สมองผิดปกติหรือเป็นโรคสมองอักเสบเรื้อรัง และตับถูกทำลาย

เด็กมักไวต่ออันตรายจากตะกั่วเป็นพิเศษ มีโอกาสได้รับตะกั่วมากกว่าผู้ใหญ่จากการเลียหรือกินอาหารที่มีตะกั่วปนเปื้อน การที่เด็กมีความไวต่อการได้รับตะกั่วมากกว่าผู้ใหญ่ จึงได้รับกระทบมากกว่า ซึ่งได้รับโดยการหายใจเอาฝุ่นที่ปนเปื้อนตะกั่ว และในบ้านที่เก่าคร่ำคร่า เด็กจะต้องทนทรมานจากการสูดดมสีทาบ้านที่ใช้ตะกั่วเป็นส่วนผสม หรือจากน้ำประปาที่มาจากท่อตะกั่ว เด็กในเมืองใหญ่มีปริมาณตะกั่วในเลือดสูง เพราะได้รับตะกั่วที่แพร่กระจายมาจากการจราจรที่คับคั่ง ระดับตะกั่วในเลือดต่ำที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพของเด็กนั้น ยังไม่ชัดเจนและมีข้อโต้แย้งกันมากขึ้น แม้ตะกั่วในเลือดจะมีระดับต่ำ แต่อาจทำลายระบบประสาทที่ละเอียดอ่อนในเด็กที่ไวต่อการรับตะกั่ว ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาทางอารมณ์และพฤติกรรม

ยังมีข้อโต้แย้งเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดของตะกั่วว่าแหล่งผลิตใดจะทำให้มนุษย์รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา มีการรณรงค์ต่อต้านการใช้น้ำมันที่มีสารตะกั่ว ซึ่งสัมพันธ์กับระดับตะกั่วในเลือดได้ลดน้อยลงด้วย

ระยะ 10 ปีที่ผ่านมา หลังจากที่ตระหนักถึงภัยคุกคามของตะกั่วที่มีต่อสุขภาพแล้ว ประเทศอุตสาหกรรมเกือบทุกประเทศได้ลดปริมาณตะกั่วที่ผสมในน้ำมันลงอย่างต่อเนื่อง ใน ค.ศ. 1973 สหรัฐอเมริกาเป็นหนึ่งในประเทศแรกๆ ที่เริ่มลดตะกั่วในน้ำมัน ใน ค.ศ. 1975 นำน้ำมันไร้สารตะกั่วมาใช้ พร้อมกับกำหนดว่ารถใหม่ทุกคันจะต้องติดตั้งเครื่องเร่งปฏิกิริยาของไอเสีย ในอเมริกามีน้ำมันไร้สารตะกั่วถึงร้อยละ 90 และแทบจะไม่พบน้ำมันที่มีสารตะกั่วขายเลย ใน ค.ศ. 1975 สหรัฐอเมริกาใช้สารตะกั่วในน้ำมันถึง 170,000 ตัน แต่เมื่อถึง ค.ศ. 1989 การใช้สารตะกั่วลดลงเหลือเพียง 7,200 ตัน สหรัฐอเมริกาประสบความสำเร็จอย่างมากในการลดแหล่งแพร่กระจายตะกั่วที่ตั้งอยู่กับที่ลงได้ ใน ค.ศ. 1980–1989 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในสหรัฐอเมริกาลดลงถึงร้อยละ 90

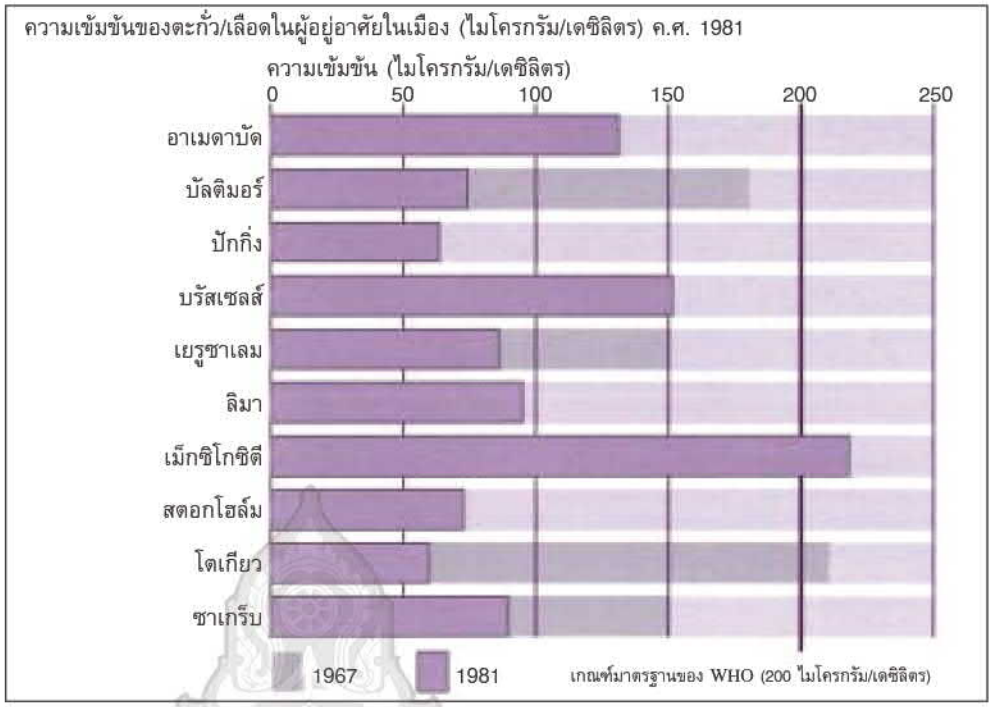


รูปที่ 15 ค่าเฉลี่ยต่อปี การปนเปื้อนของสารตะกั่วที่เกินค่ามาตรฐานของ WHO ในเมืองใหญ่หลายเมืองระหว่าง 1980–1984 เมืองใหญ่ 1 ใน 3 ของโลกประเมินว่ามีตะกั่วอยู่ในระดับที่เป็นอันตราย โปรดสังเกตมาตราส่วนเชิงลอกความเข้มข้นของตะกั่วในแนวตั้ง

ญี่ปุ่นก้าวหน้าไปมาก เปลี่ยนมาใช้น้ำมันไร้สารตะกั่วทั้งหมดใน ค.ศ. 1976 จากข้อมูลของ GEMS พบว่าในบรรดา 7 ประเทศ ญี่ปุ่นเป็นประเทศที่มีค่าเฉลี่ยตะกั่วต่ำที่สุด ในประเทศอังกฤษ ตะกั่วลดลงร้อยละ 58 ใน ค.ศ. 1979–1988 ทั้ง ๆ ที่ใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เหตุที่ลดลงเป็นเพราะลดปริมาณตะกั่วในน้ำมันจากระดับที่อนุญาตให้มีได้ 0.84 กรัม/ลิตร ใน ค.ศ. 1972 เป็น 0.4 กรัม/ลิตร ใน ค.ศ. 1981 และสุดท้ายเป็น 0.15 กรัม/ลิตร ใน ค.ศ. 1985 ผลคือ ระดับตะกั่วในเมืองลดลงถึงร้อยละ 60 ใน ค.ศ. 1976–1985 และลดลงอีกร้อยละ 50 ใน ค.ศ. 1986

ในประเทศที่มีการควบคุมการแพร่กระจายตะกั่วจากปล่องควันจากแหล่งกำเนิดที่ตั้งอยู่กับที่ (เช่นการหลอมโลหะที่ไม่มีเหล็กเฟอร์รัสเจือปน และโรงงานแบตเตอรี่) ทำให้ปริมาณการแพร่กระจายตะกั่วในประเทศกำลังพัฒนาลดลง การควบคุมแหล่งกำเนิดตะกั่วอย่างต่อเนื่องดังกล่าวในประเทศกำลังพัฒนา อาจสำคัญกว่าการควบคุมการแพร่กระจายตะกั่วจากยานยนต์ โรงงานเพียง 1 โรงที่ทำให้เกิดมลพิษตะกั่วอย่างรุนแรง สามารถทำให้ผู้คนจำนวนมากที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นได้รับตะกั่วในระดับสูงเกินมาตรฐาน จนเกิดผลกระทบที่รุนแรงต่อสุขภาพได้

การตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่มีตะกั่วมีขึ้นอย่างกว้างขวางด้วยเหตุผลด้านสุขภาพ แต่แทบจะไม่มีการกำหนดมาตรการตรวจสอบ ในประเทศอังกฤษ แคนาดา เนเธอร์แลนด์ และญี่ปุ่น การวัดตะกั่วเป็นส่วนหนึ่งของข่ายงานตรวจวัดคุณภาพอากาศในเมือง ซึ่งส่วนมากระดับตะกั่วในเขตเมืองของประเทศเหล่านี้ลดลง



รูปที่ 16 *แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารตะกั่วในผู้อยู่อาศัยในเมืองที่อยู่ในโครงการติดตามตรวจสอบระดับตะกั่วในเลือดของ UNEP/WHO ใน ค.ศ. 1979–1981 กรุงเม็กซิโกซิตีมีปริมาณตะกั่วสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานของ WHO ซึ่งกำหนดไว้ที่ 200 มิลลิกรัม/เดซิลิตร โดย 1 ไมโครกรัม/เดซิลิตร มีค่าเท่ากับ 10^{-1} ลิตร กรุงโตเกียวมีปริมาณตะกั่วอยู่ในระดับต่ำสุด เพราะใช้น้ำมันไร้สารตะกั่วมาตั้งแต่ ค.ศ. 1976*

WHO ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ยต่อปีสำหรับการแพร่กระจายของตะกั่วไว้ที่ 0.5–1 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นระดับมากสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อเลือด และเป็นระดับต่ำกว่าระดับที่ก่ออันตราย ในบรรดาเมืองใหญ่ 23 เมืองที่ GEMS/Air ประเมินระดับตะกั่ว มีเมืองที่ระดับตะกั่วต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานจำนวน 15 เมือง เมืองที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 4 เมือง และเมืองที่เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานอีก 4 เมือง

ในขณะที่ประเทศพัฒนาแล้วได้ลดตะกั่วในน้ำมันลง แต่ประเทศกำลังพัฒนายังเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าวน้อยมาก ในแอฟริกา อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ ระดับตะกั่วในน้ำมันยังคงเป็นอยู่เช่นเดียวกับช่วงต้นทศวรรษ 1970 เมื่อประเทศกำลังพัฒนาใช้ยานยนต์บนท้องถนนมากขึ้น มาตรการลดปริมาณตะกั่วในน้ำมันจึงเป็นสิ่งสำคัญประการแรกที่ควรดำเนินการ ในประเทศซาอุดิอาระเบียมีบันทึกข้อมูลระหว่าง ค.ศ. 1983–1984 เกี่ยวกับระดับตะกั่วเฉลี่ยต่อเดือนในใจกลางเมืองมีถึง 9 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ในเมืองเมดาบัด ประเทศอินเดียตะกั่วเฉลี่ยต่อปีบริเวณข้างถนนมีถึง 15 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

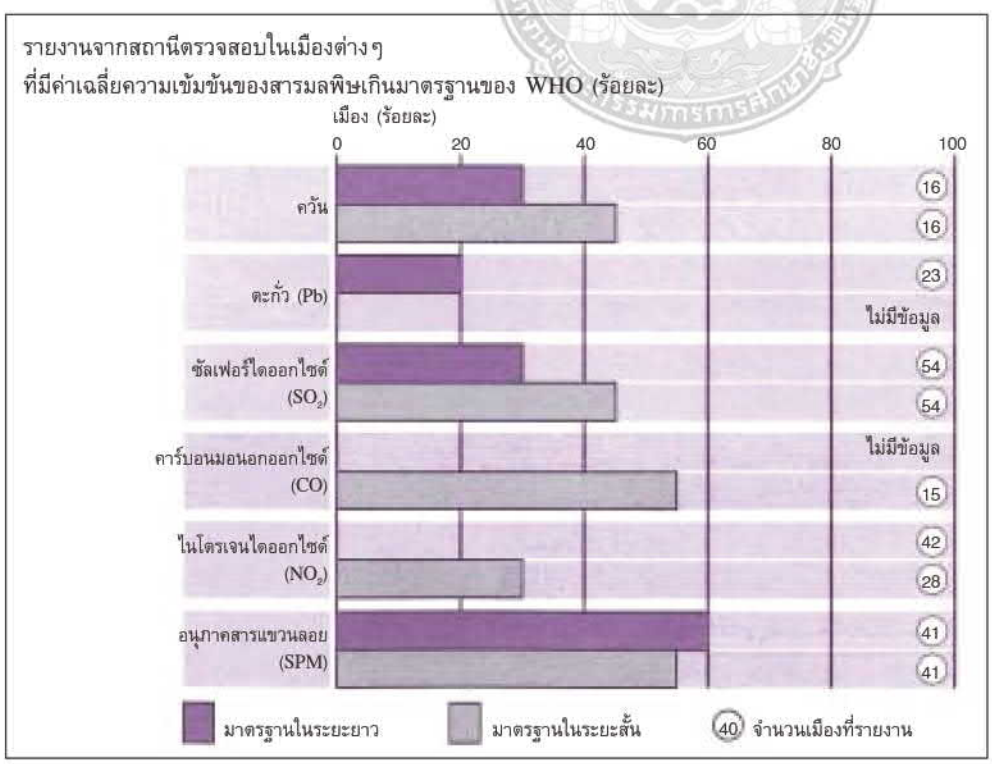
จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า 1 ใน 3 ของประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ของโลก อาจได้รับตะกั่วในเกณฑ์มาตรฐาน หรือสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ปัญหานี้มีแนวโน้มที่จะมีความรุนแรงมากในเมืองใหญ่ของประเทศกำลังพัฒนาที่มีการจราจรคับคั่ง

ข้อสรุปและการควบคุม

ข้อสรุปของ GEMS

หลังจากประเมินข้อมูลเกี่ยวกับสารมลพิษอากาศ 5 ชนิดหลักในเขตเมืองแล้ว GEMS/Air สรุปว่า

- ❒ ยุทธศาสตร์การควบคุมเริ่มได้ผล ทำให้ SO_2 อนุภาคสารแขวนลอย และตะกั่วลดลงในประเทศอุตสาหกรรมทางตะวันตก ซึ่งมีสารมลพิษ 5 ชนิดหลักมากกว่าครึ่งของการปล่อยสารมลพิษในประเทศอุตสาหกรรมทั้งหมด)
- ❒ ข้อมูลเกี่ยวกับสารมลพิษในประเทศกำลังพัฒนายังไม่สมบูรณ์ แต่สามารถชี้ว่าการแพร่กระจายสารมลพิษทั้ง 5 ชนิดกำลังเพิ่มขึ้น
- ❒ มาตรการควบคุม CO และ NO_x ยังไม่กว้างขวาง คาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นในบางประเทศแต่ลดลงในบางประเทศ ส่วน NO_x เพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเป็นเพราะการจราจรบนท้องถนนเพิ่มขึ้นทุกหนทุกแห่ง เนื่องจากแหล่งกำเนิดมีหลายแหล่ง (รถทุกคันบนท้องถนน) การควบคุมจึงซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายสูง มากกว่าครึ่ง (ร้อยละ 55) ของเมืองใหญ่ที่ GEMS ตรวจสอบมี CO ในช่วงระยะเวลาสั้น เกินค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ซึ่งส่วนใหญ่ในบริเวณมีการจราจรคับคั่ง



***รูปที่ 17** แสดงร้อยละของเมืองซึ่งมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของสารมลพิษสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานของ WHO (ปัดเข้าใกล้ร้อยละ 5 มากที่สุด)*

- ❒ เกือบ 2 ใน 3 ของผู้พักอาศัยในเขตเมืองของโลกจากจำนวน 1.8 พันล้านคน อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยต่อปีลดลงหรือสูงกว่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ร้อยละ 20 ของเมืองใหญ่ที่ GEMS ตรวจสอบมีเกินกว่า 150 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร มากกว่า 30 วันใน 1 ปี
- ❒ สำหรับอนุภาคแขวนลอย ผู้พักอาศัยในเขตเมือง 1.4 พันล้านคน (ส่วนใหญ่ในประเทศกำลังพัฒนา) อาจเผชิญอากาศเสียเพียงเล็กน้อย หรืออากาศเสียที่เกินกว่าจะรับได้ เกือบร้อยละ 40 ของเมืองต่างๆ มี SPM ในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานระยะสั้น มากกว่า 30 วันใน 1 ปี
- ❒ แม้ว่าใน 40 เมืองที่ได้รับรายงาน ไม่มีเมืองใดเลยที่มี NO_2 สูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา คือ 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตรต่อปี (ไม่มีเกณฑ์มาตรฐานระยะยาวขององค์การอนามัยโลก) แต่ร้อยละ 10 ของเมืองเหล่านั้นมี NO_2 ใกล้เกณฑ์มาตรฐานอย่างน้อยที่สุด 1 ครั้ง ใน ค.ศ. 1980–1984 และร้อยละ 30 ของเมืองเหล่านั้นมี NO_2 เกินเกณฑ์มาตรฐานระยะสั้นขององค์การอนามัยโลก
- ❒ ระดับตะกั่วในเมืองต่างๆ ที่ได้รับรายงานมาร้อยละ 30 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (ทั้งประเทศพัฒนาแล้วและประเทศกำลังพัฒนา) การลดตะกั่วในน้ำมันทำให้ระดับตะกั่วในเลือดของประชากรในเขตเมืองลดลงอย่างมาก

โดยอุดมคติแล้ว การประเมินคุณภาพอากาศในเมืองควรใช้ข้อมูลเปรียบเทียบที่รวบรวมได้จากเมืองใหญ่ หรือภูมิภาคที่ได้ตรวจสอบ อย่างไรก็ตาม GEMS ยังต้องอาศัยการคาดคะเนการแพร่กระจายสารมลพิษทั่วประเทศจากประเทศพัฒนาแล้ว ซึ่งจะไม่คำนึงถึงความแตกต่างในท้องถิ่น ข้อมูลจึงจำกัดหรือเบี่ยงเบน เพราะขาดสถานีตรวจสอบและการวิเคราะห์ที่คุณภาพไม่แน่นอน

แม้ว่าประเทศพัฒนาแล้วหลายประเทศได้ลดการแพร่กระจาย SO_2 และ SPM แต่โดยภาพรวมแล้วเพียงไม่กี่ประเทศที่ลดการแพร่กระจายของ NO_x แต่ในบางประเทศเพิ่มขึ้น การกลายเป็นอุตสาหกรรมและจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนำไปสู่การจราจรที่คับคั่ง และปล่อย NO_2 เพิ่มขึ้น NO_x ก่อให้เกิดความวิตกกังวล เพราะมีบทบาทสำคัญในการก่อตัวให้เกิดสารเคมีที่ออกซิไดส์ในปฏิกิริยาเคมีแสง เช่น โอโซน

การแพร่กระจาย CO และตะกั่วเพิ่มความวิตกยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา ดังนั้นการวางผังเมืองอย่างรอบคอบเพื่อลดการก่อตัวของสารมลพิษ และเพื่อกำหนดที่พักอาศัยให้ห่างจากบริเวณที่มีการจราจรคับคั่งจึงมีความจำเป็นมากขึ้น

ชั่วโมงเร่งด่วนในจาการ์ต้า ประเทศอินโดนีเซีย รถยนต์และรถบรรทุกที่เพิ่มขึ้นในเมืองใหญ่ในประเทศกำลังพัฒนาคุกคามคุณภาพอากาศในเมือง ทำให้ CO และตะกั่วเพิ่มขึ้นเกินระดับมาตรฐาน

แม้ว่าในประเทศอุตสาหกรรมบางประเทศได้ลดสารมลพิษลงได้ระดับหนึ่งแล้ว (ส่วนใหญ่ทางตอนใต้ของยุโรปและยุโรปตะวันออก) แต่ยังคงเพิ่มขึ้นในบางประเทศ ภาวะมลพิษที่เลวร้ายลงในประเทศกำลังพัฒนา อาทิ ละตินอเมริกา จีน อินเดีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และยุโรปตะวันออกนั้น เป็นที่น่าวิตกอย่างยิ่ง

ใน ค.ศ. 2000 ประชากรโลกทุก 2 คนจะกลายเป็นผู้อาศัยในเขตเมือง และทุก 3 คนจะอาศัยอยู่ในเมืองที่มีประชากรอย่างน้อย 100,000 คน โดยที่ประชากร 8 ใน 10 คนอยู่ในประเทศกำลังพัฒนา ในทางตรงกันข้าม จากการวิเคราะห์การตรวจสอบของ GEMS/Air ในแง่คุณภาพอากาศของเมือง ชี้ว่าจำนวนผู้อยู่อาศัยในเขตเมืองซึ่งเพิ่มขึ้น ๆ จะเป็นสาเหตุแห่งความวิตกกังวลอย่างแท้จริง

มาตรการควบคุม

ดังที่การประเมินของ GEMS/Air ชี้ให้เห็นอย่างเด่นชัดว่า ไม่เพียงแต่จะต้องวัดแนวโน้มของคุณภาพอากาศให้มากขึ้นเท่านั้น แต่ยังมีงานอีกมากที่จำเป็นจะต้องกำหนดมาตรการควบคุมและนำไปใช้ให้ได้ผลด้วย และสร้างมาตรการควบคุมที่ได้ผลด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนา

ในทศวรรษ 1950 มีเพียงมาตรการควบคุมมลพิษอากาศเท่านั้นที่ประเทศอุตสาหกรรมบังคับใช้ โดยกำหนดให้สร้างปล่องควันสูงๆ เพื่อกระจายมลพิษจากอุตสาหกรรมให้พ้นไปจากเขตเมือง นั่นเป็นการแก้ปัญหามลพิษอากาศเพียงเพื่อปัดภาระให้พ้นไปในแต่ละประเทศ และวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวมิใช่วิธีการขจัดมลพิษออกไป ต่อมาได้เกิดความตระหนักว่า จำเป็นต้องมีมาตรการควบคุมที่เข้มงวดและกว้างขวางขึ้น โดยมีเป้าหมายที่สำคัญ คือ ลดการเผาไหม้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลดแหล่งผลิตมลพิษที่ตั้งอยู่กับที่ (โรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม) และยานยนต์บนท้องถนน

ในช่วงเวลากว่า 30-40 ปีที่ผ่านมา ได้มีการพัฒนาวิธีควบคุมมลพิษอากาศ 5 วิธีหลัก คือ

- **การควบคุมก่อนเผาไหม้** ได้แก่ การใช้น้ำมันและถ่านหินที่มีซัลเฟอร์ต่ำ การทำเชื้อเพลิงให้สะอาดบริสุทธิ์ การเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงที่ไม่มีซัลเฟอร์ เช่น ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานนิวเคลียร์ และการลดสารตะกั่วที่เป็นส่วนผสมเพิ่มเติมในน้ำมัน
- **การปรับปรุงวิธีการเผาไหม้** กล่าวคือเปลี่ยนแปลงวิธีการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ใช้เตาเผาที่ปล่อย NO_x ให้น้อยลง และการสันดาปด้วยฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed) ซึ่งสามารถลดทั้งปริมาณ NO_x และ SO_2
- **การควบคุมหลังเผาไหม้** หมายถึงการขจัดสารมลพิษจากปล่องควัน ระบายก๊าซ และการใช้สารเร่งปฏิกิริยาเคมีเพื่อลด NO_x ในสถานีไฟฟ้า และในท่อไอเสียของรถยนต์ เพื่อลดการแพร่กระจาย NO_x, CO และไฮโดรคาร์บอน
- **การใช้กระบวนการใหม่ในอุตสาหกรรม** เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีการพัฒนากระบวนการใหม่ ๆ ในอุตสาหกรรม เช่น เทคนิคการถลุงแร่ โดยใช้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ ปัจจุบันใช้สำหรับการถลุงแร่โลหะที่ไม่มีเหล็กเจือปน ซึ่งวิธีการทั้งหมดนี้จะลดปริมาณการปล่อย SO_2 ได้
- **การอนุรักษ์พลังงาน** หมายถึง การใช้พลังงานอย่างชาญฉลาดโดยลดความต้องการพลังงานและความจำเป็นในการใช้แหล่งกำเนิดพลังงาน ลดการใช้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ ซึ่งจะให้ลดการแพร่กระจายสารมลพิษ

วิธีการดังกล่าวช่วยลดมลพิษอากาศในบางส่วนของโลก แต่ในประเทศกำลังพัฒนา ผู้กำหนดนโยบายต้องเผชิญกับปัญหาพื้นฐาน 2 ประการ คือ ค่าใช้จ่ายสูง และขาดความแน่นอนทางวิทยาศาสตร์ในการควบคุมมลพิษที่ช่วยสร้างความมั่นใจว่านโยบายที่กำหนดให้ผลตามที่คาดการณ์ไว้ จนได้รับความร่วมมือจากอุตสาหกรรมที่ควบคุมหรือไม่

การควบคุมมลพิษมีค่าใช้จ่ายสูง และมีข้อโต้แย้งซ้ำแล้วซ้ำอีกว่าผู้ใดจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการควบคุม ตัวอย่างเช่น การลดมลพิษของกรดซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาที่ซับซ้อน โดยกำหนดให้ประเทศที่ก่อมลพิษต้องลงทุนควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้นให้มากๆ แม้จะทำความเสียหายภายในประเทศนั้นเพียงเล็กน้อย แต่ต้องรับผิดชอบเพราะมลพิษดังกล่าวถูกลมพัดพาไปยังประเทศอื่นๆ

ในทำนองเดียวกัน ยังมีปัญหาในเรื่องสัดส่วนของมลพิษที่มาจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง ซึ่งผู้ก่อมลพิษควรรับผิดชอบค่าใช้จ่ายเพื่อการควบคุมอย่างยุติธรรม ในอุตสาหกรรมที่มีระบบการค้าเสรีที่ไม่เห็นด้วย ได้โต้แย้งรัฐบาลกลางหรือท้องถิ่นที่ออกกฎหมายเข้มงวด ซึ่งจำเป็นต่อการจัดการสิ่งแวดล้อมและการควบคุมมลพิษ ความพยายามที่จะแก้ปัญหายังคงมีต่อไป อันได้แก่ การให้เงินสนับสนุนแก่อุตสาหกรรมที่สร้างมลพิษโดยให้ใช้ใบอนุญาตการค้าที่มีข้อกำหนดการควบคุมมลพิษไว้ และให้คำนวณค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุนไปในการลดมลพิษโดยอาศัยกลยุทธ์ต้นทุน-กำไรเป็นหลัก

วิธีที่สอง เนื่องจากความไม่แน่นอนด้านวิทยาศาสตร์ ซึ่งไม่เพียงแต่เฉพาะข้อมูลการแพร่กระจายของมลพิษเท่านั้นที่มักเปลี่ยนแปลงและไม่สมบูรณ์ แต่ยังรวมถึงความไม่เข้าใจของเราว่าสารมลพิษต่าง ๆ ทำปฏิกิริยาต่อกันอย่างไร และมีผลกระทบต่อพืช สัตว์ และชีวิตของมนุษย์อย่างไรบ้าง

ในการกำหนดนโยบายควบคุมมลพิษอากาศ จึงได้พิจารณาถึงประเด็นต่อไปนี้

- มลพิษอากาศเกิดจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่งซึ่งแตกต่างกัน จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง จากวันหนึ่งไปยังอีกวันหนึ่ง และจากเวลาหนึ่งไปยังอีกเวลาหนึ่ง
- ความเข้มข้นของสารมลพิษไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ปล่อยออกมาเท่านั้น แต่ยังรวมถึงความสามารถของชั้นบรรยากาศที่จะดูดซับสารมลพิษหรือกระจายมลพิษนั้นออกไป
- ผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพมนุษย์แตกต่างไปตามวิถีชีวิต สภาพความเป็นอยู่ และระดับสารที่ได้รับ

เป็นที่ประจักษ์ยิ่งขึ้นทุกทีว่าการแก้ปัญหามลพิษอากาศในเขตเมืองซึ่งแต่ละประเทศต่างคนต่างทำและทำในระยะเวลาสั้น ๆ นั้นไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะแก้ปัญหาได้ การแก้ปัญหามลพิษต้องพิจารณาเป็นองค์รวมและควรป้องกันมากกว่าแก้ไข การลงทุนควบคุมมลพิษจะต้องคำนึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นกับปัญหาสุขภาพในระยะยาวและระยะสั้นควบคู่กันไป สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการวางแผนล่วงหน้าด้วยความรอบคอบ และวางโครงการเพื่อลดผลกระทบ และอันตรายของมลพิษต่อสุขภาพของมนุษย์ การประเมินมลพิษอากาศของ GEMS/Air ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปัญหาคุณภาพอากาศในหลายพื้นที่ของโลกเสื่อมลง เนื่องจากยังมีปัญหาเกี่ยวกับมาตรการควบคุมมลพิษอยู่ภายในตัวเอง

ปล่องควันขนาดสูงเป็นเพียงทางหนึ่งในสองสามทางแก้ปัญหามลพิษในเขตเมือง เมื่อทศวรรษ 1950 มาตรการในอนาคตจะต้องมุ่งกำจัดมากกว่าปล่อยให้กระจายออกไป

แหล่งอ้างอิง

Central Bureau of Statistics of Norway. *Environmental Statistics 1986.* Oslo, 1986.

Central Statistical Office. *Concise Statistical Yearbook of Poland.* Warsaw, 1984.

Central Statistical Office of Finland. *Environmental Statistics 1985.* Helsinki, 1986.

Department of the Environment. *Digest of Environmental Protection and Water Statistics No. 9.* London, Her Majesty's Stationery Office, 1986.

Environmental Protection Service. *The Environment in Israel.* Ministry of the Interior. Jerusalem, 1979.

Environment Canada. *Emissions and Trends of Common Air Contaminants in Canada: 1970 to 1980.* Report EPS 7/AP/17, Ottawa, 1986.

Hungarian Central Statistical Office. *Environmental Statistics 1975–80.* Budapest, 1981.

Ministère de l' Environnement. *L' Etat de l' Environement 1985.* Paris, La Documentation française, 1985.

Ministero dell' Ambienta. *Nota preliminaire alla relazione sullo stato dell' Ambienta.* Tabella 1, 7 elaborata da ENEA Direzione Centrale Studi, 1987.

Netherlands Central Bureau of Statistics. *Environmental Statistics of the Netherlands.* The Netherlands, Voorburg, 1987.

Organization for Economic Cooperation and Development. *Environmental Data Compendium.* Paris, 1985.

Rapport sur la Stratégie de lutte contre la Pollution de l' Air. Berne, Switzerland, septembre 1986.

Staatsuitgeverij. *Statistisch Zakboek 1985.* The Hague, CBS-publicatie, 1985.

Repetto, R. (Ed.) *Global possible resources, development and the new century.* New York, New Haven and London, Yale University Press, 1985.

State Statistical Bureau. *Materials on Chinese Social Statistics.* Beijing, Zhongguo Tongi Chubanshe, 1985.

Umweltbundesamt. *Daten zur Umwelt 1986/87.* Erich Schmidt Berlin, Verlag, 1986.

United Nations ECE. *Environment Statistics in Europe and North America.* New York, UN, 1987.

United Nations ECE. *National Strategies and Policies for Air Pollution Abatement.* New York, UN, 1987.

United Nations Environment Programme. *Environmental Data Report.* Oxford, Basil Blackwell Ltd, 1987.

United Nations Environment Programme/World Health Organization. *Assessment of human exposure to lead: comparison between Belgium, Malta, Mexico and Sweden.* Stockholm, Karolinska Institute, 1985.

United Nations Environment Programme/World Health Organization. *Global Environment Monitoring System : Assessment of Urban Air Quality.* UNEP/WHO, 1988.

United States Environmental Protection Agency. *National Air Quality and Emissions Trends Report.* Washington, US EPA, 1984 (450/4-86-001).

WHO/UNEP GEMS *Assessment of Urban Air Quality* (Geneva, 1988)

World Resources Institute and the International Institute for Environment and Development, in collaboration with the United Nations Environment Programme. *World Resources 1988-89.* New York, Basic Books, 1988.

ผู้จัดทำ

ผู้แปล

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์งามจิตต์ ไชยวุฒิ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์นัยนา ทองศรีเกตุ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพียงใจ ผลโภค
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชรี สพโชค
5. นางนิธิพันธ์ ยากี
6. นางสาวจุรีรัตน์ หอมจันทน์

ผู้ตรวจ

รองศาสตราจารย์ ดร. จริยา สุจารีกุล

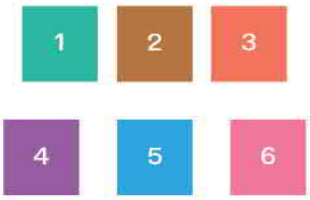
บรรณาธิการที่ปรึกษา นางสาวจินตนา ใบกาซูยี
ผู้อำนวยการสถาบันการแปลหนังสือ

บรรณาธิการอำนวยการ นางสาวอุษณีย์ วัฒนพันธ์

บรรณาธิการ นางสาวมะลิ เกือบสันเทียะ

พิมพ์ที่โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว นายวิชัย พยัคฆโส ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา พ.ศ. 2544

ผู้แปล



1 นัยนา ทองศรีเกตุ
2 งามจิตต์ ไชยวุฒิ
3 นิธิพันธ์ ยากี
4 พัชรี สพโชค
5 เพียงใจ ผลโภค
6 จุรีรัตน์ หอมจันทน์

หนังสือชุดสิ่งแวดล้อมของ UNEP/GEMS