

รายงานการศึกษา

**การจัดทำมาตรฐานสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ :
ระยะที่ 1 การทบทวนกระบวนการกำหนด
ค่ามาตรฐาน**

**Environment and Health Standard Setting:
Phase 1 Reviews of Standard Setting Process**

โดย

ผศ. ดร. นพ. พงศ์เทพ วิวรรณะเดช และคณะ

สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) สนับสนุนการวิจัย

2545

รายงานการศึกษา

การจัดทำมาตรฐานสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ : ระยะที่ 1 การทบทวนกระบวนการกำหนด ค่ามาตรฐาน

คณะนักวิจัย

ผศ. ดร. นพ. พงศ์เทพ วิวรรณะเดช คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
นางสาว รัชณี ไผทสิทธิ์ สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) สนับสนุนการวิจัย

2545

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัย จนทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานต่างๆ ที่มีหน้าที่ในการจัดทำมาตรฐานตามกฎหมายที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการให้ข้อมูล และขอขอบพระคุณ อธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฯ และทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในการจัดเวทีระดมสมองผู้เชี่ยวชาญ จนทำให้การวิจัยครั้งนี้เป็นไปด้วยความราบรื่น และบรรลุตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

คณะผู้วิจัย

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานต่างๆ ทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย การวิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคในการจัดทำค่ามาตรฐาน รวมทั้งจัดทำข้อเสนอแนะแนวทางในการจัดทำค่ามาตรฐานที่ดีและเหมาะสมสำหรับประเทศไทย รูปแบบการศึกษาได้แก่ การทบทวนเอกสารจากงานวิจัยและการค้นคว้าจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่รับผิดชอบด้านการจัดทำมาตรฐานในหน่วยงานต่างๆ และการจัดเวทีระดมสมองผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรม

คำว่า “มาตรฐาน” (Standard) หมายถึง จิตจำกัณฑ์ใช้ในการควบคุมสารเคมี สารที่เป็นโลหะ ฯลฯ มิให้มีการปลดปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงการห้ามโดยเด็ดขาดด้วย และ “กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน” (Standard Setting Process) หมายถึง กระบวนการต่างๆ ที่ทำให้ได้มาซึ่งค่ามาตรฐานดังกล่าว จากการศึกษาในหลายๆ ประเทศพบว่ามีการใช้คำที่มีความหมายคล้ายคลึงกับคำว่า “มาตรฐาน” แตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการกำหนดค่ามาตรฐานนั้น แต่โดยทั่วไปค่ามาตรฐานอาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ค่ามาตรฐานที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานด้านสุขภาพ หมายถึง ค่ามาตรฐานที่ได้มาโดยผ่านการประเมินจากผลกระทบที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ของสารมลพิษที่สนใจ และ ค่ามาตรฐานที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการประเมินบนผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศวิทยา ในแง่ของกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน พบว่าประเทศและองค์กรต่างๆ มีวิธีที่แตกต่างๆ กันไป แต่พอสรุปขั้นตอนที่มีคือ (1) การทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนองของสารมลพิษที่สนใจ โดยใช้เครื่องมือที่สำคัญจากการประเมินความเสี่ยงสุขภาพ (2) กำหนดระดับผลกระทบทางสุขภาพที่ยอมรับได้ โดยอาศัยข้อมูลทางระบาดวิทยา รวมทั้งข้อมูลการศึกษาจากสัตว์ทดลอง เพื่อให้ได้ค่า “ระดับต่ำสุดที่ยังสังเกตพบผลเสียต่อสุขภาพ” (lowest observable adverse effect level-LOAEL) และปัจจัยความปลอดภัย (safety factor) และ (3) การกำหนดค่ามาตรฐานของสารมลพิษนั้น โดยจะต้องพิจารณาว่าสารนั้นเป็นสารก่อมะเร็งหรือไม่ใช่สารก่อมะเร็ง รวมทั้งความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ กฎหมาย การเมือง ฯลฯ ซึ่งจะต้องพิจารณาในบริบทของแต่ละประเทศหรือท้องถิ่นเป็นกรณีๆ ไป

จากการทบทวนการกำหนดค่ามาตรฐานขององค์กรหรือประเทศต่างๆ พบว่า องค์การอนามัยโลกมีบทบาทที่สำคัญในการกำหนดค่ามาตรฐานที่เรียกว่า “คำแนะนำ” (guideline) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยใช้หลักการประเมินความเสี่ยงสุขภาพ และตั้งอยู่บนพื้นฐานการปกป้องสุขภาพของมนุษย์ แม้ในผู้ที่มีความเสี่ยงที่

สุดท้ายนี้ค่าแนวทางถือเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประเทศต่างๆ ในการพิจารณานำไปใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐานของตน องค์การถัดมาที่บทบาทสำคัญในทวีปยุโรปได้แก่ สหภาพยุโรป ซึ่งมีการกำหนดค่ามาตรฐานที่เรียกแตกต่างกันไป คือ ค่าจำกัด (limit values) ซึ่งจะกำหนดระยะเวลาที่ต้องบรรลุตามมาตรฐาน และถือเป็นระดับสูงสุดตามกฎหมายที่หากมีการละเมิดหรือเกินไปจากค่านี้ จะเป็นผลให้เกิดกระบวนการทางกฎหมายที่ต้องมีมาตรการการแก้ไขโดยรีบด่วน ค่าแนวทาง (guidelines) โดยมีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับขององค์การอนามัยโลก ค่าความทน (threshold) กำหนดขึ้นสำหรับสารมลพิษบางชนิด เช่น โอโซน เพื่อปกป้องสุขภาพมนุษย์และพืชผล โดยมีการกำหนดระดับต่างๆ ที่จะต้องดำเนินการมาตรการต่างๆ เช่น การแจ้งข้อมูลแก่ประชาชน การเตือนภัย เป็นต้น สำหรับประเทศสหราชอาณาจักร จะมีหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบการกำหนดค่ามาตรฐาน เช่น ในกรณีมาตรฐานอากาศ ได้แก่ UK Expert Panel on Air Quality Standards หรือ EPAQS ซึ่งรัฐบาลจะนำเอาค่าที่เสนอโดย EPAQS ไปกำหนดเป็นค่าเป้าหมาย (objectives) โดยพิจารณาด้านต้นทุน-ผลประโยชน์ที่จะได้ และต้องการให้ค่าที่กำหนดเป็นแนวทางที่แต่ละท้องถิ่นไปกำหนดเป็นค่ามาตรฐานของตนเองเพื่อให้เกิดความเหมาะสมและสอดคล้องกับพื้นที่แต่ละแห่ง อีกประเทศหนึ่งได้แก่ สหรัฐอเมริกา หน่วยงานที่มีบทบาทโดยตรงคือ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (US Environmental Protection Agency) ซึ่งจะใช้การประเมินความเสี่ยงสุขภาพเป็นเครื่องมือสำคัญในการกำหนดค่ามาตรฐาน และถือเป็นเกณฑ์ที่หลายๆ ประเทศนำไปใช้ และกำหนดค่ามาตรฐานเป็น 2 ประเภทคือ คือ ค่ามาตรฐานที่ตั้งอยู่บนความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี (technology-based standards) เช่น ค่ามาตรฐานที่อาศัยเทคโนโลยีที่สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากที่สุด (maximum achievable control technology-MACT) และค่ามาตรฐานที่อิงกับสุขภาพ (health-based standards) เช่น ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งชาติ (national ambient air quality standards-NAAQS) สำหรับประเทศแคนาดา เนื่องจากมีระบอบการปกครองที่ให้อำนาจหน่วยงานในการตรากฎหมายเป็น 2 ส่วนคือ รัฐบาลกลาง (Federal Government) และรัฐบาลระดับภูมิภาค (Provincial Government) ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานที่เรียกว่า “ค่าเป้าหมาย” ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แนวทางของ EPA เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาค่ามาตรฐาน และถือเป็นเป็นค่าอ้างอิงสำหรับหน่วยงานรัฐทั่วประเทศที่จะนำไปดำเนินการออกเป็นกฎหมายต่อไป สุดท้ายคือประเทศออสเตรเลีย หน่วยงานหลักคือ “สภาการวิจัยทางการแพทย์และสาธารณสุขแห่งชาติของออสเตรเลีย” (Australian National Health and Medical Research Council-NHMRC) เป็นหน่วยงานกลางกำหนดค่าแนวทางสุขภาพ (health guideline) โดยยึดเอาแนวทางขององค์การอนามัยโลกและ US EPA เป็นสำคัญ ซึ่งหลังจากหน่วยงานกลางได้กำหนดเป็นค่ามาตรฐานกลางแล้ว แต่ละรัฐก็จะกำหนดค่ามาตรฐานภายใต้ค่ามาตรฐานกลาง และบังคับใช้ภายในรัฐปกครองของตน

การสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบด้านการจัดทำมาตรฐานในหน่วยงานต่างๆ ของประเทศไทย

จากการทบทวนเอกสารและสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบด้านการจัดทำมาตรฐานในหน่วยงานต่างๆ ของประเทศไทย พบว่า กฎหมายหลักด้านการกำหนดค่ามาตรฐานคือ พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 โดยองค์กรที่ดูแลคือ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และหลักเกณฑ์การกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมจะต้องอาศัย หลักวิชาการ กฎเกณฑ์ และหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ เป็นพื้นฐานร่วมกับความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี สิ่งที่น่าสังเกตคือ กฎหมายฉบับนี้จะมุ่งเน้นการกำหนดค่ามาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีกฎหมายอื่นๆ ที่ให้อำนาจการกำหนดค่ามาตรฐานไว้กับหน่วยงานที่รับผิดชอบ ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ กฎหมายควบคุมที่แหล่งกำเนิด ได้แก่ พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และกฎหมายควบคุมที่สภาพแวดล้อม ได้แก่ พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541 เป็นต้น สำหรับกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานพบว่า มาตรฐานที่กำหนดขึ้นส่วนใหญ่อาศัยข้อมูลจากต่างประเทศ และแต่ละหน่วยงานจะกำหนดค่ามาตรฐานเป็นเอกเทศจากกันตามอำนาจที่กำหนดในกฎหมายแต่ละฉบับ เป็นผลให้ไม่มีรูปแบบการกำหนดค่ามาตรฐาน การควบคุมและการแก้ไขทบทวนเป็นการเฉพาะ

การจัดเวทีระดมสมองผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง

การจัดเวทีระดมสมองผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยโดยสรุป เป็น 4 ประการคือ (1) ควรมีหน่วยงานกลางระดับชาติที่เป็นอิสระทำหน้าที่ในการกำหนดหลักเกณฑ์และแนวทางการกำหนดค่ามาตรฐาน การทบทวนแก้ไข และการมีส่วนร่วมของประชาชน เพื่อให้หน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่ตามกฎหมายได้ยึดถือเป็นแนวทางเดียวกัน (2) นอกจากนี้หน่วยงานกลางตามข้อ 1 ควรมีบทบาทในการพิจารณาเลือกค่ามาตรฐานที่อาจจำเป็นต้องมีการศึกษาในคนไทยและทำการศึกษาเพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย และ (3) หน่วยงานที่กำหนดค่ามาตรฐานควรจะได้พิจารณาความเหมาะสมของค่ามาตรฐานเพื่อให้เกิดผลในการบังคับได้ รวมทั้งอาจต้องพิจารณาการกระจายอำนาจการตัดสินใจในการพิจารณาปรับค่ามาตรฐานให้กับท้องถิ่น เพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานที่ตรงกับความต้องการของชุมชนมากที่สุด (4) ควรมีการรณรงค์สร้างความตระหนักถึงความสำคัญของค่ามาตรฐาน รวมทั้งความหมายและการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (5) ควรจะได้มีการบรรจุเรื่องการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนในการจัดทำค่ามาตรฐานเข้าไว้ในพระราชบัญญัติสุขภาพแห่งชาติ

Executive Summary

The objectives of this study are to review the literature relating to the standard setting processes both in Thailand and overseas, to analyze problems and obstacles in standard settings, and to propose recommendations regarding the appropriate and practical process for Thailand. The methodology included literature reviews both in relevant documents and Internet searching, in-depth interviews with the concerned officials responsible for standard setting in various organizations, and a workshop to brainstorm the involved experts.

Literature Reviews

The “**standard**” is referred to any regulatory limit, including a full ban, on chemical or metal substances emitted to the environment, and the “**standard setting process**” means the various processes by which these regulatory limits or standards are set. As to literature reviews, the word “standard” has been used differently depending on the objectives of such standard settings; however, it can be categorized into two groups: the “health-based standard” referring to a standard that was obtained from human health impact assessment of the interested hazards, and the “environment-based standard” that was derived from the impact assessment of environment or ecological system. Regarding the standard setting process, we found that various countries and organizations have used different approaches, but it could be summarized into 3 related steps: (1) understanding the dose-response relationship of the concerned hazard using the pivotal tool of health risk assessment, (2) setting the health-related acceptable level using epidemiological studies and animal experiments to obtain the lowest observable adverse effect level (LOAEL) and safety factors, and (3) standard setting of that hazard by considering whether it is carcinogenic or non-carcinogenic, including the possibility in terms of technology, economy, law, and politics in the context of individual country or local area in the case-by-case basis.

The review of standard setting processes of various countries and organizations showed that **the World Health Organization** plays an active role in setting standards so-called “guidelines” which were developed using the principle of health risk assessment and were on the basis of human health protection even in the most vulnerable sub-population. They are intended to be used as the basis for

the development of national standards. Another actively role-playing organization is **the European Union** that has set a variety of standards such as: the **“limit values”** with which the time frame to achieve will be attached and which are subject to take urgent legal remedial process if they are exceeded; the **“guidelines”** which are intended to be the same as the WHO’s; the **“thresholds”** which are set for certain hazards, e.g., ozone to protect human health and plants and there are different levels that, if exceeded, certain actions must be taken such as informing and alerting the public. Regarding **the United Kingdom**, there are organizations responsible for setting standards. For example, the UK Expert Panel on Air Quality Standards (EPAQS) is responsible for air quality standard settings that the government will take the cost-effectiveness into consideration before issuing the **“objectives”** intended to be adapted by the local governments to suit the local circumstances. Another country is **the United States of America** where the responsible organization is the Environmental Protection Agency (US EPA). The US EPA uses the health risk assessment as an important tool in standard settings and the standards have been utilized in many countries. In the US there are two kinds of standards: the **technology-based standards**, e.g., the maximum achievable control technology standards, and the **health-based standards**, e.g., the national ambient air quality standards (NAAQS). In **Canada**, as a Constitutional Monarchy, Canada’s legislative powers are split between the Federal and Provincial governments; therefore, the **“objectives”** based on the US EPA’s standards are issued as the references for the nation’s governmental organizations to enact their own laws. Finally, in **Australia**, there is also an organization called **“the Australian National Health and Medical Research Council”** (NHMRC) responsible for setting the health guidelines, mostly based on the WHO’s guidelines and US EPA’s standards. These guidelines are intended as the references for states to set their own standards and enforce within their boundaries.

In-depth Interviews with the Concerned Officials Responsible for Standard Setting in Various Organizations in Thailand

The results of literature reviews and in-depth interviews with the concerned officials responsible for standard setting in various organizations in Thailand showed that the key law of standard setting is the Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act, B.E. 2535, under which the National Environment Board has been authorized to set the standards. The basis used in this act is the scientific evidence and possibility in terms of economic, social and technological aspects. It should be noted that this act emphasizes on the environmental standard setting only. Other laws that empower

related agencies to set the standards could be grouped into 2 categories: **source controlling laws**, e.g., the Industry Act, B.E. 2535, the Building Control Act, B.E. 2522; **environment controlling laws**, e.g., the Labor Protection Act, B.E. 2541. It was found that the standards set by the concerned agencies were based mostly on other countries' standards. Additionally, since they are authorized under the different acts they set the standards with their own format of standard setting process, amendments, and controlling system.

Brainstorming Workshop

The experts in the workshop had provided valuable recommendations concerning the appropriate standard setting in Thailand, which can be broadly categorized into 5 groups: (1) a national independent organization should be set up to lay criteria and guidelines of standard setting, standard review and amendment, and people participation process in order to guide the authorized agencies to the same format; (2) the organization in (1) should be authorized to select the standards that should be necessarily set in the Thai context in terms of studies in order to obtain an appropriate standard of Thailand; (3) the authorized agencies should re-consider the appropriateness of issued standards—specifically the effectiveness of enforcement. In addition, the decision-making process should be decentralized to the local areas in order to obtain the most appropriate standards that suit the public's needs; (4) the nation-wide campaigns to convince people to realize the importance, meaning, and applications of standards should be conducted; and (5) the people participation in standard setting process should be imposed in the National Health Act.

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนและวิเคราะห์กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานต่างๆ ทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย เพื่อจัดทำข้อเสนอแนะแนวทางในการจัดทำค่ามาตรฐานที่ดีและเหมาะสมสำหรับประเทศไทย รูปแบบการศึกษาได้แก่ การทบทวนเอกสารจากงานวิจัยและการค้นคว้าจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบด้านการจัดทำมาตรฐานในหน่วยงานต่างๆ และการจัดเวทีระดมสมองผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาพบว่าหน่วยงานในต่างประเทศมีแนวทางในการกำหนดค่ามาตรฐานที่คล้ายคลึงกัน โดยอาศัยเครื่องมือที่สำคัญได้แก่ การประเมินความเสี่ยงสุขภาพร่วมกับข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ค่ามาตรฐานที่หน่วยงานต่างๆ กำหนดขึ้นมักจะถือว่าเป็นค่าแนวทางที่แต่ละท้องถิ่นสามารถนำไปปรับใช้เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและมีผลในการบังคับใช้ สำหรับการกำหนดค่ามาตรฐานในประเทศไทย พบว่า มีหลายหน่วยงานที่รับผิดชอบโดยอาศัยอำนาจภายใต้กฎหมายที่แตกต่างกัน ทำให้ไม่มีรูปแบบการกำหนด การแก้ไขทบทวน และการติดตามตรวจสอบที่แน่นอน จึงมีข้อเสนอแนะว่า ควรจะมีหน่วยงานกลางระดับชาติที่เป็นอิสระทำหน้าที่ในการกำหนดหลักเกณฑ์และแนวทางการกำหนดค่ามาตรฐาน การทบทวนแก้ไข และการมีส่วนร่วมของประชาชน รวมทั้งการพิจารณาเลือกค่ามาตรฐานที่อาจจำเป็นต้องมีการศึกษาในคนไทยและทำการศึกษาเพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย และอาจต้องพิจารณาการกระจายอำนาจการตัดสินใจเกี่ยวกับการกำหนดค่ามาตรฐานให้กับท้องถิ่นในอนาคต รวมทั้งการกำหนดประเด็นเรื่องการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนในการจัดทำค่ามาตรฐานไว้ในพระราชบัญญัติสุขภาพแห่งชาติ

Abstract

The objectives of this study are to review and analyze the standard setting processes both in Thailand and overseas, in order to propose recommendations regarding the appropriate and practical process for Thailand. The methodology included literature reviews both in relevant documents and Internet searching, in-depth interviews with the concerned officials responsible for standard setting in various organizations, and a workshop to brainstorm the involved experts. The results showed that many countries and organizations have the similar process, i.e., they use health risk assessment as a pivotal tool including scientific evidences to set the standards. Most of the standards are intended to be the guidelines for local authorities to modify in order to fit the public's needs and to be enforceable. In Thailand, it was found that there are a variety of standard-setting agencies authorized under the different acts resulting in an inharmony of standard setting process, amendments, and monitoring. It is suggested that a national independent organization be set up to lay criteria and guidelines of standard setting, standard review and amendment, and people participation process and to select the standards that should be necessarily set in the Thai context in terms of studies in order to obtain an appropriate standard of Thailand. In addition, the decentralization of decision-making process of standard setting to the local areas should be considered in the future, including that the people participation in standard setting process should be imposed in the National Health Act.

สารบัญ

บทที่ 1 ความเป็นมาและวิธีการดำเนินการวิจัย	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
ประเด็นคำถามในการศึกษา	3
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
ขอบเขตและแนวทางการศึกษา	4
บทที่ 2 บทนำ	5
บทนำ	5
ความหมาย	6
ระดับปลอดภัย ค่าปัจจัยความปลอดภัย ผลกระทบที่มีและไม่มีค่าความทน	6
องค์กรที่กำหนดค่ามาตรฐาน	8
บทที่ 3 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพ	10
บทนำ	10
การประเมินความเสี่ยงสุขภาพ	10
ความหมายของ “ความเสี่ยง” และ “การประเมินความเสี่ยง”	11
ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง	12
การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification)	13
การศึกษาทางวิทยาการระบาด (Epidemiological Studies)	13
การศึกษาในสัตว์ทดลอง (In Vivo Animal Bioassays)	13
การศึกษาในหลอดทดลองและเซลล์เพาะเนื้อเยื่อแบบระยะสั้น (Short-Term In Vitro Cell and Tissue Culture Tests)	14
การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี (Structure-Activity Relationship Analysis)	14
การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)	14
1. การเฝ้าคุมการสัมผัส (Exposure Monitoring)	14
2. แบบจำลองการสัมผัส (Exposure Modeling)	16

การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Assessment)	22
การวัดขนาดสัมผัส (Dose Determination)	23
การวัดการตอบสนอง (Response Measurement)	24
การหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Estimation)	24
แบบจำลองขนาดสัมผัสและการตอบสนอง (Dose-Response Models)	25
ค่าความทน (Threshold)	28
การอนุมานผลระหว่างสปีชีส์ (Interspecies Extrapolation)	29
การอนุมานผลระหว่างการสัมผัสขนาดสูงสู่การสัมผัสขนาดต่ำ (High-to-Low Dose Extrapolation)	29
เกณฑ์การประเมินความเสี่ยงของหน่วยงานในสหรัฐอเมริกา	29
ลำดับชั้นของการเลือกข้อมูล (Hierarchy of Data Selection)	30
การคำนวณค่ามาตรฐานความปลอดภัยจากการศึกษาในสัตว์ทดลองหรือมนุษย์	31
การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization)	31
หลักการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Principles of Risk Characterization)	32
บทสรุป	34
บทที่ 4 กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของต่างประเทศ	35
บทนำ	35
กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ	38
เกณฑ์การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง	40
การกำหนดระดับผลกระทบด้านสุขภาพที่ยอมรับได้	42
การกำหนดค่ามาตรฐานของสารมลพิษ	47
หน่วยงาน/องค์กรที่กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ	48
องค์การอนามัยโลก	48
องค์การอนามัยโลกประจำยุโรป	48
เกณฑ์สำหรับผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็ง	49
เกณฑ์การเลือกค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่ยังสังเกตพบผลเสียต่อสุขภาพ (Lowest-observed adverse-effect level-LOAEL)	50
เกณฑ์การเลือกปัจจัยความไม่แน่นอน (Uncertainty factors)	50
เกณฑ์การเลือกค่าเฉลี่ยเวลา (Averaging times)	50
เกณฑ์การพิจารณาผลกระทบต่อประสาทรับรู้สัมผัส (Sensory effects)	51
เกณฑ์สำหรับผลกระทบที่เป็นมะเร็ง	51
การประเมินการก่อให้เกิดมะเร็งเชิงปริมาณ	51

การประเมินความแรงของการก่อกวนเชิงปริมาณ	52
พัฒนาการของกระบวนการกำหนดค่าแนวทาง	52
ความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนอง	55
การเปลี่ยนจากค่าแนวทางเป็นค่ามาตรฐาน	55
ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ	56
ค่าปัจจัยความไม่แน่นอน	58
การวิเคราะห์ต้นทุนและผลได้และปัจจัยอื่นๆ	59
ประเทศสหราชอาณาจักร	60
สหภาพยุโรป	64
ประเทศสหรัฐอเมริกา	67
ค่ามาตรฐานที่อาศัยเทคโนโลยีที่สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากที่สุด (Maximum Achievable Control Technology-MACT)	67
ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งชาติ (National Ambient Air Quality Standards-NAAQS)	70
การกำหนดค่ามาตรฐานในประเทศแคนาดา	71
บริบทของรัฐธรรมนูญ	71
รัฐบาลกลาง (Federal Government)	72
รัฐบาลระดับภูมิภาค (Provincial Government)	72
ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ	72
กระบวนการกำหนดค่า NAAQO	73
บทสรุป	75
บทที่ 5 กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มของต่างประเทศ	76
การกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก	76
การกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่มขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา	77
ค่ามาตรฐานน้ำดื่ม	78
ผู้ที่ต้องปฏิบัติตามมาตรฐานน้ำดื่มแห่งชาติปฐมภูมิ	78
ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน	79
กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่ม	79
การปฏิบัติตามค่ามาตรฐานปฐมภูมิใหม่	82
ข้อพิจารณาพิเศษสำหรับระบบน้ำสาธารณะที่มีขนาดเล็ก	82
การกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่มของประเทศออสเตรเลีย	83
กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน	84
การทบทวนค่ามาตรฐานในประเทศออสเตรเลีย	84

บทที่ 6 กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานของประเทศไทย	85
บทนำ	85
ค่ามาตรฐานที่มีการประกาศใช้แล้ว	90
มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม	92
ที่มาและวัตถุประสงค์	92
กระบวนการจัดทำค่ามาตรฐาน	92
มาตรการควบคุมกำกับ	93
มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน	93
ที่มาและวัตถุประสงค์	93
กระบวนการจัดทำค่ามาตรฐาน	93
การทบทวนค่ามาตรฐาน	94
มาตรการในการควบคุมกำกับ	94
มาตรฐานน้ำบาดาล	94
ที่มาและวัตถุประสงค์	94
กระบวนการจัดทำค่ามาตรฐาน	95
มาตรการในการควบคุมกำกับ	95
มาตรฐานความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน	96
ที่มาและวัตถุประสงค์	96
มาตรการควบคุมกำกับ	97
มาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด	97
ที่มาและวัตถุประสงค์	97
กระบวนการจัดทำค่ามาตรฐาน	98
มาตรการควบคุมกำกับ	98
มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป	99
ที่มาและวัตถุประสงค์	99
กระบวนการจัดทำค่ามาตรฐาน	99
มาตรฐานด้านเสียงและความสั่นสะเทือน	99
ที่มาและวัตถุประสงค์	99
กระบวนการจัดทำค่ามาตรฐาน	100
มาตรการควบคุมกำกับ	100
มาตรฐานคุณภาพอากาศที่ระบายออกจากปล่อง	101
ที่มาและวัตถุประสงค์	101

กระบวนการจัดทำมาตรฐาน	101
มาตรการควบคุมกำกับ	101
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	102
ที่มาและวัตถุประสงค์	102
กระบวนการจัดทำมาตรฐาน	102
มาตรการควบคุมกำกับ	102
บทที่ 7 การจัดเวทีระดมสมองผู้เชี่ยวชาญ	103
บทที่ 8 บทสรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย	106
บทสรุปและอภิปราย	106
ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย	107
เอกสารอ้างอิง	108
ภาคผนวก ก.	112

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงหน่วยที่นิยมใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในตัวกลางต่างๆ	20
ตารางที่ 2 สูตรทั่วไปในการประมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับ	20
ตารางที่ 3 ผลกระทบด้านสุขภาพชนิดเฉียบพลันและเรื้อรังของสารมลพิษทางอากาศที่พบบ่อย	35
ตารางที่ 4 กลไกความเป็นพิษของสารมลพิษทางอากาศ	43
ตารางที่ 5 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของ EPAQS	60
ตารางที่ 6 ค่าแนวทางคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลกสำหรับยุโรป (แก้ไขครั้งที่สอง ปี ค.ศ. 1996)	61
ตารางที่ 7 “คำเป้าหมาย” ที่กำหนดในแผนกลยุทธ์คุณภาพอากาศแห่งชาติ (National Air Quality Strategy)	62
ตารางที่ 8 ค่าจำกัดและค่าแนวทางของสหภาพยุโรปสำหรับสารมลพิษต่างๆ	64
ตารางที่ 9 ค่าความทนของโอโซนที่ระดับต่างๆ	65
ตารางที่ 10 ตัวอย่างค่าจำกัดของการรับอนมอดอกไซด์ของประเทศต่างๆ ในยุโรป	66
ตารางที่ 11 แสดงค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งชาติ (NAAQS) ของประเทศสหรัฐอเมริกา	71
ตารางที่ 12 รายชื่อผู้ที่ให้ข้อมูลการจัดทำมาตรฐานสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย	113

สารบัญรูป

รูปที่ 1 แสดงเส้นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสและการตอบสนองของสารก่อมะเร็ง (เส้น A) และ สารที่ไม่ก่อมะเร็ง (สาร B) _____	23
รูปที่ 2 แสดงแผนภูมิกระบวนการจัดการคุณภาพอากาศ _____	37
รูปที่ 3 แสดงรูปแบบการดำเนินการกำหนดค่ามาตรฐานและการควบคุมกำกับ ของประเทศไทย ____	89

สารบัญถ้องข้อความ

ถ้องข้อความที่ 1 ชนิดของผลกระทบด้านสุขภาพ.....	38
ถ้องข้อความที่ 2 ชนิดของค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ.....	39
ถ้องข้อความที่ 3 ค่ามาตรฐานที่อาศัยเทคโนโลยีการควบคุมที่สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากที่สุด	69

บทที่ 1

ความเป็นมาและวิธีการดำเนินการวิจัย

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอดีตที่ผ่านมามนุษย์อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุล การดำรงชีวิตประสานสอดคล้องและให้ความเคารพต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกลมกลืน ดังจะเห็นได้ว่าคนไทยในสมัยก่อนให้ความสำคัญพลึงสิ่งแวดล้อมว่าเป็นผู้มีพระคุณดุจแม่ เช่น พระแม่ธรณี แม่น้ำ และมีประเพณีที่แสดงออกซึ่งความเคารพบูชาต่อสิ่งแวดล้อมตามภาคต่างๆ ทั่วประเทศ แต่นับตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมามนุษย์เริ่มมองสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนไป จากการมองว่าเป็นผู้มีพระคุณและให้ความสำคัญเคารพบูชามาเป็นมองว่าเป็นเพียงวัตถุที่สามารถกอบโกยและเอาประโยชน์มากที่สุด ด้วยทรศนะเช่นนี้ทำให้สิ่งแวดล้อมของโลกเลวร้ายลงเรื่อยๆ ปัญหามลพิษเกิดขึ้นทุกแห่งและเริ่มก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าแม้แต่มนุษย์เอง สิ่งแวดล้อมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น อากาศ น้ำ ดิน อาหารถูกปนเปื้อนไปด้วยสารพิษต่างๆ จนยากแก่การแก้ไข สำหรับประเทศไทยนับตั้งแต่แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับแรก (พ.ศ. 2504–2509) เป็นต้นมาได้ก่อให้เกิดการพัฒนาและเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างมาก แต่ในระยะแรกประเทศไทยซึ่งก็เช่นเดียวกับประเทศอื่นๆ ทั่วโลก ที่มิได้ตระหนักถึงความสำคัญและความจำเป็นที่จะต้องมีนโยบายและแผนงานป้องกันและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วย ซึ่งยังผลให้เกิดการรกร้างใช้ทรัพยากรธรรมชาติอันเป็นการทำลายคุณภาพของระบบนิเวศและทำให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม ความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจซึ่งเห็นได้จากดัชนีรายได้ประชาชาติ จึงมิได้สะท้อนให้เห็นความสูญเสียและสูญเปล่าของทรัพยากรธรรมชาติและเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม รายได้ของประชากรที่เพิ่มพูนขึ้นแม้จะช่วยให้ประชาชนมีของกินและของใช้มากขึ้น แต่ก็ทำให้คุณภาพของชีวิตลดน้อยถอยลง อันเนื่องมาจากความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมและการเสียคุณภาพของธรรมชาติซึ่งมีคุณค่าที่ประเมินมิได้และยากที่จะฟื้นฟูให้กลับสู่สภาพเดิมได้ และเมื่อไม่นานมานี้ประเทศต่างๆ ทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยต่างหันมาสนใจปัญหาสิ่งแวดล้อม มีการทุ่มเทเงินจำนวนมากเพื่อการศึกษาวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม ควบคู่ไปกับการประชุมระดับนานาชาติหลายครั้งเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การประชุมสุดยอดว่าด้วยสิ่งแวดล้อมโลก (Earth Summit) ที่กรุงริโอเดอจาไนโร ประเทศบราซิล เมื่อปี ค.ศ. 1992 และครั้งล่าสุดที่กรุงโยฮันเนสเบิร์ก ประเทศอัฟริกาใต้ เมื่อปี ค.ศ. 2002 แสดงให้เห็นว่ามนุษย์ได้พยายามแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะเลวร้ายลงเรื่อยๆ มาตรการอีกอย่างหนึ่งที่กำหนดขึ้นเพื่อปกป้องสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในระบบนิเวศรวมทั้งสุขภาพของมนุษย์ด้วยก็คือ การกำหนดค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นบรรทัดฐานวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมและเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการลดระดับสารมลพิษต่างๆ ลงให้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอันจะเป็นหลักประกันว่าสิ่งมีชีวิต

ต่างๆ รวมทั้งมนุษย์จะปลอดภัยจากภัยคุกคามของสารมลพิษ ประเทศไทยมีการประกาศใช้พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ซึ่งในมาตราที่ 13 ได้กำหนดให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติเสนอนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และนโยบายที่เกี่ยวกับการกำหนดค่ามาตรฐานกำหนดไว้ในข้อ 5.2 คือ

“5.2 ควบคุม ป้องกัน และขจัดปัญหาภาวะมลพิษ โดยให้คุณภาพน้ำ คุณภาพอากาศ รวมทั้งเสียงและความสั่นสะเทือนในแหล่งต่างๆ อยู่ในระดับมาตรฐานที่เหมาะสม และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เทศบาลและสุขาภิบาลทั่วประเทศ มีระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวม ระบบกำจัดมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลที่ถูกสุขลักษณะ และมีระบบการจัดการของเสียอันตราย และสารอันตรายที่มีประสิทธิภาพ”

นอกจากนี้ ในมาตรา 32 กฎหมายยังให้อำนาจคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม และมาตรา 55 ให้รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษและโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มีอำนาจกำหนดมาตรฐานควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิดอีกด้วย แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยได้ยอมรับว่าค่ามาตรฐานเป็นกลไกหนึ่งในการควบคุมสารมลพิษต่างๆ ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

ปรากฏการณ์อันหนึ่งที่พบและเป็นจริงกับสิ่งคุกคามส่วนมากก็คือเมื่อมนุษย์หรือสัตว์ทดลองได้รับสิ่งคุกคามดังกล่าวเข้าไปจำนวนหนึ่งจะเริ่มแสดงอาการของการเกิดพิษขึ้น และความถี่หรือความรุนแรงของการเกิดพิษจะมากขึ้นเมื่อขนาดที่ได้รับเพิ่มขึ้น แม้ลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของสิ่งคุกคามและผลกระทบด้านสุขภาพที่สนใจก็ตาม ลักษณะดังที่ได้กล่าวมาแล้วก็มักจะเป็นจริงเสมอ ความสำคัญประการหนึ่งของการประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (dose-response assessment) คือสามารถนำไปสู่การกำหนดค่ามาตรฐานที่เหมาะสมในมนุษย์ได้ โดยการกำหนดค่ามาตรฐานจะดูที่ผลกระทบด้านสุขภาพ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็ง (noncarcinogenic effect) และผลกระทบที่เป็นมะเร็ง (carcinogenic effect) โดยทั่วไปเราถือว่าผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็งย่อมมีระดับค่าความทน (threshold) ซึ่งเป็นระดับที่แบ่งระหว่างการเกิดหรือไม่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ในขณะที่ผลกระทบที่เป็นมะเร็งไม่มีระดับค่าความทนหมายความว่าทุกระดับของการได้รับสิ่งคุกคามย่อมมีโอกาสก่อให้เกิดมะเร็งได้ทั้งสิ้น จากนั้นก็หาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรที่ได้โดยมีหลักอยู่ว่าถ้าข้อมูลมีมากพอและเป็นข้อมูลที่ได้จากแต่ละบุคคลก็สามารถใช้วิธีการทางชีวสถิติทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่เรียกว่าการหาความสัมพันธ์เชิงถดถอย (regression analysis) หากข้อมูลมีไม่มากพอก็อาจใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีการศึกษาไว้แล้วและมีหลักฐานบ่งชี้ว่ามีความเหมาะสมกับชนิดของสิ่งคุกคามและผลกระทบด้านสุขภาพที่กำลัง

ศึกษา จากนั้นขั้นตอนสุดท้ายคือการประเมินหาค่ามาตรฐานโดยการดูว่าผลกระทบด้านสุขภาพที่กำลังสนใจคืออะไร หากเป็นผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็งก็ให้ใช้ค่าความทนเป็นค่ามาตรฐาน แต่หากผลกระทบเป็นมะเร็งก็ต้องหาระดับการสัมผัสที่ก่อให้เกิดโอกาสเสี่ยงของการเป็นมะเร็งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (เช่น 1 ใน 1 ล้าน) ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาเป็นกรณีไปโดยดูความเหมาะสมในหลาย ๆ ด้านประกอบกัน เช่น ความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ความยอมรับในสังคม ฯลฯ สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงด้วยเสมอคือ การศึกษานั้น ๆ เป็นการศึกษาในมนุษย์หรือสัตว์ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการปรับค่ามาตรฐานที่ได้ด้วยค่าความปลอดภัยหรือค่าความไม่แน่นอน (safety or uncertainty factor) ตามความเหมาะสม จะเห็นได้ว่าการกำหนดค่ามาตรฐานย่อมจะแปรเปลี่ยนไปตามความเหมาะสมของแต่ละประเทศ ซึ่งมักจะมีปัจจัยในการกำหนดค่ามาตรฐานที่แตกต่างกัน การศึกษาหาค่ามาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับคนไทยจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งवाद เพื่อเป็นหลักประกันว่าค่าดังกล่าวสามารถใช้ยึดถือเป็นมาตรฐานในการปกป้องสุขภาพอนามัยของประชาชนชาวไทยได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามการกำหนดค่ามาตรฐานที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับกำหนดผลกระทบสุขภาพที่ต้องการว่าเป็นชนิดใด เพราะสิ่งคุกคามชนิดหนึ่งๆ อาจก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพได้หลายชนิด การกำหนดชนิดของผลกระทบสุขภาพที่เฉพาะเจาะจงจึงมีความสำคัญซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการวินิจฉัยที่แน่นอนถูกต้อง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนอกจากจะเป็นประโยชน์ในการประเมินการสัมผัสกับการตอบสนองที่ถูกต้องแล้ว ยังเป็นประโยชน์ในการคำนวณค่าทดแทน (compensation) แก่ผู้ที่ได้รับความเสียหายอีกด้วย แต่เนื่องการศึกษาวิจัยเพื่อกำหนดเกณฑ์การวินิจฉัยโรคนั้นเนื่องจากสิ่งแวดลอมในปัจจุบันยังมีไม่มากนักจึงควรจะได้มีการศึกษาเพื่อกำหนดเกณฑ์การวินิจฉัยตามความสำคัญของปัญหาที่พบบ่อยในประเทศไทย

ประเด็นคำถามในการศึกษา

1. ปัจจุบัน ประเทศไทยมีระบบในการจัดทำค่ามาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอย่างไร มีหน่วยงานใดบ้างที่รับผิดชอบ
2. ปัญหาและอุปสรรคในการจัดทำค่ามาตรฐานคืออะไร
3. ค่ามาตรฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันเหมาะสมหรือไม่ เพราะเหตุใด
4. แนวทางในการจัดทำค่ามาตรฐานที่ดีและเหมาะสมควรเป็นอย่างไร

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อทบทวนกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานต่างๆ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ
2. เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคในการจัดทำค่ามาตรฐาน
3. เพื่อจัดทำข้อเสนอแนะแนวทางในการจัดทำค่ามาตรฐานที่ดีและเหมาะสมสำหรับประเทศไทย

ขอบเขตและแนวทางการศึกษา

ในการศึกษานี้มีรายละเอียดดังนี้

1. ทบทวนกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานต่างๆ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ
2. วิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคในการจัดทำค่ามาตรฐานของประเทศไทย
3. จัดประชุมระดมสมองผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำค่ามาตรฐาน
4. จัดทำข้อเสนอแนะแนวทางในการจัดทำค่ามาตรฐานที่ดีและเหมาะสมสำหรับประเทศไทย

บทที่ 2

บทนำ

บทนำ

ในระยะเวลาไม่นานมานี้ประเทศทั่วโลกต่างตื่นตัวที่จะปกป้องสิ่งแวดล้อม โดยมีงานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งไปสู่การค้นหาสารมลพิษ เป็นผลให้สหภาพยุโรป สหราชอาณาจักร สหรัฐอเมริกา และรัฐบาลรวมทั้งหน่วยงานต่างๆ ทั่วโลกพยายามหาวิธีการเฝ้าระวัง ควบคุม และป้องกันสิ่งแวดล้อมด้วยการกำหนดกฎเกณฑ์หรือมาตรฐานสิ่งแวดล้อม เพื่อควบคุมระดับสารมลพิษเหล่านั้นในตัวกลางต่างๆ เช่น อากาศ น้ำ ดิน ตัวอย่างเช่น องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Standards Organization-ISO) สถาบันมาตรฐานแห่งชาติของอเมริกา (American National Standards Institute-ANSI) สถาบันมาตรฐานอังกฤษ (British Standards Institute-BSI) ได้ทำการพัฒนา เผยแพร่ และตรวจสอบให้มีการปฏิบัติตามค่ามาตรฐานแห่งชาติและระหว่างประเทศ สำหรับภาคอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่

ค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อมได้สอดแทรกเข้าไปในชีวิตในทุกๆ ด้าน นับตั้งแต่การควบคุมสารปนเปื้อนในดิน ซึ่งจะช่วยให้ความปลอดภัยในน้ำดื่มและอาหารต่างๆ ตลอดจนการปลดปล่อยไอเสียจากรถยนต์ซึ่งช่วยลดผลกระทบในระบบทางเดินหายใจของเด็กซึ่งอาจกำลังวิ่งเล่นอยู่ในโรงเรียน และการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตกระดาษที่เราใช้เขียน ฯลฯ ดังนั้นค่ามาตรฐานก็คือสิ่งซึ่งใช้บังคับในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อให้เกิดมลพิษ เพื่อให้คงไว้หรือปรับปรุงคุณภาพชีวิตไปในทางที่ดีขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูง โดยทั่วไปค่ามาตรฐานมักจะกำหนดในรูปของ “ค่าจำกัดสูงสุด” (upper limit) ซึ่งเป็นระดับที่สารมลพิษจะเกินไปไม่ได้ หากเกินผู้ก่อมลพิษย่อมจะต้องรับผิดชอบหรืออาจถูกลงโทษ อย่างไรก็ตามค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อมอาจกำหนดเพื่อกำหนดประโยชน์ของสารบางอย่างในสิ่งแวดล้อม จึงกำหนดเป็น “ค่าจำกัดต่ำสุด” (lower limit) เช่น ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำซึ่งกำหนดโดยองค์การสิ่งแวดล้อมของสหราชอาณาจักร เป็นต้น

ความหมาย

คำว่า “มาตรฐาน” หมายถึง จีດจำกัดที่ใช้ในการควบคุมสารเคมี สารที่เป็นโลหะ ฯลฯ มิให้มีการปลดปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงการห้ามโดยเด็ดขาดด้วย และคำว่า “การกำหนดค่ามาตรฐาน” หมายถึง กระบวนการต่างๆ ที่ทำให้ได้มาซึ่งค่ามาตรฐานดังกล่าว

ค่ามาตรฐานอาจแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ

1. ค่ามาตรฐานที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานด้านสุขภาพ หมายถึง ค่ามาตรฐานที่ได้มาโดยผ่านการประเมินจากผลกระทบที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ของสารปนเปื้อนที่สนใจ
2. ค่ามาตรฐานที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการประเมินบนผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศวิทยา อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติมักจะมีการพิจารณาผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไป
3. ค่ามาตรฐานที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานด้านเทคโนโลยี เช่น ค่าจำกัดของสารมลพิษในอากาศหรือน้ำ ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานด้าน เทคโนโลยีที่มีอยู่และให้ผลทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีที่สุด (best available technology economically achievable) แม้ว่าค่ามาตรฐานชนิดนี้จะดูเหมือนว่าคำนึงเฉพาะแต่ผลทางเทคโนโลยีและเศรษฐศาสตร์เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงโดยเบี่ยงลัดแล้วก็ยังยึดเอาผลกระทบด้านสุขภาพหรือสิ่งแวดล้อมหรือทั้งสองเป็นสำคัญ

ระดับปลอดภัย ค่าปัจจัยความปลอดภัย ผลกระทบที่มีและไม่มีค่าความทน

หากย้อนดูประวัติศาสตร์ของการกำหนดค่ามาตรฐานจะพบว่ามีความซับซ้อนมากขึ้นเรื่อยๆ แต่ส่วนมากจะมุ่งที่การกำหนดระดับของสารปนเปื้อนที่ “ปลอดภัย” หรือ “ยอมรับได้” ในระยะเริ่มแรกประเทศอุตสาหกรรมหลายประเทศมักใช้หลักฐานการคงสภาพในสิ่งแวดล้อมหรือการก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์หรือสัตว์ป่าเป็นเกณฑ์ในการห้ามการใช้สารเคมีบางชนิด (เช่นยาฆ่าแมลง DDT และสารเคมีกลุ่ม PCBs) การห้ามการใช้สารเคมีดังกล่าวถือเป็นตัวอย่างของ “มาตรฐาน” ที่พบว่าสารเหล่านี้มีความเป็นพิษแฝงอยู่ อย่างไรก็ตามส่วนมากกลับพบว่าหลักฐานที่ก่อให้เกิดอันตรายยังไม่ชัดเจน เป็นเพียงก่อให้เกิดข้อสงสัยเท่านั้น ซึ่งมักจะยากต่อการพิสูจน์ ในระยะเริ่มแรก การกำหนดค่ามาตรฐานมุ่งที่การปกป้องสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับสารพิษจากสิ่งแวดล้อมทำในหลายรูปแบบ ส่วนมากเหตุปัจจัยที่นำไปสู่การกำหนดมาตรฐานมาจากการที่มีการใช้สารนั้นในกลุ่มอาชีพต่างๆ จึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับกลุ่มอาชีพเหล่านี้ขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองในสัตว์และข้อมูลการศึกษาในกลุ่มคนงานที่สัมผัสสารเหล่านั้นเนื่องจากการประกอบอาชีพ ซึ่งมีการใช้ตัวคูณที่เรียกว่า “ค่าปัจจัยความปลอดภัย” ที่ 10 100 ฯลฯ มาเป็น

ตัวปรับให้ระดับที่พบต่ำกว่าให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพลดน้อยลงเป็น 10 100 ฯลฯ ทำเพื่อนำไปสู่ค่ามาตรฐานที่ต้องการ ค่าปัจจัยความปลอดภัยนี้จึงถือเป็นหลักที่ใช้กันมาจนถึงปัจจุบันนี้

ในทางปฏิบัติการกำหนดค่ามาตรฐานจะอาศัยหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ในการกำหนดระดับความเสี่ยงที่ “ยอมรับได้” เพื่อเป็นวิธีการที่ใช้แทนการห้ามการใช้สารเคมีอย่างเด็ดขาด อย่างไรก็ตามภายหลังจากที่ความรู้ด้านกลไกการเกิดพิษของสารเคมีบางอย่างเป็นที่เข้าใจมากขึ้น จึงเริ่มมีการใช้คำว่า “ความเป็นพิษแฝง” (inherent toxicity) หมายความว่าสารนั้นมีความเป็นพิษในตัวมันเองโดยไม่ต้องรอการพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ว่าจะก่อให้เกิดอันตรายหรือไม่ สารเคมีดังกล่าวได้แก่สารซึ่งโดยลักษณะโครงสร้างโมเลกุลมีความคงทนในสิ่งแวดล้อมจนสามารถสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิต การกำหนดค่ามาตรฐานที่ถือว่า “ปลอดภัย” หรือปราศจากความเสี่ยงจึงเป็นไปได้หรือไม่ สารเคมีอีกจำพวกหนึ่งที่สามารถจัดเป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษแฝง ได้แก่ สารซึ่งมีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันสูงมาก สารซึ่งก่อให้เกิดความผิดปกติของระบบต่อมไร้ท่อ สารซึ่งอาจเป็นสารก่อมะเร็ง และสารซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบประสาทหรือการเจริญเติบโต

อีกประเด็นหนึ่งของการกำหนดค่ามาตรฐานทั้งในทางอาชีพและสิ่งแวดล้อมได้แก่การพิจารณาว่าสารเคมีนั้นมี “ค่าความทน” (threshold) หรือไม่ ในกรณีที่สารเคมีนั้นมีค่าความทน จะทำการประเมิน (โดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาในสัตว์ทดลอง จากกลุ่มผู้สัมผัสสารเนื่องจากการประกอบอาชีพหรืออุบัติเหตุ ฯลฯ) หาจุดที่ต่ำที่สุดที่ยังพบผลกระทบต่อสุขภาพ เรียกว่า ระดับต่ำสุดที่ยังสังเกตพบผลเสียต่อสุขภาพ (Lowest Observed Adverse Effect Level-LOAEL) ระดับที่ต่ำกว่านั้นซึ่งได้จากการคำนวณเพื่อหาระดับที่ไม่พบผลกระทบต่อสุขภาพ หรือเรียกว่า ระดับที่ไม่อาจสังเกตพบผลเสียต่อสุขภาพ (No Observed Adverse Effect Level-NOAEL) ดังนั้นการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับสารเคมีที่มีค่าความทนจึงใช้วิธีปรับค่า NOAEL ที่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลองด้วยค่าปัจจัยความปลอดภัย (มักใช้ค่าระหว่าง 10 ถึง 1000)

เป็นที่ถกเถียงกันในหมู่นักวิทยาศาสตร์เสมอว่าระดับที่ต่ำกว่าค่าความทนเป็นระดับที่ปราศจากผลกระทบต่อสุขภาพจริงหรือไม่ กรณีตัวอย่างของตะกั่วเป็นกรณีที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าค่าความทนได้ถูกปรับลดลงเรื่อยมาอย่างต่อเนื่อง จนปัจจุบันนี้เริ่มเป็นที่ยอมรับกันมากขึ้นว่าผลกระทบบางอย่างอาจไม่มีระดับที่ปลอดภัยโดยเฉพาะในเด็ก

ในกรณีของสารซึ่งไม่มีค่าความทน ซึ่งการศึกษาวิจัยพบว่าไม่สามารถหาระดับที่ทำให้ปราศจากผลกระทบต่อสุขภาพบางอย่าง (ซึ่งบางครั้งเรียกว่า ผลที่ไวที่สุดหรือผลวิกฤติ (most sensitive effect หรือ critical effect)) ได้ ซึ่งมักจะพบว่าผลกระทบต่อสุขภาพดังกล่าวอยู่ในรูปของมะเร็งชนิดต่างๆ ประวัติการศึกษาอันยาวนานของแร่ใยหินเป็นเครื่องพิสูจน์อย่างดีที่สุดชี้ให้เห็นว่าไม่มีค่าความทนปรากฏอยู่ โดยจะเห็น

ได้จากการที่ค่ามาตรฐานของเรไยหินมีการปรับลดลงอย่างต่อเนื่องเรื่อยมา แต่แม้กระนั้นก็ยังพบอัตราการเป็นมะเร็งในกลุ่มผู้ประกอบการอาชีพที่สัมผัสสารนี้มากเกินไปจากค่าปกติเสมอ ดังนั้นในกรณีของสารเคมีที่ไม่มีค่าความทนจึงมักใช้ค่าปัจจัยความปลอดภัยที่ค่อนข้างสูง เช่น 1000 เท่าในการปรับลดระดับที่ต่ำสุดที่ยังพบการเกิดมะเร็งเพื่อให้ได้มาซึ่งค่ามาตรฐาน หรืออีกวิธีหนึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณโดยตั้งสมมติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองที่ระดับต่ำๆ เป็นเส้นตรง และหาระดับที่โอกาสของการเกิดมะเร็งมีเพียงหนึ่งในหนึ่งล้าน แม้ว่าจะได้รับสารนั้นตลอดอายุขัย (ที่มักกำหนดเป็น 70 ปี) ก็ตาม

องค์กรที่กำหนดค่ามาตรฐาน

หากพิจารณาว่าใครควรเป็นผู้กำหนดค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อม อาจแบ่งออกเป็นหลายระดับ ในระดับสูงสุดแล้วจะได้มาเป็นข้อตกลงหลักๆ ในรูปของข้อตกลงระหว่างประเทศ เช่น การควบคุมก๊าซเรือนกระจกให้ต่ำกว่าค่าเป้าหมายก่อนวันที่กำหนด ซึ่งเป็นข้อตกลงของหลายๆ ประเทศในการประชุมสุดยอดเกียวโต ปี ค.ศ. 1997 ซึ่งในภายหลังกองรัฐบาลของประเทศต่างๆ จะมีการนำไปดำเนินการออกกฎหมายในประเทศของตนเพื่อให้บรรลุตามข้อตกลงนี้ อีกหน่วยงานหนึ่งคือ ISO ซึ่งเป็นสหพันธ์ขององค์กรที่กำหนดค่ามาตรฐานต่างๆ ในแต่ละประเทศ เช่น BSI และ ANSI และมีสมาชิกทั้งสิ้น 140 ประเทศ ดูแลด้านมาตรฐานต่างๆ ในทุกสาขา รวมทั้งที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

ในระดับรองลงมาได้แก่ องค์กรในประเทศซึ่งทำหน้าที่กำหนดกฎหรือค่ามาตรฐานที่มีผลบังคับในการควบคุมกำกับเฉพาะในประเทศตน เช่น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (USEPA) ได้กำหนดค่ามาตรฐานสำหรับสารมลพิษทางอากาศหลายชนิด เช่น โอโซน อนุภาคฝุ่น ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลให้การจัดการคุณภาพอากาศในระดับภูมิภาคต้องปฏิบัติตามให้อยู่ในระดับค่ามาตรฐานที่กำหนด (โดยสำนักงานบังคับตามกฎหมาย ของ USEPA ทำหน้าที่ในการควบคุมกำกับ) ค่ามาตรฐานที่กำหนดมานี้ถือได้ว่ามีอิทธิพลอย่างยิ่งจนในบางประเทศนำไปกำหนดเป็นค่ามาตรฐานของตนเอง อีกหน่วยงานหนึ่งคือ องค์การบริหารอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (Occupational Safety and Health Administration-OSHA) ซึ่งภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจจะต้องปฏิบัติตาม โดยอาจกำหนดค่าแนวทางด้านสุขภาพและความปลอดภัยของตนเองขึ้นมา ซึ่งถือว่าเป็นค่าแนวทางที่ใช้ควบคุมตนเองและเป็นค่ามาตรฐานที่รองลงมาอีกระดับหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ภาคอุตสาหกรรมอาจมีการกำหนดกฎเกณฑ์ด้านปฏิบัติของตนเองเพื่อป้องกันมิให้ต้องถูกควบคุมด้วยองค์กรอื่น อย่างไรก็ตามค่ามาตรฐานนี้จะต้องเข้มงวดไม่น้อยไปกว่าค่ามาตรฐานของประเทศหรือระดับนานาชาติ

ในอีกระดับหนึ่งซึ่งเป็นทางกำหนดย่อยกว่า เช่น รัฐบาลของสหราชอาณาจักรได้กำหนดค่าเป้าหมายเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งเป็นการอธิบายถึงเจตจำนงค์หรือความตั้งใจในการลดหรือคงระดับของมาตรการด้านสิ่งแวดล้อม

ต่อคำถามที่ว่าค่ามาตรฐานในปัจจุบันนี้ควรจะกำหนดอย่างไร ได้มีการพูดถึงกันอย่างมาก ในปี ค.ศ. 1996 สมาคมสถิติได้เสนอหลักฐานต่อคณะกรรมการด้านมลพิษสิ่งแวดล้อมแห่งสหราชอาณาจักร (UK Royal Commission on Environmental Pollution-RCEP) เพื่อกระตุ้นให้มีการพิจารณาความจำเป็นที่จะต้องนำเอาความไม่แน่นอนและตัวแปรแบบสุ่มเข้ามาพิจารณาร่วมกับการกำหนดค่ามาตรฐาน ตัวอย่างเช่น แม่น้ำสายหนึ่งซึ่งมีความหลากหลายของพันธุ์ปลา แต่ต่อมาถูกปนเปื้อนด้วยน้ำเสียที่คั่งน้ำ การกำหนดค่ามาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อป้องกันความเสียหายต่อประชากรปลาควรจะได้มีการพิจารณาถึงความแปรปรวนของอัตราและจำนวนสารมลพิษที่ถูกขับถ่ายออกมา การกระจายตัวของสารมลพิษในกระแสน้ำ รวมทั้งอัตราการกินเอาสารมลพิษเข้าไปในตัวปลาซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันได้อย่างมาก ความแปรปรวนตามธรรมชาติอื่นๆ เช่น ขนาดของปลา ความไวต่อสารมลพิษ นอกจากนี้การสุ่มปลาเพื่อทำการวัดจำนวนปลาที่ลดน้อยลงไปอันเป็นการบ่งบอกถึงการปฏิบัติตามมาตรฐานว่าดีเพียงใด ก็อาจมีความผิดพลาดด้านการวัดได้ ดังนั้นแม้ว่าผลที่ได้จากการสุ่มจะบ่งบอกว่ายังอยู่ในมาตรฐานแต่ภาพที่แท้จริงอาจแตกต่างไปได้อย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผนวกเอาความแปรปรวนรวมทั้งความไม่แน่นอนในทุกๆ ด้านเข้าไว้ในการกำหนดค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อมด้วย อย่างไรก็ตามการนำเอาหลักการด้านความไม่แน่นอนมาผนวกเข้ากับการกำหนดค่ามาตรฐาน ยังไม่เป็นที่ยอมรับในหน่วยงานของรัฐซึ่งมีหน้าที่ในการกำหนดค่ามาตรฐาน เนื่องจากต้องการข้อมูลและการศึกษาวิจัยอีกเป็นจำนวนมาก

ในรายงานฉบับนี้ได้แบ่งการนำเสนอเป็นบทต่างๆ บทที่ 3 จะกล่าวถึงหลักการด้านการประเมินความเสี่ยงสุขภาพ ซึ่งถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญของหลายๆ ประเทศในการดำเนินกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน บทที่ 4 เป็นบทที่ว่าด้วยกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศต่างๆ เช่น องค์การอนามัยโลก สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป เป็นต้น บทที่ 5 เป็นเรื่องเกี่ยวกับกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มของประเทศต่างๆ ได้แก่ องค์การอนามัยโลก สหรัฐอเมริกา เป็นต้น บทที่ 6 เป็นบทที่ว่าด้วยกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานของประเทศไทย ซึ่งได้จากการทบทวนเอกสารและการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำมาตรฐานในหน่วยงานต่างๆ ถึงขั้นตอนการกำหนดค่ามาตรฐานรวมทั้งปัญหาและอุปสรรค บทที่ 7 เป็นการนำเสนอผลจากการจัดเวทีระดมสมองของผู้เชี่ยวชาญรวมทั้งข้อคิดเห็นต่างๆ และบทที่ 8 เป็นการนำเสนอผลสรุปที่ได้จากการศึกษา รวมทั้งการอภิปรายและข้อเสนอแนะเพื่อให้เกิดการปรับเปลี่ยนในเชิงนโยบายต่อไป

บทที่ 3

การประเมินความเสี่ยงสุขภาพ

บทนำ

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมถือว่าเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่ไม่ว่าจะในประเทศไทยหรือต่างประเทศ สาขาวิชานี้ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องโดยผู้เชี่ยวชาญจากหลายสาขาวิชา อาทิ เช่น วิทยาการระบาด พิษวิทยา วิศวกรรมศาสตร์ สถิติ และมานุษยสังคมวิทยา แต่โดยความเป็นจริงแล้ว การประเมินความเสี่ยงจะสำเร็จลงได้ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญจากทุกสาขาดังกล่าว โดยทั่วไปแล้วเราสามารถแบ่งวิชาการประเมินความเสี่ยงออกเป็น 2 สาขาวิชาใหญ่ ๆ คือ การประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศวิทยา (Environmental or Ecological Risk Assessment) และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ (Health Risk Assessment) การประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องของการประเมินผลกระทบจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่มีต่อระบบนิเวศวิทยา ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนและต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากจึงทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศวิทยามีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันแบบห่วงโซ่อาหาร เมื่อสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ได้รับผลกระทบจากสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมย่อมจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ เป็นลูกโซ่ไปด้วย ในขณะที่การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเป็นการศึกษาถึงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพของมนุษย์ซึ่งทำได้ง่ายกว่าและมีผู้ศึกษาไว้เป็นจำนวนที่มากกว่า ในบทนี้จะกล่าวถึงแต่การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเท่านั้น ดังนั้นต่อไปนี้จะกล่าวถึงการประเมินความเสี่ยงให้หมายถึงการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเท่านั้น

การประเมินความเสี่ยงสุขภาพ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเป็นการศึกษาถึงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการศึกษาออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment)
- การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณจะมุ่งเน้นไปในการศึกษาที่อาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐาน ได้แก่ การศึกษาที่เน้นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆ เป็นตัวเลข

โดยอาศัยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และ/หรือการทดสอบ ตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ สามารถอธิบายได้โดยใช้หลักเหตุและผล และสามารถทดลองหรือทำซ้ำได้ เป้าหมายสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณนี้จะใช้ประโยชน์เป็นข้อมูลนำเข้า (input) สำหรับการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การอธิบายปรากฏการณ์เชิงสังคมศาสตร์และมานุษยวิทยา โดยอาศัยการเก็บข้อมูลที่ใช้วิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (in-depth interview) การสัมภาษณ์เฉพาะกลุ่ม (focus group interview) ร่วมกับเทคนิคการศึกษาอื่นๆ เช่น การศึกษาแบบมีส่วนร่วม (participatory action research) เป็นต้น การศึกษาในแนวนี้นี้จะไม่เน้นการตรวจวัดทางวิทยาศาสตร์ การเก็บข้อมูลเชิงตัวเลข หรือการวิเคราะห์ทางสถิติ อย่างไรก็ตามมีผู้ให้ความเห็นไว้ว่า ลำพังการใช้หรือไม่ใช้ข้อมูลที่เป็นตัวเลขมิใช่เครื่องชี้วัดที่ดีว่าการศึกษาเรื่องใดเป็นการศึกษาเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณ ส่วนที่น่าจะใช้พิจารณาความแตกต่างคือวิธีการเข้าถึงข้อมูลและการนำเสนอข้อมูลเพื่อตอบปัญหาที่ตั้งไว้ การศึกษาเชิงคุณภาพนี้ถือได้ว่ามีวิธีการเข้าถึงข้อมูลที่ดี เพราะผู้ทำการศึกษจะต้องทำตัวให้เป็นส่วนหนึ่งของชุมชนมากที่สุด เพื่อให้เกิดความสัมพันธ์และความไว้วางใจจนสามารถเก็บข้อมูลที่ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด อีกประการหนึ่งการนำเสนอข้อมูล วิธีการเชิงคุณภาพจะเน้นความหลากหลายและความครอบคลุมของข้อมูล ดังนั้นจุดเน้นของการศึกษาเชิงคุณภาพนี้ไม่ใช่การครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างในระดับกว้างดังเช่นการศึกษาเชิงปริมาณ แต่เป็นการเสนอผลให้เห็นแง่มุมหลายๆ ด้านของกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามแม้การศึกษาในสองด้านนี้จะแตกต่างกันค่อนข้างมากแต่ไม่ได้หมายความว่า การประเมินความเสี่ยงจะต้องแยกกันโดยเด็ดขาด โดยข้อเท็จจริงแล้วการศึกษาทั้งสองด้านจะต้องกระทำควบคู่กันไป และบ่อยครั้งที่การศึกษาทั้งสองวิธีต่างเป็นข้อมูลนำเข้าและข้อมูลป้อนกลับซึ่งกันและกัน ผลที่ได้จากการศึกษาทั้งสองวิธีร่วมกันจะลบลบจุดด้อยที่แต่ละวิธีมีให้หมดไป ทำให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปสู่การแก้ปัญหาได้ตรงจุดกว่าการใช้การศึกษาเพียงวิธีใดวิธีหนึ่งเท่านั้น

ความหมายของ “ความเสี่ยง” และ “การประเมินความเสี่ยง”

เราสามารถให้นิยามคำว่า “ความเสี่ยง” คือ “ลักษณะของสถานการณ์หรือการกระทำใด ๆ ที่มีผลลัพธ์ได้มากกว่า 2 อย่าง ผลลัพธ์ที่ว่านี้เราไม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าจะเกิดขึ้นหรือไม่ และอย่างน้อยหนึ่งในผลลัพธ์นั้นไม่พึงประสงค์” จากความหมายดังกล่าวข้างต้นอาจสรุปได้ว่าความเสี่ยงจะต้องประกอบด้วย 2 องค์ประกอบคือ “ไม่แน่นอน” และ “ไม่พึงประสงค์” คำว่า “ไม่แน่นอน” นี้หมายความว่าเราไม่สามารถบอกได้ด้วยความมั่นใจว่าจะเกิดเหตุการณ์ที่กำลังสนใจหรือไม่ แต่เราสามารถบอกได้แต่เพียงโอกาสของการเกิด โดยบอกในรูปของ “ความน่าจะเป็น” (Probability) ซึ่งสามารถกำหนดเป็นตัวเลขได้ ยกตัวอย่างเช่น การโยนเหรียญ 1 ครั้งเราไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่าผลของการโยนจะออกหัวหรือก้อย แต่เราสามารถบอกได้ว่าโอกาสที่จะออกหัวหรือก้อยเท่ากันคือ 0.5 หรือ 50% สำหรับองค์ประกอบที่ 2 คือ “ไม่พึงประสงค์” หมายความว่าเหตุการณ์หรือผลที่จะเกิดขึ้นนั้นเป็นสิ่งที่

เราไม่ต้องการหรือไม่พึงประสงค์ มีหลายกรณีที่เรามักใช้คำว่า “เสี่ยง” โดยที่ไม่ตรงกับความหมายที่นิยามไว้ในที่นี้กล่าวคือขาดองค์ประกอบตัวใดตัวหนึ่งไป เช่น การเสี่ยงโชค แม้ว่าผลที่จะเกิดขึ้นไม่แน่นอนแต่ทุกคนก็ต้องการให้ผลนั้น (การถูกรางวัล) เกิดขึ้น จึงถือว่าขาดองค์ประกอบของ “ไม่พึงประสงค์” มีบางกรณีที่ผลบางอย่างเราไม่พึงประสงค์แต่เกิดขึ้นแน่นอน เช่น การเสียชีวิต กรณีเช่นนี้ก็ไม่ถือว่าเป็นความเสี่ยงเพราะถือว่าขาดองค์ประกอบของ “ความไม่แน่นอน” สำหรับการประเมินความเสี่ยงคือ “กระบวนการศึกษาอย่างเป็นระบบเพื่อพรรณนาและวัดความเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคาม กระบวนการ การกระทำ หรือเหตุการณ์ใด ๆ” ซึ่งถือได้ว่าการประเมินความเสี่ยงเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในทางการวิจัยที่จะตอบคำถามบางประเด็น เพราะโดยวัตถุประสงค์แล้วต้องการที่จะตอบคำถามว่าความเสี่ยงด้านสุขภาพมีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคามอย่างไรและเสี่ยงมากน้อยเพียงใด (โดยบอกเป็นความน่าจะเป็น) อาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าการประเมินความเสี่ยงเป็นการศึกษาเชิงปริมาณ (Quantitative Study) เพราะเป็นการศึกษาในลักษณะที่สามารถตรวจวัดตัวแปรต่าง ๆ เป็นตัวเลขได้นั่นเอง

ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

สภาวิจัยแห่งชาติของสถาบันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกาได้เสนอรูปแบบการประเมินความเสี่ยงออกเป็น 4 ขั้นตอนซึ่งได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางจากหน่วยงานต่าง ๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้งองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency หรือ EPA) ด้วย ดังนี้

1. การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification) ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเพื่อที่จะตอบคำถามว่าสิ่งคุกคามที่เรากำลังสนใจจะมีความสัมพันธ์กับผลกระทบด้านสุขภาพหรือไม่
2. การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment) เป็นการหาขนาดของสิ่งคุกคามที่มนุษย์ได้รับไม่ว่าจะก่อนหรือหลังมาตรการการควบคุมสิ่งคุกคาม
3. การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Assessment) คือการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสัมผัสกับโอกาสของการเกิดผลเสียด้านสุขภาพ ผลลัพธ์สุดท้ายจะนำไปสู่การหาค่ามาตรฐานที่ปลอดภัยในมนุษย์
4. การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization) คือการพรรณนาลักษณะทางธรรมชาติและขนาดของความเสี่ยงในมนุษย์ซึ่งจะต้องรวมเอาความไม่แน่นอน (Uncertainties) เข้าด้วย โดยสรุปผลลัพธ์สุดท้ายที่ต้องการคือการตอบคำถามว่าสิ่งคุกคามใด

ๆ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์อย่างน้อยเพียงใด ซึ่งจำเป็นจะต้องอาศัยองค์ความรู้ที่ได้จาก 3 ขั้นตอนข้างต้น

ต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายแต่ละขั้นตอนโดยละเอียด

การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification)

ดังได้กล่าวแล้วว่าวัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้คือการตอบคำถามที่ว่าสิ่งคุกคามนั้นมีอยู่จริงหรือไม่ ซึ่งนักประเมินความเสี่ยงอาศัยกลวิธีต่างๆ ต่อไปนี้เพื่อที่ตอบคำถามดังกล่าว

การศึกษาทางวิทยาการระบาด (Epidemiological Studies)

การศึกษาทางวิทยาการระบาด เป็นการศึกษารูปแบบการเกิดโรคในมนุษย์รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดแบบนั้น ด้วยการออกแบบการศึกษาที่เหมาะสมประกอบกับการวิเคราะห์ทางสถิติที่ถูกต้องจะช่วยตอบคำถามว่าสิ่งคุกคามใด ๆ จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพในมนุษย์หรือไม่ การศึกษาทางวิทยาการระบาดอาจแบ่งเป็น 3 แบบใหญ่ ๆ คือ การศึกษาเชิงพรรณนา การศึกษาเชิงวิเคราะห์ และการศึกษาเชิงทดลอง รายละเอียดในเรื่องนี้อาจศึกษาได้จากตำราวิทยาการระบาดทั่วไป ข้อดีของการศึกษาเชิงวิทยาการระบาดคือผลการศึกษานำไปใช้สรุปผลในมนุษย์ได้เลย เนื่องจากเป็นการศึกษาในมนุษย์ แต่การศึกษาลักษณะนี้ไม่สามารถทำได้เสมอไป เพราะจะต้องมีการได้รับสารคุกคามร่วมกับผลกระทบด้านสุขภาพเกิดขึ้นเรียบร้อยแล้ว ดังเช่น การศึกษาว่าการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งในสมองหรือไม่ ยังอาจไม่สามารถสรุปได้ในขณะนี้ เนื่องจากระยะเวลาในการก่อให้เกิดมะเร็งต้องใช้ระยะเวลาและขณะนี้ยังมีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่นานพอ (เพราะเพิ่งจะมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเมื่อไม่กี่ปีมานี้) จึงทำให้มีผู้ป่วยมะเร็งสมองไม่มากนัก ถ้าหากโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็งในสมองจริง เป็นต้น

การศึกษาในสัตว์ทดลอง (In Vivo Animal Bioassays)

บ่อยครั้งที่ข้อมูลทางด้านวิทยาการระบาดในมนุษย์ไม่มีหรือไม่เพียงพอที่จะตอบคำถามดังกล่าว ซึ่งพบได้บ่อยในกรณีที่สิ่งคุกคามนั้น ๆ เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นใหม่ เช่น สารเคมี เป็นต้น การที่จะยอมให้มีการปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมแล้วรอดูว่าจะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพในมนุษย์หรือไม่ย่อมจะเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นการศึกษาในสัตว์ทดลองจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งในการตอบคำถามข้างต้น อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากสัตว์ทดลองไม่ได้หมายความว่าตรงกับในมนุษย์เสมอไป เนื่องจากความแตกต่างด้านสรีรวิทยาและกลไก

ในการกำจัดการคุกคามออกจากร่างกาย แต่อย่างน้อยผลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลที่อาจเกิดขึ้นในมนุษย์ต่อไป

การศึกษาในหลอดทดลองและเซลล์เพาะเนื้อเยื่อแบบระยะสั้น (Short-Term In Vitro Cell and Tissue Culture Tests)

วิธีการศึกษาชนิดนี้ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยเหตุผลหลายประการคือ (1) ให้ผลการศึกษาที่รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย (2) ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในด้านนี้มีการพัฒนาไปมากทำให้ผลการศึกษามีความถูกต้องมากขึ้น และ (3) การทดลองในสัตว์ทดลองได้รับการต่อต้านจากนักพิทักษ์สิทธิของสัตว์มากขึ้นเรื่อยๆ ข้อดีของวิธีการศึกษาชนิดนี้คือสามารถจะเลือกเซลล์หรือเนื้อเยื่อเฉพาะส่วนมาใช้ในการทดลองได้ หากมีข้อมูลยืนยันว่าสารคุกคามชนิดนั้นมีผลต่อเซลล์หรือเนื้อเยื่อเป้าหมายใด

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี (Structure-Activity Relationship Analysis)

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างทางโมเลกุลและคุณสมบัติด้านเคมีและฟิสิกส์ของสารเคมีที่ไม่ทราบพิษกับสารเคมีที่ทราบพิษแล้วแต่มีโครงสร้างและคุณสมบัติคล้าย ๆ กัน ทำให้สามารถพยากรณ์ผลกระทบต่อสุขภาพได้โดยไม่ต้องทำการทดลองจริง

การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)

การประเมินการสัมผัสเป็นวิธีการประมาณหรือวัดปริมาณหรือความเข้มข้นของสิ่งคุกคามที่แต่ละบุคคล ประชากร หรือระบบนิเวศได้รับ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการประเมินการสัมผัสคือ (1) ค้นหาสารหรือสิ่งคุกคามที่มีชีวิตแต่ละชนิดหรือสิ่งแวดล้อมได้รับ (2) คำนวณปริมาณที่ได้รับ (3) ได้รับด้วยวิธีใด (4) เป็นเวลานานเท่าใด และ (5) ภายใต้อาณัติใด โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งวิธีการศึกษาเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

- ❖ การเฝ้าคุมการสัมผัส (Exposure Monitoring)
- ❖ แบบจำลองการสัมผัส (Exposure Modeling)

1. การเฝ้าคุมการสัมผัส (Exposure Monitoring)

การเฝ้าคุมเป็นวิธีการที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการสัมผัสได้เที่ยงตรงที่สุด และยังเป็นข้อมูลนำเข้าที่สำคัญสำหรับการประเมินด้วยวิธีแบบจำลองอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเฝ้าคุมสามารถทำการเก็บข้อมูลที่มีระยะ

สัมผัสใกล้ชิดกับกลุ่มประชากรหรือสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจมากที่สุด เราสามารถแบ่งวิธีการเฝ้าคุมเป็น 2 วิธีคือ การเฝ้าคุมที่ตัวบุคคลและการเฝ้าคุมที่ตัวสื่อหรือสถานที่

1.1 การเฝ้าคุมที่ตัวบุคคล (Personal Monitoring)

การเฝ้าคุมชนิดนี้คือการใช้วิธีการวัดความเข้มข้นของสารหรือสิ่งคุกคามที่แต่ละคนในกลุ่มประชากรได้รับโดยไม่คำนึงถึงสถานที่ที่บุคคลนั้นอยู่ โดยการเก็บตัวอย่างอากาศที่บุคคลนั้นหายใจหรือน้ำที่บุคคลนั้นดื่ม หรือในกรณีที่ต้องการวัดปริมาณรังสีก็ใช้เครื่องหรือแถบวัดปริมาณรังสีประจำกาย เป็นต้น นอกจากนี้อาจจะใช้วิธีการเก็บตัวอย่างสารในร่างกาย เช่น เลือด ปัสสาวะ สารคัดหลั่ง วิธีหลังนี้มักจะเรียกว่า การเฝ้าคุมทางชีวภาพ (Biological Monitoring) การใช้วิธีนี้มีข้อดีคือจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง แต่ไม่สามารถตรวจวัดได้เสมอไป เช่น สารคุกคามบางชนิดอาจมีผลและสะสมที่อวัยวะเป้าหมายที่เป็นสมองหรือตับ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถตัดเอาชิ้นเนื้อส่วนดังกล่าวมาตรวจได้ เพราะจะเป็นอันตรายมากเกินไป

1.2 การเฝ้าคุมที่ตัวสื่อหรือสถานที่ (Ambient Monitoring)

วิธีนี้จะแตกต่างไปจากวิธีการแรกที่ได้กล่าวไปแล้ว คือ จะเป็นวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ น้ำ หรือดินที่ตำแหน่งคงที่เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในบริเวณต่างๆ การเฝ้าคุมแบบนี้มักจะใช้ในกรณีที่พื้นที่หรือขนาดของประชากรที่ต้องการเฝ้าคุมมีขนาดใหญ่

อย่างไรก็ตามวิธีการเฝ้าคุมมีข้อจำกัดหลายประการ ประการแรก การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเวลาเก็บตัวอย่างส่งตรวจ เพราะระยะเวลาที่แตกต่างกันย่อมจะให้ผลการตรวจที่แตกต่างกันได้ ตัวอย่างเช่น สิ่งคุกคามที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอาจจะมีระดับต่ำในระยะ 8 ชั่วโมงแรกแต่สูงในอีก 16 ชั่วโมงถัดไปได้ นอกจากนั้นการเลือกสถานที่ที่ใช้วัดที่แตกต่างกันออกไปก็อาจทำให้ผลการตรวจคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงได้ รวมทั้งจะต้องคำนึงถึงสภาพอากาศขณะทำการตรวจด้วย

การเฝ้าคุมถือได้ว่าเป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย เสียเวลาและยากต่อการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้กับสถานที่อื่น นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ อาจไม่เป็นตัวแทนที่ดีสำหรับสถานการณ์ที่เป็นจริง เนื่องจากการเก็บตัวอย่างมักจะกระทำภายใต้เงื่อนไขที่จำกัด เช่น การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศโดยทั่วไปมักจะเป็นการเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศภายนอกอาคารสถานที่ ในขณะที่คนส่วนมากมักจะใช้เวลาส่วนใหญ่ในบ้าน เป็นต้น นอกจากนี้ข้อได้เปรียบของการเฝ้าคุมเหนือวิธีการแบบจำลองที่ได้กล่าวมาแล้วว่าสามารถให้ข้อมูลที่ใกล้เคียงค่าที่แท้จริง ณ จุดที่มีการสัมผัสหรือได้รับสิ่งคุกคามนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการประเมินผลเป็นระยะๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่คาดไว้มาก

2. แบบจำลองการสัมผัส (Exposure Modeling)

แบบจำลองคือรูปแบบหนึ่งของสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายค่าที่ต้องการจากค่าตัวแปรต่างๆ ที่ทราบหรือสามารถตรวจวัดได้ ปัจจุบันมีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาหลายร้อยแบบ ส่วนมากจะมีความจำเพาะค่อนข้างสูง กล่าวคือสามารถใช้ได้กับแหล่งที่ปล่อยสิ่งคุกคามเฉพาะกรณี เช่น แหล่งที่ปล่อยสิ่งคุกคามแบบเป็นจุด (โรงงาน) หรือใช้ได้กับสิ่งคุกคามบางชนิด และใช้ได้เฉพาะกับสิ่งแวดล้อมบางชนิด (เช่น ทะเลสาบ) เป็นต้น ไม่ว่าจะเป็นแบบใดทุกชนิดจะมีความไม่แน่นอนหรือความคลาดเคลื่อนในการทำนายเสมอ ประการที่หนึ่ง ขึ้นกับลักษณะของฐานข้อมูลของตัวแปรที่จะป้อนเข้าไปในแบบจำลอง ดังนั้นผลที่ได้จากการคำนวณอาจจะคลาดเคลื่อนไปหากสภาพของสิ่งแวดล้อมที่เป็นจริงไม่ตรงกับข้อมูลที่ป้อนเข้าไป บางครั้งเพื่อลดความผิดพลาดดังกล่าวลงก็อาจจะมีการรวบรวมข้อมูลเป็นการเฉพาะในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งก็ย่อมจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากด้วย ประการต่อมาขึ้นกับตัวแบบจำลองเองที่มีการคำนึงถึงตัวแปรนำเข้ามาน้อยเพียงใด แบบจำลองที่ไม่ซับซ้อนมากนักอาจจะมีความไม่แน่นอนหรือความคลาดเคลื่อนได้สูง ในขณะที่แบบจำลองที่มีความซับซ้อนกว่าจะทำนายผลได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น แต่ก็หมายความว่าต้องอาศัยข้อมูลที่มากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่มีความยุ่งยากซับซ้อนเกินไป บางครั้งอาจทำให้ค่าที่ทำนายได้มีความไม่แน่นอนเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของตัวแปรนำเข้าเองจนทำให้ความสามารถในการทำนายด้อยกว่าแบบจำลองที่ซับซ้อนน้อยกว่าเสียอีก

ความสามารถในการทำนายของแบบจำลองนี้โดยทั่วไปสามารถแก้ไขหรือปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการทดสอบในภาคสนามกับสถานการณ์จริง แต่บ่อยครั้งการรวบรวมหรือแปลผลข้อมูลทำได้ยาก ยิ่งไปกว่านั้นการทดสอบมักจะได้ผลภายใต้สถานการณ์ที่ค่อนข้างจำเพาะทำให้ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับสถานการณ์หรือเงื่อนไขอื่นที่มีความแตกต่างออกไปได้

เราสามารถแบ่งแบบจำลองได้เป็น 2 กลุ่มคือ แบบจำลองการปลดปล่อยและแบบจำลองการสัมผัสในประชากร

2.1 แบบจำลองการปลดปล่อย (Release Assessment Model) แบบจำลองในกลุ่มนี้จะใช้ในการทำนายความเข้มข้นของสิ่งคุกคามที่ระยะทางหนึ่ง ๆ ห่างไปจากแหล่งกำเนิดสิ่งคุกคามนั้น อาจแบ่งย่อยออกไปได้อีกคือ

2.1.1 แบบจำลองบรรยากาศ (Atmospheric Model) การสร้างแบบจำลองชนิดนี้จะอาศัยความรู้ในเรื่องของกฎฟิสิกส์และเคมี เพื่อที่จะใช้ในการจำลองพฤติกรรมของสิ่งคุกคามที่มีการค

ล่อนตัวหรือเปลี่ยนรูปในบรรยากาศ โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้มักจะสามารถทำนายค่าต่าง ๆ เหล่านี้คือ (1) ความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในบรรยากาศ (2) อัตราการสะสมตัวลงในดินหรือน้ำ เราสามารถแบ่งชนิดของแบบจำลองบรรยากาศออกได้อีกคือ

2.1.1.1 แบบจำลองของเกาส์ (Gaussian Plume Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประมาณค่าความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในระยะที่ห่างออกไปจากแหล่งกำเนิด การคำนวณค่าที่อยู่ได้ลมจะต้องอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับความสูงของแหล่งกำเนิด อัตราการปลดปล่อยความเร็วลม และสภาพอากาศต่างๆ ไป แบบจำลองชนิดนี้อาศัยสมมุติฐานที่ว่ากลุ่มมวลของสิ่งคุกคามจะแพร่กระจายในแนวตั้งและแนวราบเป็นไปตามการกระจายแบบเกาส์หรือการกระจายแบบปกติ (Gaussian or Normal Distribution) จากการวิจัยพบว่าค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองชนิดนี้มักจะให้ค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงประมาณ 2-4 เท่า

2.1.1.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ในระยะไกล (Long-Range Atmospheric Transport Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายความเข้มข้นของสิ่งคุกคามที่กินอาณาบริเวณกว้าง เช่น ระดับประเทศหรือทวีป การคำนวณมักอาศัยข้อมูลสภาพอากาศที่ผ่านมาของบริเวณนั้น โดยทั่วไปจะให้ค่าการทำนายคลาดเคลื่อนไปประมาณ 3-5 เท่า

2.1.1.3 แบบจำลองกลุ่มมวลสาร (Puff Model) การสร้างแบบจำลองชนิดนี้อาศัยหลักการเดียวกับแบบแรก เพียงแต่ว่าการปลดปล่อยสิ่งคุกคามจากแหล่งกำเนิดเป็นแบบชั่วครั้งชั่วคราวหรือในปริมาณที่มากในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เช่น จากการระเบิดหรืออุบัติเหตุ เป็นต้น

แบบจำลองบรรยากาศนี้บางชนิดอาจจะมีการรวมเอาสมการที่คำนึงถึงการเปลี่ยนรูป การสลายตัว หรือการสะสมตัวลงในน้ำหรือดินเข้าไว้ด้วย ซึ่งแบบจำลองชนิดดังกล่าวจะมีความจำเป็นมากในกรณีที่มีการเปลี่ยนรูปมีผลทำให้สิ่งคุกคามมีความเป็นพิษมากขึ้นหรือน้อยลง

2.1.2 แบบจำลองน้ำผิวดิน (Surface-Water Model) แบบจำลองชนิดนี้มักใช้สำหรับสิ่งคุกคามที่อาจมีการปนเปื้อนลงแหล่งน้ำบริเวณริบโศก อาหารหรือแหล่งท่องเที่ยวทางน้ำ เช่น ลำธาร แม่น้ำ ทะเลสาบ หรือแหล่งน้ำผิวดินอื่นๆ การปนเปื้อนลงน้ำผิวดินนี้อาจมาจากแหล่งกำเนิดที่เป็นจุด เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากแหล่งกำเนิดที่ไม่เป็นจุด เช่น การไหลซึมจากแหล่งน้ำใต้ดิน หรือการสะสมตัวจากอากาศ หรือจากการชะของน้ำฝนที่ตกลงสู่แหล่งมลพิษบนดิน เช่นเดียวกับแบบจำลองอากาศ ความเข้มข้นของสิ่งคุกคามขึ้นกับการไหล การผสมตัวของน้ำ รวมถึงการเปลี่ยนรูปทางกายภาพเคมี และชีวภาพของสารนั้นๆ โดยทั่วไปแบบจำลองชนิดนี้จะใช้ในการ (1) ประเมินตำแหน่งและ

ขนาดของมวลสิ่งคุกคามที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแบบจุด (2) ประมาณอัตราการไหล การกระจายตัว และการเปลี่ยนแปลงของสิ่งคุกคาม จากการปนเปื้อนที่มีแหล่งกำเนิดเป็นแบบระยะสั้นๆ และ (3) ประมาณค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ระยะต่างๆ จากแหล่งกำเนิดที่อาจเป็นจุดหรือไม่เป็นจุด

แบบจำลองน้ำผิวดินนี้ มักจะคำนวณโดยวิธีการแบ่งแหล่งน้ำออกเป็นส่วนๆ หรือเป็นกล่อง การเคลื่อนตัวของสิ่งคุกคามจะใช้สมการคณิตศาสตร์ในการคำนวณโดยใช้กฎการคงที่ของมวลและพลังงานที่เคลื่อนเข้าและออกจากกล่อง

2.1.3 แบบจำลองน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำไม่อิ่มตัว (Groundwater and Unsaturated-Zone Model) สิ่งคุกคามที่ถูกปล่อยลงบนผิวดินอาจมีการซึมลงสู่ น้ำใต้ดินผ่านชั้นหินและดินต่าง ๆ และในที่สุดก็อาจปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำบริเวณหรือน้ำผิวดินได้ วัตถุประสงค์หลักของแบบจำลองชนิดนี้คือ การคำนวณการกระจายของสิ่งคุกคามในชั้นดินที่อยู่รอบๆ แหล่งกำเนิดสิ่งคุกคาม เช่น ที่ทิ้งขยะ แบบจำลองมักจะใช้คำนวณเฉพาะการเคลื่อนตัวลงในแนวดิ่งของสิ่งคุกคามผ่านชั้นต่างๆ จนถึงชั้นน้ำใต้ดิน โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ ในแบบจำลองใหม่ๆ จะมีการแยกคำนวณเป็นส่วนๆ โดยใช้กฎการคงที่ของมวลและพลังงาน

2.1.4 แบบจำลองหลายตัวกลาง (Multimedia Model) แบบจำลองชนิดนี้ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของสิ่งคุกคามในตัวกลางต่างชนิดกัน แม้ว่าแบบจำลองอากาศและน้ำจะได้มีการคำนึงถึงการสะสมตัวของสิ่งคุกคามในตัวกลางต่าง ๆ เช่น อากาศ น้ำ ดิน น้ำผิวดิน แต่ก็มักจะจำกัดการคำนวณอยู่ในตัวกลางชนิดเดียว ทั้งๆ ที่การประเมินการสัมผัสจะต้องคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของสิ่งคุกคามในตัวกลางต่างชนิดกัน ผลการศึกษาหนึ่งพบว่า 50–85% ของสิ่งคุกคามเมื่อปล่อยลงสู่ตัวกลางหนึ่งในที่สุดแล้วอย่างน้อย 5% ของมวลสารจะเข้าสู่อีกตัวกลางหนึ่งเสมอ

แบบจำลองหลายตัวกลางนี้มักจะใช้วิธีการเชื่อมแบบจำลองตัวกลางเดี่ยวหลายแบบเข้าด้วยกัน โดยใช้กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีที่ขับเคลื่อนตัวผ่านอากาศสู่ น้ำ อากาศสู่ดิน และน้ำสู่ดิน อย่างไรก็ตาม การสร้างแบบจำลองดังกล่าวต้องอาศัยข้อมูลและความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างมาก ในขณะที่องค์ความรู้ในด้านดังกล่าวยังอยู่ในขั้นเริ่มต้นเท่านั้น

2.1.5 แบบจำลองห่วงโซ่อาหาร (Food Chain Model) สิ่งคุกคามบางชนิดที่ไม่สลายตัวตามธรรมชาติอาจมีการสะสมเพิ่มปริมาณขึ้นเป็นจำนวนมากได้ในสิ่งแวดล้อม หากสารนั้นถูกสะสมในพืชหรือสัตว์และมีการถ่ายทอดๆ กันไปตามห่วงโซ่อาหาร กระบวนการนี้เรียกว่า การสะสมตัวทางชีวภาพ (Bioaccumulation) โดยทั่วไปแล้วความรู้ในเรื่องนี้ยังมีน้อยมากทำให้แบบ

จำลองห่วงโซ่อาหารอาศัยหลักการง่าย ๆ เช่น ค่าคงที่ของการสะสม (Bioaccumulation Factor) และ อัตราการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อน เป็นต้น เช่นเดียวกับแบบจำลองอื่น ๆ ความสมบูรณ์ของแบบจำลองต้องอาศัยข้อมูลเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ตัวแปรหลายตัวยังมีความไม่แน่นอนสูง เช่น การคงตัวและพฤติกรรมของสารเคมีในพืชหรือสัตว์แต่ละชนิด เป็นต้น

2.2 แบบจำลองการสัมผัสในประชากร (Population Exposure Model) ในกลุ่มนี้เป็นการประเมินประชากรกลุ่มเสี่ยงที่อาจได้รับผลกระทบทางด้านสุขภาพอันเนื่องจากการสัมผัสสิ่งคุกคาม โดยเป้าหมายหลักแล้วต้องการที่จะตอบคำถามว่า ประชากรกลุ่มเสี่ยงจะได้รับปริมาณสิ่งคุกคามเข้าไปเท่าไร รูปแบบการศึกษาสามารถแบ่งออกได้เป็น

2.2.1 แบบจำลองวิธีการสัมผัส (Exposure-Route Model) โดยพื้นฐานแล้วแบบจำลองชนิดนี้ต้องการที่จะตอบคำถามว่าจะแปลงค่าปริมาณหรือความเข้มข้นจากสารในตัวกลางไปสู่ปริมาณหรือความเข้มข้นที่มนุษย์จะได้รับได้อย่างไร การพิจารณาในเรื่องนี้จะขึ้นกับวิธีการสัมผัสต่าง ๆ เช่น โดยการหายใจ การรับประทาน และการสัมผัสทางผิวหนัง ในกรณีของการวัดการสัมผัสทางการหายใจหน่วยของการวัดจะเป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามที่หายใจเข้าไปในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ทางรับประทานจะอยู่ในรูปของความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในอาหารทั้งหมดที่รับประทานเข้าไป สำหรับทางผิวหนังนิยมคำนวณในรูปของความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในตัวกลางที่สัมผัสเฉลี่ยต่อพื้นที่ผิวทั่วร่างกาย

รูปแบบการคำนวณโดยทั่วไปจะประมาณการได้รับสิ่งคุกคามของแต่ละคนโดยการหาผลคูณระหว่างความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในตัวกลาง (ที่ได้จากแบบจำลองการปล่อยมลพิษ) อัตราการได้รับตัวกลาง และระยะเวลาที่มีการสัมผัสตัวกลางที่มีการปนเปื้อนนั้น ตารางที่ 1 แสดงหน่วยที่นิยมใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในตัวกลางต่างๆ ตารางที่ 2 แสดงสูตรทั่วไปในการคำนวณอัตราการได้รับสิ่งคุกคามจากการสัมผัสแบบเรื้อรังซึ่งนิยามวัดเป็นความเข้มข้นของสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลาและหน่วยน้ำหนัก

ตารางที่ 1 แสดงหน่วยที่นิยมใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในตัวกลางต่างๆ

ตัวกลาง	การวัด	หน่วยที่ใช้
อากาศ	น้ำหนักของสิ่งคุกคามต่อหน่วยปริมาตรหรือมวลของอากาศ	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ – ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ppm – ส่วนในล้าน (โดยน้ำหนัก)
อากาศ	ปริมาตรของสิ่งคุกคามต่อหน่วยปริมาตรของอากาศ	ppm – ส่วนในล้าน (โดยปริมาตร)
น้ำ	น้ำหนักของสิ่งคุกคามต่อหน่วยปริมาตรหรือมวลของน้ำ	mg/l – มิลลิกรัมต่อลิตร ppm – ส่วนในล้าน (โดยน้ำหนัก)
อาหาร	น้ำหนักของสิ่งคุกคามต่อหน่วยน้ำหนักของอาหาร	mg/kg – มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ppm – ส่วนในล้าน (โดยน้ำหนัก)
ดิน	น้ำหนักของสิ่งคุกคามต่อหน่วยน้ำหนักของดิน	mg/kg – มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ppm – ส่วนในล้าน (โดยน้ำหนัก)

ตารางที่ 2 สูตรทั่วไปในการประมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับ

$$I = \frac{C \times CR \times EF \times EP}{BW}$$

I = การได้รับสิ่งคุกคาม (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย)

C = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในตัวกลางระหว่างที่มีการสัมผัส

CR = อัตราการสัมผัส, ปริมาณการสัมผัสตัวกลางที่ปนเปื้อนต่อหน่วยเวลา

EF = ความถี่ของการสัมผัส (วัน/ปี)

EP = ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี)

BW = น้ำหนักของร่างกาย, น้ำหนักของร่างกายตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (กก.)

ในกรณีที่สิ่งคุกคามปนเปื้อนในตัวกลางหลายชนิดหรือมีการสัมผัสในหลายทาง จะต้องมีการคำนวณแต่ละตัวกลางแยกจากกัน ตัวอย่างเช่น เพื่อที่จะให้ได้ขนาดของสิ่งคุกคามทั้งหมดจากน้ำ จะต้องมีการคำนวณขนาดจาก (1) น้ำดื่ม (2) การดูดซึมทางผิวหนัง (เช่น ในระหว่างการอาบน้ำหรือล้างน้ำ) (3) การหายใจ (จากการปนเปื้อนสู่อากาศเนื่องจากการอาบน้ำฝักบัว) (4) รับประทานพืชหรือสัตว์ที่สัมผัสต่อน้ำนั้น และ (5) การสัมผัสทางผิวหนังกับดินที่มีการปนเปื้อนน้ำนั้น จากนั้นก็รวมเอาค่าทั้งหมดเข้า

ด้วยกัน อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงถึงการเกิดพิษซึ่งบางครั้งขึ้นกับวิธีที่สัมผัสด้วย เช่น การหายใจเอาสารโครเมียมอาจทำให้เกิดมะเร็งที่ปอด ในขณะที่การรับประทานเข้าไปไม่ก่อให้เกิดโทษ

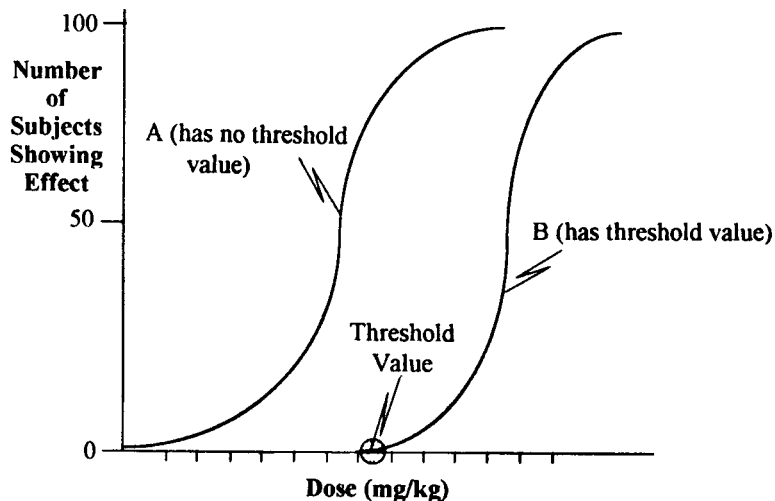
2.2.2 แบบจำลองในประชากร (Population Model) การสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินประชากรกลุ่มเสี่ยงอย่างน้อยจะต้องคำนึงถึงโครงสร้างประชากรและกิจกรรมต่างๆ ของแต่ละคน หมายความว่าต้องพิจารณาว่าใครเป็นผู้ที่ทำงานหรืออาศัยอยู่ใกล้กับแหล่งมลพิษ หรือใครเป็นผู้ที่มีโอกาสหายใจ ดื่มน้ำ หรือรับประทานอาหารหรือใช้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกปนเปื้อนจากแหล่งสิ่งคุกคามนั้น โดยสรุปการสร้างแบบจำลองชนิดนี้จะคำนึงถึงประชากรกลุ่มที่มีโอกาสเสี่ยงนั่นเอง ซึ่งสามารถทำได้โดยการแยกกลุ่มประชากรออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามลักษณะที่อาจจะเพิ่มโอกาสเสี่ยงแก่สมาชิกแต่ละคนในกลุ่ม ลักษณะที่ใช้แยกนี้เรียกว่าปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) ซึ่งมี 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ วิธีการดำเนินชีวิต (Lifestyle) และพันธุกรรม (Genetic) ปัจจัยเสี่ยงด้านวิธีการดำเนินชีวิตได้แก่ อายุ เศรษฐฐานะ และพฤติกรรมที่มีผลต่อระดับการสัมผัส สำหรับปัจจัยเสี่ยงด้านพันธุกรรมได้แก่ เพศ ระบบการกำจัดสิ่งคุกคามในร่างกาย ระบบภูมิคุ้มกัน และความผิดปกติของเมตาบอลิซึมที่อาจทำให้เสี่ยงต่อโรคบางชนิดได้ง่าย เป็นต้น

วิธีการคำนวณที่ง่ายที่สุดได้แก่ การแยกคำนวณแต่ละคนในกลุ่มประชากรย่อยๆ จากผลคูณของความเข้มข้นที่แต่ละคนได้รับกับระยะเวลาที่อยู่ในสภาพแวดล้อมนั้น จากนั้นก็รวมผลลัพธ์ที่ได้เข้าด้วยกัน การหาค่าเฉลี่ยสามารถทำได้โดยการหารผลรวมที่ได้ด้วยค่าผลรวมของเวลาทั้งหมด ดังนั้นอย่างน้อยที่สุดจะต้องทราบข้อมูลของแต่ละคนเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมย่อยที่แตกต่างกัน ความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในแต่ละสภาพแวดล้อมย่อย และเวลาเฉลี่ยที่ต้องใช้ในสภาพแวดล้อมย่อยนั้น

ในทางอุดมคติแล้วแบบจำลองประชากรนี้จะต้องคำนึงลักษณะเฉพาะทุกชนิดที่อาจจะมีผลต่อระดับการสัมผัสสิ่งคุกคาม เช่น เพศ สถานะสุขภาพ อาหารที่บริโภค ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดสิ่งคุกคาม และอื่นๆ ได้แก่ การใช้ยา การสูบบุหรี่ ปัจจัยเสี่ยงจากการประกอบอาชีพ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น EPA เคยประเมินความเสี่ยงจากสารฟอร์มาลดีไฮด์ โดยแบ่งกลุ่มประชากรออกได้แตกต่างกันถึง 25 กลุ่ม แล้วทำการประเมินการสัมผัสในแต่ละกลุ่มนั้น อย่างไรก็ตามข้อมูลในการแยกลักษณะของแต่ละกลุ่มไม่อาจหาได้ทุกกรณี บ่อยครั้งจะต้องใช้การประมาณหรือสันนิษฐาน จึงเป็นผลให้ความหลากหลายในกลุ่มประชากรมักจะถูกละเลยไป

การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Assessment)

ปรากฏการณ์หนึ่งที่พบและเป็นจริงกับสิ่งคุกคามส่วนมากก็คือเมื่อมนุษย์หรือสัตว์ทดลองได้รับสิ่งคุกคามดังกล่าวเข้าไปจำนวนหนึ่งจะเริ่มแสดงอาการของการเกิดพิษขึ้น และความถี่หรือความรุนแรงของการเกิดพิษจะมากขึ้นเมื่อขนาดที่ได้รับเพิ่มขึ้น แม้ลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของสิ่งคุกคามและผลกระทบด้านสุขภาพที่สนใจก็ตาม ลักษณะดังที่ได้กล่าวมาแล้วก็มักจะเป็นจริงเสมอ การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนองจึงมุ่งที่จะตอบคำถามว่า ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดที่สัมผัสกับการตอบสนองเป็นอย่างไร ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การทำการตอบสนองที่ระดับการสัมผัสต่างๆ กัน นอกจากนี้ความสัมพันธ์ที่ได้นำใช้ในการหาค่ามาตรฐานสำหรับสิ่งคุกคามที่อยู่ระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ การประเมินในขั้นตอนนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษาหาขนาดสัมผัสโดยการคำนวณหาปริมาณที่ประชาชนกลุ่มเสี่ยงหรือคนงาน (ขึ้นกับว่ากำลังหาค่ามาตรฐานสำหรับกลุ่มเป้าหมายใด) ได้รับสัมผัสตั้งแต่เริ่มมีการสัมผัสจนถึงเวลาที่ทำการศึกษาหรือเก็บข้อมูลโดยวิธีการประเมินการสัมผัส (exposure assessment) ที่ได้กล่าวมาแล้ว จากนั้นจะต้องมีการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ (health effect) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องกำหนดให้ชัดเจนว่าต้องการหาค่ามาตรฐานสำหรับผลกระทบใด เพราะค่ามาตรฐานสำหรับผลกระทบที่ต่าง ๆ ย่อมจะมีค่าแตกต่างกัน แม้จะเป็นการศึกษาในสิ่งคุกคามตัวเดียวกัน เราสามารถแบ่งผลกระทบด้านสุขภาพเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็ง (noncarcinogenic effect) และผลกระทบที่เป็นมะเร็ง (carcinogenic effect) โดยทั่วไปเราถือว่าผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็งย่อมมีระดับค่าความทน (threshold) ซึ่งเป็นระดับที่แบ่งระหว่างการเกิดหรือไม่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ในขณะที่ผลกระทบที่เป็นมะเร็งไม่มีระดับค่าความทนหมายความว่าทุกระดับของการได้รับสิ่งคุกคามย่อมมีโอกาสก่อให้เกิดมะเร็งได้ทั้งสิ้น จากนั้นก็หาความสัมพันธ์ระหว่าง ๒ ตัวแปรที่ได้โดยมีหลักอยู่ว่าถ้าข้อมูลมีมากพอและเป็นข้อมูลที่ได้จากแต่ละบุคคลก็สามารถใช้วิธีการทางสถิติทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่เรียกว่าการหาความสัมพันธ์เชิงถดถอย (regression analysis) หากข้อมูลมีไม่มากพอก็อาจใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีการศึกษาไว้แล้วและมีหลักฐานบ่งชี้ว่ามีความเหมาะสมกับชนิดของสิ่งคุกคามและผลกระทบด้านสุขภาพที่กำลังศึกษา จากนั้นขั้นตอนสุดท้ายคือการประเมินหาค่ามาตรฐานก็โดยการดูว่าผลกระทบด้านสุขภาพที่กำลังสนใจคืออะไร หากเป็นผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็งก็ให้ใช้ค่าความทนเป็นค่ามาตรฐาน แต่หากผลกระทบเป็นมะเร็งก็จะต้องหาระดับการสัมผัสที่ก่อให้เกิดโอกาสเสี่ยงของการเป็นมะเร็งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (เช่น 1 ใน 1 ล้าน) (ดูรูปที่ 1) ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาเป็นกรณีไปโดยดูความเหมาะสมในหลายๆ ด้านประกอบกัน เช่น ความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ความยอมรับในสังคม ฯลฯ สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงด้วยเสมอคือ การศึกษานั้น ๆ เป็นการศึกษาในมนุษย์หรือสัตว์ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการปรับค่ามาตรฐานที่ได้ด้วยค่าความปลอดภัยหรือค่าความไม่แน่นอน (safety or uncertainty factor) ตามความเหมาะสม



รูปที่ 1 แสดงเส้นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสและการตอบสนองของสารก่อมะเร็ง (เส้น A) และสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (สาร B)

ขั้นตอนในการประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนองอาจกระทำได้อดังนี้

การวัดขนาดสัมผัส (Dose Determination)

โดยทั่วไปเราสามารถวัดขนาดของการสัมผัสเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ **ขนาดที่ถูกดูดซึม (Absorbed Dose)** ได้แก่ขนาดที่ถูกดูดซึมผ่านผนังปอด (โดยผ่านทางหายใจ) ทางเดินอาหาร (โดยการรับประทาน) และทางผิวหนัง (โดยการสัมผัสทางผิวหนัง) อีกแบบหนึ่งคือ **ขนาดที่เกิดผล (Internal or Effective Dose)** ได้แก่ขนาดที่ไปถึงอวัยวะที่ก่อให้เกิดพิษหรือความเสียหายขึ้น

การคำนวณขนาดที่ถูกดูดซึมสามารถทำได้โดยการคูณค่าคงที่ค่าหนึ่งหรือหลายค่าเข้ากับค่าที่คำนวณได้จากการประเมินการสัมผัสที่ได้กล่าวมาแล้วค่านี้เรียกว่า **Bioavailability** ซึ่งมักจะเป็นค่าคงที่ขึ้นกับชนิดของสารและทางที่จะถูกดูดซึมเข้าไป โดยทั่วไปค่านี้จะมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าหากค่าเป็น 0 แปลว่าไม่ถูกดูดซึมเลยในขณะที่ค่าเป็น 1 แปลว่าถูกดูดซึม 100% สำหรับการหาขนาดที่เกิดผลนั้นมีข้อดีที่ให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำกว่าเพราะเป็นขนาดที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายโดยตรง แต่ในทางปฏิบัติวัดได้ยากหรือเกือบเป็นไปไม่ได้เลย เพราะจะต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารที่ดับอันเนื่องมาจากเมตาบอลิซึม การขับถ่าย การสะสมตัวในร่างกาย ฯลฯ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลและการศึกษาอีกเป็นจำนวนมาก บางครั้งการประเมินขนาดดังกล่าวอาจทำได้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า **แบบจำลองเภสัชจลนศาสตร์โดยอาศัยสรีรวิทยา (Physiologically Based Pharmacokinetic Models หรือ PBPK)** อย่างไรก็ตามการสร้างแบบจำลองดังกล่าวจะต้องอาศัยข้อมูลทางกายวิภาคศาสตร์ สรีรวิทยา การกระจายตัวของสารสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย อัตราการถูกเมตาบอลิซึม และ

ปฏิกิริยาทางชีวเคมีของสารต่อเนื้อเยื่อของร่างกาย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมักจะไม่มีการศึกษามาก่อนในมนุษย์ เพราะทำได้ยากจึงมักจะใช้ข้อมูลที่ได้จากสัตว์ทดลอง แต่ก็จะต้องระวังในเรื่องของความแตกต่างระหว่างคนและสัตว์ในการสร้างแบบจำลองดังกล่าว

ด้วยข้อจำกัดของการหาขนาดที่เกิดผลดังกล่าว การประเมินความเสี่ยงส่วนมากจึงใช้ขนาดที่ถูกคิดขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสามารถวัดได้ง่ายกว่า แต่ก็ต้องแปลผลด้วยความระมัดระวังหากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดทั้งสองไม่ใช่แบบเชิงเส้น

การวัดการตอบสนอง (Response Measurement)

การตอบสนองที่เกิดขึ้นมักจะออกมาในหลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ การตอบสนองแบบทวิภาค (Dichotomous Response) คือการตอบสนองที่มีได้เพียง 2 ชนิด เช่น การศึกษาพิษแบบเฉียบพลันในสัตว์ทดลองอาจวัดการตอบสนองเป็น “ตาย” หรือ “ไม่ตาย” หรือในการศึกษาการเกิดเนื้องอกก็อาจจะวัดการตอบสนองเป็น “เกิด” หรือ “ไม่เกิด” เนื้องอก เป็นต้น ข้อมูลที่ได้นี้สามารถแปลงเป็นอุบัติการณ์ได้โดยการหาค่าสัดส่วนของการตอบสนองกับจำนวนที่ทำการศึกษาทั้งหมด อีกกลุ่มหนึ่งได้แก่การวัดการตอบสนองเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Response) โดยการวัดการตอบสนองในรูปของระดับความรุนแรง เช่น การวัดปริมาณของเอ็นไซม์ดับที่ตรวจพบในกระแสเลือดซึ่งแสดงถึงระดับความรุนแรงของตับที่ถูกทำลายโดยสิ่งคุกคาม

อย่างไรก็ตามการวัดการตอบสนองสามารถกระทำได้ในการศึกษาครั้งเดียวกันและมักจะทำควบคู่กันไป เช่น การศึกษาเกี่ยวกับมะเร็งเราสามารถหาอุบัติการณ์และความรุนแรงของมะเร็งได้ในครั้งเดียวกัน เป็นต้น

การหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Estimation)

ดังได้กล่าวมาในตอนต้นแล้วว่าข้อมูลทางด้านวิทยาการระบาดเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดในการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง หากข้อมูลมีมากเพียงพอการหาความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้วิธีการทางชีวสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression Analysis) เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ หากข้อมูลมีไม่มากนักก็สามารถหาความสัมพันธ์โดยอาศัยแบบจำลองชนิดต่าง ๆ ดังจะกล่าวต่อไปตามความเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตามการอนุมานผลการศึกษาไปสู่กลุ่มประชากรทั่วไป (Extrapolation) ก็ยังเป็นสิ่งที่ต้องกระทำเสมอ เช่น จากการศึกษาทางวิทยาการระบาดที่พบทั่วไปประชากรกลุ่มเสี่ยงจะมีการสัมผัสสิ่งคุกคามอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง เช่นเดียวกับการทดลองในสัตว์ทดลองมักจะให้สัตว์ทดลองได้รับสิ่ง

คุกคามในปริมาณสูง การอนุมานค่าจากการสัมผัสที่มีขนาดสูงไปสู่ขนาดที่อยู่ในระดับต่ำ (High-to-Low Dose Extrapolation) ซึ่งเป็นระดับที่คนทั่วไปได้รับจึงเป็นประเด็นที่ต้องมีการคำนึงถึง แต่ในความเป็นจริงแล้วยังขาดการศึกษาด้านวิทยาการระบาดสำหรับสิ่งคุกคามอีกเป็นจำนวนมาก ในกรณีนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากสัตว์ทดลอง และการอนุมานผลจากสัตว์ทดลองสู่มนุษย์ (Animal-to-Human Extrapolation) จึงเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ต้องมีการคำนึงถึง โดยต้องพิจารณาในแง่ความแตกต่างในด้านขนาดร่างกาย เมตาบอลิซึม และความหลากหลายในประชากร (Population Heterogeneity)

แบบจำลองขนาดสัมผัสและการตอบสนอง (Dose-Response Models)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าในกรณีที่มีข้อมูลไม่เพียงพอ เราอาจใช้แบบจำลองทั่วไปที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วมาทำการจำลองหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสและการตอบสนองได้ สำหรับแบบจำลองที่มีการศึกษาไว้แล้วได้แก่

1. Simple Dose-Response Model แบบจำลองชนิดนี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุด เพราะเป็นการหาเส้นความสัมพันธ์ (curve) ระหว่างค่าขนาดที่สัมผัส (เช่น การสัมผัสแบบสะสม) กับการตอบสนอง (เช่น จำนวนที่ตาย) เส้นความสัมพันธ์ที่ได้อาจเป็นเส้นตรง [ที่มีหรือไม่มีค่าความทน (Threshold)] quadratic หรือ sigmoidal (S-shape) แบบจำลองชนิดนี้มีที่ใช้อย่างกว้างขวางในการประมาณจำนวนการเกิดมะเร็งเนื่องมาจากการได้รับรังสีในปริมาณต่ำ โดยเส้นความสัมพันธ์ที่ได้มักเป็นเส้นตรงหรือ quadratic ในกรณีที่ความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงหากทราบค่าความชันหรือ Slope (จำนวนการเกิดมะเร็งที่เพิ่มขึ้นต่อหนึ่งหน่วยของการเพิ่มขนาดสัมผัส) และค่าอุบัติการณ์พื้นฐาน (Baseline Incidence Rate) ของมะเร็งชนิดนั้น ๆ ก็เพียงพอที่จะหาสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวแน่นอนว่าค่าความชันย่อมขึ้นอยู่กับชนิดและตำแหน่งของมะเร็งที่เกิดขึ้น ในทำนองเดียวกันค่าความชันเองยังขึ้นกับอายุที่เริ่มได้รับรังสีเป็นครั้งแรกด้วย

2. Tolerance Distribution Model แบบจำลองชนิดนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าแต่ละคนมีค่าความทน (Tolerance) ต่อสิ่งคุกคามที่จำเพาะหนึ่ง ๆ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่บุคคลกลุ่มหนึ่งจะได้รับผลกระทบเมื่อได้รับปริมาณสิ่งคุกคามที่ระดับ d ย่อมเท่ากับความน่าจะเป็นที่ระดับความทนของบุคคลกลุ่มนั้นจะน้อยกว่าค่า d ด้วย ข้อเท็จจริงและสมมติฐานดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญที่นำมาสู่แบบจำลองชนิดต่าง ๆ คือ

2.1 Log-Probit Model แบบจำลองชนิดนี้ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าค่าลอการิธึม (Logarithm) ของค่าความทนมีการกระจายแบบปกติ (Normal or

Guassian Distribution) ผลที่ได้คือค่าสัดส่วนการตอบสนองในกลุ่มประชากรจะเพิ่มตามค่าลอการิธึมของค่าความทนในแบบตัว S (Sigmoidal Shape) แบบจำลองชนิดนี้พบว่าเข้าได้กับการทดสอบสิ่งคุกคามหลายชนิด โดยเฉพาะการเกิดพิษแบบเฉียบพลันอันเนื่องมาจากก๊าซพิษ นอกจากนี้ยังพบว่าใช้ได้กับโรคติดเชื้อหลายชนิด โดยค่าความทนในกรณีหลังได้แก่ขนาดของเชื้อโรคที่ยังทนทานได้ก่อนที่จะถึงจากระดับนี้ขึ้นไปจะเริ่มก่ออาการให้เห็น อย่างไรก็ตามแม้ว่าแบบจำลองชนิดนี้จะใช้ได้ดี แต่ก็พบว่าจะให้ค่าการทำนายที่ค่อนข้างถูกต้องเฉพาะภายในช่วงของการตอบสนองที่มีการทดลองหรือสังเกตเท่านั้น (Interpolation) การทำนายค่าที่นอกเหนือไปจากช่วงดังกล่าว (Extrapolation) เช่น ที่ระดับการสัมผัสที่ต่ำ จะต้องมีการปรับแต่งแบบจำลองเสียก่อนเสมอ

2.2 Log Logistic or Logit Model แบบจำลองชนิดนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าค่าลอการิธึมของค่าความทนมีการกระจายแบบโลจิต (Logit Distribution) การกระจายแบบโลจิตนี้มีลักษณะคล้ายกับการกระจายแบบปกติตรงที่มีรูปร่างเหมือนระฆังคว่ำและมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียง ๆ กับจุดศูนย์กลาง แต่จะให้ค่าที่ต่างกันออกไปที่ระยะห่างออกจากจุดศูนย์กลาง แบบจำลองชนิดนี้พบว่าสามารถเข้าได้กับข้อมูลที่ได้จากประชากรที่มีการผันแปรสูง

2.3 Weibull Model แบบจำลองชนิดนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าค่าความทน (ไม่ใช่ลอการิธึมของค่าความทน) มีการกระจายแบบ Weibull ซึ่งจะมีลักษณะเบ้เล็กน้อยที่บริเวณค่าเฉลี่ย แต่เดิมการกระจายแบบ Weibull ได้รับการพัฒนาและใช้ในการประเมินความเสี่ยงด้านวิศวกรรมศาสตร์ แต่พบว่าสามารถใช้ได้ดีกับข้อมูลทางชีววิทยา

จากลักษณะของแบบจำลองดังกล่าวข้างต้น พบว่าในช่วงของการตอบสนองต่างๆ ไปคือ ระหว่าง 10-90% ของการตอบสนอง ทั้ง 3 แบบจะให้ลักษณะเส้นความสัมพันธ์ที่คล้ายกันมากจนแทบไม่อาจแยกความแตกต่างได้ แต่ในช่วงของขนาดสัมผัสที่อยู่ในระดับต่ำ แบบจำลองแบบโลจิตและ Weibull จะให้ค่าการทำนายที่ต่ำกว่าแบบ Log-Probit ได้หลายสิบเท่า โดยสรุปความแตกต่างระหว่างแบบจำลองชนิดต่าง ๆ จะแยกออกจากกันอย่างเห็นได้ชัดที่ระดับการสัมผัสที่มีขนาดต่ำ

3. Mechanistic Model เป็นกลุ่มของแบบจำลองที่อาศัยสมมติฐานทางทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการทางชีววิทยา ซึ่งความซับซ้อนของแบบจำลองจะขึ้นกับระดับองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ แต่ทั้งหมดพัฒนามาจากการประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการเกิดมะเร็ง แต่ก็สามารถประยุกต์ใช้ได้กับผลกระทบที่มีต่อระบบการเจริญพันธุ์ สารพันธุกรรมและอื่นๆ แบบจำลองกลุ่มนี้อาศัยข้อเท็จจริงที่ว่ากระบวนการทางชีววิทยาที่จะนำไปสู่ผลอันไม่พึงประสงค์นั้นจะต้องประกอบด้วยเหตุการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นเป็นตอนในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยแต่ละเหตุการณ์จะเกิดขึ้นแบบอิสระ

(Random) แต่ขึ้นกับขนาดของการสัมผัส กระบวนการต่าง ๆ นี้ได้แก่เหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับรับเอาสิ่งคุกคามเข้าสู่เซลล์ กลไกการทำลายเซลล์หรืออวัยวะ และกลไกการซ่อมแซมตัวเองของเซลล์หรืออวัยวะ ชนิดของแบบจำลองกลุ่มนี้ได้แก่

3.1 One-Hit Model หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแบบจำลองเชิงเส้น ซึ่งถูกพัฒนามาเพื่อทำนายอุบัติการณ์ของการเกิดเนื้องอกอันเนื่องมาจากการได้รับรังสี สมมติฐานของแบบจำลองนี้เชื่อว่ามีเหตุการณ์ทางชีววิทยาบางอย่างเกิดขึ้น (เรียกว่า hit) แล้วกระตุ้นให้เกิดการตอบสนอง ดังนั้นแม้เกิดปฏิกิริยสัมพันธ์ทางโมเลกุล (Molecular Interaction) ระหว่างสิ่งคุกคามกับเซลล์เป้าหมายเพียงครั้งเดียวก็เพียงพอที่จะก่อให้เกิดผลที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น ข้อสมมติฐานอีกประการหนึ่งก็คือ ความน่าจะเป็นในการเกิดปฏิกิริยสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ไม่ขึ้นกับอายุหรือลักษณะการสัมผัส เส้นความสัมพันธ์ของแบบจำลองชนิดนี้จะมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรงในช่วงขนาดสัมผัสต่ำ แต่ถ้าดูตลอดช่วงแล้วจะมีลักษณะโค้ง ซึ่งการคำนวณค่อนข้างง่ายโดยแบบจำลองชนิดนี้จะถือว่าการเกิดการตอบสนองจะไม่มีค่า threshold แต่มีข้อเสียคือให้ค่าการทำนายในช่วงการสัมผัสในระดับต่ำได้ไม่ค่อยดีนัก

3.2 Multihit Model เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Gamma Multihit Model แบบจำลองชนิดนี้มีข้อสมมติฐานที่ว่า การเกิดเหตุการณ์ที่จะก่อให้เกิดการตอบสนองจะต้องมีมากกว่า 2 เหตุการณ์ และจำนวนการเกิดในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ จะเป็นไปตามการกระจายแบบพัวซอง (Poisson Distribution) แบบจำลองชนิดนี้จะคล้ายกับแบบ one-hit คือให้ค่าการทำนายในช่วงการสัมผัสในระดับต่ำได้ไม่ค่อยดีนัก โดยจะให้เส้นความสัมพันธ์ที่ระดับการสัมผัสต่ำๆ ได้หลายแบบขึ้นกับค่าพารามิเตอร์ที่ได้

3.3 Multistage Model หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Armitage-Doll Function แบบจำลองชนิดนี้มีสมมติฐานที่ว่า เซลล์เนื้องอกจะต้องผ่านระยะต่างๆ หลายระยะกว่าที่จะเป็นเซลล์มะเร็งในที่สุด โดยในแต่ละระยะนั้นจะถูกเร่งอัตราการเกิดได้ด้วยสารก่อมะเร็ง แบบจำลองชนิดนี้ไม่ได้กำหนดลักษณะหรือจำนวนของระยะหรือขั้นตอนไว้ ดังนั้นจึงมีความยืดหยุ่นสูงที่นักวิเคราะห์สามารถกำหนดเองได้ เช่น อาจกำหนดว่าการเกิดมะเร็งมี 5 ระยะ โดยสารก่อมะเร็งจะมีผลต่อระยะที่ 1 และ 4 เป็นต้น ระยะเวลาของการเปลี่ยนแปลงไปสู่ระยะต่างๆ จะกำหนดในรูปของฟังก์ชันความน่าจะเป็นในลักษณะของอัตราซึ่งเป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดของสารก่อมะเร็ง แบบจำลองชนิดนี้เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในการประเมินความเสี่ยงด้านมะเร็ง เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงและมีหลักฐานที่สนับสนุนข้อสมมติฐานของแบบจำลองชนิดนี้ อย่างไรก็ตามเช่นเดียวกับแบบจำลอง

ชนิดอื่นๆ มักจะให้ผลการทำนายที่ดีในช่วงของการสัมผัสที่มีขนาดสูง ข้อเสียอีกประการคือ ก่อนข้างจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแม้เพียงเล็กน้อยก็ตาม

4. Time-to-Response Model แบบจำลองชนิดนี้มักใช้ในการประเมินความเสี่ยงอันเนื่องมาจากสารก่อมะเร็งที่มีระยะเวลาช่วงหนึ่งก่อนที่จะก่อให้เกิดผลอันไม่พึงประสงค์ภายหลังจากที่ได้รับสารเข้าไป หรือที่เรียกว่าระยะแฝง (Latency) สมมติฐานของแบบจำลองชนิดนี้คือ ค่าลอการิทึมของระยะแฝงจะมีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นแบบจำลองชนิดนี้จะให้ค่าการทำนายทั้งความน่าจะเป็นของการเกิดผลอันไม่พึงประสงค์และระยะแฝงด้วย ดังนั้นการกีดรวมเอาอายุที่เริ่มแสดงอาการก็จะทำให้การทำนายมีความถูกต้องมากขึ้น แบบจำลองชนิดนี้จึงมีข้อดีในแง่ที่ว่าให้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง แต่ก็มีข้อเสียที่จะต้องอาศัยข้อมูลเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น จะต้องมีการฆ่าสัตว์ทดลองเป็นระยะ ๆ เพื่อตรวจดูว่ามีมะเร็งเกิดขึ้นหรือไม่ การทดลองดังกล่าวจะต้องใช้สัตว์ทดลองเป็นจำนวนมากและทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอีกด้วย ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวจึงทำให้แบบจำลองชนิดนี้ทำได้ยากในทางปฏิบัติ

ค่าความทน (Threshold)

ค่าความทนคือบริเวณบนเส้นความสัมพันธ์ขนาดสัมผัสและการตอบสนองที่เป็นจุดแบ่งระหว่างมีพิษกับไม่มีพิษ หรืออีกนัยหนึ่งคือค่าที่ขนาดสัมผัสหากเกินไปจากค่านี้จะเริ่มสังเกตการตอบสนอง โดยทั่วไปแล้วนักพิษวิทยาจะตั้งข้อสมมติฐาน 2 ประการคือ ค่าความทนจะพบได้เสมอในกรณีของการตอบสนองที่ไม่ใช่มะเร็งหรือการตอบสนองที่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของยีน หมายความว่าหากประชากรกลุ่มหนึ่งได้รับขนาดสิ่งคุกคามที่น้อยกว่าค่าความทนก็จะไม่แสดงอาการใดๆ ให้ปรากฏ ข้อสมมติฐานอีกประการคือ การตอบสนองที่ก่อให้เกิดมะเร็งหรือความเสียหายต่อยีนจะไม่มีค่าความทน แปลว่าทุกระดับของการสัมผัสสามารถก่อให้เกิดมะเร็งหรือความเสียหายต่อยีน ข้อสมมติฐานข้อแรกนี้ได้รับการยอมรับกันโดยทั่วไปเนื่องจากมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ให้การสนับสนุนในแง่ที่ว่าจะต้องมีระดับของสิ่งคุกคามอยู่ที่ระดับหนึ่งเป็นอย่างน้อยในบริเวณอวัยวะเป้าหมายก่อนที่จะเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ว่าในขนาดสิ่งคุกคามระดับต่ำจะก่อให้เกิดการทำลายของเซลล์ไม่มากนักซึ่งสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นสามารถซ่อมแซมหรือทดแทนส่วนที่ถูกทำลายและมีชีวิตได้ต่อไป แต่เมื่อระดับสิ่งคุกคามมีมากขึ้นและมีการทำลายเซลล์จนเกินขีดความสามารถที่จะทดแทนตัวเองได้อาการก็จะเริ่มปรากฏให้เห็น ค่าความทนสำหรับสารเคมีโดยทั่วไปมักจะเรียกว่า ระดับไม่พบผลเสีย (No Observed Effect Level หรือ NOEL) หรือ ระดับไม่พบผลอันไม่พึงประสงค์ (No Observed Adverse Effect Level หรือ NOAEL) สำหรับข้อสมมติฐานประการที่สองสามารถอธิบายได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในระดับโมเลกุลหรือยีนอันเนื่องมาจากสารก่อมะเร็ง

สามารถถ่ายทอดไปสู่รุ่นหลังได้ เซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงมีความเสี่ยงที่จะกลายมาเป็นเซลล์มะเร็งได้ทุกขณะ

การอนุมานผลระหว่างสปีชีส์ (Interspecies Extrapolation)

ดังได้กล่าวมาตอนต้นแล้วว่าผลการศึกษาส่วนใหญ่ได้มาจากการทดลองในสัตว์ ดังนั้นการอนุมานผลในมนุษย์โดยอาศัยผลจากสัตว์ทดลองจึงต้องคำนึงถึงความแตกต่างในแง่ขนาดร่างกาย เมตาบอลิซึม สรีรวิทยา และความหลากหลายในหมู่ประชากร การปรับค่าอันเนื่องมาจากความแตกต่างของขนาดร่างกายสามารถกระทำได้โดยการวัดค่าขนาดสัมผัสตามน้ำหนักหรือพื้นที่ผิวของร่างกาย เช่น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักร่างกายหรือต่อตารางเมตรของพื้นที่ผิวร่างกาย เป็นต้น สำหรับความหลากหลายในหมู่ประชากร เป็นอีกกรณีหนึ่งที่มีมักจะเกิดขึ้นเนื่องจากสัตว์ทดลองมักจะมาจากครอกเดียวกันทำให้ไม่มีความหลากหลายในการตอบสนอง ในขณะที่ประชากรมนุษย์จะมีความหลากหลายได้มาก เช่น กลุ่มคนสูงอายุ เด็ก และผู้ป่วยจะมีโอกาสได้รับอันตรายมากกว่ากลุ่มประชากรอื่น กรณีสุดท้ายได้แก่ความแตกต่างทางด้านเมตาบอลิซึม สรีรวิทยา และกายวิภาคศาสตร์ ทำให้การทำนายค่าระหว่างสปีชีส์เป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีไม่เพียงพอหรือไม่อาจทราบได้เสมอไป

การอนุมานผลระหว่างการสัมผัสขนาดสูงสู่การสัมผัสขนาดต่ำ (High-to-Low Dose Extrapolation)

การอนุมานผลระหว่างการสัมผัสขนาดสูงสู่การสัมผัสขนาดต่ำเป็นอีกกรณีหนึ่งที่เป็นปัญหา เนื่องจาก การทดลองมักจะมีการใช้ขนาดของสิ่งคุกคามในปริมาณที่สูงเพื่อทดแทนการตอบสนองบางชนิดที่มีความไวต่ำ นอกจากนี้แล้วแบบจำลองต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาในตอนต้นก็มักจะให้ค่าการทำนายที่ขนาดการสัมผัสระดับต่ำได้แตกต่างกันมาก บ่อยครั้งที่ข้อมูลมีไม่เพียงพอที่จะบอกได้ว่าแบบจำลองชนิดใดที่เหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด ดังนั้นจึงอาจจะต้องอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการเกิดโรคร่วมพิจารณาด้วย

เกณฑ์การประเมินความเสี่ยงของหน่วยงานในสหรัฐอเมริกา

เกณฑ์การพิจารณาความเสี่ยงของหน่วยงานรัฐบาลในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ต่อไปนี้เป็นเกณฑ์ที่มีการยอมรับกันโดยทั่วไป

1. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในมนุษย์ถือได้ว่าดีที่สุดในการประเมินหาสิ่งคุกคามและความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสและการตอบสนอง
2. ในกรณีที่ข้อมูลในมนุษย์ไม่มีหรือมีไม่เพียงพอข้อมูลจากสัตว์ทดลองสามารถใช้แทนได้

3. ข้อมูลจากสัตว์ทดลองสปีชีส์ ชนิด หรือเพศที่แสดงผลว่ามีความไวในการตอบสนองมากที่สุดต่อสิ่งคุกคามชนิดหนึ่ง ๆ จะนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงในมนุษย์ เว้นแต่จะมีข้อมูลแสดงว่าการเลือกสัตว์ทดลองชนิดนั้นไม่ถูกต้อง
4. ข้อมูลจากสัตว์ทดลองที่ได้รับสิ่งคุกคามโดยวิธีเดียวกับที่พบในมนุษย์จะเหมาะสมต่อการประเมินความเสี่ยง เว้นแต่หากผลกระทบต่อสุขภาพเป็นแบบทั้งระบบ (Systemic Effect) อาจใช้ข้อมูลที่สัตว์ทดลองได้รับด้วยวิธีอื่นได้
5. สำหรับผลด้านความเป็นพิษที่ไม่ชัดเจนให้ถือว่ามีความทนอยู่ และค่า NOEL ที่ต่ำที่สุดในบรรดาการศึกษาที่มีอยู่ทั้งหมดจะนำมาใช้ในการประเมินค่ามาตรฐานความปลอดภัยในมนุษย์
6. ค่าความทนในมนุษย์สามารถคำนวณได้จากผลหารระหว่างค่า NOEL กับค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลและลักษณะของประชากรในมนุษย์
7. แบบจำลองขนาดสัมผัสและการตอบสนองสำหรับสารก่อมะเร็ง ให้ถือว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรงและไม่มีค่าความทนที่ระดับการสัมผัสขนาดต่ำ ๆ
8. โดยทั่วไปการประเมินความเสี่ยงให้ถือว่าเป็นการประเมินสำหรับกลุ่มสมาชิกในประชากรที่ได้รับหรือมีอัตราการรับสารที่สูงที่สุด แม้ว่าคนส่วนมากในกลุ่มจะได้รับสารโดยเฉลี่ยน้อยกว่าก็ตาม^๔

ลำดับชั้นของการเลือกข้อมูล (Hierarchy of Data Selection)

ในการรายงานระดับการสัมผัสในมนุษย์หรือสัตว์มักจะออกมาเป็นค่าที่มีตัวย่อเป็น NOEL NOAEL LOEL และ LOAEL ต่อไปนี้คือความหมายของคำเหล่านี้

NOEL (No-Observed-Effect Level ระดับที่สังเกตไม่พบผลเสีย-มีหน่วยเป็น มก./กก./วัน) คือระดับของการได้รับหรือมีอัตราการได้รับสิ่งคุกคามที่สูงที่สุดจากการทดลองโดยที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือทางชีววิทยา

NOAEL (No-Observed-Adverse-Effect Level ระดับที่สังเกตไม่พบอาการอันไม่พึงประสงค์-มีหน่วยเป็น มก./กก./วัน) คือระดับของการได้รับหรือมีอัตราการได้รับสิ่งคุกคามที่สูงที่สุดจากการทดลองโดยที่ไม่ก่อให้เกิดอาการอันไม่พึงประสงค์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือทางชีววิทยา

LOEL (Lowest-Observed-Effect Level ระดับที่ต่ำที่สุดที่สังเกตพบผลเสีย-มีหน่วยเป็น มก./กก./วัน) คือระดับของการได้รับหรือมีอัตราการได้รับสิ่งคุกคามที่ต่ำที่สุดจากการทดลองโดยที่ยังก่อให้เกิดผลเสียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือทางชีววิทยา

LAOEL (Lowest-Observed-Adverse-Effect Level) ระดับที่ต่ำที่สุดที่สังเกตพบผลอันไม่พึงประสงค์-มีหน่วยเป็น มก./กก./วัน) คือระดับของการได้รับหรือมีอัตราการได้รับสิ่งคุกคามที่ต่ำที่สุดจากการทดลองโดยที่ยังก่อให้เกิดผลอันไม่พึงประสงค์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือทางชีววิทยา

การคำนวณค่ามาตรฐานความปลอดภัยจากการศึกษาในสัตว์ทดลองหรือมนุษย์

ค่า NOEL NOAEL LOEL หรือ LOAEL ที่ได้จากการศึกษาในมนุษย์หรือสัตว์ทดลองโดยทั่วไปแล้วยังไม่สามารถนำมาใช้เป็นค่ามาตรฐานความปลอดภัยได้จะต้องมีการปรับให้เหมาะสมด้วยค่าความปลอดภัย (Safety Factor) หรือบางครั้งเรียกว่าค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Factor) เสียก่อน ค่าความปลอดภัยนี้จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 10 และมีการกำหนดหลักเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

F_1 จะใช้ในกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างสปีชีส์ โดยจะมีค่าเป็น 1 หากเป็นการศึกษาในมนุษย์ และจะมีค่าได้ตั้งแต่ 1 ถึง 10 หากเป็นการศึกษาในสัตว์ทดลองขึ้นกับว่ามีความแตกต่างในด้านสรีรวิทยาและกลไกการเกิดพิษระหว่างสัตว์ทดลองและมนุษย์มากน้อยเพียงใด หากไม่มีความแตกต่างดังกล่าวก็อาจกำหนด F_1 เป็น 1 ได้

F_2 จะใช้ในกรณีที่มีการหลากหลายในระหว่างกลุ่มประชากรในแง่ความไวต่อการเกิดผลกระทบ โดยมีค่าได้ตั้งแต่ 1 ถึง 10 หากไม่พบว่ามีความหลากหลายจะกำหนดให้เป็น 1

F_3 จะกำหนดให้เป็น 10 หากต้องการค่ามาตรฐานที่เป็นแบบ lifetime NOEL หรือ NOAEL แต่มีเพียงข้อมูลที่เป็น short-term NOEL หรือ NOAEL หรือ long-term LOEL หรือ LOAEL ค่า F_3 นี้จะทวีค่าอีก 10 เท่า ถ้าค่า LOEL หรือ LOAEL ได้มาจากการศึกษาแบบระยะสั้น (Short Term) ดังนั้นค่าสูงสุดของ F_3 คือ 100 ในทำนองเดียวกันค่า F_3 เท่ากับ 10 เมื่อต้องการค่ามาตรฐานที่เป็นแบบ lifetime LOEL หรือ LOAEL แต่มีเพียงข้อมูลที่เป็น short-term LOEL หรือ LOAEL

การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization)

การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงถือได้ว่าเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยง โดยมีขั้นตอนคือ

❖ รวบรวมลักษณะต่าง ๆ ที่ได้จากการประเมินใน 3 ขั้นตอนแรกที่ได้กล่าวมาแล้ว

- ❖ ประเมินคุณภาพในภาพรวมของการประเมินความเสี่ยงรวมถึงระดับความเชื่อมั่นของผู้ประเมิน
- ❖ อธิบายความเสี่ยงที่ได้ให้กับแต่ละคนในกลุ่มประชากรในแง่ของขนาดและความรุนแรง
- ❖ รายงานผลการศึกษาให้กับผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจ

หลักการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Principles of Risk Characterization)

โดยหัวใจของการอธิบายลักษณะของความเสี่ยงแล้ว ต้องการที่จะสื่อผลที่ได้ให้กับผู้จัดการความเสี่ยง (Risk Manager) ซึ่งเป็นผู้มีอำนาจในการตัดสินใจได้รับทราบ หลักของการอธิบายลักษณะของความเสี่ยงจึงเน้นไปที่การตอบคำถามที่สำคัญที่เกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงและเป็นที่สนใจของผู้ที่ได้รับผลกระทบดังต่อไปนี้

1. การอธิบายความเสี่ยงของแต่ละบุคคลในกลุ่มประชากรกลุ่มเสี่ยง

การที่จะอธิบายความเสี่ยงของแต่ละบุคคลได้จำเป็นที่จะต้องทราบข้อมูลของแต่ละบุคคลในกลุ่มที่ได้รับผลกระทบในแง่ของปริมาณที่ได้รับสัมผัสสิ่งคุกคาม ซึ่งมักจะนำไปสู่การตอบคำถามที่สำคัญเหล่านี้คือ

- ❖ ใครเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงสูงสุด
- ❖ ระดับความเสี่ยงอยู่ที่ระดับใด
- ❖ กิจกรรมหรือพฤติกรรมแบบใดที่ทำให้มีความเสี่ยงสูง
- ❖ ความเสี่ยงเฉลี่ยของทั้งกลุ่มประชากรเป็นอย่างไร

จะเห็นได้ว่าหัวใจของคำถามข้างต้นอยู่ที่การที่สามารถบอกระดับความเสี่ยงในเชิงปริมาณหรือเชิงตัวเลขได้ ตัวอธิบายความเสี่ยง (Risk Descriptor) ที่มักจะใช้คือ ค่าเพดานบน (Upper Bound) เช่น เปอร์เซนไทล์ที่ 90 หรือ 95 เป็นต้น อีกค่าหนึ่งได้แก่ ค่าแนวโน้มสู่ส่วนกลาง (Central Tendency) เช่นค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน เป็นต้น

2. การอธิบายความเสี่ยงของกลุ่มประชากรกลุ่มเสี่ยง

การอธิบายความเสี่ยงของกลุ่มประชากรกลุ่มเสี่ยงคือการประเมินความเสี่ยงของกลุ่มประชากรทั้งกลุ่มในภาพรวม ซึ่งได้แก่การตอบคำถามเหล่านี้

- ❖ จะมีจำนวนของผู้ที่ป่วยด้วยโรคที่เกิดจากการได้รับสิ่งคุกคามต่อสุขภาพเท่าไรในช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้

- ❖ หากเป็นผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็ง ส่วนใดของกลุ่มประชากรที่อยู่ในระดับมาตรฐานความปลอดภัย
- ❖ หากเป็นผลกระทบที่เป็นมะเร็งส่วนใดของกลุ่มประชากรที่อยู่ในระดับเสี่ยงที่ยอมรับได้ (เช่น ไม่เกิน 1 ใน 1 ล้าน)

ตัวอธิบายความเสี่ยงในที่นี้ได้แก่ จำนวนผู้ป่วยที่ประเมินจากที่น่าจะเป็นในกลุ่มประชากรที่ได้รับผลกระทบ โดยสามารถคำนวณจากผลรวมความเสี่ยงของแต่ละคนที่ได้จากข้อมูลการกระจายความเสี่ยง (Distribution of Risk) ในกลุ่มประชากรนั้น หรือโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์ของขนาดสัมผัสและการตอบสนองแบบเส้นตรงและไม่มีค่าความทนในกรณีของผลกระทบที่เป็นมะเร็ง (ดูหัวข้อ “เกณฑ์การประเมินความเสี่ยงของหน่วยงานในสหรัฐอเมริกา”) ตัวอธิบายความเสี่ยงอีกตัวหนึ่งได้แก่ค่าร้อยละของประชากรที่มีความเสี่ยงเกินค่าระดับหนึ่ง ซึ่งมักจะใช้ในการพิจารณาของผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็ง ค่าที่ได้จะเป็นการประมาณค่าร้อยละหรือจำนวนของกลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงเกินระดับความเสี่ยงที่กำหนดเอาไว้

3. การอธิบายความเสี่ยงของกลุ่มประชากรย่อยเฉพาะกลุ่ม

มีหลายกรณีที่กลุ่มประชากรบางกลุ่มมีความเสี่ยงสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ เช่น เด็กที่เล่นในบริเวณที่พื้นดินมีการปนเปื้อนหรือกลุ่มคนที่มีการรับประทานปลาที่ถูกปนเปื้อน เป็นต้น คำถามต่อไปนี้จะเกิดขึ้น เช่น

- ❖ กลุ่มย่อยต่าง ๆ จะได้รับการสัมผัสและความเสี่ยงแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด
- ❖ กลุ่มบุคคลใดในกลุ่มประชากรย่อยที่เป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูง

การจะตอบคำถามข้างต้นได้จำเป็นต้องมีข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะของประชากรกลุ่มย่อยที่มีความเสี่ยงสูง เช่น อายุ เพศ วิธีการดำเนินชีวิต สถานะทางเศรษฐกิจ เป็นต้น ตัวอธิบายความเสี่ยงในที่นี้ได้แก่ ตัวที่ใช้เหมือนข้อ 1 และข้อ 2 ที่กล่าวมาแล้วโดยจะต้องมีการประเมินตามกลุ่มที่ได้รับการสัมผัสสูงและกลุ่มที่มีโอกาสได้รับผลกระทบทางสุขภาพได้มากที่สุด

บทสรุป

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเป็นเพียงสาขาวิชาหนึ่งที่ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่จะใช้ในการตอบคำถามวิจัยบางประเด็น เพื่อประโยชน์ในแง่ของการวางแผนป้องกันปัญหาได้อย่างถูกต้องหรืออย่างน้อยเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งสำหรับผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจ (Decision-Maker) หรือผู้กำหนดนโยบาย (Policy Maker) ในการตัดสินใจหรือกำหนดนโยบายที่ถูกต้องและเหมาะสมตามหลักวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องจากการแก้ไขหรือป้องกันปัญหาทางด้านสุขภาพอันเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมให้ได้ผลจะต้องมองปัญหาแบบองค์รวม (Holistic Approach) ดังนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ปัจจัยทางสังคม เศรษฐกิจ กฎหมาย เป็นต้น รวมถึงองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยเชิงคุณภาพด้านความเสี่ยงอื่น ๆ ประกอบกัน จึงจะสามารถแก้ไขหรือป้องกันปัญหาได้อย่างครบวงจร

บทที่ 4

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของต่างประเทศ

บทนำ

เป็นที่ยอมรับกันมานานแล้วว่าคุณภาพอากาศมีความสัมพันธ์กับสุขภาพมนุษย์และสภาพแวดล้อมโดยรวม ดังนั้นการปกป้องมนุษย์ สัตว์และพืชจากผลกระทบอันเนื่องจากระดับสารมลพิษที่เพิ่มขึ้น จำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดระดับความเข้มข้นของสารเหล่านี้รวมทั้งมาตรการการบังคับตามกฎหมายเพื่อให้เกิดผลในทางปฏิบัติ ผลกระทบด้านสุขภาพทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังแสดงในตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานอากาศถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการจัดการคุณภาพอากาศ ในอดีตที่ผ่านมามีความก้าวหน้าอย่างมากในการปรับปรุงคุณภาพอากาศโดยที่ไม่จำเป็นต้องกำหนดค่ามาตรฐาน ดังเช่นการจัดการคุณภาพอากาศในประเทศอังกฤษระหว่างปี 1950-1980 แต่ในระบบการจัดการคุณภาพอากาศในยุคปัจจุบันจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดมาตรการที่จะปกป้องคุ้มครองสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งก็ได้แก่การมีค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

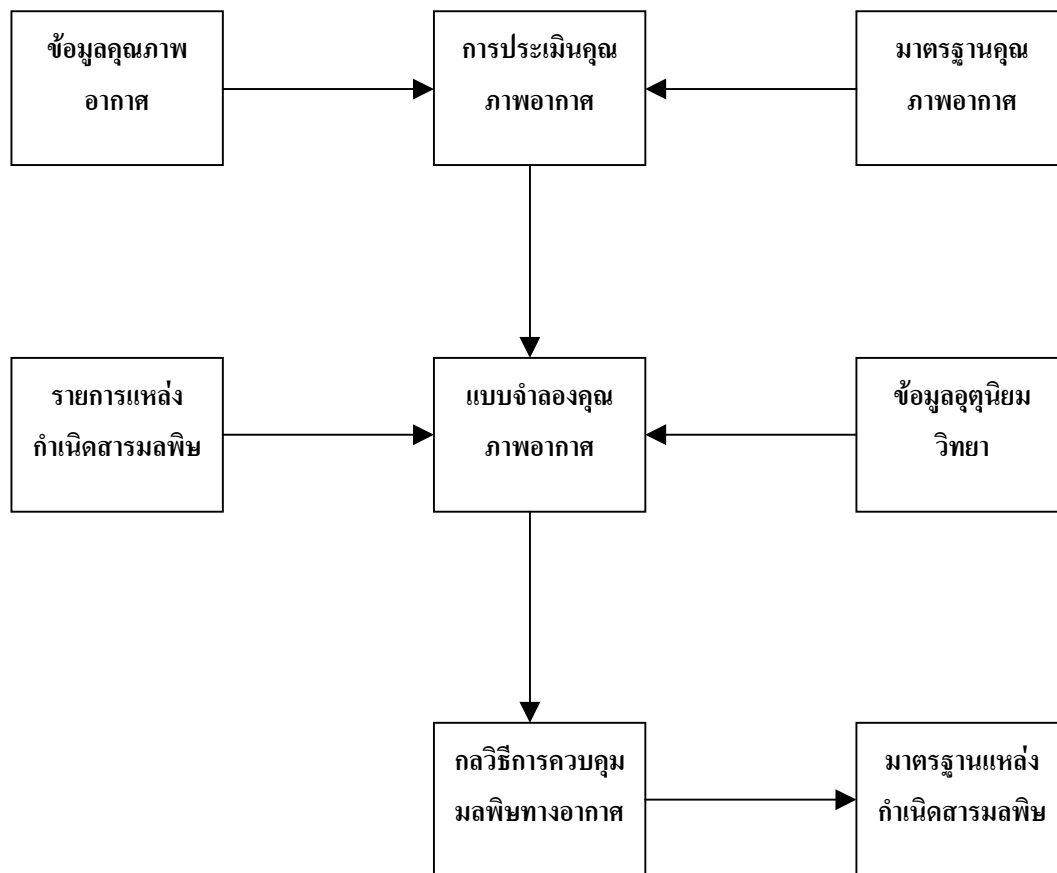
ตารางที่ 3 ผลกระทบด้านสุขภาพชนิดเฉียบพลันและเรื้อรังของสารมลพิษทางอากาศที่พบบ่อย

สารมลพิษ	ผลกระทบสุขภาพแบบเฉียบพลัน	ผลกระทบสุขภาพแบบเรื้อรัง
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	หลอดลมตีบ โดยเฉพาะในผู้ที่มีความไว อาการประกอบด้วย ไอ หายใจมีเสียงหวีด หลอดลมอักเสบ หอบหืด ไม่พบว่ามีค่า ความทน	พบความชุกของหลอดลมอักเสบเรื้อรัง และ โรคของระบบทางเดินหายใจอื่นๆ เพิ่มขึ้น สมรรถภาพปอดลดลง
อนุภาคแขวนลอย	อัตราการตายจากโรคหัวใจและหลอดเลือด และ ทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น ไม่พบว่ามีค่าความ ทน	อัตราการตายและป่วยจากโรคทางเดินหายใจ เพิ่มขึ้น สมรรถภาพปอดลดลง ไม่พบว่ามีค่า ความทน
ไนโตรเจน ได ออกไซด์	กระตุ้นปอดให้มีความไวต่อสารมลพิษและ สารภูมิแพ้อื่นๆ ก่อให้เกิดอาการระคายเคือง ของตา จี๊ดคอ และไอมีเสม็ด	ยังไม่พบผลจากการสัมผัสสูดอากาศ แต่ การสัมผัสในอาคารก่อให้เกิดอาการต่างๆ เช่น สมรรถภาพปอดลดลง การศึกษาใน สัตว์ทดลองพบการเปลี่ยนแปลงของลักษณะ เซลล์ ชีวเคมีและภูมิคุ้มกันวิทยา
โอโซน	ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่รุนแรงต่อ สารชีวภาพหลายชนิด ทำให้เกิดอาการ	มีหลักฐานว่าสามารถก่อให้เกิดพิษต่อสาร พันธุกรรมได้ แต่ยังไม่มีผลสรุปที่แน่ชัด การ

	ระคายเคืองต่อปอด และยังเป็นสารกระตุ้นปอดให้มีความไวต่อสารมลพิษและสารภูมิแพ้ต่างๆ นอกจากนี้ทำให้น้ำตาไหลและเจ็บคอ	ศึกษาในสัตว์ทดลองที่ได้รับโอโซนขนาดสูงเป็นเวลานานพบการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเซลล์
คาร์บอนมอนอกไซด์	รวมตัวกับฮีโมโกลบิน ทำให้ความสามารถในการนำออกซิเจนไปสู่เซลล์น้อยลง	มีความเสี่ยงต่อโรคหัวใจขาดเลือดมากขึ้น และมีผลกระทบต่อทารกในครรภ์
ตะกั่ว	ยังไม่ทราบแน่ชัด	เป็นพิษต่อระบบประสาท โดยทำให้เด็กมีพัฒนาการช้าลง มีผลต่อชีวเคมีของเลือดและทำให้ความดันโลหิตสูง
PAHs	ยังไม่ทราบแน่ชัด	เป็นโซ-เอ-ไพรีน และอนุพันธ์อื่นๆ พบว่าเป็นสารก่อมะเร็ง
เบนซีน	ยังไม่ทราบแน่ชัด	เป็นสารก่อมะเร็งที่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรมที่ทำให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว
1-3 บิวทาไดอิน	ยังไม่ทราบแน่ชัด	เป็นสารก่อมะเร็งที่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรม เพิ่มความเสี่ยงของมะเร็งต่อระบบต่อมไทรอยด์และไขกระดูก

การกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศจำเป็นที่จะต้องเข้าใจกระบวนการจัดการคุณภาพอากาศทั้งหมด ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก 3 ประการคือ (ดูรูปที่ 2 ประกอบ)

1. **การเฝ้าคุมและการให้ข้อมูลแก่สาธารณะ** ในขั้นนี้คือการให้ข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับคุณภาพอากาศปัจจุบันแก่ประชาชน โดยเฉพาะในระยะซึ่งมีการรณรงค์ให้มีการรักษาคุณภาพอากาศ ไม่ว่าจะเป็นระดับปัจเจกบุคคลหรือชุมชน การให้ข้อมูลแก่สาธารณะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดแรงกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาคุณภาพอากาศให้ดีขึ้น
2. **ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ** ได้แก่อำนาจอิงที่ยอมรับกันทั่วไปเพื่อใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลการเฝ้าคุมคุณภาพอากาศที่ได้ ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศยังใช้เป็นกลยุทธ์ในการควบคุมคุณภาพอากาศในระยะยาว ดังเช่น ค่าจำกัดของสหภาพยุโรป (European Limit Values) ซึ่งถือเป็นระดับสูงสุดตามกฎหมายที่หากมีการละเมิดหรือเกินไปจากค่านี้ จะเป็นผลให้เกิดกระบวนการทางกฎหมายที่ต้องมีมาตรการการแก้ไขโดยรีบด่วน
3. **นโยบายการควบคุมและการดำเนินการตามนโยบาย** ถ้าหากคุณภาพอากาศคือเป้าหมายสุดท้ายที่ต้องการ ดังนั้นองค์ประกอบในขั้นนี้คือหนทางไปสู่เป้าหมายนั้น โดยทั่วไปต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะคำนวณวิธีการที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการลดการปลดปล่อยเพื่อให้เป็นไปตามค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดไว้ และในที่สุดจะต้องมีการออกกฎหมายเพื่อให้เกิดมาตรการที่จำเป็นในการลดการปลดปล่อยสารพิษลง



รูปที่ 2 แสดงแผนภูมิกระบวนการจัดการคุณภาพอากาศ

ดังนั้นค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศจึงเป็นค่าอ้างอิงที่ยอมรับกันทั่วไป ซึ่งสามารถให้นิยามได้คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศสูงสุดที่ซึ่งในระดับที่ไม่เกินไปจากค่าดังกล่าวอาจกล่าวได้ว่าผลกระทบต่อสุขภาพเป็นศูนย์หรือแทบไม่มี

สิ่งซึ่งต้องทำความเข้าใจก็คือว่า ค่ามาตรฐานอากาศมีไว้เพื่อป้องกันสุขภาพของกลุ่มประชากรมากกว่าปัจเจกบุคคล ดังนั้น ผู้ที่มีความไวต่อสารมลพิษ เช่น ผู้ที่เป็นหอบหืดรุนแรงหรือผู้ที่เป็นมะเร็งปอดอาจได้รับผลกระทบด้านสุขภาพแม้ความเข้มข้นของสารมลพิษไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดก็ตาม โดยความเป็นจริงแล้วค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศได้กำหนดมาเพื่อปกป้องกลุ่มประชากรที่มีความไว เช่น ผู้ที่เป็นหอบหืดธรรมดา แต่ไม่ใช่กลุ่มที่มีความไวมากๆ และในทางปฏิบัติเป็นไปได้ที่จะตั้งค่ามาตรฐานสำหรับสารก่อมะเร็งที่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรมที่ให้ความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งเป็นศูนย์

ขณะนี้ยังไม่มีข้อตกลงที่เป็นสากลถึงความแตกต่างระหว่างคำศัพท์ต่างๆ เช่น ค่ามาตรฐาน (standard) ค่าแนวทาง (guideline) และค่าเป้าหมาย (objective) ในประเทศสหราชอาณาจักร คำว่า “ค่ามาตรฐาน” จะใช้ในความหมายที่กล่าวมาแล้ว ในขณะที่องค์การอนามัยโลกจะใช้คำว่า “ค่าแนวทาง” การใช้คำนี้เพื่อให้เป็นแนวทางที่แต่ละประเทศนำไปกำหนดค่ามาตรฐานของตน โดยพิจารณาปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคมร่วมด้วย ดังนั้นค่ามาตรฐานของแต่ละประเทศจึงอาจสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่ากำหนดขององค์การอนามัยโลกก็ได้

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ โดยทั่วไปแล้วเป้าหมายสูงสุดต้องคำนึงถึงผลในการป้องกันสุขภาพของมนุษย์ แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ การดำเนินการมาตรการจัดการคุณภาพอากาศอาจต้องใช้เงินทุนมหาศาล แต่ก็ต้องพิจารณาถึงผลดีที่มีต่ออากาศที่สะอาดรวมทั้งสุขภาพที่ดีด้วย การวิเคราะห์ต้นทุนและผลได้นี้มักจะทำได้ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นกระบวนการในการจัดทำค่ามาตรฐานจึงยึดเอาผลกระทบด้านสุขภาพของมนุษย์เป็นสำคัญ ซึ่งเริ่มต้นด้วยการพิจารณาข้อมูลด้านพิษวิทยาที่ได้จากการศึกษาทางระบาดวิทยาร่วมกับการศึกษาธรรมชาติของผลกระทบด้านสุขภาพ (ดูกล่องข้อความที่ 1) จากนั้นจะมีการพิจารณาค่าความปลอดภัย โดยต้องคำนึงถึงกลุ่มที่มีสุขภาพอ่อนแอในสังคมด้วย กล่องข้อความที่ 2 สรุปวิธีการต่างๆ ในการกำหนดนิยามของค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

กล่องข้อความที่ 1 ชนิดของผลกระทบด้านสุขภาพ

- **ผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็ง (Non-carcinogenic effects)** ระดับของสารที่ไม่พบผลเสียต่อสุขภาพ (no observed adverse effect level-NOAEL) หรือ ระดับสารต่ำสุดที่พบผลเสียต่อสุขภาพ (lowest observed effect level-LOEL) ที่ได้จากการศึกษาทางระบาดวิทยาหารด้วยค่าความไม่แน่นอน (uncertainty factors) เพื่อให้ได้คำแนะนำ (recommended guideline) หรือค่าจำกัด (limit value)
- **ผลกระทบที่เป็นมะเร็งแต่ไม่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรม (Non-genotoxic carcinogenic effects)** กลไกการเกิดโรคของสารหลายชนิดในกลุ่มนี้มีการศึกษาจนเป็นที่เข้าใจดี จนสามารถกำหนดระดับการสัมผัสที่ซึ่งในระดับที่ต่ำกว่านั้นจะไม่พบผลกระทบด้านสุขภาพ แต่สำหรับสารซึ่งยังไม่ทราบกลไกการเกิดโรคที่ชัดเจน จะใช้วิธีการที่ถือว่าไม่มีระดับปลอดภัยสำหรับสารนั้น
- **ผลกระทบที่เป็นมะเร็งและเป็นพิษต่อสารพันธุกรรม (Genotoxic carcinogenic effects)** ข้อสันนิษฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไปสำหรับกรณีสารในกลุ่มนี้ก็คือว่า ไม่มีค่าความทน ดังนั้นจึงไม่มีระดับการสัมผัสที่ปลอดภัย ดังนั้นการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศจึงใช้วิธีการกำหนดระดับความเสี่ยงของการเกิดโรคที่อยู่ในระดับที่ไม่สูงเกินไปจากความเสี่ยงเบื้องหลัง (background risk) มากนัก ซึ่งหลักการนี้เป็นที่ยอมรับโดยองค์การอนามัยโลก อีกวิธีการหนึ่งคือ การคำนวณระดับการสัมผัสที่จะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อโรคที่สนใจตามที่กำหนด

กล่องข้อความที่ 2 ชนิดของค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

- **ค่าจำกัด (Limit values)** คือระดับสารมลพิษที่กำหนดเป็นกฎหมายและมีผลบังคับใช้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดนิยามอย่างรัดกุมรวมทั้งกำหนดวิธีการในการเฝ้าคุม โดยทั่วไปมักจะไม่มีกำหนดค่าสูงสุดแต่จะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ไทล์ เช่น เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 หมายความว่าสามารถเกินไปได้ไม่เกินร้อยละ 2 ของค่าที่วัดได้ในระหว่างเวลาอ้างอิงที่กำหนด
- **ค่าแนวทางหรือค่าเป้าหมาย (Guidelines, target values)** คือระดับสารมลพิษที่ไม่มีผลตามกฎหมาย แต่มักมีการกำหนดที่เข้มงวดกว่าค่าจำกัด
- **ค่าความทน (Threshold values)** ค่านี้นำมาขึ้นเพื่อปกป้องสุขภาพของมนุษย์ และพืชผลทางเกษตรกรรม หรือบางครั้งก็ค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อแสดงว่าจำเป็นต้องมีการดำเนินการตามมาตรการต่างๆ ที่กำหนดหากระดับสารมลพิษเกินไปจากค่านี้ เช่น ต้องมีการเตือนภัยให้กับสาธารณะหากระดับโอโซนเกินไปจากค่าที่กำหนด
- **ค่าวิกฤติที่รับได้และค่าวิกฤติ (Critical loads and critical values)** ค่าวิกฤติที่รับได้ หมายถึง จำนวนสารมลพิษสูงสุดที่ระบบนิเวศวิทยาจะแบกรับได้โดยไม่เกิดผลเสียหากรุนแรงในอนาคต สำหรับค่าวิกฤติ หมายถึง ระดับที่อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศวิทยาในระยะยาว ดังนั้นจึงไม่มีกำหนดค่าระดับสารมลพิษที่คงที่ค่าใดค่าหนึ่งสำหรับสิ่งแวดล้อม แต่จะพิจารณาจากลักษณะของการเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของสารมลพิษ เช่น ผลกระทบจากการสะสมของกรดในระบบนิเวศวิทยาขึ้นกับ ความสามารถของดินและแหล่งน้ำในการลดความเป็นกรดลง จึงต้องคำนวณปริมาณกรดที่สามารถทำให้เป็นกลาง ซึ่งได้แก่ ค่าวิกฤติที่รับได้นั่นเอง จึงต้องพยายามทุกวิถีทางที่จะไม่ให้เกินไปจากค่านี้

ลำดับขั้นตอนของการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ อาจอธิบายได้เป็นขั้นตอนดังนี้

1. ทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนองของสารมลพิษที่สนใจ
2. กำหนดระดับผลกระทบทางสุขภาพที่ยอมรับได้
3. การกำหนดค่ามาตรฐานของสารมลพิษ

จะเห็นได้ว่าขั้นตอนการกำหนดค่ามาตรฐานดังกล่าวข้างต้น จะมีความแตกต่างด้านการแปลความหมายขึ้นกับองค์กรที่เป็นผู้กำหนดค่ามาตรฐาน ยกตัวอย่างเช่น การแปลความหมายของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนองของสารมลพิษของหน่วยงาน/องค์กรกำหนดค่ามาตรฐานมีความแตกต่างกันได้อย่างมาก เนื่องจากการให้น้ำหนักความสำคัญกับรายงานการวิจัยมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยส่วนมากมักจะอิงผลการศึกษานำข้อมูลที่ยังไม่สมบูรณ์พอ และบ่อยครั้งให้ผลการศึกษาที่ขัดแย้งกัน เป็นผลให้มุมมองของการให้น้ำหนักความสำคัญต่องานวิจัยมีความแตกต่างกันดังกล่าว เช่น สมมติว่าในการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของไนโตรเจนไดออกไซด์พบว่าการศึกษาทางระบาดวิทยาในหมู่ประชากรแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนไดออกไซด์ก่อให้เกิดผลกระทบสุขภาพในระดับปานกลาง แต่การศึกษานในห้องทดลองกลับพบว่า การจะก่อให้เกิดผลด้านสุขภาพจะต้องใช้ในโตรเจนไดออกไซด์ในความ

เข้มข้นที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการแปลความหมายในกรณีที่ผลการศึกษามีสอดคล้องกันเช่นนี้ มีความเป็นไปได้ว่าอาจเกิดจากเหตุผลหลายประการ เช่น การออกแบบการศึกษาในห้องทดลองไม่รัดกุมพอ ทำให้ไม่สามารถตรวจพบผลกระทบด้านสุขภาพที่สำคัญอื่นๆ หรือในทางตรงข้ามการศึกษาทางระบาดวิทยาอาจถูกรบกวนด้วยตัวแปรอื่นๆ (ตัวกวน) ที่ไม่ได้ควบคุมให้ดีพอ เช่น อาจเป็นผลจากสารมลพิษตัวอื่น เช่น อนุภาคนาโนขนาดเล็ก ดังนั้นผลกระทบด้านสุขภาพที่ตรวจพบที่เกิดจากไนโตรเจนไดออกไซด์นั้น แท้ที่จริงแล้วเกิดจากอนุภาคนาโนขนาดเล็กหรือสารมลพิษอื่นๆ

นอกจากนี้แม้ว่าจะมีความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนองของสารมลพิษอย่างชัดเจน องค์การที่ทำหน้าที่ในการกำหนดค่ามาตรฐานต่างองค์กรกันก็ยังมีมุมมองที่แตกต่างกันในแง่ระดับผลกระทบทางสุขภาพที่ยอมรับได้ รวมทั้งองค์ประกอบหรือปัจจัยที่จะนำมาร่วมพิจารณาในการกำหนดค่ามาตรฐาน เช่น ต้นทุนและผลประโยชน์ที่จะได้รับ ซึ่งล้วนแล้วแต่ขึ้นกับการตัดสินใจของแต่ละบุคคลเป็นสำคัญ

เกณฑ์การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง

ข้อมูลที่จะใช้ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง อาจได้มาจากการศึกษา 4 รูปแบบ ในทางอุดมคติหากได้ข้อมูลครบทั้ง 4 แหล่งจะช่วยเสริมข้อมูลซึ่งกันและกันและจะได้รูปแบบความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด แต่ในทางความเป็นจริงมักจะเกิดขึ้นได้ยาก

1. การศึกษาในมนุษย์ที่มีกลุ่มควบคุม (Controlled Human Exposure Studies) ได้แก่ รูปแบบการศึกษาที่ทำในห้องทดลอง ซึ่งให้ข้อดีหลายประการคือ สามารถศึกษาผลกระทบแบบเฉียบพลันและสามารถวัดระดับความเข้มข้นของสารพิษได้ถูกต้องแม่นยำ เราสามารถควบคุมการศึกษาโดยดูผลกระทบด้านสุขภาพที่เกิดจากสารมลพิษเดี่ยวๆ โดยเฉพาะสารมลพิษที่มีผลต่อระบบทางเดินหายใจในกรณีที่เกี่ยวข้องให้เกิดการระคายเคืองและเป็นผลให้สมรรถภาพปอดมีการเปลี่ยนแปลงตามมาในระยะเวลาที่ไม่ยาวนานนัก ดังนั้นการเลือกใช้รูปแบบการศึกษาแบบนี้จะทำให้ค่อนข้างจำกัดสำหรับสารพิษบางชนิดที่ให้ผลกระทบด้านสุขภาพที่ไม่รุนแรงและสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ เช่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น วิธีการศึกษาที่นิยมใช้กันคือการใช้ห้องอบ (chamber) ซึ่งให้ข้อมูลที่ดีมากสำหรับการกำหนดค่ามาตรฐาน นอกจากนี้มีความเป็นไปได้ว่าอาจทำการศึกษาเพื่อดูผลกระทบด้านสุขภาพจากสารมลพิษมากกว่า 1 ชนิด แต่ในทางปฏิบัติมีการศึกษาแบบนี้มีน้อยมากและยังการศึกษาที่จำลองเหตุการณ์แบบมลพิษทางอากาศในเขตเมืองที่มีสารมลพิษมากมายยังแทบเป็นไปได้เลย สำหรับการวัดผลกระทบด้านสุขภาพที่เกิดขึ้น นิยมวัดการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอด เช่น ค่า FEV1 (Forced Expiratory Volume in 1 Second) ได้แก่ ค่าปริมาตรอากาศที่หายใจออกเต็มที่ใน 1 วินาที หรือค่า FVC (Forced Vital Capacity) ได้แก่ ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่สามารถหายใจออกเต็มที่

อย่างไรก็ตามการพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านี้ (ซึ่งมักจะสามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้) ในระยะยาวจะมีผลต่อสุขภาพที่สำคัญหรือไม่บางครั้งทำได้ยาก การวัดอีกวิธีหนึ่งคือการวัดทางชีวเคมี ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงกระบวนการของการอักเสบได้ แต่ในทำนองเดียวกันการพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ มีผลต่อสุขภาพในระยะยาวหรือไม่ยังเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก เป็นผลให้การพิจารณาระดับผลกระทบด้านสุขภาพที่ยอมรับได้มีความยากลำบากมากขึ้นไปอีก ประโยชน์อีกด้านหนึ่งของการศึกษาในห้องอบคือ การควบคุมอิทธิพลระหว่างก๊าซมลพิษและสารก่อภูมิแพ้ในบรรยากาศ (เช่น เกษตรดอกไม้ หรือไรฝุ่นตามบ้าน) ซึ่งหากเป็นการศึกษาในทางระบาดวิทยาแล้วมักจะทำได้ยากมาก

2. การศึกษาทางระบาดวิทยาในกลุ่มประชากร (Epidemiological Studies in the General Population) ข้อดีของการศึกษาแบบนี้คือให้ผลการศึกษาที่เกิดจากสารมลพิษหลายชนิดตามสภาพที่เป็นจริงในกลุ่มประชากรจำนวนมาก หากว่าสามารถควบคุมตัวกวน (confounding factors) ได้เป็นอย่างดี ซึ่งในความเป็นจริงมักจะเป็นปัญหาในทางปฏิบัติ เนื่องจากปัจจัยบางอย่าง เช่น อุณหภูมิของอากาศมักจะมีผลกระทบต่อผลด้านสุขภาพ เช่น อัตราการตายเสมอ อย่างไรก็ตาม การศึกษาทางระบาดวิทยามีแนวโน้มที่จะกลายมาเป็นรูปแบบมาตรฐานสำหรับกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน โดยเฉพาะได้มีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถให้ผลการศึกษาที่ดีมากสำหรับการศึกษาสารมลพิษที่ก่ออาการระคายเคืองและอนุภาคฝุ่น มีการศึกษามากมายที่หาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของระดับสารมลพิษในบรรยากาศของแต่ละวันกับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลด้านสุขภาพ เช่น อัตราตายหรืออัตราการรับเข้ารักษาแบบผู้ป่วยในของโรงพยาบาล ซึ่งให้ผลการศึกษาที่น่าประทับใจมาก อย่างไรก็ตามมีข้อสงสัยอยู่เสมอเกี่ยวกับผลการศึกษาแบบนี้ว่า วิธีการศึกษาทางระบาดวิทยาจะสามารถระบุชนิดของสารมลพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้หรือไม่ หรือแท้ที่จริงแล้วผลด้านสุขภาพที่พบเกิดจากผลของสารมลพิษทั้งหมดรวมกัน รูปแบบการศึกษาแบบนี้เรียกว่า การศึกษาตามระยะเวลาเป็นชุด (time series studies) ได้แก่ การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของสารมลพิษในอากาศรายวันที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 ปีหรือนานกว่านั้นกับผลกระทบด้านสุขภาพ เช่น อัตราตายหรืออัตราการเข้ารักษาในโรงพยาบาลในวันเดียวกันหรือในอีกหลายวัน เช่น 3 วันต่อมาหลังจากเหตุการณ์ที่เกิดสารมลพิษนั้น โดยข้อมูลด้านสุขภาพจะต้องมีการควบคุมปัจจัยอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลและอุณหภูมิ ซึ่งมักจะมีผลกระทบที่สำคัญต่อสุขภาพดังกล่าวแล้ว การควบคุมปัจจัยเหล่านี้จะทำให้สามารถตอบคำถามได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราป่วยหรืออัตราตายเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของระดับสารมลพิษในอากาศของแต่ละวันหรือไม่

จากข้อมูลในเมืองใหญ่ๆ ทั่วโลก พบว่าสารมลพิษอากาศในเขตเมืองมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญจากการจราจรบนท้องถนน และความเข้มข้นของสารมลพิษจะขึ้นกับอัตราการปลดปล่อยสารมลพิษ และสภาพอากาศที่จะเจือจางสารเหล่านี้ ดังนั้นความเข้มข้นของสารมลพิษจึงเปลี่ยนแปลงไปแบบวันต่อวัน แต่พบว่าในวันที่สารมลพิษชนิดหนึ่งมีความเข้มข้นสูง เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ ก็จะพบว่าสาร

ตัวอื่นๆ มีความเข้มข้นสูงด้วย เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์และอนุภาคนาโนเล็ก ดังนั้นการจะระบุว่าสารมลพิษตัวใดที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบด้านสุขภาพจึงทำได้ยากมาก แต่ไม่ใช่ความเข้มข้นของสารมลพิษจะไปด้วยกันเช่นนี้เสมอ ยกตัวอย่างเช่น ก๊าซโอโซนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในฤดูร้อน แต่จะเป็นไปในทางตรงกันข้ามในหน้าหนาว ดังนั้นการแยกผลกระทบด้านสุขภาพของก๊าซ 2 ชนิดนี้จึงทำได้ง่ายกว่าเมื่อนำเอาข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมทั้งปีมาทำการวิเคราะห์ อีกวิธีการหนึ่งในการศึกษาแบบนี้คือ การใช้การศึกษาแบบไปข้างหน้า โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลการวัดสารมลพิษในหลายๆ เมืองพร้อมกับอัตราป่วยและอัตราตายของแต่ละเมือง เป็นต้น

3. การศึกษาในคนงานที่ได้รับสารมลพิษจากการทำงาน (Occupationally Exposed Workers) วิธีการศึกษาแบบนี้จะให้ผลการศึกษาที่ดีมากสำหรับการศึกษาสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็ง และดูเหมือนว่าจะเป็นแหล่งข้อมูลเพียงแหล่งเดียวที่มี เนื่องจากโดยทั่วไปความเข้มข้นของสารเคมีที่สนใจในบรรยากาศไม่สูงมากพอที่จะแสดงผลกระทบด้านสุขภาพ ทำให้การศึกษาทางระบาดวิทยาในกลุ่มประชากรทั่วไปไม่อาจทำได้ หรือด้วยเหตุผลทางจริยธรรมที่ทำให้การทดลองในห้องอบไม่สามารถทำได้เช่นเดียวกัน ปัญหาประการเดียวของการศึกษาในคนงานที่ได้รับสารพิษจากการประกอบอาชีพก็คือความเข้มข้นของสารเคมีในสถานที่ทำงานมักจะสูงกว่าบรรยากาศทั่วไปมาก การอนุมานผลไปสู่กลุ่มประชากรทั่วไปที่ปกติได้รับสารดังกล่าวในปริมาณที่น้อยกว่ามากจึงเกิดความไม่แน่นอนได้สูง อย่างไรก็ตามสำหรับสารก่อมะเร็งที่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรม มีหลักฐานอันควรเชื่อได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนองจะเป็นแบบเส้นตรงและไม่มีค่าความทนที่บริเวณขนาดสัมผัสน้อยๆ และหน่วยงานผู้กำหนดค่ามาตรฐานหลายๆ แห่ง เช่น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ยึดถือหลักการข้อนี้มาโดยตลอด
4. การศึกษาในสัตว์ทดลอง (Animal Studies) พบว่ามีประโยชน์ในหลายกรณี โดยเฉพาะใช้ในการแสดงกลไกการก่อให้เกิดพิษ และอาจใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ของสารก่อมะเร็งเมื่อข้อมูลในมนุษย์มีน้อยมาก ในกรณีของการกำหนดค่ามาตรฐานแล้วประโยชน์ในทางตรงของการศึกษาแบบนี้มีน้อยมาก

การกำหนดระดับผลกระทบด้านสุขภาพที่ยอมรับได้

ในขั้นตอนนี้ถือได้ว่ามีความยากมากกว่าการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง ตารางที่ 4 แสดงประเภทของสารมลพิษทางอากาศที่พบบ่อยแยกตามกลไกความเป็นพิษ ซึ่งการพิจารณาระดับผลกระทบด้านสุขภาพที่ยอมรับได้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ของแต่ละกลไกแยกจากกันดังนี้

ตารางที่ 4 กลไกความเป็นพิษของสารมลพิษทางอากาศ

ประเภท	สารมลพิษ	ค่าความทน
สารระคายเคือง	โอโซน ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	อาจมี
สารทำให้ขาดอากาศหายใจ	คาร์บอนมอนอกไซด์	อาจมี
สารก่อมะเร็งที่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรม	เบนซีน 1,3-บิวทาไดอิน	เชื่อว่าไม่มี
สารยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์	ตะกั่ว	อาจมี
กลไกไม่ทราบแน่ชัด	อนุภาค	ไม่พบในระดับกลุ่มประชากร

1. สารระคายเคือง (Irritants) วิธีการที่องค์การอนามัยโลกและคณะผู้เชี่ยวชาญด้านมาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งสหราชอาณาจักร (UK Expert Panel on Air Quality Standards-EPAQS) ใช้ในการพิจารณาระดับผลกระทบด้านสุขภาพที่ยอมรับได้ของสารกลุ่มนี้คือ การหาระดับของสารพิษต่ำสุดที่ยังสังเกตพบผลกระทบ (Lowest Observable Effect Level) จากนั้นพิจารณากลุ่มที่มีความไวต่อสารนี้ ถ้าหากมีข้อมูลสนับสนุน ต่อด้วยการพิจารณาช่วงความปลอดภัย (margin of safety) และกำหนดค่ามาตรฐานที่ปลอดภัยสำหรับทุกกลุ่ม เนื่องจากสารในกลุ่มนี้ถือว่ามีค่าความทน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะกำหนดระดับมาตรฐานที่ปลอดภัยสำหรับคนทุกคน ตัวอย่างในกรณีนี้ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งมีผลกระทบที่สำคัญคือทำให้ท่อทางเดินหายใจหดตัวลงโดยเฉพาะในผู้ที่เป็นหอบหืด จากการศึกษาโดยการทดลองอาสาสมัครในห้องอบพบว่าระดับของสารพิษต่ำสุดที่ยังสังเกตพบผลกระทบอยู่ที่ประมาณ 200 ppb ในระยะเวลาไม่กี่นาที ดังนั้น EPAQS แนะนำให้กำหนดระดับมาตรฐานที่ 100 ppb เฉลี่ยใน 15 นาที หลังจากได้พิจารณาช่วงความปลอดภัย และอนุญาตให้ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกินจากระดับดังกล่าวได้ไม่เกิน 15 นาที ตัวอย่างที่สองได้แก่ ก๊าซโอโซน ซึ่งมีผลกระทบที่สำคัญคือ การลดสมรรถภาพของปอดลง EPAQS ได้พิจารณาจากการศึกษาแล้วพบว่าระดับของสารพิษต่ำสุดที่ยังสังเกตพบผลกระทบอยู่ที่ประมาณ 80 ppb เมื่อได้รับนาน 6.6 ชั่วโมง และเมื่อผนวกช่วงความปลอดภัยเข้าไปแล้วทำให้ค่ามาตรฐานอยู่ที่ 50 ppb เฉลี่ยใน 8 ชั่วโมงการกำหนดค่ามาตรฐานนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าก๊าซโอโซนมีค่าความทน แม้ว่าผู้เชี่ยวชาญหลายคนจะไม่เห็นด้วย ดังการศึกษาทางระบาดวิทยาที่ตีพิมพ์ภายหลังจาก EPAQS กำหนดค่ามาตรฐานนี้พบว่าไม่มีระดับค่าความทนก็ตาม ข้อถกเถียงที่ว่าโอโซนไม่มีค่าความทนนี้เป็นประเด็นที่น่าสนใจมาก จากข้อเท็จจริงที่ปรากฏ เราพบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในเขตชนบทมักจะสูงกว่าในเขตเมือง โดยปัจจุบันระดับสารโอโซนในช่วงกลางวันของเขตชนบทในซีกโลกเหนือมีค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงอยู่ที่ 50 ppb และค่าเฉลี่ยใน 8 ชั่วโมง อยู่ที่ 30-40 ppb เมื่อปราศจากเหตุการณ์ทางมลภาวะอื่นๆ จึงถือได้ว่านี้

คือระดับความเข้มข้นปกติ (background concentration) ของก๊าซโอโซน ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 2 แหล่งคือ ประมาณครั้งหนึ่งมาจากการก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ :ซึ่งถือได้ว่าเป็นปริมาณความเข้มข้นที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และอีกครึ่งหนึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาทางเคมีในชั้นบรรยากาศระดับล่างของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มนุษย์เป็นผู้ก่อขึ้นกับก๊าซมีเทนและคาร์บอนมอนอกไซด์โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีเหตุผลที่น่าเชื่อได้ว่ามนุษย์และบรรพบุรุษในอดีตได้มีการวิวัฒนาการมาท่ามกลางระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ 20 ppb เนื่องจากเป็นระดับที่พบว่าเกิดเองตามธรรมชาติดังกล่าว และไม่สามารถลดลงได้อีกด้วยวิธีการใดๆ ดังนั้นจึงน่าจะเป็นไปไม่ได้ที่ระดับความเข้มข้นนี้จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในมนุษย์หรือแม้แต่สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ดังนั้นการศึกษาทางระบาดวิทยาที่ระบุว่าก๊าซโอโซนไม่มีค่าความทนดังกล่าวอาจไม่ไวพอที่จะพบค่าความทนในระดับต่ำขนาดนี้ หรือเกิดจากการรบกวนของสารมลพิษชนิดอื่นๆ ที่มีระดับปริมาณความเข้มข้นเพิ่มหรือลดตามความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจึงทำให้เห็นผลกระทบดังกล่าว ซึ่งในกรณีหลังนี้มีความเป็นไปได้สูงมากจากปฏิกิริยาเคมีแสง (photochemical reaction) ที่ซับซ้อนในธรรมชาติ การลดความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นดินลงเหลือเท่าระดับธรรมชาติ จำเป็นจะต้องมีมาตรการควบคุมการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และสารประกอบอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds) อื่นๆ ซึ่งเป็นเรื่องที่ใหญ่และยากมากจนแทบเป็นไปได้เพราะเท่ากับต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิถีการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งหมด ดังนั้นไม่ว่าก๊าซโอโซนจะมีค่าความทนซึ่งอยู่ที่ระดับความเข้มข้นธรรมชาติที่ 20 ppb หรือไม่มีก็ตาม เราจำเป็นต้องยอมรับว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดนี้อาจจะยังสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพกับกลุ่มประชากรบางส่วนบ้างแม้จะเป็นสัดส่วนที่น้อยนิดก็ตาม

2. สารทำให้ขาดอากาศหายใจ (Asphyxiant) ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เนื่องจากมันมีคุณสมบัติในการแย่งจับกับฮีโมโกลบินได้ดีกว่าออกซิเจน ดังนั้นการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับสารชนิดนี้จึงมุ่งที่จะลดผลกระทบที่สำคัญคือ ภาวะหัวใจขาดเลือด (angina pectoris) ในผู้ป่วยที่มีปัญหาโรคหัวใจและหลอดเลือดในระหว่างออกกำลังกาย จากการศึกษาพบว่าระดับของสารพิษต่ำสุดที่ยังสังเกตพบผลกระทบอยู่ที่ 3-4% ของ carboxyhemoglobin (คือปริมาณของฮีโมโกลบินที่จับกับคาร์บอนมอนอกไซด์) ในกระแสเลือด เมื่อพิจารณาช่วงความปลอดภัยแล้ว EPAQS กำหนดให้ระดับ carboxyhemoglobin ต้องไม่เกิน 2.5% เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ดังนั้นระดับมาตรฐานของสารชนิดนี้ในอากาศคือ 10 ppb เฉลี่ยใน 8 ชั่วโมง ซึ่งเท่ากับค่าที่องค์การอนามัยโลกกำหนด และมีค่าที่สูงกว่านี้ในระยะเวลาการสัมผัสที่สั้นกว่านี้
3. สารก่อมะเร็งที่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรม (Genotoxic Carcinogens) ได้แก่ เบนซีน 1,3-บิวทาไดอิน และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons) ซึ่งถือได้ว่าไม่มีระดับที่ปลอดภัยร้อยเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไม่มีค่าความทนดังกล่าวมาแล้ว องค์การอนามัยโลกได้ทำการทบทวนงานวิจัยด้านชีวอนามัยที่ผ่านมาและพบว่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งที่เกินไปจาก

ปกติ (excess cancer risk) ภายหลังจากได้รับสารก่อมะเร็งตลอดชีวิตสำหรับเบนซีนคือ 6×10^{-6} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹ หมายความว่าในบรรดาประชากร 1 ล้านคนที่ได้รับสารเบนซีนความเข้มข้น $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็นระยะเวลาตลอดชีวิต จะมีเพียง 6 คนที่กลายเป็นมะเร็ง EPAQS ได้ใช้ข้อมูลการศึกษาด้านอาชีวอนามัยเช่นเดียวกันมาทำการกำหนดระดับการสัมผัสที่หากต่ำกว่าที่กำหนดเหล่านี้คนงานจะไม่พบการเป็นมะเร็งที่เกินไปจากจำนวนปกติ ในกรณีของสารเบนซีนนี้ พบว่าความเข้มข้นคือ 500 ppb จากนั้น EPAQS หาค่าดังกล่าวด้วยระยะเวลาการสัมผัส เพื่อให้สามารถกำหนดระดับการสัมผัสสำหรับประชากรทั่วไปได้ เนื่องจากระยะเวลาการสัมผัสของกลุ่มคนงานคือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์และ 46 สัปดาห์ต่อปี ซึ่งสั้นกว่าระยะเวลาการสัมผัสของประชากรทั่วไปคือ 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 365 วันต่อปี ตัวหารที่ EPAQS ใช้คือ 10 จากนั้นหารอีกด้วยค่าความปลอดภัย (safety factor) เพื่อป้องกันสำหรับกลุ่มที่มีความไว ผลของการหารด้วยตัวหารทั้งสองทำให้ได้ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเป็น 5 ppb และแนะนำว่าในระยะยาวควรลดลงมาเป็น 1 ppb ในอนาคต ค่าทั้งสองนี้ถือเป็นค่าเฉลี่ยใน 1 ปี ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการเป็นมะเร็งนั้นต้องใช้ระยะเวลาที่ค่อนข้างนาน

อีกหน่วยงานหนึ่งคือ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณอย่างจริงจัง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการออกกฎหมาย ดังนั้นการประมาณความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งซึ่งมีความหมายเช่นเดียวกับปัจจัยหน่วยความเสี่ยง (unit risk factor) ที่พัฒนาโดยองค์การอนามัยโลก ได้ถูกนำมาใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐาน ข้อดีของวิธีนี้คือ หากสามารถกำหนดค่าหน่วยความเสี่ยงได้พร้อมช่วงความเชื่อมั่น และระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้แล้ว ก็จะสามารถคำนวณระดับการสัมผัสสูงสุดที่ทนได้ (maximum tolerable exposure) ของสารมลพิษนั้น รวมทั้งค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ไม่ยากเย็น วิธีการนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับการป้องกันปัญหาด้านรังสีเป็นเวลานานหลายปีแล้ว โดยข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในผู้ที่รอดชีวิตจากการทิ้งระเบิดปรมาณูที่เมืองฮิโรชิมาและนางาซากิและนำมาคำนวณหาค่าหน่วยความเสี่ยง ในด้านการเกิดมะเร็งที่มีสาเหตุจากสารเคมี ข้อมูลที่จะนำมาใช้กำหนดค่าหน่วยความเสี่ยงยังมีน้อยมาก ทำให้การประมาณค่าหน่วยความเสี่ยงในกรณีนี้มีความไม่แน่นอนสูงยิ่งไปกว่านั้นค่าที่ได้ยังมีความแตกต่างกันได้อย่างมากขึ้นกับแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณอีกด้วย ดังนั้นในประเทศสหราชอาณาจักร โดยกรมคณะกรรมการสุขภาพว่าด้วยการเกิดมะเร็ง (Department of Health Committee on Carcinogenicity) แนะนำว่าไม่ควรใช้รูปแบบการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณเป็นวิธีเดียวในการกำหนดค่ามาตรฐาน

ปัญหาที่สำคัญที่ควรมีการอธิบายคือ ระดับความเสี่ยงที่ทนทานได้ (tolerable level of risk) หมายความว่าอะไร โดยความเป็นจริงแล้วยังไม่มีคำตอบสำเร็จที่ยอมรับกันโดยทั่วไป แต่ความจริงประการหนึ่งก็คือ คนส่วนมากมีแนวโน้มที่จะทนต่อความเสี่ยงที่ตนเต็มใจเสี่ยง เช่น การสูบบุหรี่ มากกว่า

ความเสี่ยงที่เกิดจากเหตุภายนอก เช่น มลภาวะทางอากาศ อย่างไรก็ตามในสภาพการณ์ที่ไม่สามารถลดความเสี่ยงให้เป็นศูนย์ได้ ความเสี่ยงที่มีระยะยาวนานแบบตลอดชีวิต เช่น มะเร็ง มักจะกำหนดให้อยู่ในระดับ 1 ใน 1 แสนถึง 1 ใน 1 ล้าน ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในระดับที่ทุกคนยอมรับได้ ตัวอย่างเช่น ค่ามาตรฐานของเบนซีนที่ EPAQS กำหนดไว้ที่ 5 ppb ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อรวมกับปัจจัยหน่วยความเสี่ยงขององค์การอนามัยโลก จะได้ว่าความเสี่ยงตลอดชีวิตมีค่าเท่ากับ 1 ใน 1 หมื่นซึ่งเท่ากับระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ที่ใช้ในการป้องกันมะเร็งจากรังสี

4. สารที่มีกลไกไม่ทราบแน่ชัด (Mechanical Uncertain) ตัวอย่างในกรณีนี้ได้แก่ อนุภาคนาโนขนาดเล็ก ซึ่งถือว่าเป็นสารที่ไม่มีค่าความทน และเนื่องจากการที่เรายังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่นอน จึงทำให้มีความยากลำบากอย่างมากในการกำหนดค่ามาตรฐาน การศึกษาทางระบาดวิทยาที่ศึกษาความเป็นพิษของอนุภาคนาโนเล็กนึ่งมักจะเป็นการศึกษาที่เรียกว่า การศึกษาตามเวลาแบบเป็นชุด (time series studies) ซึ่งเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านสุขภาพอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคนาโนเล็กรายวันที่มีกวัดเป็นค่า PM_{10} หลายการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนเล็กไม่มีค่าความทน และแม้จะมีค่าความทน นักวิทยาศาสตร์บางท่านเห็นว่าค่าความทนนี้ก็ยิ่งขึ้นกับแต่ละบุคคลซึ่งไม่เท่ากัน ยิ่งไปกว่านั้นภายในกลุ่มประชากรเดียวกันที่อาศัยอยู่ในที่เดียวกัน การได้รับอนุภาคนาโนเล็กก็ยิ่งแตกต่างกันได้อย่างมาก ดังนั้นการศึกษาในกลุ่มประชากรที่มีระดับความทนที่แตกต่างกันและได้รับขนาดที่แตกต่างกันจึงทำให้ไม่สามารถระบุระดับค่าความทนได้

นอกจากการศึกษาตามเวลาแบบเป็นชุด มีการศึกษาแบบ ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง (cross-sectional studies) อีกจำนวน 3 การศึกษา ที่ได้ศึกษาอัตราการตายและป่วยในกลุ่มประชากรที่มีระยะเวลาการได้รับอนุภาคนาโนเล็กแตกต่างกัน และพบว่ากลุ่มประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองที่มีระดับอนุภาคนาโนเล็กสูงมีอัตราการตายที่สูงด้วย อย่างไรก็ตามการแปลผลว่าเกิดจากอนุภาคนาโนเล็กหรือไม่นั้นไม่สามารถทำได้เพราะอาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆ ได้ แม้แต่การศึกษาตามเวลาแบบเป็นชุดที่พบว่ามีความเสี่ยงชีวิตและต้องรับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคทางเดินหายใจและโรคหัวใจและหลอดเลือดมากในวันที่มีระดับอนุภาคนาโนเล็กสูง ก็ยังไม่อาจสรุปได้แน่ชัดว่าอัตราป่วยและตายเหล่านี้ควรจะเกิดขึ้นหลังระดับอนุภาคนาโนเล็กเพิ่มขึ้นเป็นระยะเวลานานเพียงใด เช่น เพียงแค่ 2-3 วัน ไม่กี่เดือนหรือเป็นปีๆ ดังนั้นจากผลการศึกษาทั้งหมดที่ผ่านมาจึงยังไม่อาจสรุปผลกระทบที่เด่นชัดของอนุภาคนาโนเล็กต่อความชุกของโรคต่างๆ ในประชากร จากผลที่ไม่ชัดเจนนี้ องค์การอนามัยโลกได้กำหนดตารางแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสและการตอบสนองหลายตาราง โดยกำหนดตามผลที่เกิดขึ้น เช่น การใช้ยาขยายหลอดลมที่เพิ่มขึ้น ไอ อาการของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง อัตราการรับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและอัตราการตาย เป็นต้น ด้วยปัญหาเดียวกันทำให้ EPAQS ยอมรับว่าการกำหนดค่ามาตรฐานที่สามารถป้องกันผลกระทบด้านสุขภาพได้ทั้งหมดเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ และแนะนำว่าค่ามาตรฐานของ PM_{10} อยู่ที่ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็น

ระดับที่ผลกระทบต่อสุขภาพของแต่ละคนมีขนาดน้อยมาก และคนส่วนใหญ่ไม่ได้รับผลกระทบ เป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยรายวันจาก $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็น $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งพบได้ประมาณ 1 วันใน 10 วันในการศึกษาที่เมืองเบอร์มิงแฮม ประเทศสหราชอาณาจักร จะพบผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจที่ต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเพียง 1 คนต่อวัน จากประชากรจำนวน 1 ล้านคน ซึ่งถือได้ว่าเป็นระดับที่ยอมรับได้ แม้ว่าจะเป็นการตัดสินใจส่วนบุคคลก็ตาม

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับที่กล่าวมาแล้วข้างต้นส่วนใหญ่อาศัยข้อมูลจากการศึกษาตามเวลาแบบเป็นชุด ที่ทำการศึกษาระดับสารมลพิษในอากาศกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการป่วยและตายรายวัน แต่ยังมีการศึกษาแบบระยะยาวอีก 3 การศึกษาซึ่งบ่งชี้ผลแบบเรื้อรังของการได้รับอนุภาคนาโนขนาดเล็กเป็นเวลาหลายปี โดยเป็นการเก็บข้อมูลแบบไปข้างหน้า (cohort) ได้แก่ การเฝ้าติดตามกลุ่มประชากรแต่ละคนตามระยะเวลาที่กำหนด ข้อมูลที่เก็บสะสมไปเรื่อยๆ ได้แก่ อัตราป่วยและตาย ร่วมกับการประเมินปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ เช่น การสูบบุหรี่ ดัชนีมวลกาย (body mass index) และฐานะทางเศรษฐกิจและสังคม ผลการศึกษาพบว่า งานวิจัย 2 ชิ้นแสดงให้เห็นความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงระหว่างอัตราการตายกับระดับความเข้มข้นของอนุภาคนาโนขนาดเล็กที่วัดเป็น PM_{10} หรือ $\text{PM}_{2.5}$ ภายหลังจากได้ปรับมาตรฐานข้อมูลปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ แล้ว ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าความแตกต่างในด้านอายุขัยอันเป็นผลจากอนุภาคนาโนขนาดเล็ก แต่การศึกษานี้ไม่ได้ระบุถึงจำนวนปีของอายุขัยที่สูญเสียไป (number of years of life lost) ไว้ด้วย

การกำหนดค่ามาตรฐานของสารมลพิษ

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับสารที่สนใจ โดยที่ผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นจะต้องไม่เกินไปจากระดับที่ยอมรับได้ ดังได้กล่าวมาในตอนต้นแล้วว่าการพิจารณามักจะคำนึงผลในการป้องกันสุขภาพของมนุษย์เป็นสำคัญ แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย การกำหนดค่ามาตรฐานที่ต่ำมากๆ แม้ว่าจะเป็นผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์แต่บางครั้งอาจต้องลงทุนมหาศาลหรือบางครั้งเทคโนโลยีที่มีอยู่ปัจจุบันยังไม่สามารถทำให้ระดับสารมลพิษมาอยู่ในค่าที่กำหนดได้ ในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรมอาจจะต้องลงทุนในการควบคุมระดับสารมลพิษมากจนไม่คุ้มต่อการลงทุน ในกรณีนี้จึงอาจไม่ก่อให้เกิดการลงทุนและอาจมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศโดยรวมได้

สำหรับกรณีของสารประกอบหลายชนิด แม้ว่ามักจะมีการกำหนดค่ามาตรฐานโดยพิจารณาสารมลพิษเดี่ยวๆ แยกจากกัน แต่ในความเป็นจริงจะต้องคำนึงถึงปฏิริยาที่สารเคมีหลากหลายชนิดอาจมีต่อกัน ซึ่งอาจเป็นแบบผนวกผลกระทบเข้าด้วยกัน (additive) เสริมฤทธิ์กันเป็นทวีคูณ (synergistic) หรือหักล้างผล

ซึ่งกันและกัน (antagonistic) ก็ได้ แต่พบว่ามีการศึกษาทางพิษวิทยาน้อยมากที่ศึกษาการได้รับสารมลพิษร่วมกันมากกว่า 1 ชนิด ทำให้ขาดข้อมูลที่จะใช้ในการประเมินความเป็นพิษ สำหรับกรณีการได้รับสารพิษชนิดเดียวกันแต่เข้าสู่ร่างกายหลายทาง เช่น หายใจและรับประทานเข้าไป เชื่อว่าปฏิกิริยาไม่น่าจะมากไปกว่าแบบผนวกผลกระทบเข้าด้วยกัน นับจนถึงปัจจุบันมีเพียงค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเพียงชนิดเดียวที่กำหนดโดยสหภาพยุโรปที่ได้พิจารณาสารมลพิษพร้อมกัน ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเชื่อว่ามีปฏิกิริยาแบบเสริมฤทธิ์กันเป็นทวีคูณ ในอดีตมักจะพบสารทั้งสองชนิดพร้อมกันเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดเดียวกันจากการเผาไหม้ถ่านหินทั้งในครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม โดยสรุปความรู้เกี่ยวกับผลกระทบด้านสุขภาพจากสารมลพิษในอากาศหลายชนิดปนกันยังมียุ่ก่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวิจัย เพื่อนำไปสู่การพัฒนาค่ามาตรฐานของสารมลพิษหลายชนิดที่อยู่ปนกันในอากาศในการปกป้องชีวิตมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างรีบด่วน

หน่วยงาน/องค์กรที่กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

ปัจจุบันนี้มีค่ามาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยหน่วยงาน/องค์กรหลายแห่ง ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการกำหนดค่ามาตรฐานโดยองค์การอนามัยโลก สหราชอาณาจักร องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ของประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศแคนาดา ดังรายละเอียดดังนี้

องค์การอนามัยโลก

องค์การอนามัยโลกได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการกำหนดค่าแนวทางไว้ในปี ค.ศ. 1987 โดยกล่าวว่าเพื่อใช้ในการปกป้องสุขภาพของมนุษย์จากผลเสียของมลพิษทางอากาศ โดยการกำจัดหรือลดระดับของสารปนเปื้อนเหล่านั้นที่ทราบแน่ชัดว่าก่อให้เกิดหรืออาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษย์ นอกจากนี้ยังระบุว่าค่าแนวทางนี้ควรเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประเทศต่างๆ ในการพิจารณานำไปใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของตนหรืออาจนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ นอกเหนือจากนี้ และย้ำว่าค่าแนวทางนี้ไม่ใช่ค่ามาตรฐาน หมายความว่า การจะนำไปสู่ค่ามาตรฐานจำเป็นที่จะต้องมีการนำเอาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับระดับการสัมผัส สถานะทางสิ่งแวดล้อม สังคม เศรษฐกิจ และวัฒนธรรมในแต่ละประเทศหรือภูมิภาคเข้าพิจารณาร่วมด้วย ด้วยปัจจัยดังกล่าวแล้วจึงอาจเป็นไปได้ว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดขึ้นอาจมีระดับความเข้มข้นสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าแนวทางนี้ได้

องค์การอนามัยโลกประจำยุโรป

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1958 เป็นต้นมา องค์การอนามัยโลกเริ่มตระหนักแล้วว่ามลพิษทางอากาศเป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษย์ทั่วโลก ดังนั้นองค์การอนามัยโลกจึงได้เริ่มต้นขั้นตอนแรกด้วยการรวบรวมข้อเท็จจริงและจัดทำข้อเสนอแนะเกี่ยวกับขั้นตอนในการป้องกันและมาตรการการแก้ไขต่อประเทศสมาชิกก่อนที่จะอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ที่รุนแรงจะเกิดขึ้น โดยออกเอกสารที่เรียกว่า “รายงานด้านเทคนิค” (Technical Report) ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าแนวทางคุณภาพอากาศ โดยพิจารณาจากธรรมชาติและขนาดของมลพิษทางอากาศที่มีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และให้ความหมายของค่าแนวทางว่า คือชุดของระดับความเข้มข้นสารมลพิษต่างๆ รวมทั้งระยะเวลาในการสัมผัสที่มีความเกี่ยวข้องกับผลกระทบในระดับความรุนแรงต่างๆ กันต่อมนุษย์ สัตว์ พืชและสิ่งแวดล้อมทั่วไป ต่อมาในปี ค.ศ. 1972 องค์การอนามัยโลกได้กำหนดค่าแนวทางของระดับสารมลพิษในบรรยากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพขึ้นเป็นครั้งแรก โดยกำหนดเฉพาะสารมลพิษที่เด่นๆ ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อนุภาคแขวนลอย คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารออกซิแดนท์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีแสง และได้มีการพัฒนาจนเสร็จสมบูรณ์ในปี ค.ศ. 1987 โดยมีการเผยแพร่เอกสารเรียกว่า “แนวทางคุณภาพอากาศสำหรับยุโรป” (Air Quality Guidelines for Europe) ซึ่งมีการเพิ่มเติมค่าแนวทางสำหรับสารมลพิษเพิ่มเติมอีกหลายชนิด ในเอกสารดังกล่าวนี้ได้มีการพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับสารมลพิษต่างๆ อย่างระมัดระวังในระหว่างกระบวนการกำหนดค่าแนวทางออกมา โดยในทางอุดมคติแล้วค่าแนวทางควรเป็นค่าที่แสดงระดับสารประกอบเคมีในอากาศที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายใดๆ ต่อประชากรมนุษย์ อย่างไรก็ตามในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์ตามความเป็นจริงจะต้องแยกแยะระหว่างความปลอดภัยสมบูรณ์และความเสี่ยงที่ยอมรับได้ การที่จะบรรลุถึงความปลอดภัยสมบูรณ์ จำเป็นที่จะต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองในแต่ละบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสจากแหล่งกำเนิดสารมลพิษทุกแหล่ง นอกจากนี้ยังต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของความเป็นพิษที่เกิดจากสารมลพิษรวมทั้งส่วนผสมของสารมลพิษหลายๆ ชนิด “ค่าความทน” สำหรับความเป็นพิษที่จำเพาะว่ามีอยู่หรือไม่ ความสำคัญของปฏิริยาระหว่างสารมลพิษ และความผันแปรของความไวรวมทั้งระดับการสัมผัสภายในกลุ่มประชากร ซึ่งในความเป็นจริงยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับสารมลพิษสิ่งแวดล้อมที่มีความครบถ้วนสมบูรณ์เช่นนั้น ดังนั้นการใช้ความเห็นและการตัดสินใจของเหล่าผู้เชี่ยวชาญจึงยังคงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดค่าที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ต่อไปนี้เป็นเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาสำหรับผลกระทบด้านสุขภาพแต่ละชนิด

เกณฑ์สำหรับผลกระทบที่ไม่ใช่มะเร็ง

สำหรับสารประกอบที่มีรายงานว่าไม่พบผลด้านการก่อมะเร็งหรือซึ่งรายงานเกี่ยวกับการก่อมะเร็งยังไม่สมบูรณ์หรือไม่เพียงพอ การพิจารณาค่าแนวทางจะเริ่มด้วยการกำหนดค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่ยังพบผลกระทบต่อสุขภาพในมนุษย์ สัตว์และพืช หรือค่าระดับความเข้มข้นที่ไม่พบผลกระทบ การตัดสินใจเลือกใช้ค่าใดนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ ประการ เพื่อให้ได้ช่วงความปลอดภัยที่เหมาะสมที่สุด เช่น

ในกรณีของสารระคายเคืองหรือผลกระทบที่ก่อให้เกิดความรำคาญต่อประสาทสัมผัสในมนุษย์ มักจะใช้ระดับความเข้มข้นที่ไม่พบผลกระทบ

เกณฑ์การเลือกค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่ยังสังเกตพบผลเสียต่อสุขภาพ (Lowest-observed adverse-effect level-LOAEL)

การแยกความแตกต่างให้เห็นระหว่างการมีหรือไม่มีผลเสียต่อสุขภาพเป็นสิ่งที่ทำได้ยากมาก อย่างไรก็ตามการมองการณ์ไกลให้ความหมายของ “ผลเสียต่อสุขภาพ” ไว้ว่า “ผลใดๆ ที่ก่อให้เกิดการสูญเสียของหน้าที่และ/หรือรอยโรคทางพยาธิวิทยาซึ่งอาจมีผลต่อการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตนั้นหรือทำให้สูญเสียความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งอื่นๆ ที่เข้ามากระทบ” ซึ่งแม้กระนั้นการจะระบุว่ามิผลเสียต่อสุขภาพหรือไม่ยังขึ้นกับความเห็นส่วนบุคคลค่อนข้างมาก ดังนั้นเพื่อให้การพิจารณามีความยากลำบากน้อยลง องค์การอนามัยโลกจึงได้แบ่งลักษณะของผลเสียต่อสุขภาพเป็น 3 กลุ่มคือ (1) ผลเสียที่สังเกตพบเพียงรายเดียว ซึ่งแม้ว่าจะแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพแต่ยังไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการกำหนดค่าแนวทาง (2) ระดับต่ำที่สุดที่ยังสังเกตพบผลเสียต่อสุขภาพที่อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิวิทยา ถือว่ามีความสำคัญต่อสุขภาพในระดับสูง (3) มีการเปลี่ยนแปลงของระดับพยาธิสภาพอย่างมาก ถือว่ามีประโยชน์อย่างยิ่งในการนำมาพิจารณาคำหนดค่าแนวทาง

เกณฑ์การเลือกปัจจัยความไม่แน่นอน (Uncertainty factors)

ข้อมูลด้านพิษวิทยาของสารมลพิษรวมทั้งชนิดของเมตาบอลิต์ที่เกิดขึ้น ความผันแปรด้านเมตาบอลิซึมหรือการตอบสนองของมนุษย์แต่ละคน จะเป็นข้อมูลที่สำคัญในการพิจารณาประชากรกลุ่มที่มีความเสี่ยงมากที่สุด รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับการสะสมตัวของสารมลพิษและเมตาบอลิต์จะนำมาพิจารณาร่วมกันในการเลือก “ปัจจัยความไม่แน่นอน” ซึ่งในที่สุดแล้วจะเห็นส่วนบุคคลที่เป็นมดของที่ประชุมผู้เชี่ยวชาญ

เกณฑ์การเลือกค่าเฉลี่ยเวลา (Averaging times)

เนื่องจากสารเคมีอาจก่อให้เกิดผลกระทบได้ตั้งแต่ชนิดที่เป็นแบบเฉียบพลัน ไม่รุนแรงและสามารถกลับคืนได้ภายหลังจากการสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ จนกระทั่งเป็นแบบผลกระทบที่รุนแรงและไม่สามารถกลับคืนได้ภายหลังจากการสัมผัสเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นการเลือกระยะเวลาการเฉลี่ยจึงขึ้นกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่จะต้องอาศัยน้ำหนักของหลักฐานที่มี แต่โดยหลักการทั่วไปหากการสัมผัสในระยะ

เวลาสั้นๆ ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้ก็มักจะเลือกระยะเวลาเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้น ในกรณีอื่นๆ การทราบการสัมผัสและการตอบสนองก็เพียงพอที่จะเลือกระยะเวลาแบบยาวนาน

เกณฑ์การพิจารณาผลกระทบต่อประสาทรับความรู้สึก (Sensory effects)

สารบางชนิดที่เลือกมาทำการประเมินอาจมีคุณสมบัติด้านกลิ่นที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าระดับการก่อให้เกิดพิษมาก แม้ว่ากลิ่นเหม็นจะไม่ถือว่าเป็นผลเสียต่อสุขภาพทางกายแต่ก็อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพชีวิต ดังนั้นระดับความทนของกลิ่น เช่น ค่าความทนที่ตรวจพบ (detection threshold) ค่าความทนที่รู้สึกได้ (recognition threshold) และค่าความทนที่ก่อให้เกิดความรำคาญ (nuisance threshold) อาจนำมากำหนดเป็นค่าแนวทางต่างหากได้

เกณฑ์สำหรับผลกระทบที่เป็นมะเร็ง

การประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็งเกี่ยวข้องกับทั้งการประเมินเชิงคุณภาพ โดยดูว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใดที่สารนั้นจะก่อมะเร็งในมนุษย์ และการประเมินเชิงปริมาณโดยดูอัตราการก่อให้เกิดมะเร็ง ณ ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการสัมผัสที่กำหนดให้

การประเมินการก่อให้เกิดมะเร็งเชิงปริมาณ

การพิจารณาว่าสารใดเป็นสารก่อมะเร็งหรือไม่จะอาศัยเกณฑ์ที่หน่วยงานสากลด้านการวิจัยมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer) ได้แบ่งสารก่อมะเร็งเป็น

กลุ่มที่ 1 สารที่พิสูจน์แล้วว่าก่อมะเร็งในมนุษย์

กลุ่มที่ 2 สารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ซึ่งแบ่งออกได้ 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่ม 2A ได้แก่กลุ่มที่มีหลักฐานมาก และกลุ่ม 2B ได้แก่กลุ่มที่มีหลักฐานน้อย

กลุ่มที่ 3 สารเคมีที่ไม่อาจจัดกลุ่มได้

องค์การอนามัยโลกได้ตกลงว่าสารเคมีทั้งหมดที่ไม่ตกอยู่ในกลุ่ม 1 และ 2A การกำหนดค่าแนวทางจะใช้ผลกระทบด้านสุขภาพที่ไม่ใช่มะเร็ง หมายความว่า สารเคมีที่ไม่ตกอยู่ใน 2 กลุ่มนี้ถือว่าไม่ใช่สารก่อมะเร็ง

การประเมินความแรงของการก่อมะเร็งเชิงปริมาณ

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณยังรวมถึงการอนุมานผลความเสี่ยงที่ได้จากการศึกษาที่ใช้ระดับการสัมผัสขนาดสูงไปสู่ผลในระดับการสัมผัสขนาดต่ำ ระดับการสัมผัสขนาดสูงมักพบในการศึกษาในสัตว์ทดลองและการสัมผัสที่เกิดจากการประกอบอาชีพ ซึ่งสามารถตรวจพบการเกิดมะเร็งได้ แต่การสัมผัสในขนาดต่ำจะพบในสภาพแวดล้อมทั่วไปซึ่งมักจะมีความเสี่ยงต่ำเกินกว่าจะวัดได้โดยตรงไม่ว่าในสัตว์ทดลองหรือในการศึกษาทางระบาดวิทยา แนวทางขององค์การอนามัยโลกในปี ค.ศ. 1987 ได้กำหนดว่าความเสี่ยงที่เกิดจากการได้รับสารก่อมะเร็งในอากาศที่ระดับความเข้มข้นหนึ่งตลอดชีวิตสามารถประมาณได้ว่าเป็นเส้นตรง ดังนั้นความแรงของการเกิดมะเร็งจึงหมายถึงหน่วยความเสี่ยง (unit risk) ที่เพิ่มขึ้น ค่าประมาณของหน่วยความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของสารมลพิษในอากาศจึงนิยามว่า “ความเสี่ยงตลอดชีวิตของการเกิดมะเร็งที่เพิ่มขึ้นในประชากรสมมติกลุ่มหนึ่งที่แต่ละคนได้รับสารก่อมะเร็งติดต่อกันตั้งแต่เกิดจนตายที่ระดับความเข้มข้น $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ของสารในอากาศที่หายใจ”

ข้อสมมติฐานที่จำเป็นในการคำนวณความเสี่ยงสัมพัทธ์คือ (1) การตอบสนอง (วัดเป็นความเสี่ยงสัมพัทธ์) เป็นฟังก์ชันของขนาดการสัมผัสสะสม (2) สารก่อมะเร็งไม่มีระดับความทน (3) การอนุมานว่าจากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองไปสู่จุดศูนย์ของกราฟเป็นเส้นตรง และถือว่าเป็นค่าประมาณอนุรักษ์ระดับบน (upper-bound conservative estimate) ของฟังก์ชันความเสี่ยงที่แท้จริง (แต่ไม่ทราบ) ถ้าเส้นความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองเป็นแบบ sigmoidal (4) ความเสี่ยงสัมพัทธ์มีความคงที่ในสถานการณ์การศึกษาอื่นๆ

พัฒนาการของกระบวนการกำหนดค่าแนวทาง

ในระหว่างการพัฒนาแนวทางขององค์การอนามัยโลกในปี ค.ศ. 1987 ได้เน้นหนักไปที่การระบุค่าแนวทางในรูปของความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยเวลาการสัมผัส และนิยามว่าเป็นระดับการสัมผัสที่จะไม่เกิดผลเสียต่อสุขภาพในส่วนใหญ่ของประชากรแม้กระทั่งในผู้ที่มีความไวต่อสารมลพิษก็ตาม หากมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเพียงเล็กน้อย เช่น ค่าดัชนีสมรรถภาพปอด ก็ให้ถือว่าไม่ใช่ผลเสียต่อสุขภาพ

การกำหนดค่าแนวทางสำหรับสารมลพิษทางอากาศหลายชนิด อาศัยข้อมูลการศึกษาที่มีกลุ่มควบคุม หรือการศึกษาทางระบาดวิทยาซึ่งต่างแสดงให้เห็นว่ามีค่าความทน จากนั้นจะปรับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาด้วยปัจจัยความไม่แน่นอนหรือปัจจัยป้องกัน (protection factor) เพื่อป้องกันสุขภาพสำหรับกลุ่มที่มีความไวและอาจไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาในการศึกษาอย่างเพียงพอ ดังนั้นค่าแนวทางจึงแสดงระดับซึ่งหากสัมผัสสารไม่เกินไปจากค่านี้ก็เชื่อได้ว่าจะไม่พบผลเสียใดๆ ต่อสุขภาพ แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าหาก

สัมผัสสารเกินไปจากค่าแนวทางแล้วจะมีผลเสียต่อสุขภาพเสมอไป เพียงแต่ว่าโอกาสที่จะเกิดมีมากขึ้น และบางครั้งมักจะมีการเข้าใจกันว่าค่าแนวทางคือ ค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่ยังสังเกตพบผลเสียต่อสุขภาพ (LOAEL) ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง

สำหรับสารก่อมะเร็งที่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรมมีการกำหนดค่าแนวทางที่ต่างออกไป โดยจะมีการคำนวณหน่วยความเสี่ยง จากข้อมูลความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการสัมผัสตลอดชีวิตต่อหนึ่งหน่วยความเข้มข้นของสารก่อมะเร็ง นอกจากนั้นสารมลพิษอื่นๆ ส่วนน้อย เช่น โอโซนจะกำหนดค่าแนวทางเป็นช่วงของความเข้มข้น

ในระหว่างที่มีการเผยแพร่ค่าแนวทางปี ค.ศ. 1987 และฉบับปรับปรุง มีการประชุมในวาระต่างๆ กันหลายครั้งเพื่อปรับปรุงค่าแนวทางให้ดีขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจครั้งสำคัญหลายครั้งและมีรายละเอียดอยู่ในรายงานการประชุมแล้ว เช่น การเน้นให้มีการนำผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสกับการตอบสนองเข้ามาปรับปรุงค่าแนวทางให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และถือเป็นประเด็นสำคัญก่อนที่จะมีการปรับปรุงค่าแนวทางใหม่

ในค่าแนวทางคุณภาพอากาศสำหรับยุโรปฉบับปรับปรุงก็ได้ใช้วิธีการพิจารณาเช่นเดียวกับค่าแนวทางคุณภาพอากาศปี ค.ศ. 1987 อย่างไรก็ตามมีการคำนวณการสัมผัสรวมจากสารมลพิษในตัวกลางทั้งหมดก่อนที่จะแบ่งการพิจารณาตามทางที่จะเข้าสู่ร่างกาย และค่าปัจจัยป้องกันที่ใช้ในค่าแนวทางปี ค.ศ. 1987 ได้เปลี่ยนเป็นค่าปัจจัยความไม่แน่นอนเพื่อใช้ปรับข้อมูลที่ได้จากสัตว์ทดลองไปสู่ค่าในมนุษย์และการผันแปรที่เกิดขึ้นในหมู่ประชากร ซึ่งจะมีการปรับเมื่อมีข้อมูลแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างของเภสัชจลนศาสตร์วิทยาระหว่างสปีชีส์และภายในสปีชีส์เดียวกัน และสามารถปรับด้วยปัจจัยความไม่แน่นอนได้อีกเพื่อลดปัญหาความไม่แน่นอนของธรรมชาติและความรุนแรงของผลที่สังเกตพบรวมทั้งความไม่เพียงพอของข้อมูล นอกจากนี้จะมีการให้ข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองสำหรับสารประกอบส่วนมากไว้ด้วยเพื่อให้เกิดความกระจ่างในผู้มีอำนาจตัดสินใจเชิงนโยบายซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการตัดสินใจในที่สุด สำหรับสารประกอบบางชนิด เช่น ทองคำขาว อาจไม่จำเป็นต้องกำหนดไว้ในค่าแนวทางเนื่องจากการสัมผัสในบรรยากาศทั่วไปอยู่ต่ำกว่าระดับที่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างมาก และสารประกอบอีกจำนวนหนึ่ง เช่น PM_{10} ที่ไม่สามารถหาค่าความทนได้ทำให้ไม่สามารถหาค่าแนวทางได้ แต่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองแทนเพื่อกระตุ้นให้สาธารณชนเข้าใจถึงผลกระทบทางสุขภาพที่แตกต่างกันแปรตามระดับของสารมลพิษ

ทางด้านกระบวนการพิจารณาสารก่อมะเร็ง ได้ปรับวิธีการให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นกว่าค่าแนวทางคุณภาพอากาศในปี ค.ศ. 1987 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในกรณีสารก่อมะเร็งที่จัดอยู่ในกลุ่ม 1 และ 2A จะมีการ

อนุমানความสัมพัทธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองที่ระดับความเสี่ยงต่ำๆ เป็นเส้นตรง และใช้วิธีการปรับค่าด้วยค่าปัจจัยความไม่แน่นอนในกรณีที่เป็นสารในกลุ่ม 2B และ 3 ซึ่งในความเป็นจริงแล้วกลไกการก่อให้เกิดมะเร็งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดวิธีการประเมิน ดังนั้นในแนวทางใหม่นี้สารที่ตกอยู่ในกลุ่ม 1 และ 2A จึงอาจประเมินโดยใช้ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนได้ ถ้ามีหลักฐานแสดงให้เห็นว่ากลไกการเกิดมะเร็งเป็นกลไกที่ไม่มีค่าความทน ในทำนองเดียวกันสารที่จัดอยู่ในกลุ่ม 2B และ 3 ก็อาจใช้วิธีการอนุมาณที่ระดับความเสี่ยงต่ำๆ ได้ หากมีหลักฐานพิสูจน์ในสัตว์ทดลองว่ามีกลไกการเกิดมะเร็งแบบไม่มีค่าความทนเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังขอมให้มีความยืดหยุ่นเกี่ยวกับการเลือกใช้แบบจำลองที่จะทำการอนุมาณ โดยขึ้นกับข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งในแบบเดิมจะใช้แบบจำลองหลายขั้นตอนเชิงเส้นตรง (linearized multistage model) เป็นหลัก สุดท้ายหากค่าประมาณหน่วยความเสี่ยงสามารถหาได้จากการทำการอนุมาณที่ระดับความเสี่ยงต่ำๆ ก็จะมีการคำนวณความเสี่ยงมะเร็งส่วนเกิน (excess cancer risk) ที่ 1:10,000 1:100,000 และ 1:1,000,000 ไปด้วย

ในการประเมินผลกระทบของสารมลพิษส่วนมากที่เป็นพิษต่อระบบนิเวศวิทยา ได้มีการประเมินผลของไอโซน สารประกอบที่มีไนโตรเจนและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อพืช เช่น พืชเกษตรและป่าไม้ นอกจากนี้ยังทำการประเมินผลการสะสมตัวของสารประกอบไนโตรเจน กลุ่มซัลเฟตและความเป็นกรดรวมด้วย หลักในการประเมินทั้งหมดพัฒนาโดยคณะทำงานด้านผลกระทบภายใต้ข้อตกลงว่าด้วยมลพิษทางอากาศข้ามพรมแดนของ UNECE รวมทั้งมีความร่วมมือของกลุ่มดังกล่าวในการทำการประเมินด้วย ในขั้นของการประเมินดังกล่าวได้มีการคำนวณระดับวิกฤติ (critical value) และค่าวิกฤติที่รับได้ (critical load) โดยให้นิยาม “ระดับวิกฤติ” ว่าเป็นระดับความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศที่หากเกินไปจากนี้จะก่อให้เกิดผลเสียโดยตรงต่อพืช ระบบนิเวศวิทยาหรือวัตถุอื่นๆ ส่วน “ค่าวิกฤติที่รับได้” หมายถึง ระดับปริมาณของการได้รับสารมลพิษที่อยู่ในรูปของการสะสมตัว ที่หากไม่เกินไปจากนี้ผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมนั้นจะไม่เกิดขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนอง

ค่าแนวทางที่กำหนดนี้ให้ความสำคัญกับข้อมูลทางระบาดวิทยา โดยมีข้อดีเหนือการทดลองการสัมผัสแบบมีกลุ่มควบคุมคือ เป็นข้อมูลเกี่ยวกับการตอบสนองในกลุ่มประชากรรวมทั้งเป็นการสัมผัสสารมลพิษและส่วนผสมที่เป็นจริง อย่างไรก็ตามผลการศึกษาทางระบาดวิทยามักจะใช้ยากกว่าผลการทดลองการสัมผัสแบบมีกลุ่มควบคุม

การศึกษาทางระบาดวิทยาส่วนมากจะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองกับความเข้มข้นของสารมลพิษ โดยมักมีการวัดสารมลพิษเพียงชนิดเดียวในบริเวณที่คงที่ ณ จุดใดจุดหนึ่ง จึงทำให้ได้ข้อมูลที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองของบุคคลแต่ละคนได้ไม่มากนัก แต่เป็นการบอกความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองในประชากรที่ศึกษามากกว่า ดังนั้นความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงขึ้นกับรูปแบบการสัมผัสของประชากรที่ศึกษา เป็นผลให้ความสัมพันธ์ที่ได้อาจแตกต่างกันได้อย่างมากจากประเทศหนึ่งไปสู่อีกประเทศหนึ่ง เมื่อมีการเปรียบเทียบผลการศึกษาแบบชุดของเวลา (time series studies) ซึ่งศึกษาผลของอนุภาคในประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรป พบว่ามีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย แต่ความแตกต่างนี้เกิดจากความแตกต่างด้านรูปแบบการสัมผัสหรือเกิดจากความแตกต่างด้านความเป็นพิษของอนุภาคฝุ่นในอากาศ หรือแท้ที่จริงแล้วเกิดจากความแตกต่างของค่าดัชนีอนุภาค (particle indices) ไม่มีใครทราบ ความแตกต่างของการตอบสนองต่อมลพิษในอากาศนี้ยังพบได้ในการศึกษาระหว่างประเทศที่พัฒนาแล้วกับประเทศกำลังพัฒนาอีกด้วย

ในค่าแนวทางฉบับปรับปรุงได้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองของสาร 2 ชนิดคือ อนุภาคนาโนเล็กและไอโซนว่าเป็นแบบเชิงเส้นตรง ดังนั้นจึงไม่ควรอนุมานค่าที่นอกเหนือไปจากค่าที่ได้จากการศึกษา เพราะมีหลักฐานยืนยันว่าความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองอาจมีความชันน้อยลงเมื่อระดับความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเล็กในอากาศเพิ่มมากขึ้น แต่สำหรับไอโซนความสัมพันธ์ที่ระดับความเข้มข้นขนาดต่ำอาจมีลักษณะเว้าและโค้งขึ้น ดังนั้นการนำไปใช้ในแต่ละประเทศที่อาจมีระดับความเข้มข้นของสารมลพิษต่างไปจากช่วงที่ระบุไว้ในค่าแนวทางจึงควรคำนึงถึงข้อเท็จจริงเหล่านี้ด้วย

การเปลี่ยนจากค่าแนวทางเป็นค่ามาตรฐาน

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศคือค่าความเข้มข้นในอากาศที่ถือว่าเป็นกฎหมายและมีผลบังคับใช้ ในแบบที่ง่ายที่สุดนั้นค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศควรระบุในรูปของความเข้มข้น 1 หรือ 2 ค่าพร้อมทั้งระยะเวลาใน

การหาค่าเฉลี่ยด้วย นอกจากนี้ควรมีการให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับรูปแบบการสัมผัส (เช่น นอกบ้าน) วิธีตรวจหาระดับความเข้มข้น วิธีการวิเคราะห์ การประกันคุณภาพรวมทั้งการควบคุมคุณภาพไว้ด้วย

ในบางประเทศค่ามาตรฐานยังรวมถึงการระบุระดับการบรรลุผลที่ยอมรับได้ (acceptable level of attainment) ซึ่งอาจนิยามให้อยู่ในรูปของหน่วยพื้นฐานเดียวกับค่ามาตรฐาน เช่น ถ้าหน่วยที่ใช้กำหนดในค่ามาตรฐานคือ วัน การจะถือว่าปฏิบัติตามกฎหมายร้อยละ 99 ก็ต่อเมื่อค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 3 วัน ใน 1 ปี ซึ่งค่าใช้จ่ายในการจัดการคุณภาพอากาศให้ได้ตามกฎหมายจะขึ้นกับระดับการปฏิบัติตามกฎหมายด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้สำหรับระดับการบรรลุตามกฎหมายต่างๆ กันก่อนที่จะตัดสินใจประกาศใช้เป็นกฎหมาย

สิ่งซึ่งพึงระลึกไว้เสมออีกคือ การพัฒนาค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเป็นเพียงส่วนหนึ่งของกลวิธีการจัดการคุณภาพอากาศ ดังนั้นการออกกฎหมายที่ระบุหน่วยงานที่รับผิดชอบในการบังคับใช้ตามกฎหมายรวมทั้งโทษหากมีการฝ่าฝืนจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น ค่ามาตรฐานในการปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจะมีบทบาทสำคัญต่อกลวิธีการจัดการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าการเกินไปจากค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศจะใช้เป็นสิ่งกระตุ้นให้มีความพยายามที่จะควบคุมสารมลพิษลงมาอยู่ในระดับปลอดภัย ซึ่งต้องมีการกำหนดกลยุทธ์ทั้งในระดับชาติและระดับท้องถิ่น

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศยังมีความสำคัญในการแจ้งข้อมูลแก่สาธารณชนเกี่ยวกับคุณภาพอากาศ อย่างไรก็ตามการบอกข้อมูลแก่ประชาชนอาจเป็นดาบสองคม ทั้งนี้คนทั่วไปมักเข้าใจผิดว่าเมื่อเกินไปจากค่ามาตรฐานแล้ว ผลเสียต่อสุขภาพจะต้องเกิดขึ้น ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นเช่นนั้นเสมอไปดังได้กล่าวมาแล้ว

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศมีความง่ายขึ้นเมื่อองค์การอนามัยโลกได้กำหนดแนวทางไว้ โดยทั่วไปการทบทวนผลกระทบด้านสุขภาพในท้องถิ่นของตนอาจไม่มีความจำเป็น อย่างไรก็ตามหากมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารมลพิษในอากาศและผลกระทบสุขภาพในท้องถิ่นของตนแล้ว หน่วยงานที่มีหน้าที่ในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศก็ควรจะได้นำผลการศึกษาดังกล่าวมาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าแนวทางที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก ในกรณีที่ไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานเป็นค่าเดียวแต่กำหนดเป็นค่าประมาณหน่วยเสี่ยงหรือในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและการตอบสนอง สิ่งต่อไปนี้อาจนำมาพิจารณาก่อนมีการกำหนดค่ามาตรฐาน

- ธรรมชาติของผลกระทบที่กำลังพิจารณา โดยควรศึกษาให้อ่องแท่ว่าผลดังกล่าวมีผลเสียต่อสุขภาพจริงหรือไม่

- กลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงเป็นพิเศษ

กลุ่มประชากรที่มีความไวในที่นี้หมายถึง ผู้ที่มีโรคประจำตัวหรือมีข้อจำกัดด้านสรีรวิทยา และผู้ที่มีลักษณะเฉพาะบางอย่างที่เมื่อได้รับสารมลพิษในอากาศแล้วทำให้มีผลต่อสุขภาพอย่างชัดเจน (เช่น ระยะเวลาพัฒนาการในเด็ก) นอกจากนี้กลุ่มอื่นๆ อาจพิจารณาว่ามีความเสี่ยงเป็นพิเศษ เนื่องจากลักษณะการได้รับสารมลพิษ หรือขนาดที่ก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพมีมากกว่ากลุ่มอื่นๆ ในขนาดการสัมผัสที่เท่ากัน เช่น เด็กที่ได้รับตะกั่วจะมีการดูดซึมได้ดีกว่าผู้ใหญ่มากในขนาดความเข้มข้นเท่ากัน กลุ่มที่มีความไวนี้อาจมีความแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ เนื่องจากความแตกต่างกันในแง่การเข้าถึงบริการทางการแพทย์ ความชุกของโรคระบบทางเดินหายใจ ความแตกต่างในด้านปัจจัยทางพันธุกรรม หรือความชุกของโรคที่ทำให้เกิดอาการหรือภาวะทุพโภชนาการ ผู้มีหน้าที่ในการควบคุมสารมลพิษจึงต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวในการกำหนดกลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงต่อสารมลพิษมากกว่ากลุ่มอื่นๆ ในคำแนะนำขององค์การอนามัยโลกปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ได้ถูกนำมาพิจารณาแล้ว

สำหรับคำแนะนำของอนุภาคแขวนลอย องค์การอนามัยโลกได้พัฒนาขึ้นโดยพิจารณาผลกระทบด้านสุขภาพที่สัมพันธ์กับการได้รับอนุภาคขนาดเล็กในบรรยากาศนอกบ้านรวมทั้งอนุภาคที่เกิดจากสารชนิดอื่น (เช่น ซัลเฟต ไนเตรต และสารอินทรีย์อื่นๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีแสง) ทั้งนี้การสัมผัสเกิดขึ้นนอกบ้านรวมทั้งในบ้านเนื่องจากการแทรกซึมของอนุภาคเข้ามาภายในบ้าน ตัวเลขที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวที่ระบุไว้ในคำแนะนำ ตั้งอยู่บนฐานของข้อมูลความเข้มข้นของมวลอนุภาคแยกตามขนาด (size-selective mass concentration) ที่ได้จากการศึกษาจำนวนมากในกลุ่มประชากรที่อาศัยในเขตเมืองแถบอเมริกาเหนือ ได้ และยุโรป อย่างไรก็ตามการนำค่าตัวเลขเหล่านี้ไปใช้กับส่วนอื่นๆ ของโลกจะต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้

1. ส่วนประกอบทางเคมีของอนุภาคอาจมีความแตกต่างกันได้อย่างมากในประเทศที่กำลังมีการพัฒนา ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเมื่อเทียบกับประเทศที่มีการศึกษาผลกระทบด้านสุขภาพและข้อมูลที่ได้ถูกนำไปใช้ในการกำหนดคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก ความเข้มข้นของมวลอนุภาคที่เลือกตามขนาด (เช่น PM_{10} หรือ $PM_{2.5}$) เป็นได้ดีที่สุดก็แค่ตัวแทนของส่วนผสมของสารมลพิษหลายชนิดที่พบว่ามีผลทางชีววิทยาต่อสิ่งมีชีวิต ส่วนผสมของสารมลพิษที่ถูกใช้ในการศึกษาและนำเอาผลมาใช้ในการพัฒนาคำแนะนำพบว่าเป็นสารปฏิกิริยาและทุติยภูมิจากแหล่งกำเนิดที่มาจากการจราจร โรงไฟฟ้า และการใช้เชื้อเพลิงจากซากสัตว์ธรรมชาติ น้ำมันเพื่อประโยชน์ด้านการทำความร้อน ซึ่งส่วนผสมดังกล่าวนี้อาจแตกต่างจากประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งส่วนใหญ่อาจมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพต่ำ (เช่น ถ่านหิน ฟืนจากไม้) และจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นในดิน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าคุณสมบัติด้านความเป็นพิษมีความแตกต่างไปจากการศึกษาที่องค์การอนามัยโลกนำมาใช้

2. ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นอาจมีความแตกต่างกันได้อย่างมาก ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมลพิษกับการตอบสนองที่องค์การอนามัยโลกใช้ตั้งอยู่บนแบบจำลองชนิดเส้นตรง ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประมาณผลกระทบในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษาและผลการศึกษากฎใช้โดยองค์การอนามัยโลก อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าค่าสัมประสิทธิ์ (ความชันของเส้นกราฟ) มีแนวโน้มลดลงที่ระดับความเข้มข้นขนาดสูง นอกจากนี้ค่าความชันที่ใช้ในความเข้มข้นขนาดต่ำขององค์การอนามัยโลกไม่อาจใช้ทำนายการตอบสนองที่ระดับความเข้มข้นของมวลที่มีขนาดสูงซึ่งมักพบได้ในเขตเมืองของประเทศด้อยพัฒนาได้
3. การตอบสนองของประชากรอาจมีความแตกต่างกันได้อย่างมาก ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมลพิษกับการตอบสนองที่องค์การอนามัยโลกใช้ตั้งอยู่บนผลการศึกษาในกลุ่มประชากรที่มีระดับโภชนาการดีและสามารถเข้าถึงระบบบริการทางการแพทย์ได้อย่างทั่วถึง ในทางตรงข้ามกลุ่มประชากรที่ได้รับสารมลพิษขนาดสูงในประเทศด้อยพัฒนากลับมีคุณภาพของโภชนาการและระบบบริการสุขภาพที่ด้อยกว่า แต่ในด้านหนึ่งอาจเป็นไปได้ว่ากลุ่มประชากรอาจเป็นกลุ่มรอดชีวิตที่มีความต้านทานสูงในขณะที่ผู้ที่อ่อนแอกว่ามีจำนวนน้อยลงมาก อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลที่ยืนยันว่าการตอบสนองของประชากรในส่วนอื่นของโลกแตกต่างไปจากการศึกษาในทวีปอเมริกาเหนือ ได้หรือยุโรปหรือไม่

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น การเอาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมลพิษกับการตอบสนองขององค์การอนามัยโลกมาใช้ในการทำนายผลตอบสนองในประเทศที่ด้อยพัฒนาจึงต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่ควรอนุมานผลในช่วงความเข้มข้นนอกเหนือไปจากที่ระบุไว้ในค่าแนวทาง

ค่าปัจจัยความไม่แน่นอน

ในการพัฒนาค่าแนวทางขององค์การอนามัยโลก ได้มีการนำค่าปัจจัยความไม่แน่นอนมาใช้ปรับข้อมูลต่างๆ ที่ถูกนำมาใช้ในการหาค่าแนวทาง โดยการใช้ค่าแต่ละค่าของปัจจัยความไม่แน่นอนเป็นไปตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมากกว่าจะเป็นสูตรสำเร็จ เมื่อไรที่ข้อมูลมีความหนักแน่นมากพอ ขนาดของค่าปัจจัยความไม่แน่นอนก็จะเล็ก และในทางกลับกันข้อมูลที่มีหลักฐานอ่อนก็จะใช้ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนที่มีขนาดใหญ่ ความหนักแน่นของข้อมูลขึ้นกับว่ามีข้อมูลงานวิจัยที่ตีพิมพ์มากน้อยเพียงใดและเกี่ยวข้องกับสภาพการณ์ในแต่ละประเทศที่จะนำค่าแนวทางไปใช้หรือไม่ ดังนั้นหากจะมีการนำค่าแนวทางขององค์การอนามัยโลกไปปรับเป็นค่ามาตรฐานของประเทศ จำเป็นที่จะต้องมีการพิจารณาแก้ไขค่าปัจจัยความไม่แน่นอนให้เหมาะสมเสียก่อน

ในกรณีผลกระทบต่อสุขภาพที่เป็นมะเร็ง การพิจารณาระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่มีความสำคัญ และอาจมีค่าผันแปรไปในแต่ละประเทศ ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพปัจจัยทางสังคม ลำดับความสำคัญและความเสี่ยงอื่นๆ ที่กลุ่มประชากรได้รับ ดังนั้นจึงไม่ใช่เรื่องแปลกหากระดับความเสี่ยงหนึ่งไม่เป็นที่ยอมรับในประเทศหนึ่งอาจถือเป็นเรื่องเล็กน้อยในอีกประเทศหนึ่ง

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลได้และปัจจัยอื่นๆ

ต้นทุนที่จะต้องใช้ในการลดระดับสารมลพิษในอากาศลงจำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับผลประโยชน์ที่จะได้รับ ดังนั้นการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลได้จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีคนนำมาใช้ โดยการวิเคราะห์จะคิดออกมาเป็นตัวเงิน ทั้งนี้มีหลักการในการวิเคราะห์คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษจะต้องอยู่ในระดับที่ต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดความสมดุลระหว่างต้นทุนและผลได้ที่จะเกิดขึ้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วแม้ว่าการคิดต้นทุนที่จะต้องใช้ในการลดสารมลพิษในอากาศลงมาจะคิดได้ไม่ยาก แต่การคำนวณผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นให้อยู่ในรูปของตัวเงินทำได้ไม่ง่ายเลย ในบางประเด็นอาจทำได้ไม่ยากเช่น จำนวนผู้ป่วยที่ลดลงมีผลให้ลดค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลรวมทั้งค่ายาสามารถคำนวณเป็นตัวเงินได้ แต่การที่สามารถลดการตายลงได้ก่อนเวลาอันควรหรืออาการของโรคบางอย่าง เหล่านี้ไม่อาจคำนวณเป็นตัวเงินได้ บางครั้งจึงใช้วิธีการคิดเป็นตัวเงินโดยใช้หลัก “ความเต็มใจที่จะจ่าย” (willingness to pay) ซึ่งเป็นที่ยอมรับในหมู่นักเศรษฐศาสตร์สาธารณสุขว่ามีความเหมาะสมที่สุด อีกวิธีหนึ่งซึ่งไม่เป็นที่นิยมนักคือ การกำหนดดัชนีที่คำนวณการสูญเสียด้านผลผลิต รายได้ หรือค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาล

ในทางปฏิบัติแล้วการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลได้ควรจะเสริมด้วยข้อมูลด้านอื่นๆ เช่น ปัจจัยทางสังคมและเศรษฐกิจ เป็นต้น กระบวนการนี้บางครั้ง เรียกว่า ปัจจัยนำเข้าของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (stakeholder input) ทั้งนี้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย หมายถึง ผู้ที่มีส่วนได้หรือเสียผลประโยชน์จากผลของกระบวนการตัดสินใจที่เกิดขึ้น กระบวนการนี้จึงมีเป้าหมายสำคัญที่จะให้เกิดความเป็นธรรมและยุติธรรมในสังคมสำหรับกลุ่มประชากรทุกกลุ่ม การที่ให้โอกาสแก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องทุกกลุ่มเข้ามามีส่วนร่วมตั้งแต่แรกย่อมทำให้กระบวนการตัดสินใจมีความโปร่งใสและเป็นที่ยอมรับแก่กลุ่มคนทุกระดับ

นอกจากปัจจัยด้านเงินแล้ว ปัจจัยอื่นๆ ก็ควรจะมีการนำเข้ามาประเมินด้วยในระหว่างกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานของประเทศ เช่น ความเป็นไปได้หรือขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีของประเทศที่จะดำเนินการให้บรรลุตามค่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการกำหนดค่ามาตรฐานจึงต้องพิจารณาถึงผลกระทบที่จะเกิดกับสังคม ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมด้านต้นทุนและผลได้ที่จะตกแก่ประชาชนและสิ่งแวดล้อมโดยรวม

ประเทศสหราชอาณาจักร

หน่วยงานที่มีบทบาทสำคัญในสหราชอาณาจักรคือ “คณะผู้เชี่ยวชาญด้านมาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งสหราชอาณาจักร” (UK Expert Panel on Air Quality Standards-EPAQS) ซึ่งก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1991 เพื่อให้คำแนะนำค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในประเทศสหราชอาณาจักร ตารางที่ 5 แสดงค่าที่แนะนำโดย EPAQS ซึ่งจะนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนด “ค่าเป้าหมาย” หากสารมลพิษใด EPAQS ไม่ได้เสนอแนะไว้ ก็จะใช้ข้อมูลจากองค์การอนามัยโลก ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดเป็นแนวทางโดยองค์การอนามัยโลก โดยตัดค่ามาตรฐานอากาศในอาคารและสารมลพิษที่เป็นพิษต่อระบบนิเวศวิทยาออกไป นอกจากนี้ยังมีค่ามาตรฐานของหน่วยงานอื่นๆ อีก เช่น ของสหภาพยุโรปและองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency)

ประเทศสหราชอาณาจักรได้ยอมรับเอาค่ามาตรฐานที่แนะนำโดย EPAQS (ดูตารางที่ 5) มาเป็นเป้าหมายสำหรับการพัฒนาคุณภาพอากาศระยะยาว และบางค่าได้ถูกกำหนดเป็น “ค่าเป้าหมาย” ลงในแผนกลยุทธ์คุณภาพอากาศแห่งชาติ (National Air Quality Strategy) โดยได้มีการพิจารณาปัจจัยด้านต้นทุนและผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้น รวมทั้งความเป็นไปได้ที่จะให้บรรลุเป้าหมายภายในระยะเวลาที่กำหนดด้วย ในขณะนี้ “ค่าเป้าหมาย” ของสารมลพิษ 8 ชนิด ได้ถูกกำหนดเป็นกฎหมายเรียบร้อยแล้ว ตั้งแต่เดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 1997 (The Air Quality Regulations 1997) ซึ่งในบทบัญญัติส่วนที่ 4 ของกฎหมายสิ่งแวดล้อม ปี ค.ศ. 1995 ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 1997 กำหนดให้รัฐบาลท้องถิ่นจะต้องทำการประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่รับผิดชอบและเปรียบเทียบกับ “ค่าเป้าหมาย” จากนั้นจะต้องจัดทำประกาศแสดงอาณาบริเวณภายในเขตรับผิดชอบที่มีคุณภาพอากาศไม่ได้มาตรฐานพร้อมจัดทำแผนการจัดการคุณภาพอากาศ สารมลพิษที่กำหนดเป็น “ค่าเป้าหมาย” มี 8 ชนิดได้แก่ เบนซีน 1,3-butadiene คาร์บอนมอนอกไซด์ ตะกั่ว ไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน อนุภาคขนาดเล็ก (PM_{10}) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามยังไม่มีบทลงโทษหากมีอาณาบริเวณใดที่มีคุณภาพอากาศไม่ได้มาตรฐาน

ตารางที่ 5 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของ EPAQS

สารมลพิษ	ความเข้มข้น ¹	ระยะเวลาของการหาค่าเฉลี่ย
Benzene	16.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5 ppb)	ค่าเฉลี่ยรายปี
1,3-Butadiene	2.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 ppb)	ค่าเฉลี่ยรายปี
Sulfur dioxide	266 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (100 ppb)	ค่าเฉลี่ย 15 นาที
Nitrogen dioxide	287 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (150 ppb)	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง
Ozone	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (50 ppb)	ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง

Carbon monoxide	11.6 mg/m ³ (10 ppm)	ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง
ตะกั่ว	0.25 µg/m ³	ค่าเฉลี่ยรายปี
PM ₁₀	250 µg/m ³	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

1 การเปลี่ยนจาก ppb และ ppm เป็น µg/m³ และ mg/m³ ถูกต้องที่ 20° C และ 1013 mb

2. การวัดใช้หน่วยเป็น TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance)

ตารางที่ 6 ค่าแนวทางคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลกสำหรับยุโรป (แก้ไขครั้งที่สอง ปี ค.ศ. 1996)

สารมลพิษ	ความเข้มข้น	ระยะเวลาของการหาค่าเฉลี่ย
สารมลพิษทางอากาศทั่วไป		
	Carbon monoxide	100 mg/m ³ 15 นาที
		60 mg/m ³ 30 นาที
		30 mg/m ³ 1 ชั่วโมง
		10 mg/m ³ 8 ชั่วโมง
Ozone	120 µg/m ³	8 ชั่วโมง
Nitrogen dioxide	200 µg/m ³	1 ชั่วโมง
	40 µg/m ³	1 ปี
Sulfur dioxide	500 µg/m ³	10 นาที
	125 µg/m ³	24 ชั่วโมง
	50 µg/m ³	1 ปี
อนุภาคนาโนเล็ก	กำหนดตามความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนอง	
สารมลพิษอินทรีย์		
สารหนู	$1.5 \times 10^3 (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	UR/ตลอดชีวิต
แคดเมียม	5 ng/m ³	1 ปี
โครเมียม (Cr VI)	$4 \times 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	UR/ตลอดชีวิต
ตะกั่ว	0.5 µg/m ³	1 ปี
แมงกานีส	0.15 µg/m ³	1 ปี
ปรอท	1.0 µg/m ³	1 ปี
นิกเกิล	$3.8 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	UR/ตลอดชีวิต
ทองคำขาว	ไม่กำหนด	

สารมลพิษอินทรีย์		
------------------	--	--

Benzene	$6 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	UR/ตลอดชีวิต
1,3-Butadiene	ไม่กำหนด	-
Dichloromethane	$3 \text{ mg}/\text{m}^3$	24 ชั่วโมง
Formaldehyde	$0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$	30 นาที
PAH (BaP)	$8.7 \times 10^{-5} (\text{ng}/\text{m}^3)^{-1}$	UR/ตลอดชีวิต
Styrene	$0.26 \text{ mg}/\text{m}^3$	1 สัปดาห์
Tetrachloroethylene	$0.25 \text{ mg}/\text{m}^3$	24 ชั่วโมง
Toluene	$0.26 \text{ mg}/\text{m}^3$	1 สัปดาห์
Trichloroethylene	$4.3 \times 10^{-7} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	UR/ตลอดชีวิต

หมายเหตุ UR คือ หน่วยความเสี่ยง (Unit Risk)

ในปัจจุบัน “ค่าเป้าหมาย” ได้มีการปรับปรุงใหม่สำหรับค่าบางค่าและเพิ่มสารมลพิษบางตัวเข้าไป ดังแสดงในตารางที่ 7 มีข้อที่น่าสังเกตว่าสารมลพิษบางชนิด เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน ฯลฯ มีการกำหนดจำนวนครั้งที่อาจเกินไปจากค่าที่กำหนดไว้ด้วย รวมทั้งระยะเวลาที่จะต้องบรรลุตามเกณฑ์ที่กำหนดนี้

ตารางที่ 7 “ค่าเป้าหมาย” ที่กำหนดในแผนกลยุทธ์คุณภาพอากาศแห่งชาติ (National Air Quality Strategy)

สารมลพิษ	ค่าเป้าหมาย		ค่าเป้าหมาย ที่จะ ต้องบรรลุภายใน
	ความเข้มข้น ¹	วิธีการวัด	
“ค่าเป้าหมาย” สำหรับปกป้องสุขภาพมนุษย์			
Benzene	16.25 µg/m ³ (5 ppb)	ค่าเฉลี่ยรายปี	31 ธันวาคม 2003
1,3-Butadiene	2.25 µg/m ³ (1 ppb)	ค่าเฉลี่ยรายปี	31 ธันวาคม 2003
Carbon monoxide	11.6 µg/m ³ (10 ppm)	ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง	31 ธันวาคม 2003
ตะกั่ว	0.5 µg/m ³	ค่าเฉลี่ยรายปี	31 ธันวาคม 2003
	0.25 µg/m ³		31 ธันวาคม 2008
Nitrogen dioxide	200 µg/m ³ (105 ppb) (สูงกว่าค่าที่กำหนด ได้ไม่เกิน 18 ครั้ง/ปี) ² 40 µg/m ³ (21 ppb)	ค่าเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง	31 ธันวาคม 2005
		ค่าเฉลี่ยรายปี	31 ธันวาคม 2005
Ozone	100 µg/m ³ (50 ppb) (สูงกว่าค่าที่กำหนด ได้ไม่เกิน 10 ครั้ง/ปี) ²	ค่าสูงสุดรายวัน ของค่าเฉลี่ยใน 8	31 ธันวาคม 2005

		ชั่วโมง	
อนุภาคนาโนเล็ก (PM ₁₀)	50 µg/m ³ (สูงกว่าค่าที่กำหนดได้ไม่เกิน 35 ครั้ง/ปี) ³ 40 µg/m ³	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยรายปี	31 ธันวาคม 2004 31 ธันวาคม 2004
Sulfur dioxide	266 µg/m ³ (100 ppb) (สูงกว่าค่าที่กำหนดได้ไม่เกิน 35 ครั้ง/ปี) 350 µg/m ³ (132 ppb) (สูงกว่าค่าที่กำหนดได้ไม่เกิน 24 ครั้ง/ปี) 125 µg/m ³ (47 ppb) (สูงกว่าค่าที่กำหนดได้ไม่เกิน 3 ครั้ง/ปี)	ค่าเฉลี่ย 15 นาที ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	31 ธันวาคม 2005 31 ธันวาคม 2004 31 ธันวาคม 2004
“ค่าเป้าหมาย” สำหรับปกป้องพืชและระบบนิเวศวิทยา⁴			
Nitrogen Oxides	30 µg/m ³ (16 ppb) ⁵	ค่าเฉลี่ยรายปี	31 ธันวาคม 2000
Sulfur dioxide	20 µg/m ³ (8 ppb) 20 µg/m ³ (8 ppb)	ค่าเฉลี่ยรายปี ค่าเฉลี่ยช่วงฤดูหนาว (1 ตุลาคม ถึง 31 มีนาคม)	31 ธันวาคม 2000 31 ธันวาคม 2000

1 การเปลี่ยนจาก ppb และ ppm เป็น µg/m³ และ mg/m³ ถูกต้องที่ 20° C และ 1013 mb

2 “ค่าเป้าหมาย” ของไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนยังไม่มีผลทางกฎหมาย

3. การวัดใช้หน่วยเป็น gravimetric

4. “ค่าเป้าหมาย” เหล่านี้ใช้สำหรับพื้นที่ห่างไกลจากแหล่งสารมลพิษบางอย่าง เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ถนน

5. อนุโลมว่าสาร NO_x คือ NO₂

ปรัชญาที่ EPAQS ใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐานมีหลักการเดียวกับที่องค์การอนามัยโลกใช้ในการกำหนดค่าแนวทางคุณภาพอากาศสำหรับทวีปยุโรป กล่าวคือต้องการให้ค่าที่กำหนดเป็นแนวทางที่แต่ละท้องถิ่นไปกำหนดเป็นค่ามาตรฐานของตนเองเพื่อให้เกิดความเหมาะสมและสอดคล้องกับพื้นที่แต่ละแห่ง ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลกและ EPAQS คือ สำหรับสารมลพิษที่ไม่มีค่าความทน (Non-threshold Pollutants) เช่น สารก่อมะเร็งที่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรมและ PM₁₀ องค์การอนามัยโลกแนะนำให้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสและการตอบสนองมาเป็นตัวกำหนดแทนที่จะระบุค่าที่เป็นตัวเลข ดังนั้นแต่ละประเทศจะต้องไปพิจารณาค่ามาตรฐานของตนเองตามความเหมาะสมของแต่ละประเทศ นอกจากนี้สารมลพิษหลายชนิดองค์การอนามัยโลกใช้ค่า “หน่วยความเสี่ยง” (ดูตารางที่ 6) เป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่ามาตรฐาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป สำหรับค่าแนวทางที่กำหนดในตารางที่ 6 นี้เป็นค่าที่ได้มีการปรับปรุงครั้งที่ 2 โดยสำนักงานองค์การอนามัยโลกประจำทวีปยุโรป

สหภาพยุโรป

สหภาพยุโรปได้กำหนดค่ามาตรฐานสำหรับสารมลพิษจำนวนหนึ่งขึ้น โดยกำหนดว่าค่าเหล่านี้หากไม่ได้ระบุไว้ว่าให้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ก็ให้ถือว่ามีผลบังคับตามกฎหมายที่ประเทศสมาชิกจะต้องดำเนินการปรับปรุงคุณภาพอากาศให้ได้ตามที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดคุณภาพอากาศ (Air Quality Directives) ซึ่งบรรดาประเทศสมาชิกของสหภาพยุโรปได้ยอมรับข้อกำหนดด้านคุณภาพอากาศของสภาโครงสร้าง (Framework Council Directive on Ambient Air Quality) ปัจจุบันสารมลพิษที่อยู่ในข้อกำหนดดังกล่าวได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซนและตะกั่ว (ดูตารางที่ 8) ในกรณีก๊าซโอโซน กำหนดให้ต้องมีการให้ข้อมูลเกี่ยวกับระดับปลอดภัย รวมทั้งระดับที่ต้องมีการเตือนภัยด้วย สารมลพิษอื่นๆ ที่จะได้มีการกำหนดในภายหลังได้แก่ เบนซีน (benzene-C₆H₆) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แคดเมียม (cadmium) สารหนู (arsenic-As) โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons-PAHs) และสารประกอบอื่นๆ ที่มีนิเกิลเป็นส่วนผสม และจัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้จะต้องมีการกำหนดแผนการดำเนินการแก้ไขในพื้นที่ที่ไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่กำหนด พร้อมทั้งจัดทำรายงานผลประจำปี สำหรับในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นของประชากรมากกว่า 250,000 คนจะต้องมีการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ ยกเว้นภายใต้เงื่อนไขพิเศษบางอย่างที่อาจใช้แบบจำลองแทนการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศได้

ตารางที่ 8 ค่าจำกัดและค่าแนวทางของสหภาพยุโรปสำหรับสารมลพิษต่างๆ

สารมลพิษ	ระยะเวลาอ้างอิง	ค่าจำกัด (ต้องบรรลุก่อนวันที่ 1 เม.ย. ค.ศ. 1983)
ซัลเฟอร์ ไดออกไซด์	1 ปี (ค่ามัธยฐานของค่ารายวัน) ฤดูหนาว (ค่ามัธยฐานของค่ารายวัน) ค่าสูงสุดใน 1 ปี (เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 ของค่ารายวัน)	120 µg/m ³ ถ้าวันน้อยกว่า 40 µg/m ³ 80 µg/m ³ ถ้าวันมากกว่า 40 µg/m ³ 180 µg/m ³ ถ้าวันน้อยกว่า 60 µg/m ³ 130 µg/m ³ ถ้าวันมากกว่า 40 µg/m ³ 350 µg/m ³ ถ้าวันน้อยกว่า 150 µg/m ³ 250 µg/m ³ ถ้าวันมากกว่า 150 µg/m ³
ควัน	1 ปี (ค่ามัธยฐานของค่ารายวัน) ฤดูหนาว (ค่ามัธยฐานของค่ารายวัน)	80 µg/m ³ 130 µg/m ³

	ค่าสูงสุดใน 1 ปี (เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 ของค่ารายวัน)	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
สารมลพิษ	ระยะเวลาอ้างอิง	ค่าแนวทาง
ซัลเฟอร์ ไดออกไซด์	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ย 1 ปี	100-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 400-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
สารมลพิษ	ระยะเวลาอ้างอิง	ค่าจำกัด (ต้องบรรลุก่อนวันที่ 1 ก.ค. ค.ศ. 1987)
ไนโตรเจน ไดออกไซด์	1 ปี (เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 ของค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง)	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
สารมลพิษ	ระยะเวลาอ้างอิง	ค่าแนวทาง
ไนโตรเจน ไดออกไซด์	1 ปี (เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง) 1 ปี (เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 ของค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
สารมลพิษ	ระยะเวลาอ้างอิง	ค่าจำกัด (ต้องบรรลุก่อนวันที่ 9 ธ.ค. ค.ศ. 1987)
ตะกั่ว	1 ปี	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ในกรณีของก๊าซโอโซนที่เกิดแบบทุติยภูมิ พิจารณาแล้วเห็นว่าไม่สามารถกำหนดค่าจำกัดให้ได้ เนื่องจากมักจะเกิดขึ้นห่างไกลไปจากแหล่งกำเนิดปฐมภูมิของมันเป็นระยะทางหนึ่ง สหภาพยุโรปจึงได้กำหนดเป็นค่าความทนขึ้นแทน สำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆ ได้แก่ เพื่อปกป้องสุขภาพมนุษย์และพืชผล สำหรับการแจ้งข้อมูลแก่ประชาชน และเพื่อให้มีการเตือนภัย (ดูตารางที่ 9) เช่น ถ้าค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของโอโซนเกินไปจาก 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จะต้องมีการแจ้งข้อมูลข่าวสารให้แก่ประชาชน ในขณะที่ถ้าค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของโอโซนเกินไปจาก 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จะต้องออกประกาศเตือนให้ประชาชนได้รับทราบและให้คำแนะนำว่าจะมีวิธีการในการหลีกเลี่ยงการสัมผัสอย่างไรและผลเสียที่จะตามมาได้แก่อะไรบ้าง ในกรณีนี้ได้เคยเกิดขึ้นมาแล้วที่เมืองเอเธนส์ บนคาบสมุทรเชลลูสและเมืองซิชลีในปี ค.ศ. 1994

ตารางที่ 9 ค่าความทนของโอโซนที่ระดับต่างๆ

วัตถุประสงค์	ค่าความทน (Threshold concentration) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ปกป้องสุขภาพ (ค่าเฉลี่ยใน 8 ชั่วโมง)	110
การแจ้งข้อมูลแก่ประชาชน (ค่าเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง)	180
การเตือนภัยแก่ประชาชน (ค่าเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง)	360
ปกป้องพืชผล	
ค่าเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง	200
ค่าเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง	65

นอกเหนือไปจากสารมลพิษต่างๆ ที่ควบคุมโดยข้อกำหนดของสหภาพยุโรปแล้ว หลายๆ ประเทศยังยอมรับเอาค่าจำกัดสำหรับสารมลพิษที่พบบ่อยๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (ดูตารางที่ 10) โดยเหล่าประเทศสมาชิกมีสิทธิ์ที่จะกำหนดค่าจำกัดให้เข้มงวดกว่าที่สหภาพยุโรปกำหนดได้ เหล่าประเทศในแถบทวีปยุโรปที่ไม่ได้เป็นสมาชิกของสหภาพยุโรปก็มักจะมีกรอบของกฎหมายที่เทียบเคียงได้ในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ยกเว้นประเทศโมนาโกที่ยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐาน นอกจากนี้สารมลพิษอื่นๆ เช่น โลหะหนักก็มักจะมีการออกกฎหมายควบคุมด้วย โดยเฉพาะในบริเวณที่มีปัญหาค่อนข้างมาก

ตารางที่ 10 ตัวอย่างค่าจำกัดของคาร์บอนมอนอกไซด์ของประเทศต่างๆ ในยุโรป

ประเทศ	ระยะเวลาอ้างอิง	ค่าจำกัด
สาธารณรัฐเช็ก	1 ปี (เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 95 ของค่าเฉลี่ยในครึ่งชั่วโมง)	$10 \text{ mg}/\text{m}^3$
	1 ปี (เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 95 ของค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	$5 \text{ mg}/\text{m}^3$
เยอรมัน	1 ปี	$10 \text{ mg}/\text{m}^3$
	1 ปี	$30 \text{ mg}/\text{m}^3$
	(เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 98 ของค่าเฉลี่ยในครึ่งชั่วโมง)	$50 \text{ mg}/\text{m}^3$
	ครึ่งชั่วโมง	$50 \text{ mg}/\text{m}^3$
สโลวีเนีย	24 ชั่วโมง	$10 \text{ mg}/\text{m}^3$
	ครึ่งชั่วโมง	$60 \text{ mg}/\text{m}^3$
	1 ชั่วโมง	$30 \text{ mg}/\text{m}^3$
	8 ชั่วโมง	$10 \text{ mg}/\text{m}^3$
	24 ชั่วโมง	$5 \text{ mg}/\text{m}^3$
	1 ปี	$20 \text{ mg}/\text{m}^3$

ประเทศสหรัฐอเมริกา

หน่วยงานที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (US Environmental Protection Agency) ซึ่งใช้การประเมินความเสี่ยงสุขภาพเป็นเครื่องมือสำคัญในการกำหนดค่ามาตรฐาน ค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม มี 2 ประเภท คือ

- ค่ามาตรฐานที่อิงกับเทคโนโลยี (technology-based standards) ได้แก่ ค่ามาตรฐานที่อาศัยเทคโนโลยีที่สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากที่สุด (Maximum Achievable Control Technology-MACT)
- ค่ามาตรฐานที่อิงกับสุขภาพ (health-based standards) ได้แก่ ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งชาติ (National Ambient Air Quality Standards-NAAQS)

ค่ามาตรฐานที่อาศัยเทคโนโลยีที่สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากที่สุด (Maximum Achievable Control Technology-MACT)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศกำหนดโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (US EPA) และมีผลบังคับตามกฎหมาย แต่โดยทั่วไป US EPA ต้องการให้เกิดผลสำเร็จด้านคุณภาพอากาศในระยะยาวมากกว่าที่จะลงโทษแก่ผู้ที่ฝ่าฝืนทันทีทันใด

นักวิทยาศาสตร์ได้ประมาณว่า ในประเทศสหรัฐอเมริกาแต่ละปีสารมลพิษหลายล้านตันได้ถูกปลดปล่อยเข้าสู่บรรยากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ดังนั้นภายใต้กฎหมายอากาศสะอาด กำหนดให้ EPA จะต้องควบคุมสารมลพิษในอากาศที่เกิดจากแหล่งกำเนิดทุกชนิด ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทคือ

1) แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (stationary source) ซึ่งแบ่งย่อยได้เป็น 2 ประเภทคือ

- แหล่งกำเนิดสำคัญ (major source) หมายถึงแหล่งกำเนิดที่มีการปล่อยสารมลพิษชนิดใดชนิดหนึ่งที่กำหนดไว้ในบัญชีรายชื่อ 10 ดันต่อปี หรือสารผสมในปริมาณ 25 ดันต่อปี เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี โรงงานถลุงเหล็ก โรงกลั่นน้ำมัน และเตาเผาขยะพิษ
- แหล่งกำเนิดพื้นที่ (area source) ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดที่มีขนาดเล็กกว่า โดยแต่ละแหล่งมีการปล่อยสารมลพิษที่น้อยกว่า โดยให้นิยามว่า เป็นแหล่งกำเนิดที่มีการปล่อยสารมลพิษน้อยกว่า 10 ดันต่อปี สำหรับสารมลพิษเดี่ยวๆ หรือ 25 ดันต่อปี สำหรับสารผสม ตัวอย่างได้แก่ ร้านซักแห้ง สถานีเติมน้ำมัน แม้ว่าแหล่งกำเนิดประเภทนี้จะมีการปล่อยสารมลพิษในปริมาณที่น้อย แต่ถ้าวัดกันทุกแห่งแล้วอาจมีปริมาณที่มากจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีประชากรหนาแน่น

- 2) แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ (mobile source) ได้แก่ รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถบรรทุก เป็นต้น
- 3) ไฟไหม้ป่า (forest fire) ทั้งที่เกิดเองตามธรรมชาติและด้วยฝีมือของมนุษย์
- 4) อุบัติเหตุ (accidental release) ได้แก่ อุบัติเหตุที่ทำให้เกิดการรั่ว (leak) หรือ หก (spill) ของสารมลพิษ ในการควบคุมแหล่งกำเนิดชนิดนี้ EPA กำหนดให้กิจกรรมบางประเภทจะต้องมีการจัดทำแผนการจัดการความเสี่ยง (risk management program) เพื่อป้องกันอุบัติเหตุดังกล่าว

ก่อนปี ค.ศ. 1990 (ซึ่งเป็นปีที่มีการแก้ไขกฎหมายฉบับนี้) ได้ระบุให้ EPA ดำเนินการ

- กำหนดสารมลพิษที่เป็นสาเหตุของการเจ็บป่วยที่รุนแรงและไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้หรือการตาย (serious and irreversible illness or death)
- พัฒนาคำมาตรฐานสำหรับสารมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดแยกจากกัน โดยจะต้องเป็นระดับที่เกิดช่วงความปลอดภัยที่เพียงพอต่อสาธารณะ

ในระหว่างปี ค.ศ. 1970 ถึง 1990 ที่ EPA ได้ดำเนินการควบคุมโดยมาตรการต่างๆ ได้ก่อให้เกิดข้อถกเถียงในด้านกฎหมาย วิทยาศาสตร์และการกำหนดนโยบาย ว่าสารมลพิษชนิดใดควรถูกควบคุมและมีการควบคุมเข้มงวดเพียงใด โดยประเด็นการถกเถียงอยู่ที่วิธีการประเมินความเสี่ยงสุขภาพและสมมติฐานที่ใช้ปริมาณข้อมูลด้านความเสี่ยงสุขภาพที่จำเป็นในการกำหนดคำมาตรฐาน การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่จะได้รับ รวมทั้งการพิจารณาตัดสินใจว่า “ความปลอดภัยเพียงใดที่ถือว่าปลอดภัย” (how safe is safe) ในระหว่างนั้น EPA ยังคงมีการพัฒนาวิธีการประเมินความเสี่ยง ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จำเป็นต่อการค้นหาข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับสารมลพิษทางอากาศ ในขณะที่ EPA และแวดวงวิทยาศาสตร์ได้อาศัยความรู้เกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงมากขึ้นเรื่อยๆ การกำหนดคำมาตรฐานโดยพิจารณาสารเคมีเป็นชนิดๆ ไป และอิงอยู่กับการประเมินความเสี่ยงแต่เพียงอย่างเดียว ได้รับการพิสูจน์ในเวลาต่อมาว่าทำได้ยากและมีผลในการลดมลพิษลงได้เพียงเล็กน้อย ดังจะเห็นได้ว่าตลอด 20 ปีที่ผ่านมา EPA สามารถควบคุมสารมลพิษอากาศได้เพียง 7 ชนิด (ได้แก่ แร่ใยหิน เบนซีน เบอริลเลียม สารหนูอินทรีย์ โปรท อนุภาคครึงส์ และไวนิลคลอไรด์) ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วคำมาตรฐานเหล่านี้สามารถลดการปล่อยสารมลพิษได้ประมาณ 125,000 ตันต่อปี ด้วยข้อจำกัดในวิธีดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นภายหลังการแก้ไขกฎหมายในปี ค.ศ. 1990 สภาองเกรสได้กำหนดให้ EPA ใช้วิธีการกำหนดที่มีผลในทางปฏิบัติได้จริง โดยมีการดำเนินการเป็น 2 ระยะ คือ ในระยะแรก EPA พัฒนาคำมาตรฐาน คำมาตรฐานโดยตั้งอยู่บนพื้นฐานด้านเทคโนโลยีและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เรียกว่า คำมาตรฐานที่อาศัยเทคโนโลยีที่สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากที่สุด (maximum achievable control technology-MACT) ซึ่งเป็นคำมาตรฐานที่ตั้งอยู่บนระดับการปลดปล่อยที่มีอยู่จริงหลังจากที่ได้ใช้วิธีการทางเทคโนโลยีที่ดีที่สุดในการควบคุม (ดูรายละเอียดกล่องข้อความที่ 3) จากนั้นในระยะที่สอง EPA จะใช้วิธีการที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานด้านความเสี่ยงในการประเมินว่าการกำหนดคำมาตรฐานที่อิงบนเทคโนโลยีสามารถลดความ

เสี่ยงที่มีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากเพียงใด และถ้าจำเป็น EPA ก็ยังสามารถออกมาตรการเพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหาความเสี่ยงที่ยังมีอยู่นั้น

กล่องข้อความที่ 3 คำมาตรฐานที่อาศัยเทคโนโลยีการควบคุมที่สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากที่สุด

คำมาตรฐานที่อาศัยเทคโนโลยีการควบคุมที่สามารถบรรลุเป้าหมายได้มากที่สุด (maximum achievable control technology-MACT)

ค่า MACT นี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของระดับการปลดปล่อยที่ทำกันอยู่แล้ว โดยแหล่งกำเนิดต่างๆ ที่ได้ใช้วิธีการควบคุมที่ดีที่สุดในขณะนั้น วิธีการกำหนดคำมาตรฐานชนิดนี้ทำให้ได้คำมาตรฐานที่สมเหตุสมผลและมีผลในการลดการปล่อยสารมลพิษลงได้จริง นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในแง่เศรษฐศาสตร์คือ เป็นหลักประกันความมั่นใจได้ว่า โรงงานที่ใช้กระบวนการผลิตที่สะอาดและมาตรการการควบคุมที่ดีจะไม่เสียเปรียบด้านการแข่งขันกับคู่แข่งที่มีการใช้วิธีการควบคุมที่ดีกว่า

ในการกำหนดค่า MACT สำหรับแหล่งกำเนิดกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง EPA จะพิจารณาที่ระดับการปลดปล่อยที่ทำกันอยู่แล้ว โดยแหล่งกำเนิดต่างๆ ที่ได้ใช้กระบวนการ เครื่องมือในการควบคุม การปฏิบัติในสถานที่ทำงาน หรือวิธีการอื่นๆ ที่สะอาด และดีที่สุด ในขณะที่ คำมาตรฐาน MACT นี้ถือเป็นค่าพื้นฐานสำหรับคำมาตรฐานที่จะกำหนดขึ้นใหม่ในอนาคตอีกด้วย บางครั้งจึงเรียกว่าค่า MACT พื้นฐาน

กำหนดค่า MACT พื้นฐาน จะมีวิธีการกำหนดที่แตกต่างกันขึ้นกับแหล่งกำเนิดสารมลพิษว่าเป็นแหล่งกำเนิดที่มีอยู่เดิมหรือเป็นแหล่งกำเนิดใหม่

- **กรณีที่เป็นแหล่งกำเนิดที่มีอยู่เดิม** ถ้ามีแหล่งกำเนิดมากกว่า 30 แห่งขึ้นไป ค่า MACT พื้นฐานจะต้องเท่ากับค่าเฉลี่ยการปล่อยสารมลพิษของแหล่งกำเนิดที่ได้ใช้วิธีการควบคุมที่ดีที่สุด จำนวนร้อยละ 12 ในกลุ่มของแหล่งกำเนิดเดียวกันนั้น แต่ถ้ามีแหล่งกำเนิดน้อยกว่า 30 แห่ง ก็ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของการปล่อยสารมลพิษของแหล่งกำเนิดที่ได้ใช้วิธีการควบคุมที่ดีที่สุด จำนวน 5 แห่ง
- **กรณีที่เป็นแหล่งกำเนิดใหม่** ค่า MACT พื้นฐานจะต้องเท่ากับระดับการปล่อยสารมลพิษของแหล่งกำเนิดที่ได้ใช้วิธีการควบคุมที่ดีที่สุดที่คล้ายคลึงกัน

ในปัจจุบันกฎหมายอากาศสะอาดได้กำหนดสารมลพิษทางอากาศที่ต้องมีการควบคุมไว้จำนวน 188 ชนิด ตัวอย่างสารมลพิษที่สำคัญๆ ได้แก่ เบนซีน (พบในน้ำมันเชื้อเพลิง) perchloroethylene (พบในอุตสาหกรรมซักแห้ง) และ methylene chloride (พบในอุตสาหกรรมสีที่มีการใช้สารตัวทำละลาย) สำหรับก๊าซพิษ ได้แก่ ไดออกซิน แร่ใยหิน โทลูอิน และโลหะหนักต่างๆ เช่น แคดเมียม ปรอท โครเมียม และสารประกอบตะกั่ว เป็นต้น แต่นับถึงเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2000 EPA ได้ออกค่า MACT แล้วจำนวน 45 ชนิด ซึ่งมีผลบังคับกับแหล่งกำเนิดที่เป็นประเภทอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่จำนวน 82 ประเภท เช่น โรงงานสารเคมี โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตยานอวกาศ โรงงานถลุงเหล็ก ฯลฯ และกลุ่มของแหล่งกำเนิดขนาด

เล็กอีก 8 ประเภท เช่น ร้านซักแห้ง โรงงานปุ๋ย โรงหลอมตะกั่วที่ใช้แล้ว และโรงงานเคลือบสารโครเมียม เป็นต้น และยังออกค่ามาตรฐานอีก 2 ค่า สำหรับควบคุมการปล่อยสารมลพิษบางชนิด จากโรงงานเผาขยะ โดยค่าหนึ่งสำหรับเตาเผาของเทศบาล และอีกค่าหนึ่งเป็นของเตาเผาขยะติดเชื้อ

ในการกำหนดค่ามาตรฐาน MACT EPA ไม่เพียงพิจารณาด้านเทคโนโลยีที่มีอยู่เท่านั้น แต่ยังพิจารณาความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติอีกด้วย ดังนั้นด้วยมาตรการใหม่นี้ตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาได้พิสูจน์แล้วว่าประสบความสำเร็จในระดับสูงมาก คาดว่าภายหลังจากมาตรการนี้ได้มีการบังคับใช้เต็มที่แล้ว ค่ามาตรฐานเหล่านี้จะช่วยลดปริมาณสารมลพิษลงได้ประมาณ 1.5 ล้านตันต่อปี ซึ่งคิดเป็นเกือบ 15 เท่าของปริมาณที่ลดลงได้ก่อนปี ค.ศ. 1990 และทุกๆ 8 ปีภายหลังจากที่ EPA ประกาศใช้ค่า MACT จะต้องมีการประเมินว่าความเสี่ยงที่ยังหลงเหลืออยู่เป็นเท่าไร ตามกลุ่มของแหล่งกำเนิดที่กำหนดไว้ และถ้าจำเป็น EPA ก็ยังสามารถออกมาตรการเพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหารiskที่ยังมีอยู่นั้น

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งชาติ (National Ambient Air Quality Standards-NAAQS)

โดยอาศัยอำนาจตามกฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act) ซึ่งบัญญัติให้ US EPA กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งชาติขึ้น (National Ambient Air Quality Standards) โดยเลือกชนิดของสารมลพิษที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมขึ้น และให้แบ่งมาตรฐานเป็น 2 ประเภทคือ

1. ค่ามาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standards) กำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานที่ต้องการใช้ปกป้องสุขภาพของมนุษย์ รวมทั้งกลุ่มประชากรที่มีความไวต่อสารมลพิษ เช่น ผู้ป่วยหอบหืด เด็กและคนชรา เป็นต้น
2. ค่ามาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standards) กำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานที่ต้องการปกป้องสวัสดิภาพสาธารณะ รวมทั้งป้องกันการลดลงของทัศนวิสัย และความเสี่ยงต่อสัตว์ พืชผลทางการเกษตร และอาคารบ้านเรือน

หน่วยงานของรัฐได้แก่ สำนักงานวางแผนและมาตรฐานคุณภาพอากาศ (EPA Office of Air Quality Planning and Standards-OAQPS) เป็นผู้กำหนดค่ามาตรฐาน ซึ่งปัจจุบันมี 6 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าค่ามาตรฐานเหล่านี้แตกต่างไปจากค่ามาตรฐานของ EPAQS และองค์การอนามัยโลก เนื่องจากก่อนออกประกาศค่ามาตรฐานเหล่านี้ได้ผ่านการพิจารณาจากกลุ่มอุตสาหกรรมและกลุ่มอื่นๆ ดังนั้นหลักการด้านต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้รับจึงไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาโดยตรงในระหว่างกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตาม US EPA ได้ดำเนินการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์หลังจากนั้น ซึ่งต่างจากประเทศสหราชอาณาจักรที่การพิจารณาด้านต้นทุนและประโยชน์ที่ได้รับ การปรึกษากับกลุ่มอุตสาหกรรม

กรรม และกลุ่มผลประโยชน์อื่นๆ ในระหว่างที่รัฐบาลทำการพิจารณาคำแนะนำของ EPAQS และร่าง “ค่าเป้าหมาย”

ตารางที่ 11 แสดงค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งชาติ (NAAQS) ของประเทศสหรัฐอเมริกา

สารมลพิษ	ระยะเวลาการวัด	ค่ามาตรฐาน
Carbon monoxide	ค่าเฉลี่ยใน 8 ชั่วโมง	10 mg/m ³ (9 ppm)
	ค่าเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง	40 mg/m ³ (35 ppm)
Nitrogen dioxide	ค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์รายปี	100 µg/m ³ (0.053 ppm)
Ozone	ค่าเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง	235 µg/m ³ (0.12 ppm)
	ค่าเฉลี่ยใน 8 ชั่วโมง*	157 µg/m ³ (0.08 ppm)
ตะกั่ว	ค่าเฉลี่ยใน 3 เดือน	1.5 µg/m ³
อนุภาคขนาดเล็ก PM ₁₀ PM ₁₀ PM _{2.5} PM _{2.5}	ค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์รายปี	15 µg/m ³
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	150 µg/m ³
	ค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์รายปี*	15 µg/m ³
	ค่าเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง*	65 µg/m ³
Sulfur dioxide	ค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์รายปี	80 µg/m ³ (0.03 ppm)
	ค่าเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง	365 µg/m ³ (0.14 ppm)
	ค่าเฉลี่ยใน 3 ชั่วโมง	1300 µg/m ³ (0.50 ppm)

*ค่ามาตรฐานสำหรับโอโซน เฉลี่ยใน 8 ชั่วโมง และค่าอนุภาคขนาดเล็ก (PM_{2.5}) แสดงเป็นข้อมูลเท่านั้น เนื่องจากคำตัดสินของศาล Federal ที่ให้ระงับการบังคับใช้ไว้เมื่อปี ค.ศ. 1999 ขณะนี้ US EPA กำลังฎีกาคำตัดสิน

การกำหนดค่ามาตรฐานในประเทศแคนาดา

บริบทของรัฐธรรมนูญ

ตามกฎหมายรัฐธรรมนูญของประเทศแคนาดา ได้กำหนดให้อำนาจในการตรากฎหมายเป็น 2 ส่วนคือ รัฐบาลกลาง (Federal Government) และรัฐบาลระดับภูมิภาค (Provincial Government) อย่างไรก็ตามในแง่ของสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมิได้ระบุเป็นการแน่ชัดว่าเป็นอำนาจของฝ่ายใด ซึ่งในประเด็นนี้ศาลได้เคยมีคำตัดสินให้บางประเด็นเป็นอำนาจเฉพาะของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งและบางประเด็นเป็นของทั้งสองฝ่ายร่วมกัน

รัฐบาลกลาง (Federal Government)

ความรับผิดชอบในด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม กฎหมายกำหนดให้เป็นหน้าที่ของกระทรวงสาธารณสุข แคนาดา (Department of Health Canada) กระทรวงสิ่งแวดล้อมแคนาดา (Department of Environment Canada) และกระทรวงเกษตรและอาหารเกษตรแคนาดา (Department of Agriculture and Agri-Food Canada)

หน้าที่หลักของกระทรวงสาธารณสุขแคนาดา คือ ให้คงไว้และปรับปรุงสุขภาพของชาวแคนาดาให้ดีขึ้น โดยมีอำนาจในการกำหนดนโยบายสุขภาพ ออกกฎหมายและร่วมมือกับกระทรวงหรือหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องในการลดความเสี่ยงด้านสุขภาพและความปลอดภัย สำหรับกระทรวงสิ่งแวดล้อมแคนาดามีหน้าที่หลักคือ การอนุรักษ์และส่งเสริมคุณภาพของสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ (รวมถึงนกที่อพยพเข้ามาและพันธุ์พืชและสัตว์ที่ไม่ใช่ของท้องถิ่น) อนุรักษ์และป้องกันทรัพยากรน้ำ การอุดมศึกษา รวมทั้งการบังคับตามกฎหมายร่วมระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา และการประสานโครงการและนโยบายสิ่งแวดล้อมของรัฐ

รัฐบาลระดับภูมิภาค (Provincial Government)

ในระดับภูมิภาคจะมีการปกครองที่เป็นอิสระและมีหน่วยงานที่ดูแลด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพเช่นเดียวกับรัฐบาลกลาง เช่น กระทรวงสิ่งแวดล้อมของออนตาริโอ (Ontario Ministry of the Environment) มีหน้าที่หลักในการป้องกันสิ่งแวดล้อมในเขตรับผิดชอบ รวมถึงการควบคุมแหล่งมลพิษโดยมีอำนาจที่จะไม่อนุมัติหรืออนุมัติแบบมีเงื่อนไขสำหรับโรงงานหรือสถานที่ใดที่อาจก่อให้เกิดมลพิษ หน่วยงานย่อยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดมาตรฐานได้แก่กรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและมาตรฐาน (Environmental Sciences and Standards Division) ซึ่งมีหน้าที่ในการจัดหาคำถามความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการสนับสนุนการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการกำหนดค่ามาตรฐานบนพื้นฐานของหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ การเฝ้าระวังและตรวจวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

ในประเทศแคนาดา มีการใช้ค่ามาตรฐานที่เรียกว่า “ค่าเป้าหมายคุณภาพอากาศแห่งชาติ” (National Ambient Air Quality Objectives-NAAQO) ซึ่งใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับหน่วยงานรัฐทั่วประเทศที่จะนำไปดำเนินการออกเป็นกฎหมายต่อไป นอกจากนี้ยังใช้เป็นแนวทางในการออกใบอนุญาตให้กับโรงงานที่มี

การปล่อยสารมลพิษด้วย นับถึงปัจจุบันได้มีการกำหนดค่าเป้าหมายสำหรับสารมลพิษแล้ว 5 ชนิดคือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ โอโซน และอนุภาคฝุ่น

ค่าเป้าหมายเหล่านี้จะกำหนดค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในอากาศสูงสุดที่ยอมให้มีได้ เมื่อได้รวมแหล่งกำเนิดทั้งหมดในบริเวณนั้นแล้ว โดยกำหนดเป็นหลายค่าตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน เช่น หนึ่งชั่วโมง แปดชั่วโมง และยี่สิบสี่ชั่วโมง และมี 3 ระดับคือ

1. ระดับที่ทนได้ เป็นระดับที่ใช้ป้องกันผลเสียต่อสุขภาพในมนุษย์ เมื่อใดที่ความเข้มข้นของสารมลพิษเกินไปจากค่าที่กำหนดจะต้องมีมาตรการในการแก้ไข
2. ระดับที่ยอมรับได้ เป็นระดับที่ใช้ป้องกันผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพส่วนบุคคลและคุณภาพชีวิต
3. ระดับที่ต้องการ เป็นระดับเป้าหมายระยะยาว เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศที่เป็นอยู่

กระบวนการกำหนดค่า NAAQO

คณะทำงานที่รับผิดชอบในการกำหนดค่า NAAQO คือ คณะทำงานด้านค่าเป้าหมายและค่าแนวทางคุณภาพอากาศ (Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines-WGAQOG) ประกอบด้วยตัวแทนจากรัฐบาลกลาง ระดับภูมิภาค และอาณานิคม คณะทำงานชุดนี้ขึ้นกับคณะกรรมการที่ปรึกษาแห่งรัฐบาลกลางและภูมิภาค ตั้งขึ้นภายใต้กฎหมายพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแคนาดา (CEPA Federal-Provincial Advisory Committee)

กระบวนการในการพัฒนาค่า NAAQO ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การกำหนดสารมลพิษ ในขั้นแรกนี้คณะทำงาน คณะกรรมการที่ปรึกษาแห่งรัฐบาลกลางและภูมิภาค และคณะกรรมการประสานการกำหนดอากาศแห่งชาติ (National Air Issues Coordinating Committee) อาจเสนอสารที่จะเข้าสู่กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน จากนั้นคณะทำงานจะพิจารณาว่ามีความเหมาะสมที่จะดำเนินการในขั้นต่อไปหรือไม่ โดยการพิจารณาปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณของสารดังกล่าวในสิ่งแวดล้อมของประเทศแคนาดา ความคงสภาพในสิ่งแวดล้อม ความสามารถและความน่าจะเป็นในการก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม กลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงสูง การเปลี่ยนแปลงสภาพในสิ่งแวดล้อม และความเหมาะสมในการจัดการสารดังกล่าวโดยผ่านวิธีการกำหนดค่า NAAQO
2. การประเมินทางวิทยาศาสตร์ เมื่อสารดังกล่าวได้ถูกยอมรับในขั้นที่ 1 แล้ว คณะทำงานจะดำเนินการประเมินทางวิทยาศาสตร์ โดยทบทวนข้อมูลของสารเกี่ยวกับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี แหล่งกำเนิด การเปลี่ยนแปลงสภาพในสิ่งแวดล้อม พฤติกรรมและระดับในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังต้องพิจารณา

เทคโนโลยีการตรวจวัด การประเมินความเป็นพิษและประมาณการสัมผัสในกลุ่มประชากร และท้ายสุดพิจารณาถึงลักษณะความเสี่ยง ดังรายละเอียดคือ

- **การประเมินความเป็นพิษ** เริ่มต้นด้วยการประเมินเชิงคุณภาพ โดยพิจารณาจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของสารนั้น เพื่อหาข้อสรุปว่ามีความเป็นไปได้ในการก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมมากน้อยเพียงใด ธรรมชาติและความรุนแรงของผลกระทบ สภาพหรือเงื่อนไขการได้รับสารจนก่อให้เกิดพิษ จากนั้นทำการการประเมินเชิงปริมาณเพื่อหาเส้นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสและการตอบสนองสำหรับผลกระทบและผู้รับต่างๆ กัน
 - **การประเมินการสัมผัส** คณะทำงานจะต้องประเมินการเข้าสู่ร่างกายของสารพิษในทุกทางและจากทุกตัวกลางที่เป็นไปได้ โดยการทบทวนข้อมูลที่มีอยู่และดำเนินการศึกษาเพิ่มเติม นอกจากนี้ยังต้องประเมินเพื่อหากลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงที่สุดและประมาณการสัมผัสของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อสารนั้น
3. **การกำหนดค่าอ้างอิง (Reference Level)** ภายหลังจากทบทวนข้อมูลต่างๆ แล้ว คณะทำงานจะเตรียมเอกสารรายละเอียดต่างๆ รวมทั้งเสนอค่าอ้างอิง (Reference Level) สำหรับสารนั้น ซึ่งเป็นค่าที่แสดงว่าในระดับที่ต่ำกว่าค่าดังกล่าวจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพหรือสิ่งแวดล้อม จากนั้นเสนอต่อคณะกรรมการที่ปรึกษาแห่งรัฐบาลกลางและภูมิภาค คณะกรรมการประสานการกำหนดอากาศแห่งชาติ สิ่งแวดล้อมแคนาดาและสาธารณสุขแคนาดา เอกสารดังกล่าวจะถูกส่งไปให้มีการวิจารณ์ทั้งภายในหน่วยงานและนอกหน่วยงานก่อนให้ความเห็นชอบและประกาศใช้ต่อไป

บทสรุป

การกำหนดค่ามาตรฐานจำเป็นจะต้องระบุความเข้มข้นของสารมลพิษและระยะเวลาที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยได้ด้วย ระยะเวลาที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยนี้แสดงถึงระยะเวลาของการสัมผัสสารมลพิษซึ่งมีความสัมพันธ์กับผลการตอบสนองที่เกิดขึ้น ดังนั้นในกรณีของสารระคายเคือง ระยะเวลาการสัมผัสจะสั้นเนื่องจากให้ผลการตอบสนองในระยะเวลาที่ค่อนข้างสั้นหรือเป็นแบบเฉียบพลัน ในขณะที่สารก่อมะเร็งชนิดที่เป็นพิษต่อสารพันธุกรรมจะให้ผลแบบเรื้อรังและระยะเวลาเฉลี่ยก่อนที่จะแสดงผลมักจะเป็นเวลานาน คำถามที่มักจะหยิบยกขึ้นมาคือ ควรจะมีการใช้ค่ามาตรฐาน ณ ตำแหน่งใด ในประเด็นนี้ หน่วยงานของประเทศไทยราชอาณาจักรชื่อว่า National Air Quality Strategy ได้กล่าวไว้ว่า “ค่าเป้าหมายเหล่านี้ ควรใช้ในพื้นที่เป็นที่โล่งแจ้ง ใกล้กับระดับพื้นดิน ไม่ใช่สถานที่ทำงาน และที่ซึ่งคาดว่าบุคคลจะได้รับสารพิษนั้นในระยะเวลาที่อาศัยอยู่” ความหมายดังกล่าวยังรวมถึงบริเวณที่เป็นเขตเสี่ยง (hotspots) ซึ่งประชาชนใช้เวลาส่วนมากอาศัยอยู่และมีโอกาสได้รับผลกระทบจากสารมลพิษนั้น แต่ไม่รวมสถานที่ซึ่งมีสารมลพิษสูงมากและไม่มีโอกาสที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังนั้นการกำหนดนโยบายในการเฝ้าคุณภาพอากาศจึงต้องคำนึงถึงประเด็นที่กล่าวมาแล้วด้วย

บทที่ 5

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มของต่างประเทศ

การกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

เป้าหมายหลักของการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม คือ การป้องกันปัญหาด้านสาธารณสุข โดยต้องการให้มีการกำจัดหรือลดสารต่างๆ ในน้ำที่ทราบว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพของชุมชนลงให้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามค่ามาตรฐานจะไม่เกิดประโยชน์อะไรเลยหากการถือปฏิบัติและบังคับใช้ ซึ่งมีจะเสียค่าใช้จ่ายที่สูงและต้องการผู้เชี่ยวชาญ เช่นเดียวกับการวางกรอบเพื่อให้เกิดผลบังคับใช้ตามกฎหมาย

การกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่มนี้้องค์การอนามัยโลกต้องการให้ประเทศสมาชิกได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาค่ามาตรฐานของตน ซึ่งต้องเน้นว่าค่าแนวทางต่างๆ ที่เสนอไว้โดยองค์การอนามัยโลกไม่ใช่ค่าที่บังคับ หากแต่แต่ละประเทศจะต้องนำไปพิจารณาในบริบทของตนในด้านสิ่งแวดล้อม และเงื่อนไขด้านสังคม เศรษฐกิจ และวัฒนธรรมเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามองค์การอนามัยโลกไม่สนับสนุนให้นำเอาค่ามาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดเป็นนานาชาตินี้มาใช้ เพราะต้องการให้แต่ละประเทศได้มีการประเมินความเสี่ยงและผลได้ที่จะเกิดขึ้นก่อน ไม่ว่าจะเป็นเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าค่ามาตรฐานรวมทั้งกฎหมายที่จะตามมาสามารถนำไปปฏิบัติและบังคับใช้ได้จริง

การกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มจะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ด้วยความระมัดระวัง โดยการประเมินความเสี่ยงสุขภาพจะต้องมีการพิจารณาควบคู่ไปกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเป็นไปได้ทางเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ และเมื่อกำหนดค่ามาตรฐานขึ้นมาแล้ว ก็ต้องพิจารณามาตรการในทางปฏิบัติ ได้แก่ การหาแหล่งน้ำใหม่ๆ การใช้วิธีการบำบัดน้ำ รวมทั้งวิธีการเฝ้าระวังและบังคับใช้ที่เหมาะสมและเพียงพอ ดังนั้นค่ามาตรฐานจึงอยู่ภายใต้เงื่อนไขปัจจัยด้านความเร่งด่วนของปัญหาและเศรษฐกิจ เช่น การขาดแหล่งที่จะใช้บำบัดน้ำ หรือการขาดแคลนแหล่งน้ำดิบอื่นๆ เป็นต้น ปัจจัยทางเศรษฐกิจ เช่น ความขัดแย้งกับนโยบายเร่งด่วนของประเทศ ความแตกต่างด้านภูมิศาสตร์ เหล่านี้ล้วนแต่สามารถทำให้ค่ามาตรฐานของแต่ละประเทศแตกต่างไปจากค่าแนวทางที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลกได้อย่างมาก การตัดสินใจขั้นสุดท้ายจึงขึ้นกับแต่ละประเทศเป็นหลัก อย่างไรก็ตามไม่ควรนำเอาประเด็นด้านนโยบายหรือความง่ายในการดำเนินการมาพิจารณาหากว่าต้องแลกด้วยความเสียหายต่อสุขภาพของสาธารณะ

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน

การกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อปกป้องสุขภาพของสาธารณะมักจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นการประเมินความเสี่ยง

เป็นขั้นตอนที่ต้องมีการประเมินความเสี่ยงที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์ที่สัมพันธ์กับการได้รับสารปนเปื้อนที่เป็นสารเคมีหรือสารชีวภาพ โดยจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

การค้นหาลักษณะคุกคาม ได้แก่ การทบทวนข้อมูลต่างๆ ที่หาได้ ไม่ว่าจะเป็น ข้อมูลด้านระบาดวิทยา การศึกษาในสัตว์ทดลอง การทดสอบในหลอดทดลอง การวิเคราะห์โครงสร้างที่ออกฤทธิ์ เพื่อพิจารณาว่าสารนั้นสามารถก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพในมนุษย์หรือไม่

การประเมินขนาดสัมผัสและการตอบสนอง เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างขนาดที่ได้รับกับอุบัติการณ์ของการเกิดผลเสียต่อสุขภาพ

การประเมินการสัมผัส เป็นการประมาณขนาดหรือระดับของสารที่แต่ละบุคคลหรือประชากรได้รับการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง เป็นการประมาณอุบัติการณ์และความรุนแรงของผลเสียด้านสุขภาพที่อาจจะเกิดขึ้นในประชากรเนื่องจากการสัมผัสตามที่เกิดขึ้นจริงหรือที่จะเกิดขึ้น

ผลสรุปที่ได้จากขั้นตอนนี้คือจะต้องสามารถกำหนดระดับของสารมลพิษที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพในประชากรที่สัมผัสสารนั้น

2. ขั้นของนักบริหารหรือนักการเมือง หรือขั้นของการจัดการความเสี่ยง

ในขั้นที่ 2 นี้ เป็นขั้นตอนของนักบริหารหรือนักการเมือง ซึ่งจะต้องพิจารณาประเด็นต่างๆ ที่รอบด้าน ซึ่งบางครั้งอาจมีความขัดแย้งด้านผลประโยชน์ โดยประเด็นที่จะต้องพิจารณาคือ

การพิจารณาระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ โดยปัญหานี้ไม่ใช่ประเด็นด้านวิทยาศาสตร์หากแต่เป็นประเด็นของการใช้ความคิดเห็น การตัดสินใจว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อยู่ที่ระดับใดจึงเป็นเรื่องที่สังคมทั้งมวลจะต้องเข้ามาร่วมพิจารณา

การพิจารณากลุ่มคนที่ต้องการปกป้อง ไม่ใช่เป็นการพิจารณาด้านสุขภาพแต่เพียงอย่างเดียว แต่จะต้องพิจารณาประชากรที่เป็นกลุ่มเสี่ยงด้วย

การเลือกในการใช้เทคโนโลยีควบคุม คือ การกำหนดกลยุทธ์ และเลือกวิธีการควบคุมที่เหมาะสม
การออกเป็นกฎหมายหรือค่ามาตรฐาน คือ การพิจารณากรอบกฎหมายของประเทศที่มีอยู่เดิมและค้นหากฎทางกฎหมายที่จำเป็น

เศรษฐศาสตร์ คือ การชั่งน้ำหนักระหว่างต้นทุนและผลได้

การกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่มขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา

ในประเทศสหรัฐอเมริกา กฎหมายว่าด้วยน้ำดื่มปลอดภัย (Safe Drinking Water Act) ปี ค.ศ. 1974 และแก้ไขเพิ่มเติมในปี 1986 และ 1996 ได้ให้อำนาจองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมในการกำหนดมาตรฐานน้ำดื่ม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ค่ามาตรฐานน้ำดื่ม

ค่ามาตรฐานน้ำดื่มคือ เครื่องมือที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมกำหนดขึ้นเพื่อควบคุมระดับสารปนเปื้อนในน้ำดื่มทั่วประเทศ การกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของมาตรการป้องกันตามกฎหมายน้ำดื่มปลอดภัย ได้แก่ การประเมินและป้องกันแหล่งน้ำดื่ม การป้องกันบ่อน้ำและระบบกักเก็บ การบำบัดน้ำ โดยผู้ที่ผ่านการรับรอง ความสมบูรณ์ของระบบจ่ายน้ำ และการเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำดื่มแก่สาธารณะ ในแง่ของมาตรฐานน้ำดื่ม แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. มาตรฐานน้ำดื่มแห่งชาติปฐมภูมิ (National Primary Drinking Water Regulation-NPDWR) ถือได้ว่าเป็นค่ามาตรฐานที่มีผลบังคับตามกฎหมายและใช้บังคับกับระบบน้ำสาธารณะทุกแห่ง ค่ามาตรฐานปฐมภูมินี้มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันปัญหาคุณภาพน้ำดื่ม โดยจำกัดระดับสารปนเปื้อนบางชนิดที่ทราบหรือคาดได้ว่าจะพบในน้ำดื่มและอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของสาธารณะ ค่ามาตรฐานนี้เรียกว่า ระดับการปนเปื้อนสูงสุด (Maximum Contaminant Levels) (ดูError! Reference source not found).
2. มาตรฐานน้ำดื่มแห่งชาติทุติยภูมิ (National Secondary Drinking Water Regulation-NSDWR) ถือได้ว่าเป็นค่าแนวทางที่ไม่มีผลบังคับตามกฎหมาย โดยจะเป็นค่ามาตรฐานสำหรับสารปนเปื้อนในน้ำดื่มที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบด้านความงาม เช่น การเปลี่ยนสีของผิวหนังหรือฟัน หรือมีผลด้านความรู้สึก เช่น รสชาติ กลิ่น หรือสี องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะกำหนดเป็นคำแนะนำสำหรับระบบน้ำต่างๆ โดยที่ไม่จำเป็นต้องปฏิบัติตาม อย่างไรก็ตามรัฐแต่ละรัฐอาจนำไปประกาศเป็นกฎหมายบังคับใช้ในรัฐของตนก็ได้ (ดูError! Reference source not found).

ผู้ที่ต้องปฏิบัติตามมาตรฐานน้ำดื่มแห่งชาติปฐมภูมิ

ดังได้กล่าวแล้วว่ามาตรฐานน้ำดื่มแห่งชาติปฐมภูมิบังคับใช้กับระบบน้ำสาธารณะทุกแห่ง โดยมีเงื่อนไขว่าระบบน้ำนั้นจะต้องมีระบบเชื่อมต่อการให้บริการเพื่อการบริโภคอย่างน้อย 15 จุด หรือมีการให้บริการน้ำดื่มแก่ผู้รับบริการอย่างน้อย 25 คน อย่างสม่ำเสมอ ระบบน้ำสาธารณะหมายถึง ระบบน้ำของเทศบาล สมาคม โรงเรียน ธุรกิจ และห้างสรรพสินค้า

ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน

ในกระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่ม องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจัดตั้งคณะกรรมการชุดหนึ่ง เรียกว่า สภาที่ปรึกษาน้ำดื่มแห่งชาติ (National Drinking Water Advisory Council-NDWAC) ประกอบด้วย สมาชิก 15 คน ได้แก่ บุคคลทั่วไป 5 คน ตัวแทนจากรัฐต่างๆ และหน่วยงานท้องถิ่นที่ดูแลเรื่องสุขาภิบาล น้ำดื่มและแหล่งน้ำสาธารณะ จำนวน 5 คน และตัวแทนจากองค์กรเอกชนที่มีความสนใจในเรื่อง สุขาภิบาลน้ำดื่มและแหล่งน้ำสาธารณะ จำนวน 5 คน ทั้งนี้ 2 ใน 15 คน จะต้องเป็นผู้เกี่ยวข้องกับระบบน้ำ สาธารณะขนาดเล็กในชนบท บทบาทหน้าที่ของสภาที่ปรึกษาน้ำดื่มแห่งชาติคือ การให้คำปรึกษาแก่องค์ การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมในกิจกรรมทุกอย่างที่เกี่ยวข้องกับน้ำดื่ม

นอกเหนือจาก NDWAC ตัวแทนจากบริษัทน้ำประปา กลุ่มสิ่งแวดล้อม กลุ่มที่สนใจ รัฐ หรือบุคคลทั่วไป สามารถมีส่วนร่วมในการปรับปรุงค่ามาตรฐานด้วยการเข้าร่วมประชุมและให้ความคิดเห็น นอกจากนี้ยัง มีการจัดประชุมพิเศษสำหรับชนกลุ่มน้อยและผู้มีรายได้น้อยเพื่อรับฟังความคิดเห็นอีกด้วย โดยข้อมูลทั้งหมดจะประกาศใน “ทะเบียนของรัฐบาลกลาง” (Federal Register)

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่ม

กฎหมายน้ำดื่มปลอดภัยกำหนดให้องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมดำเนินการเป็นขั้นตอนต่างๆ ในขั้นแรกจะต้องพิจารณาว่าสารปนเปื้อนที่สนใจเหมาะสมที่จะนำมากำหนดค่ามาตรฐานหรือไม่ หากมีความเหมาะสมควรมีการกำหนดค่ามาตรฐานในลักษณะใด จากนั้นดำเนินการทบทวนข้อมูลด้านวิทยาศาสตร์ในด้านต่างๆ เช่น การตรวจพบในสิ่งแวดล้อม การสัมผัสในมนุษย์ ความเสี่ยงต่อผลเสียด้านสุขภาพในประชากรทั่วไปและประชากรที่เป็นกลุ่มเสี่ยง วิธีการตรวจวิเคราะห์ เทคโนโลยีที่มีอยู่ในการจัดการ รวมทั้งผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการกำหนดค่ามาตรฐานต่อระบบน้ำ เศรษฐกิจและสุขภาพของสาธารณะ

ในระหว่างที่มีการฟังความคิดเห็นจากสาธารณะ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะต้อง (1) ค้นหาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับน้ำดื่ม (2) จัดลำดับความสำคัญ และ (3) กำหนดค่ามาตรฐาน ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. การค้นหาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับน้ำดื่ม องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะต้องพิจารณาว่าสารปนเปื้อนชนิดใดที่จะนำมากำหนดค่ามาตรฐาน โดยอาศัยข้อมูลความเสี่ยงสุขภาพและความเป็นไปได้ที่จะพบสารปนเปื้อนนั้นในระบบน้ำสาธารณะในระดับที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยสรุปหลักเกณฑ์ในการพิจารณา คือ 1) ยังไม่ถูกควบคุมภายใต้กฎหมายน้ำดื่มปลอดภัย 2) อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ 3) เป็นที่ทราบหรือคาดได้ว่าจะสามารถตรวจพบในระบบน้ำสาธารณะทั่วไป และ 4) อาจต้องมีการควบคุม

คุมตามกฎหมายน้ำดื่มปลอดภัย ในปี ค.ศ. 1998 องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมได้เผยแพร่เอกสารเรียกว่า บัญชีสารปนเปื้อนน้ำดื่มแห่งชาติ (National Drinking Water Contaminant Candidate List-CCL) เพื่อให้สาธารณชนได้มีการให้ความคิดเห็น

2. การจัดลำดับความสำคัญ หลังจากได้รายการสารปนเปื้อนที่จะควบคุมแล้ว องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะต้องจัดลำดับความสำคัญเพื่อประโยชน์ในการออกกฎหมายควบคุมหรือเพื่อให้มีการค้นหาข้อมูลหรืองานวิจัยเพิ่มเติม จากนั้นจะมีการคัดเลือกออกมาประมาณ 5 ชนิดหรือมากกว่านั้นจากบัญชีสารปนเปื้อนน้ำดื่มแห่งชาติ เพื่อทำการพิจารณาอีกครั้งหนึ่งว่าสมควรออกกฎหมายควบคุมหรือไม่ ทั้งนี้มีหลักเกณฑ์ว่าเมื่อมีการออกกฎหมายควบคุมแล้วจะสามารถลดความเสี่ยงต่อสุขภาพลงอย่างมีนัยสำคัญ หากพิจารณาแล้วว่าเป็นไปตามเกณฑ์ก็จะทำประกาศเผยแพร่อีกครั้งก่อนที่จะทำข้อสรุปในขั้นสุดท้าย นอกจากนี้้องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมยังต้องทำการคัดเลือกสารที่ยังไม่มีการควบคุมจากบัญชีสารปนเปื้อนน้ำดื่มแห่งชาติประมาณ 30 ชนิดเพื่อให้มีการเฝ้าระวังในระบบน้ำสาธารณะที่ให้บริการประชากรไม่น้อยกว่า 100,000 คน ในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่จะเป็นสารกำจัดศัตรูพืชและเชื้อโรค และทุกๆ 5 ปี องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะมีการทบทวนบัญชีสารปนเปื้อนน้ำดื่มแห่งชาติ เพื่อคัดเลือกออกมา 5 ชนิดเพื่อออกกฎหมายควบคุมและอีก 30 ชนิดเพื่อให้มีการเฝ้าระวังเช่นนี้เรื่อยไป นอกจากนี้ทุกๆ 6 ปีองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะมีการทบทวนค่ามาตรฐานที่ออกไปแล้วว่ามีคามจำเป็นที่จะต้องมีการแก้ไขเปลี่ยนแปลงหรือไม่

นับตั้งแต่เดือนสิงหาคม ค.ศ. 1999 เป็นต้นมา องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมได้จัดทำฐานข้อมูลของสารเคมี สารกัมมันตรังสี เชื้อจุลินทรีย์ และสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่อาจตรวจพบในแหล่งน้ำดิบหรือที่บำบัดแล้ว ในระบบน้ำสาธารณะทั่วประเทศ เพื่อให้เป็นแหล่งข้อมูลที่จะใช้เพื่อการค้นคว้าวิจัยสำหรับบุคคลทั่วไป

3. การกำหนดค่ามาตรฐาน ภายหลังจากการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบด้านสุขภาพแล้ว องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะกำหนด “ค่าเป้าหมายระดับสารปนเปื้อนสูงสุด” (Maximum Contaminant Level Goal-MCLG) ได้แก่ ระดับสารปนเปื้อนในน้ำดื่มสูงสุดที่ยังไม่พบผลเสียด้านสุขภาพ ซึ่งได้คิดรวมช่วงความปลอดภัยไว้เรียบร้อยแล้ว ค่า MCLG นี้ยังไม่มีผลบังคับตามกฎหมาย เนื่องจากว่าการพิจารณาใช้เกณฑ์ด้านผลกระทบต่อสุขภาพเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะจะพิจารณาในผู้ที่มีความเสี่ยงมากที่สุด ได้แก่ เด็กทารก เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง โดยไม่ได้คำนึงว่าจะมีเทคโนโลยีที่พร้อมในการตรวจวัดหรือบำบัดหรือไม่ โดยมีรายละเอียดในการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับสารปนเปื้อนแต่ละประเภทดังนี้

- สารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งและไม่ใช่เชื้อจุลินทรีย์ สำหรับสารเคมีในกลุ่มนี้ ค่า MCLG จะใช้ค่าอ้างอิง (reference dose) ในการกำหนด โดยเป็นค่าที่ประมาณจากปริมาณสารเคมีที่บุคคลได้รับในแต่ละ

ละวันโดยที่คาดว่าจะไม่เกิดผลเสียต่อสุขภาพตลอดอายุขัยของบุคคลนั้น ในการคำนวณ จะนำกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงเข้ามาคำนวณ ดังนั้นความไม่แน่นอนอาจมีช่วงกว้างได้หลายๆ เท่า เมื่อนำค่าอ้างอิงมาคูณด้วยน้ำหนักร่างกายของผู้ใหญ่ (ประมาณ 70 กก.) และหารด้วยปริมาณน้ำที่ดื่มต่อวัน (ประมาณ 2 ลิตร) จะได้ค่าที่เรียกว่า “ระดับน้ำดื่มเทียบเท่า” (Drinking Water Equivalent Level-DWEL) ค่า DWEL เมื่อคูณด้วยสัดส่วนการได้รับสารดังกล่าวอันเนื่องจากการดื่มน้ำ (โดยทั่วไปมักใช้ค่าที่ร้อยละ 20) จะได้ค่า MCLG ตามต้องการ

- สารปนเปื้อนที่เป็นสารเคมีและเป็นสารก่อมะเร็ง ถ้ามีหลักฐานพบว่าสารเคมีนั้นสามารถก่อมะเร็งได้ และไม่มีระดับที่ถือได้ว่าปลอดภัย ค่า MCLG จะกำหนดที่ระดับ 0 ต่อเมื่อสารก่อมะเร็งนั้นมีระดับที่ปลอดภัย ค่า MCLG จึงมีระดับมากกว่า 0 ได้
- เชื้อจุลินทรีย์ สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้ จะกำหนดค่า MCLG ที่ 0 เนื่องจากการได้รับเชื้อโรคเหล่านี้แม้เพียงตัวเดียวก็สามารถก่อให้เกิดโรคได้ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมได้พยายามศึกษาว่ามีระดับปลอดภัยที่มากกว่า 0 หรือไม่ แต่นับจนปัจจุบันนี้ยังไม่พบ

ภายหลังจากที่ได้มีการกำหนดค่า MCLG แล้ว องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะกำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานที่มีผลบังคับตามกฎหมาย และจะเปลี่ยนชื่อเป็น “ระดับสารปนเปื้อนสูงสุด” (Maximum Contaminant Level-MCL) ได้แก่ ระดับสารปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มที่จะมีการส่งไปให้ผู้บริโภคจากระบบน้ำสาธารณะทุกแห่ง โดยทั่วไปค่า MCL จะกำหนดให้ใกล้เคียงกับค่า MCLG มากที่สุด ซึ่งหมายความว่าตามกฎหมายน้ำดื่มปลอดภัย ระบุให้เป็นระดับที่ได้พิจารณาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีที่ดีที่สุดที่มีอยู่ในขณะนั้นเทคนิคการบำบัด และวิธีการอื่นๆ ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสามารถหาได้ (ภายหลังจากที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมได้มีการตรวจสอบประสิทธิภาพภายใต้สภาพจริงในภาคสนามมิใช่เพียงแคในห้องทดลองเท่านั้น) และได้รวมเอาต้นทุนเข้าไว้ด้วยแล้ว

เมื่อพบว่าไม่มีวิธีการตรวจวัดที่เหมาะสมในแง่เศรษฐศาสตร์และเทคนิคที่จะตรวจหาสารดังกล่าวในระดับที่มีความเข้มข้นต่ำมากๆ ได้ ก็จะเกณฑ์ที่เรียกว่า “เทคนิคการบำบัด” (Treatment Technique-TT) แทนการใช้ค่า MCL หมายความว่า เทคนิคการบำบัดจะเป็นวิธีการบังคับที่ระบบน้ำสาธารณะจะต้องปฏิบัติตามเพื่อให้มั่นใจว่าได้มีการควบคุมสารปนเปื้อนแล้ว ตัวอย่างของเทคนิคการบำบัด ได้แก่ “กฎการบำบัดน้ำฟิวดิน” (ได้แก่การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์และการกรอง) และ “กฎสารตะกั่วและทองแดง” (ได้แก่การควบคุมการกัดกร่อนที่ดีที่สุดเหมาะสมที่สุด)

ภายหลังจากพิจารณาใช้ค่า MCL หรือ TT ในการกำหนดเป็นค่ามาตรฐานโดยอาศัยเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้ว องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะต้องดำเนินการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อหาว่าผลประโยชน์ที่ได้มีมากกว่าค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปหรือไม่ ถ้าคำตอบคือไม่แล้ว องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะต้องปรับค่า MCL ให้

อยู่ในระดับที่ “ก่อให้เกิดผลประโยชน์ด้านการลดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้สูงสุดบนพื้นฐานค่าใช้จ่ายที่สมเหตุสมผล” ทั้งนี้องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะต้องไม่ปรับค่า MCL ที่ทำให้ระบบใหญ่ๆ อยู่ได้ แต่ระบบเล็กๆ ไม่สามารถปฏิบัติได้

อย่างไรก็ตามกฎหมายให้อำนาจรัฐแต่ละแห่งที่จะใช้ค่ามาตรฐานที่แตกต่างไปจากที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมกำหนดได้ สำหรับระบบที่มีขนาดเล็ก เช่น ระบบที่ให้บริการแก่ประชากรน้อยกว่า 3,300 คนและไม่สามารถปฏิบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ (เช่น การบำบัด การจัดหาแหล่งน้ำอื่น หรือการปรับปรุงระบบอื่นๆ) แต่จะต้องใช้เทคโนโลยีที่ได้รับการอนุมัติจากองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแล้วเท่านั้น ในกรณีที่เป็นระบบที่ให้บริการแก่ประชากร 3,301-10,000 คน รัฐสามารถให้การอนุญาตได้ภายใต้ความเห็นชอบจากองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้กฎหมายน้ำดื่มปลอดภัยห้ามมิให้มีการอนุญาตระบบแตกต่างไปจากค่ามาตรฐานในกรณีของสารปนเปื้อนที่เป็นเชื้อจุลินทรีย์

ภายใต้เงื่อนไขบางประการ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอาจยืดระยะเวลาการบังคับใช้ออกไปได้ หากระบบน้ำสาธารณะนั้นต้องมีการหาทางเลือกอื่นหรือแหล่งช่วยเหลือด้านการเงินในการปฏิบัติตามค่ามาตรฐาน แต่ทั้งนี้การอนุมัติให้ใช้ค่ามาตรฐานที่แตกต่างออกไปหรือการยืดระยะเวลาการปฏิบัติตามกฎหมายดังกล่าวจะต้องไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงแก่สาธารณสุขโดยไม่สมเหตุสมผล

การปฏิบัติตามค่ามาตรฐานปฐมภูมิใหม่

ค่ามาตรฐานปฐมภูมิจะมีผลบังคับใช้ภายหลัง 3 ปี นับตั้งแต่ค่าดังกล่าวได้รับผลสรุปสุดท้ายแล้ว แต่ถ้าหากจะต้องมีการหาแหล่งทุนในการปฏิบัติตามเกณฑ์ใหม่ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมหรือรัฐมีอำนาจยืดระยะเวลาการปฏิบัติออกไปได้อีกไม่เกิน 2 ปี

ข้อพิจารณาพิเศษสำหรับระบบน้ำสาธารณะที่มีขนาดเล็ก

องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมหรือรัฐจะพิจารณาเงื่อนไขพิเศษให้กับระบบน้ำสาธารณะที่มีขนาดเล็ก (มี 3 ระดับคือ ระบบที่ให้บริการประชากร 25-500 คน 501-3,300 คน และ 3,301-10,000 คน) ซึ่งพบว่ามียูกว่าร้อยละ 90 ของระบบทั้งหมดและต้องเผชิญกับปัญหาค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น โดยในประการแรกองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะต้องพิจารณาเทคโนโลยีที่ยังคงให้ผลสำเร็จตามมาตรฐานและระบบขนาดเล็กที่ให้บริการประชากรน้อยกว่า 10,000 คนสามารถอยู่ได้ หากเทคโนโลยีดังกล่าวไม่สามารถหาได้ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมจะต้องหาเทคโนโลยีที่สามารถลดสารปนเปื้อนได้มากที่สุดแทน

การกำหนดค่ามาตรฐานน้ำดื่มของประเทศออสเตรเลีย

ภายใต้กฎหมาย Australian National Health and Medical Research Council Act กำหนดให้รัฐบาลออสเตรเลียมีหน้าที่สนับสนุนการพัฒนามาตรฐานเพื่อสุขภาพ โดยมีหน่วยงานที่เรียกว่า “สภาการวิจัยทางการแพทย์และสาธารณสุขแห่งชาติของออสเตรเลีย” (Australian National Health and Medical Research Council-NHMRC) เป็นหน่วยงานกลางมีหน้าที่กำหนดค่าแนวทางสุขภาพ (health guideline) เพื่อกำหนดค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อม โดยยึดเอาแนวทางขององค์การอนามัยโลกและ USEPA หลังจากหน่วยงานกลางได้กำหนดเป็นค่ามาตรฐานกลางแล้ว แต่ละรัฐก็จะกำหนดค่ามาตรฐานภายใต้ค่ามาตรฐานกลาง และบังคับใช้ภายในรัฐปกครองของตน

ค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อมที่ได้ประกาศใช้แล้วนั้น ก็มีการพัฒนาปรับปรุง เช่น ในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม ระยะแรกจะกำหนดค่าที่เกี่ยวข้องกับเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุโรคใช้ไทฟอยด์ อหิวาตกโรค เพื่อลดอัตราป่วยด้วยโรคดังกล่าว ต่อมาได้ให้ความสนใจค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับสารกัมมันตรังสี สารเคมี ที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง และอาจจะมีการพัฒนาค่ามาตรฐานโดยคำนึงถึงสารตกค้างด้านเภสัชกรรม เช่น ฮอร์โมนต่างๆ เป็นต้น

จะเห็นว่า เหตุผลหลักในการกำหนดค่ามาตรฐานหรือค่ากลางของสิ่งแวดล้อมในประเทศออสเตรเลีย คือ การคุ้มครองด้านสุขภาพ ส่วนเหตุผลด้านเศรษฐศาสตร์ และสังคมนั้น ในระดับรัฐจะนำไปเป็นองค์ประกอบในการกำหนดค่ามาตรฐานระดับบังคับใช้ของรัฐ

ในอดีตค่าแนวทางที่รัฐบาลกลางออสเตรเลียกำหนด จะระบุเฉพาะค่ามาตรฐานสิ่งปนเปื้อนอย่างเดียว แต่ปัจจุบันค่าแนวทางที่รัฐบาลกลางกำหนดจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ค่ามาตรฐานและวิธีปฏิบัติหรือวิธีควบคุมแหล่งที่ก่อให้เกิดมลพิษไม่ให้เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ตัวอย่างเช่น ค่าแนวทางเกี่ยวกับคุณภาพน้ำดื่ม ในปี ค.ศ.1996 ได้ระบุดังนี้

1. แนวทางการควบคุมหรือจัดการระบบผลิตน้ำดื่ม ที่ผู้ผลิตต้องปฏิบัติตาม มีดังนี้
 - (1) ป้องกันไม่ให้มีสิ่งปนเปื้อนในน้ำที่ผลิตและท่อจ่าย
 - (2) ตรวจสอบปริมาณสารเคมีที่ใช้ และวิธีการใช้สารเคมีนั้นๆ ในระบบการผลิต
 - (3) ควบคุมกิจกรรมอุตสาหกรรม เหมือง ป่า เกษตร และกิจกรรมมนุษย์ บริเวณแหล่งผลิตประปา
 - (4) ดูแล รักษาอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งตัวระบบ อุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องใช้ในระบบผลิต
 - (5) พัฒนาทักษะและฝึกอบรมบุคลากรในระบบผลิต
 - (6) จัดโปรแกรมสร้างความตระหนัก และให้ความรู้แก่สาธารณชน เพื่อช่วยปกป้องระบบผลิต

2. ระบุดัชนีและตัวชี้วัดด้านกายภาพ จุลินทรีย์ เคมี และกัมมันตรังสีที่ปนเปื้อนในน้ำดื่ม

ดัชนีและตัวชี้วัดที่กำหนดออกมานั้น ได้ใช้หลักการประเมินความเสี่ยง (risk assessment)

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐาน

ในการจัดทำมาตรฐานในประเทศออสเตรเลียนั้น ตามกฎหมายได้ระบุวัตถุประสงค์ของการจัดทำมาตรฐาน และความรับผิดชอบอย่างชัดเจน ในขบวนการจัดทำจะต้องมีการจัดเวที ช่องทางให้คำปรึกษาแก่ผู้ใช้ และมีการเผยแพร่ โดยต้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการจัดทำมาตรฐาน และสามารถตรวจสอบหน่วยงานที่รับผิดชอบ

การทบทวนค่ามาตรฐานในประเทศออสเตรเลีย

การจัดทำค่ามาตรฐานที่จะต้องมีการทบทวนหลังจากประกาศใช้ไปแล้วนั้น ประเทศออสเตรเลียไม่ได้มีการทบทวนอย่างจริงจัง ต่างกับประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีการกำหนดอย่างชัดเจนว่า USEPA ต้องทบทวนค่ามาตรฐานทุกๆ 6 ปี ว่าเหมาะสมเพียงใด นอกจากนั้น มีบัญชีระบุชนิดมลพิษ ที่ถึงแม้ยังไม่ได้ประกาศใช้เป็นกฎหมาย ก็ต้องมีการตรวจอย่างน้อย 5 ชนิด ทุกๆ 5 ปี เป็นต้น

บทที่ 6

กระบวนการกำหนดค่ามาตรฐานของประเทศไทย

บทนำ

การกำหนดค่ามาตรฐานของประเทศไทยยังไม่มีรูปแบบการกำหนดหน่วยงานหลักที่ดูแลด้านการจัดทำมาตรฐานแบบเบ็ดเสร็จ ดังเช่นประเทศสหรัฐอเมริกา อย่างไรก็ตามกฎหมายที่ถือว่าเกี่ยวข้องกับการกำหนดค่ามาตรฐาน รวมถึงการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างครอบคลุมมากที่สุด คือพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ตามกฎหมายฉบับนี้ได้กำหนดให้มีคณะกรรมการชุดหนึ่งคือ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มีองค์ประกอบดังนี้

1. นายกรัฐมนตรี เป็นประธาน
2. รองนายกรัฐมนตรีซึ่งนายกรัฐมนตรีมอบหมาย เป็นรองประธานกรรมการคนหนึ่ง
3. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เป็นรองประธานกรรมการคนที่สอง
4. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงกลาโหม
5. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงการคลัง
6. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์
7. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงคมนาคม
8. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย
9. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการ
10. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข
11. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม
12. เลขาธิการคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
13. เลขาธิการคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน
14. ผู้อำนวยการสำนักงานงบประมาณ
15. กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม 8 คน ซึ่งคณะรัฐมนตรีแต่งตั้งเป็นกรรมการ ในจำนวนนี้ต้องมีผู้แทนภาคเอกชนร่วมอยู่ด้วยไม่น้อยกว่ากึ่งหนึ่ง
16. ปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เป็นกรรมการและเลขานุการ

มีอำนาจหน้าที่ดังนี้

- (1) เสนอนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เพื่อขอความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี
- (2) กำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- (3) พิจารณาให้ความเห็นชอบในแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่รัฐมนตรีเสนอ
- (4) พิจารณาให้ความเห็นชอบแผนปฏิบัติการเพื่อการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับจังหวัด
- (5) เสนอแนะมาตรการด้านการเงิน การคลัง การภาษีอากรและการส่งเสริมการลงทุนเพื่อปฏิบัติตามนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติต่อคณะรัฐมนตรี
- (6) เสนอแนะให้มีการแก้ไขเพิ่มเติมหรือปรับปรุงกฎหมายเกี่ยวกับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่อคณะรัฐมนตรี
- (7) พิจารณาให้ความเห็นชอบในแผนปฏิบัติการเพื่อป้องกันหรือแก้ไขอันตรายอันเกิดจากการแพร่กระจายของมลพิษหรือภาวะมลพิษที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเสนอ
- (8) พิจารณาให้ความเห็นชอบในการกำหนดมาตรฐานควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่รัฐมนตรีเสนอ
- (9) กำกับดูแลและเร่งรัดให้มีการตราพระราชกฤษฎีกา ออกกฎกระทรวง ข้อบังคับ ข้อบัญญัติท้องถิ่น ประกาศ ระเบียบและคำสั่งที่จำเป็น เพื่อให้กฎหมายเกี่ยวกับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมมีความเป็นระบบโดยสมบูรณ์
- (10) เสนอความเห็นต่อนายกรัฐมนตรีเพื่อพิจารณาสั่งการในกรณีที่น่าปรากฏว่า ส่วนราชการหรือรัฐวิสาหกิจใดฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามกฎหมาย ระเบียบ หรือข้อบังคับเกี่ยวกับการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมอันอาจทำให้เกิดความเสียหายอย่างร้ายแรง
- (11) กำหนดมาตรการเพื่อเสริมสร้างความร่วมมือและประสานงานระหว่างส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ และเอกชนในเรื่องที่เกี่ยวกับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- (12) กำกับการจัดการและบริหารเงินกองทุน
- (13) เสนอรายงานเกี่ยวกับสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศต่อคณะรัฐมนตรีอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง
- (14) ปฏิบัติการอื่นใดตามที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัตินี้หรือกฎหมายอื่น

มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม ครอบคลุมดังนี้

1. มาตรฐานคุณภาพน้ำในแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำสาธารณะอื่นๆ
2. มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งรวมทั้งบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำ
3. มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาล
4. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป
5. มาตรฐานระดับเสียงและความสั่นสะเทือนโดยทั่วไป
6. มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเรื่องอื่นๆ

ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 มาตรา 32 ได้ระบุว่า การกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจะต้องอาศัย

1. หลักวิชาการ กฎเกณฑ์ และหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ เป็นพื้นฐาน
2. ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี

ซึ่งจะเห็นได้ว่าพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ไม่ได้ระบุว่าการกำหนดค่ามาตรฐานต้องอาศัยหลักวิชาการหรือความเหมาะสมด้านสุขภาพอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม มาตรฐานที่กำหนดไปแล้ว สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ตามความก้าวหน้าในทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการเปลี่ยนแปลงในทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ นอกจากนี้ภายใต้พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ยังได้ระบุถึงคณะกรรมการควบคุมมลพิษ ให้มีอำนาจในการกำหนดมาตรฐานควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิด สำหรับ

1. ควบคุมการระบายน้ำทิ้ง
2. การปล่อยทิ้งอากาศเสีย
3. การปล่อยทิ้งของเสีย หรือมลพิษอื่นใดจากแหล่งกำเนิดออกสู่สิ่งแวดล้อม

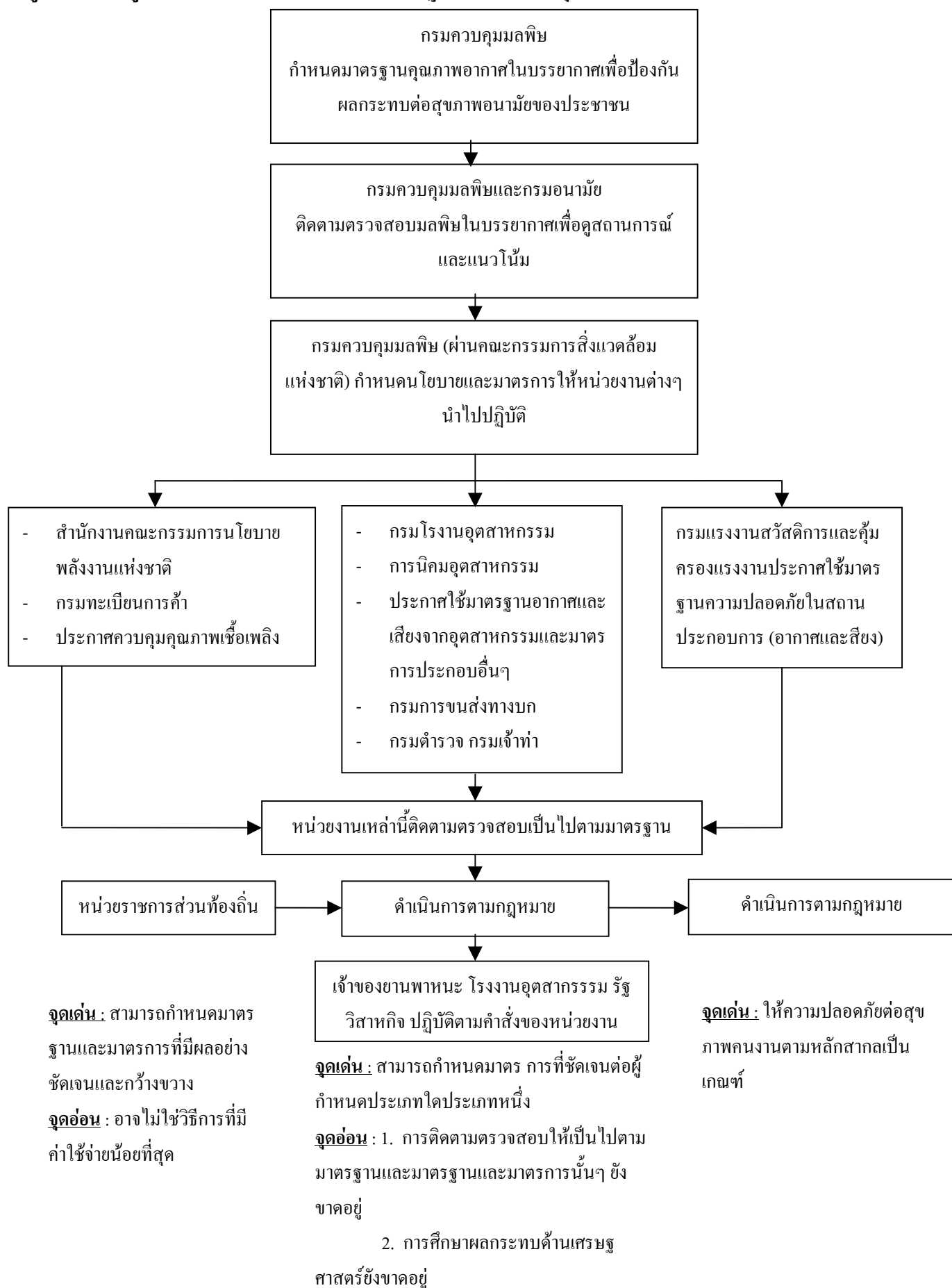
คณะกรรมการควบคุมมลพิษ ประกอบด้วย

1. ปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เป็นประธานกรรมการ
2. อธิบดีกรมโยธาธิการ
3. อธิบดีกรมทรัพยากรธรณี
4. อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม
5. อธิบดีกรมอนามัย
6. อธิบดีกรมวิชาการเกษตร
7. อธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
8. เลขาธิการสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม
9. ปลัดกรุงเทพมหานคร
10. ผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติแต่งตั้งไม่เกิน 5 คน
11. อธิบดีกรมควบคุมมลพิษ เป็นกรรมการและเลขานุการ

เพื่อให้ค่ามาตรฐานในสิ่งแวดล้อมที่กำหนดภายใต้พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เป็นจริงได้นั้น จะต้องมีการควบคุมที่แหล่งกำเนิดมลพิษ โดยไม่ให้แหล่งกำเนิดนั้นๆ ปล่อยสารมลพิษเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานจากแหล่งกำเนิดที่เป็น โรงงาน รถยนต์ รถจักรยานยนต์

เรือ จะถูกกำหนดภายใต้พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เช่นกัน ส่วนพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ตามมาตรา 8 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมมีอำนาจในการกำหนดมาตรฐานและวิธีการควบคุมปล่อยของเสีย มลพิษ หรือสิ่งใดๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน (ในพระราชบัญญัติโรงงาน ไม่ได้ระบุถึงคณะกรรมการที่มีหน้าที่เสนอความเห็นต่อรัฐมนตรี) ส่วนมาตรฐานจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ นอกจากแหล่งกำเนิดที่กล่าว จะถูกกำหนดภายใต้พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

รูปที่ 3 แสดงรูปแบบการดำเนินการกำหนดค่ามาตรฐานและการควบคุมกำกับ ของประเทศไทย



คำมาตรฐานที่มีการประกาศใช้แล้ว

มาตรฐานการควบคุมสารมลพิษที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในประเทศไทย ที่มีการประกาศใช้แล้ว มีดังนี้

1. มาตรฐานน้ำทิ้ง

1.1 มาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อบาดาล ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2521

1.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

1.2.1 คำมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2539

1.2.2 กำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2539

1.2.3 กำหนดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่อนุญาตให้ระบายน้ำทิ้งให้มีค่ามาตรฐานแตกต่างจากค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ ฉบับที่ 3 เรื่อง การกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2539

1.3 มาตรฐานและวิธีการตรวจสอบลักษณะน้ำทิ้งจากอาคาร

1.3.1 คำมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2537

1.3.2 ประเภทของอาคารและแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2537

1.3.3 วิธีการตรวจสอบมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2537

1.4 มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร

1.4.1 คำมาตรฐานน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2539

1.4.2 วิธีการตรวจสอบมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2539

1.5 มาตรฐานการระบายน้ำที่มีคุณภาพต่ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน

1.6 มาตรการการควบคุมการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่างๆ ลงสู่ลำน้ำ

1.7 มาตรการการป้องกันน้ำมันหรือเคมีภัณฑ์ หรือสิ่งที่เป็นพิษอันตรายขณะขนถ่ายทางน้ำ

2. มาตรฐานการปล่อยอากาศออกจากปล่องโรงงาน ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2536 2538 และ 2539

3. มาตรฐานการปล่อยอากาศออกจากโรงผลิตไฟฟ้าสร้างใหม่ ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2539
4. มาตรฐานการปล่อยอากาศออกจากโรงผลิตไฟฟ้าเก่า ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2540
5. มาตรฐานการปล่อยอากาศออกจากโรงบดขยี้หิน ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2539
6. มาตรฐานการปล่อยอากาศออกจากเตาเผามูลฝอย ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2540
7. มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประกาศเมื่อปี พ.ศ. 2537 ประกอบด้วย
 - 7.1 มาตรฐานและวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน
 - 7.2 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา
 - 7.3 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำท่าจีน
 - 7.4 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำแม่กลอง
 - 7.5 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำบางปะกง นครนายก ปราจีนบุรี
 - 7.6 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำสงคราม
 - 7.7 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำพอง ชี มูล ลำตะคอง
 - 7.8 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำเพชรบุรี
 - 7.9 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำปากพนัง
 - 7.10 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำปัตตานี
 - 7.11 กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำตาปี พุมดวง
 - 7.12 การอนุรักษ์แหล่งน้ำดิบเพื่อการประปานครหลวง
8. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ประกาศเมื่อปี พ.ศ. 2538
9. มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป ประกาศเมื่อปี พ.ศ. 2540
10. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
11. มาตรฐานความปลอดภัยในสถานประกอบการ
12. มาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
13. เกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบทของคณะกรรมการบริหาร โครงการจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบททั่วราชอาณาจักร กระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2531

สำหรับมาตรฐานสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในประเทศไทย ที่มีการประกาศออกใช้แล้ว จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานต่างๆ ของรัฐที่มีหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติหน้าที่ตามกฎหมาย (ดูภาคผนวก ก. ตารางที่ 12) ถึง ที่มา วัตถุประสงค์ กระบวนการจัดทำ การปรับปรุง และมาตรการการควบคุมกำกับ ของแต่ละมาตรฐาน มีรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้

มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม

ที่มาและวัตถุประสงค์

สืบเนื่องจาก ในปี พ.ศ. 2528 มีการประเมินสถานการณ์การจัดหาน้ำสะอาดในประเทศไทย โดยกระทรวงสาธารณสุขซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบสุขภาพประชาชน ได้เล็งเห็นว่าจะมีการใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค เพื่อให้ประชาชนในชนบททั่วราชอาณาจักรมีน้ำสะอาดที่ได้มาตรฐาน จึงได้มีการกำหนดคุณภาพหรือเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคทั้งด้านกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยา สำหรับหน่วยงานที่จัดหาน้ำสะอาด ได้ใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดหาน้ำสะอาดในโครงการทศวรรษการจัดหาน้ำสะอาดประเทศไทย

กระบวนการจัดทำมาตรฐาน

คณะกรรมการตรวจสอบคุณภาพน้ำบริโภคในชนบท ซึ่งประกอบด้วยผู้แทนจากหน่วยงานจัดหาน้ำสะอาดต่างๆ ได้ทบทวนมาตรฐานที่แต่ละหน่วยงานใช้ เป็นเกณฑ์น้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก เนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อความปลอดภัยและมีข้อมูลด้านพิษวิทยาประกอบ แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านศักยภาพการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการของหน่วยงานจัดหาน้ำสะอาดในขณะนั้น คณะอนุกรรมการฯ จึงร่วมกันเลือกกำหนดเฉพาะดัชนี ตัวชี้วัดที่บ่งชี้ความเป็นพิษสูง เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสามารถตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้ แต่ก็ยอมรับการตรวจด้วยอุปกรณ์ภาคสนาม นอกจากนี้ได้คำนึงถึงองค์ประกอบด้านอื่นๆ ได้แก่ เศรษฐศาสตร์ สุขภาพ พิษวิทยา แหล่งน้ำดิบ เทคนิคการจัดหาและเทคโนโลยีการปรับปรุงน้ำให้สะอาดให้ได้ตามเกณฑ์ที่จะกำหนด รวมทั้งเทคนิควิธีการวิเคราะห์ แต่ไม่ได้มีการศึกษาวิจัยในประเทศไทยเพิ่มเติม

เกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบทไม่ได้ผ่านการประชาพิจารณ์ ขอความคิดเห็นจากผู้บริโภค แต่คณะอนุกรรมการฯ ได้ร่วมกันพิจารณาอย่างตรงไปตรงมาโดยยึดหลักความโปร่งใส

หลังจากประกาศใช้ “เกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท” ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531 จนถึงปัจจุบัน ยังไม่มีการทบทวนเกณฑ์ดังกล่าวอย่างเป็นทางการ

มาตรการควบคุมกำกับ

เนื่องจากเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบทที่ได้จัดทำขึ้นนั้น ไม่ได้จัดทำภายใต้พระราชบัญญัติ หรือกฎหมายใดๆ จึงไม่มีผลตามกฎหมาย แต่ในทางปฏิบัติ หน่วยงานจัดหาน้ำสะอาดในชนบท ที่ทรงรังสรรค์หาน้ำสะอาดให้แก่ประชาชนบริโภคทั่วราชอาณาจักรนั้น ได้ตกลงร่วมกันที่จะใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐาน และยึดถือปฏิบัติเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน

มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ที่มาและวัตถุประสงค์

สืบเนื่องจาก ในปี พ.ศ. 2528 รัฐบาลได้พิจารณาเห็นว่า ปัญหามลพิษทางน้ำทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ จึงได้กำหนดนโยบายและมาตรการรักษาคุณภาพน้ำ โดยมอบหมายให้สำนักคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ในขณะนั้น) และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดำเนินการรวบรวมและสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และในปี พ.ศ. 2529 ได้จัดตั้งคณะกรรมการคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ภายใต้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมเรื่องนี้ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมเรื่องกฎหมาย และเสนอต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เพื่อพิจารณาเห็นชอบตามลำดับขั้น และต่อมาได้ประกาศบังคับใช้เป็นกฎหมายในปี พ.ศ. 2537

สำหรับวัตถุประสงค์ของมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ และการรักษาสภาพแวดล้อมให้อยู่ในสภาพดี

กระบวนการจัดทำมาตรฐาน

คณะทำงานยกร่างฯ ได้รวบรวมข้อมูลทุกมิติทั้งที่เป็นงานวิจัย จากสถาบันต่างๆ ในประเทศ เกณฑ์จากต่างประเทศ และผลการสำรวจคุณภาพน้ำในประเทศระยะเวลา 5 ปี รวมทั้งประสบการณ์ของผู้ทรงคุณวุฒิ ที่มาจากหลากหลายสาขาวิชาชีพ ทั้งด้านเศรษฐศาสตร์ สุขภาพ การประเมินความเสี่ยง นอกจากนี้ยังนำเอาประเด็นด้านความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีการควบคุม การบำบัด และการตรวจวัด มาประกอบในการพิจารณาฯ จากนั้นเสนอผ่านคณะกรรมการต่างๆ ที่จัดตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ แต่ไม่ได้มีการทำวิจัยเพิ่มเติม และก่อนจะมีการประกาศใช้เป็นกฎหมายได้มีการส่งร่างฯ ผ่านคณะอนุกรรมการฯ และ/หรือคณะกรรมการฯ ซึ่งในที่ประชุมยังประกอบด้วยตัวแทนจากทั้งภาครัฐและเอกชน ก่อนเสนอต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อขอความเห็นชอบ ซึ่งเป็นกระบวนการที่โปร่งใส สามารถตรวจสอบได้

การทบทวนค่ามาตรฐาน

กระบวนการจัดทำมาตรฐานฯ ไม่ได้มีการกำหนดกรอบและความถี่การทบทวนค่ามาตรฐานแต่อย่างใด และตั้งแต่ประกาศใช้มาตรฐาน ปี พ.ศ. 2537 ถึงปัจจุบัน ยังไม่ได้มีการทบทวนค่ามาตรฐานในแต่ละตัวชี้วัด มีเพียงการพิจารณาเพิ่มเติมค่าพารามิเตอร์บางค่า ซึ่งขณะนี้ (ปี พ.ศ. 2546) อยู่ในขั้นตอนรวบรวมข้อมูล

มาตรการในการควบคุมกำกับ

กรมควบคุมมลพิษ ได้ดำเนินการควบคุมกำกับ โดยการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ ที่เป็นแม่น้ำและลำคลองทั้ง 16 แห่ง เปรียบเทียบกับมาตรฐานฯที่ได้ประกาศ และหากพบว่าคุณภาพน้ำไม่เป็นไปตามเกณฑ์ ก็จะทำข้อเสนอแนวทางและมาตรการเพื่อฟื้นฟูคุณภาพแหล่งน้ำนั้นๆ ต่อไป

มาตรฐานน้ำบาดาล

ที่มาและวัตถุประสงค์

ตามความในมาตรา 6(1) แห่งพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 รัฐมนตรีผู้รักษาการตามพระราชบัญญัติ (รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม) มีอำนาจในการกำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการเจาะน้ำบาดาล การใช้น้ำบาดาลแบบอนุรักษ์ การระบายน้ำลงบ่อน้ำบาดาล การเลิกใช้บ่อน้ำบาดาล การป้องกันด้านสาธารณสุข และการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ รวมทั้งการกำหนดวิธีการให้ความคุ้มครองแก่คนงานและความปลอดภัยแก่บุคคลภายนอก ดังนั้น กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี และกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบโดยตรงในการจัดทำมาตรฐานดังกล่าว ได้จัดทำ และประกาศเป็นกฎหมายเรียกว่า “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ”

สำหรับวัตถุประสงค์ของค่ามาตรฐาน มี 2 ประการ คือ

1. เพื่อเป็นหลักเกณฑ์และมาตรฐานในทางวิชาการสำหรับการเจาะน้ำบาดาล การใช้น้ำบาดาลแบบอนุรักษ์ การระบายน้ำลงบ่อน้ำบาดาล การเลิกใช้บ่อน้ำบาดาล การป้องกันด้านสาธารณสุข และการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

2. เพื่อเป็นหลักเกณฑ์ โดยกำหนดเป็นวิธีการในการให้ความคุ้มครองแก่คนงานและความปลอดภัยแก่บุคคลภายนอก

กระบวนการจัดทำมาตรฐาน

จากที่มาและเหตุผลดังกล่าวนี้ กองน้ำบาดาล ได้ศึกษากร่างมาตรฐาน โดยนำมาตรฐานจากต่างประเทศ คือ US. Geological Surveys, US.EPA (Environmental Protection Agency), UN Escape และ องค์การอนามัยโลก มาปรับให้เหมาะสมกับประเทศไทย รวมทั้งใช้องค์ประกอบด้านอุทกธรณีวิทยา เศรษฐศาสตร์ สุขภาพ การประเมินความเสี่ยง ความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีการควบคุม การตรวจวัด ประกอบการยกร่าง เสนอผ่านการพิจารณาของคณะกรรมการร่างกฎหมาย คณะกรรมการน้ำบาดาล ที่ประกอบด้วย อธิบดีกรมทรัพยากรธรณีเป็นประธานกรรมการ อธิบดีกรมโยธาธิการ อธิบดีกรมชลประทาน อธิบดีกรมอนามัย ผู้แทนกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ผู้ว่าการประปานครหลวงหรือผู้แทน ผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งรัฐมนตรีแต่งตั้งอีกไม่เกินสองคนเป็นกรรมการ และผู้อำนวยการกองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณีเป็นกรรมการและเลขานุการ และคณะอนุกรรมการที่เกี่ยวข้อง

หลังจากประกาศเป็นกฎหมาย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2521) เมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2521 แล้ว ได้มีการทบทวนปรับแก้ค่ามาตรฐาน และประกาศเป็นกฎหมายฉบับใหม่ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2542) เมื่อวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2542

ความโปร่งใส และการตรวจสอบของการจัดทำมาตรฐานนั้น เป็นในลักษณะที่การพิจารณารายละเอียดมาตรฐาน ต้องผ่านความเห็นชอบของคณะทำงาน คณะกรรมการ กฎีกัการรัฐมนตรี คณะรัฐมนตรี สภาผู้แทนราษฎร แต่ยังไม่มีการบวนการในการทำประชาพิจารณ์

มาตรการในการควบคุมกำกับ

ในการควบคุมกำกับให้เป็นไปตามมาตรฐาน กรมทรัพยากรธรณี ได้กำหนดฝ่ายที่รับผิดชอบในการควบคุมกำกับ เป็น 2 พื้นที่ใหญ่ๆ คือ ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ควบคุมกำกับโดย หน่วยงานส่วนกลาง (ปัจจุบัน เป็นฝ่ายควบคุมกิจการน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล) ส่วนในพื้นที่ต่างจังหวัด ควบคุมกำกับโดยหน่วยงานระดับจังหวัด ที่ขึ้นตรงต่อผู้ว่าราชการจังหวัด (ปัจจุบัน เป็นฝ่ายทรัพยากรน้ำบาดาล สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)

มาตรฐานความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ที่มาและวัตถุประสงค์

มาตรฐานความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เป็นมาตรฐานที่บัญญัติขึ้นภายใต้กฎหมายความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน ที่ประกอบด้วย ประกาศเรื่องต่างๆ ทั้งหมด 17 ฉบับ ได้แก่

1. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร
2. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม
3. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)
4. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า
5. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (ประดำน้า)
6. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานในสถานที่้อบอากาศ
7. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย
8. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานว่าด้วยเขตก่อสร้าง
9. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับปั้นจั่น
10. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม
11. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยลิฟท์ ขนส่งวัสดุชั่วคราว
12. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานว่าด้วยนั่งร้าน
13. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานในสถานที่ที่มีอันตรายจากการตกจากที่สูง วัสดุกระเด็น ตกหล่น และการพังทลาย
14. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ
15. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ เพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง
16. ประกาศกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม เรื่องความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง
17. ประกาศกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม เรื่องคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ซึ่งประกาศฯ ทั้ง 17 ฉบับดังกล่าว ได้ประกาศเป็นกฎหมาย เพื่อกู้มครองดูแลลูกจ้างให้ปลอดภัยจากอุบัติเหตุและโรคอันเนื่องจากการทำงาน จัดทำโดยคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นคณะกรรมการตามพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน ได้ทบทวนข้อมูลจากต่างประเทศ เช่น

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist) และคำมาตรฐานจากประเทศออสเตรเลีย พิจารณา ถัดจากตัวชี้วัดบางตัวไปบัญญัติโดยตรง แต่บางตัวชี้วัดได้ทบทวนและปรับปรุงให้เหมาะสมกับประเทศไทย เช่น ตัวชี้วัดเรื่องความร้อน เป็นต้น ทั้งนี้คณะกรรมการฯ ไม่ได้มีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในประเทศไทย เป็นเพียงนำผลการสำรวจสภาพปัญหาสถานการณ์ปัจจุบัน พิจารณาประกอบกับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติตามของผู้ประกอบการ และการยอมรับของลูกจ้าง ซึ่งก่อนประกาศใช้เป็นกฎหมายนั้น ได้มีการขอความเห็นและการยอมรับจากคณะกรรมการที่ประกอบด้วยผู้แทนจาก 3 ฝ่าย ได้แก่ นักวิชาการจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ผู้แทนจากภาคผู้ประกอบการ และผู้แทนจากภาคลูกจ้าง

ตั้งแต่มีการประกาศใช้เป็นกฎหมายถึงปัจจุบันนั้น ได้มีการทบทวนคำมาตรฐานเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2545 ซึ่งอยู่ในระหว่างการทบทวน

มาตรการควบคุมกำกับ

ในทางปฏิบัติมีการบังคับใช้ประกาศต่างๆ ดังกล่าวทั้ง 17 ฉบับ โดยเจ้าหน้าที่จะดำเนินการกำกับสถานประกอบการให้รายงานผลการตรวจวัดตัวชี้วัดต่างๆ ตามกฎหมายทุกๆ 6 เดือน และกำหนดให้สถานประกอบการจัดให้มีบุคลากรเฉพาะทางในกิจการ 5 ประเภท คือ การก่อสร้าง การผลิต ปิโตรเคมี ขนส่ง สถานบริการและจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ สถานประกอบการใดที่มีคนงานตั้งแต่ 50 คนขึ้นไป ต้องจัดให้มี “เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน” ทำงานประจำ ซึ่งเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ต้องมีวุฒิการศึกษาด้านอาชีวอนามัย หรือมีใบรับรองผ่านการอบรมอาชีวอนามัย 180 ชั่วโมง

มาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด

ที่มาและวัตถุประสงค์

เนื่องจากสถานประกอบการ ได้แก่ โรงไฟฟ้า โรงโม่บดย่อยหิน เตาเผาขยะมูลฝอย เป็นแหล่งกำเนิดที่ระบายมลพิษในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนที่อาศัยในพื้นที่ใกล้เคียง สถานประกอบการ จึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานสารมลพิษที่ประกอบด้วยดัชนีและตัวชี้วัด เพื่อควบคุมสถานประกอบการประเภทดังกล่าว มิให้ระบายสู่บรรยากาศเกินมาตรฐานคุณภาพบรรยากาศทั่วไป หรือไม่ให้มีปริมาณในระดับเป็นอันตรายต่อสุขภาพประชาชน

กระบวนการจัดทำมาตรฐาน

มาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด จัดทำโดยคณะทำงานที่แต่งตั้งภายใต้คณะกรรมการอากาศและเสียง และอยู่ภายใต้คณะกรรมการควบคุมมลพิษ ซึ่งคณะทำงานได้ดำเนินการรวบรวม ศึกษาข้อมูลเกณฑ์อันตรายของสารมลพิษและปริมาณในบรรยากาศ พิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของประเทศอื่นๆ ประกอบกับองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ เทคโนโลยีการควบคุม การบำบัด ที่ดีที่สุดในขณะนั้นๆ และทำการตรวจวัดปริมาณการระบายหลังจากผ่านการบำบัด รวมทั้งพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายการติดตั้ง การปรับปรุง ควบคุมการระบายมลพิษ หลังจากนั้น คณะทำงานได้ร่างมาตรฐาน เสนอคณะกรรมการฯ คณะกรรมการควบคุมมลพิษ และคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เป็นลำดับ ตามกฎหมายพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งขบวนการผ่านคณะกรรมการแต่ละชุดนั้น จัดได้ว่า เป็นการจัดทำมาตรฐานที่มีความโปร่งใส เนื่องจากต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้แทนหน่วยงานต่างๆ รวมทั้งผู้แทนภาคประชาชน เอกชน และผู้ทรงคุณวุฒิ

นับถึงปี พ.ศ. 2545 มาตรฐานดังกล่าว ยังไม่มีการทบทวน เพียงแต่มีการประเมินผลการตรวจวัดคุณภาพบรรยากาศของพื้นที่ที่มีสถานประกอบการดังกล่าว และจากข้อมูลร้องเรียน

มาตรการควบคุมกำกับ

ในทางปฏิบัติ หน่วยงานท้องถิ่นเป็นผู้ใช้มาตรฐานดำเนินการควบคุม ติดตามตรวจสอบ การระบายมลพิษจากแหล่งกำเนิด ขณะที่หน่วยงานส่วนกลางเป็นผู้สนับสนุนศักยภาพหน่วยงานท้องถิ่น และมีการดำเนินการตรวจวัดด้วยเทคโนโลยีการตรวจวัดการระบายมลพิษแบบต่อเนื่อง และเชื่อมโยงข้อมูลที่ตรวจวัดได้ให้แก่หน่วยงานท้องถิ่น และส่วนกลาง

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป

ที่มาและวัตถุประสงค์

เป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดตาม มาตรา 32 พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมเฉพาะเรื่อง หรือผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม พิจารณาเสนอผ่านคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

กระบวนการจัดทำมาตรฐาน

ข้อมูลที่ใช้ประกอบการจัดทำมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป ได้แก่

1. ข้อมูลวิทยาศาสตร์ทั้งจากต่างประเทศและในประเทศ เกี่ยวกับผลกระทบของสารมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพอนามัยของระดับความเข้มข้นสารพิษในอากาศที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และระยะเวลาสัมผัสต่างๆกัน
2. เกณฑ์ (Guidelines) ขององค์การอนามัยโลก และค่ามาตรฐาน (Standards) คุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของต่างประเทศ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ประเทศในยุโรป และเอเชีย
3. ข้อมูลคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศไทยที่ตรวจวัดตั้งแต่อดีตที่ผ่านมา
4. ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีของประเทศไทยที่เป็นอยู่ในขณะนั้นๆ รวมทั้งแนวโน้มในอนาคต

หลังจากนั้น คณะทำงานได้พิจารณาข้อมูลเหล่านั้น เลือกดัชนีและกำหนดตัวชี้วัด ร่างเสนอผ่านคณะกรรมการแต่ละลำดับดังกล่าว แต่จนถึงปัจจุบัน (พ.ศ. 2545) ยังไม่ได้มีการนำผลศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพ หลังจากประกาศใช้เป็นกฎหมายแล้วมาปรับแก้ค่ามาตรฐาน

มาตรฐานด้านเสียงและความสั่นสะเทือน

ที่มาและวัตถุประสงค์

มาตรฐานด้านเสียงและความสั่นสะเทือน ถูกกำหนดขึ้นตามมาตรา 55 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 กรมควบคุมมลพิษในฐานะหน่วยงานที่รับผิดชอบในการเสนอค่ามาตรฐาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ควบคุมระดับเสียง และความสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิด ไม่

ให้ส่งผลเกินเกณฑ์มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป และมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมระดับเสียงในสิ่งแวดล้อมมิให้ก่อผลกระทบต่อหูหรือระบบการได้ยินของประชาชน หากได้รับเสียงดังเป็นระยะเวลานาน

มาตรฐานด้านเสียงและความสั่นสะเทือน ที่ประกาศใช้นั้น ครอบคลุมถึง

1. มาตรฐานระดับเสียงของรถยนต์
2. มาตรฐานระดับเสียงของเรือ
3. มาตรฐานควบคุมระดับเสียงและความสั่นสะเทือนจากการทำเหมืองหิน
4. มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป
5. มาตรฐานระดับเสียงรบกวน

กระบวนการจัดทำมาตรฐาน

ในการจัดทำมาตรฐานต่างๆ ดังกล่าวนั้น คณะทำงานได้ใช้แนวทางตามมาตรฐานของต่างประเทศ ได้แก่ ยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น ประกอบกับข้อมูลการตรวจวัดระดับเสียงของรถยนต์ เรือ และในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งข้อมูลจากการสอบถามความคิดเห็นของประชาชนในกรุงเทพมหานคร คณะทำงานได้พิจารณาและจัดทำร่างมาตรฐานเสนอผ่าน คณะอนุกรรมการสิ่งแวดล้อมเรื่องเสียงและความสั่นสะเทือน ผ่านคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และก่อนจะประกาศใช้ ได้ขอความคิดเห็นจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในเวทีการประชุม

การทบทวนค่ามาตรฐานที่ได้ประกาศไปแล้วนั้น ในปี พ.ศ. 2545 ได้มีการเตรียมประกาศค่ามาตรฐานระดับเสียงของรถยนต์ใหม่ นอกจากนี้กำลังทบทวนค่ามาตรฐานระดับเสียงรบกวน ซึ่งกำลังอยู่ในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นจากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ส่วนมาตรฐานอื่นอีก 3 มาตรฐาน หลังจากประกาศใช้จนถึงปัจจุบัน ยังไม่มีการทบทวน

มาตรการควบคุมกำกับ

ในการควบคุมกำกับแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐานนั้น ในทางปฏิบัติ กรมควบคุมมลพิษได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลระดับเสียงรถยนต์บนท้องถนน และร่วมกับกรุงเทพมหานคร กรมการขนส่งทางบก และสำนักงานตำรวจแห่งชาติ ตรวจสอบ ตรวจจับรถยนต์บนท้องถนนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่มีระดับเสียงเกินค่ามาตรฐาน ส่วนการควบคุมระดับเสียงของเรือ กรมควบคุมมลพิษร่วมกับกรุงเทพมหานครและกรมเจ้าท่า ตรวจสอบและตรวจจับเรือในกรุงเทพมหานคร ที่มีระดับเสียงเกินค่ามาตรฐาน

ส่วนการควบคุมกำกับการใช้มาตรฐานควบคุมระดับเสียงและความสั่นสะเทือนจากการทำเหมืองหิน มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป และมาตรฐานระดับเสียงรบกวน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้นำมาตรฐานไปประกอบการดำเนินการควบคุม

มาตรฐานคุณภาพอากาศที่ระบายออกจากปล่อง

ที่มาและวัตถุประสงค์

จากการประชุมคณะกรรมการควบคุมมลพิษ มีมติให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควบคุมมลพิษทางอากาศจากเตาเผาแต่ละชนิด ดังนั้น สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้จัดทำมาตรฐาน “การกำหนดปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องเตาเผาสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ที่เป็นอันตรายจากอุตสาหกรรม พ.ศ. 2545” ขึ้น เพื่อควบคุมมลพิษทางอากาศจากเตาเผาของเสียอุตสาหกรรม

กระบวนการจัดทำมาตรฐาน

คณะทำงานที่ได้รับการแต่งตั้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามคำสั่งเลขที่ 357/2544 ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2544 ได้ร่วมกันพิจารณาคำมาตรฐานต่างๆของประเทศ สหรัฐอเมริกา ยุโรป แคนาดา ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน ฮองกง และมาตรฐานของหน่วยงานในประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ มาตรฐานการระบายอากาศเสียจากเตาเผาขยะชุมชนของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และหลักเกณฑ์การเผาของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นขอบเขตงานว่าจ้างก่อสร้างเตาเผาของเสียอุตสาหกรรม นอกจากนี้ได้พิจารณาถึงองค์ประกอบด้านอื่นได้แก่ ผลของมลสารทางอากาศจากเตาเผาที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของคน เทคโนโลยีการบำบัด และการตรวจสอบติดตาม รวมทั้งมีการศึกษาวิจัยการเกิดชนิดมลสารทางอากาศจากเตาเผาของเสียอุตสาหกรรม คุณสมบัติและผลของมลสารทางอากาศ เช่น dioxins, furans และก่อนที่จะประกาศใช้เมื่อวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2545 นั้น ร่างมาตรฐานที่จัดทำขึ้นได้ผ่านความเห็นชอบจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

มาตรการควบคุมกำกับ

กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดให้โรงงานต้องจัดหาผู้ควบคุมดูแลระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ โดยที่ผู้ควบคุมนั้นต้องอยู่ในทะเบียนของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และเจ้าของโรงงานต้องจัดทำรายงาน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารมลพิษ นอกจากนี้โรงงานที่มีปัญหามลพิษสูง ต้องติดตั้งเครื่องมือ หรือ อุปกรณ์พิเศษเพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติ และส่งรายงานผลการตรวจวัดต่อกรม โรงงานอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ที่มาและวัตถุประสงค์

กระทรวงอุตสาหกรรม ต้องการให้การผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไม่ก่อผลกระทบทางลบต่อ สิ่งแวดล้อม สุขภาพ และเศรษฐกิจ และเพื่อให้ผู้บริโภคได้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ปลอดภัย จึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขึ้น เพื่อ เป็นกฎ กติกา ให้ผู้ผลิตปฏิบัติตาม

กระบวนการจัดทำมาตรฐาน

คณะกรรมการวิชาการ ซึ่งแต่งตั้งโดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ที่ประกอบด้วย นักวิชาการจากกระทรวงต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ผู้แทนจากภาคผู้ผลิต และผู้แทนจากภาคผู้บริโภค ร่วมกันพิจารณาข้อมูลที่มาตราฐานผลิตภัณฑ์บางอย่าง คัดลอกจากต่างประเทศ ได้แก่ ยุโรป และบางอย่างนำข้อมูลจากการวิจัย นำมาวิเคราะห์ สังเคราะห์ พิจารณาจัดทำร่างมาตรฐาน ผ่านการประชาพิจารณ์ รับฟังความเห็นจากผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมด หลังจากนั้น เสนอผ่านคณะกรรมการใหญ่ ซึ่งเป็นผู้ตัดสินใจก่อนมีการประกาศใช้

หลังจากประกาศใช้ จะมีการทบทวนทุกๆ 5 ปี แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ใดที่ก่อให้เกิดผลเสีย สามารถทำการทบทวนและแก้ไขก่อนครบ 5 ปีได้

มาตรการควบคุมกำกับ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่ประกาศใช้ ผู้ผลิตสามารถสมัครใจที่จะนำเครื่องหมายมาตรฐาน “สมอ.” ไปใช้ แต่ถ้าตรวจสอบพบว่า มีปัญหาเกิดขึ้น ก็จะถูกระงับการใช้

ส่วนกรณีบังคับใช้ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ต้องตรวจสอบผู้ผลิตที่เข้าข่ายบังคับใช้ทุกราย

บทที่ 7

การจัดเวทีระดมสมองผู้เชี่ยวชาญ

คณะผู้วิจัยได้จัดเวทีของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อระดมสมองให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับแนวทางในการจัดทำมาตรฐานที่ดีและเหมาะสมสำหรับประเทศไทย ขึ้น ณ ห้องประชุม 1 กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เมื่อวันที่ 10 มีนาคม 2546 ดังมีรายนามผู้เข้าร่วมประชุมดังนี้

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. ดร.วิจารณ์ สิมาฉายา | ผู้อำนวยการสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ |
| 2. นางสาวนันทนา สันตติวุฒิ | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 3. นางสุนารี ดิลกานนท์ | สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม |
| 4. นางจุฑาพนิต บุญดีกุล | สำนักงานคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน |
| 5. นางสาวนิภาภรณ์ เอี่ยมสังวาลย์ | สำนักจัดการคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ |
| 6. นางสาวสุนิษา ถิ่นขาม | สำนักจัดการคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ |
| 7. นายวิญญูชาติ ชนปทาธิป | สำนักจัดการคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ |
| 8. นายสัมฤทธิ์ ชุมนะทัศน์ | กลุ่มพัฒนาระบบบริหาร กรมทรัพยากรน้ำบาดาล |
| 9. นางมาลี พงษ์โสภณ | สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค |
| 10. นางสาวจิราพร ชินราช | สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ |
| 11. นางสาวสีอำพัน อยู่คงคร้าม | สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |
| 12. นางสาวอุดมลักษณ์ ศรีทัศน์ย์ | สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |
| 13. นายสิทธิโชค สุระดโก | สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |
| 14. ผศ.ดร.นพ.พงศ์เทพ วิวรรณะเดช | คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 15. นางสาวรัชณี ไพทสิทธิ์ | สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |

จากการแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่เข้าร่วมประชุม มีข้อเสนอแนะต่างๆ พอสรุปได้ดังนี้

1. การจัดทำมาตรฐานของไทยที่ผ่านมามักเป็นการนำตัวเลขจากต่างประเทศมาปรับใช้ ซึ่งอาจจะไม่เหมาะกับไทย ตัวอย่างเช่น มีผู้ศึกษาพบว่าค่าสารหนูในแหล่งน้ำที่อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช อยู่ในมาตรฐาน แต่ก็ยังพบผู้ป่วยที่มีรอยโรคมะเร็งของผิวหนัง แสดงให้เห็นว่าความไวต่อการเกิดโรคในคนไทยอาจจะสูงกว่าประเทศอื่นๆ ทั้งนี้เพราะยังไม่ได้มีการศึกษาวิจัยในคนไทยอย่างจริงจัง และนำผลการศึกษานับสนุนการจัดทำมาตรฐานที่เหมาะสมกับคนไทย
2. ระบบฐานข้อมูลที่ทำเป็นต่อการจัดทำมาตรฐานยังอยู่อย่างกระจัดกระจายตามหน่วยงานต่างๆ และเข้าถึงได้ยาก จึงเสนอแนะให้มีหน่วยงานที่รับผิดชอบในการจัดทำข้อมูลและรวบรวมฐานข้อมูลต่างๆ ให้เป็นระบบ และเผยแพร่แก่ผู้ที่สนใจในการสืบค้น รวมทั้งมีการติดตามความเคลื่อนไหวของสารเคมีทั้งหลาย ทั้งที่ห้ามใช้และสารเคมีใหม่ๆ ทั้งต่างประเทศและในประเทศและปรับปรุงฐานข้อมูลให้ทันสมัยอยู่เสมอ
3. กระบวนการหรือที่มาของการจัดทำมาตรฐานในไทย มักพิจารณาแต่เฉพาะความเหมาะสมด้านเทคนิค (technic based) และเศรษฐศาสตร์ (economic based) โดยไม่ได้คำนึงถึงผู้บริโภคหรือประชาชนที่ได้รับผลกระทบ จึงเสนอว่าจัดทำมาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ ตามกฎหมายจะต้องยึดประชาชนเป็นศูนย์กลาง และมีช่องทางให้ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างง่ายดาย รวมทั้งมีการจัดทำการประชาสัมพันธ์หรือการมีส่วนร่วมของประชาชนที่มีประสิทธิภาพมากกว่าที่เป็นอยู่
4. ในการคัดเลือกค่ามาตรฐานที่จะดำเนินการกำหนดเป็นค่ามาตรฐานของประเทศไทยต่อไป เสนอให้มีการสำรวจความต้องการของผู้ใช้ หรืออาจจะใช้สถานการณ์การร้องเรียนเหตุรำคาญมาเป็นเกณฑ์ (criteria) ในการคัดเลือก ซึ่งก็จะได้ค่ามาตรฐานที่สามารถแก้ปัญหาของประชาชนได้
5. ปัญหาการปนเปื้อนสารพิษในปัจจุบันมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แต่ไม่มีระบบการเฝ้าระวังอย่างจริงจัง ดังนั้นการจัดทำมาตรฐาน ควรคำนึงถึงประเด็นดังกล่าวให้มากขึ้น โดยอาจจะต้องเตรียมความพร้อมในการสำรวจเก็บข้อมูลปฏิกิริยาของสารพิษหรือสารเคมีต่างๆ ที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ความพร้อมด้านเครื่องมือในการเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ รวมทั้งระบบการศึกษาวิจัยด้านการจัดทำค่ามาตรฐานที่มีคุณภาพและก่อประโยชน์
6. ปัญหาประการหนึ่งของมาตรฐานไทยที่ผ่านมาได้แก่ การไม่สามารถบังคับใช้ให้เป็นไปตามกฎหมาย (enforcement) ทำให้ค่ามาตรฐานที่ประกาศออกมาไม่เกิดผลในทางปฏิบัติ จึงเสนอให้เชิญหน่วยงานที่มีอำนาจในการบังคับใช้ตามกฎหมาย มาร่วมระดมสมองเพื่อค้นหาปัญหาและอุปสรรครวมทั้งแนวทางในการแก้ไขต่อไป
7. การจัดทำมาตรฐานในประเทศไทย ยังขาดความเชื่อมโยง เช่น ความเชื่อมโยงระหว่างสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เช่น การออกค่ามาตรฐานตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

แห่งชาติ พ.ศ. 2535 จะคำนึงแต่ผลกระทบที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมไม่ได้ นำเอาประเด็นด้านสุขภาพเข้าไปพิจารณาด้วย นอกจากนั้นการกำหนดค่ามาตรฐานก็ไม่ได้คำนึงถึงระดับที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ (background levels) ดังนั้นจึงเสนอให้คำนึงถึงความเชื่อมโยงปัจจัยต่างๆ ด้วย

8. มีผู้เสนอให้มีหน่วยงานกลางระดับประเทศที่ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญและนักวิชาการที่เกี่ยวข้องร่วมกันกำหนดแนวทางและกระบวนการในการกำหนดค่ามาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ทั้งนี้ที่ประชุมเห็นด้วยว่าไม่จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาเพื่อกำหนดค่ามาตรฐานของคนไทยทุกมาตรฐาน เพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเสียเวลา ดังเช่นในหลายๆ ประเทศ ก็มีการนำค่ามาตรฐานกลางขององค์การอนามัยโลกมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับประเทศของตนตามท้องที่การอนามัยโลกแนะนำ แต่ควรจะมีหลักเกณฑ์การกำหนดที่เป็นมาตรฐานเดียวกันของประเทศ มิใช่ให้แต่ละหน่วยงานผู้มีอำนาจกำหนดค่ามาตรฐานกำหนดเกณฑ์ของตนเองดังเช่นปัจจุบัน นอกจากนี้ในกรณีจำเป็นหน่วยงานนี้อาจเป็นผู้ดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อกำหนดค่ามาตรฐานบางชนิดที่เห็นว่าจำเป็นต้องกำหนดสำหรับคนไทยเอง (เช่นค่ามาตรฐานสารหนู) รวมทั้งทำหน้าที่ในการติดตามตรวจสอบว่าค่ามาตรฐานที่ประกาศใช้แล้วมีความเหมาะสมหรือไม่และจะต้องมีการปรับปรุงอย่างไร เป็นต้น เพื่อให้ค่ามาตรฐานที่ออกมาเหมาะกับยุคสมัย
9. อีกข้อเสนอหนึ่งได้แก่ การเสนอให้สถาบันทางวิชาการต่างๆ ที่ไม่ผูกติดกับระเบียบราชการที่มีอยู่แล้วนั้นประสานเป็นเครือข่าย เพื่อทำการศึกษาวิจัย จัดทำแนวทางในการกำหนดค่ามาตรฐาน รวมทั้งรวบรวมข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่ามาตรฐาน และจัดทำข้อเสนอค่ามาตรฐานต่างๆ และเสนอให้หน่วยงานของรัฐที่มีความรับผิดชอบภายใต้พระราชบัญญัติฉบับต่างๆ นำไปพิจารณาปรับใช้และประกาศเป็นค่ามาตรฐานต่อไป
10. เนื่องจากประเทศไทยกำลังถ่ายโอนอำนาจให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ดังนั้นการจัดทำมาตรฐานภายใต้พระราชบัญญัติฉบับต่างๆ ของแต่ละหน่วยงาน ควรจัดทำในลักษณะที่เป็นค่ามาตรฐานกลางหรือเป็นค่าแนวทาง (guidelines) ดังเช่นองค์การอนามัยโลกหรือประเทศสหราชอาณาจักรและให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถนำค่าดังกล่าวไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับท้องถิ่นของตน

บทที่ 8

บทสรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

บทสรุปและอภิปราย

จากการค้นคว้าข้อมูลทั้งจากทางเอกสาร การสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำมาตรฐานของประเทศไทยของหน่วยงานของรัฐ และจากการทำเวทีระดมสมองผู้เชี่ยวชาญพอจะสรุปได้ดังนี้

1. การกำหนดมาตรฐานในประเทศไทย ยังจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากต่างประเทศและองค์กรระหว่างประเทศ ดังในหลายๆ ประเทศ เช่น แคนาดาหรือออสเตรเลีย ที่มีการนำมาตรฐานที่แนะนำโดยองค์การอนามัยโลกหรือองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมมาพิจารณาปรับใช้ให้เหมาะสมกับประเทศของตน ทั้งนี้ค่ามาตรฐานหลายค่าได้มีการศึกษามากจนเป็นที่ยอมรับและคืออยู่แล้ว เช่น ค่ามาตรฐานของตะกั่วเป็นต้น จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาใหม่ในประเทศไทย เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นอันมาก อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างเชื้อชาติและพันธุกรรมของคนในชาติต่างๆ กับคนไทย ดังนั้นอาจมีบางกรณีที่ค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยต่างประเทศไม่เหมาะสมกับคนไทย จึงอาจมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพิจารณาค่ามาตรฐานบางค่ามาทำการศึกษาเฉพาะในคนไทย เพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานที่เหมาะสมที่สุด
2. เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีองค์กรที่ทำหน้าที่ในการควบคุมดูแลการจัดทำมาตรฐานเหมือนในต่างประเทศ เช่น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ สภาการวิจัยทางการแพทย์และสาธารณสุขแห่งชาติของออสเตรเลีย เป็นผลให้หน่วยงานต่างๆ ภายใต้พระราชบัญญัติหลายฉบับที่ให้อำนาจการกำหนดค่ามาตรฐาน มีวิธีการหรือกระบวนการในการกำหนดค่ามาตรฐานที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การที่กฎหมายไม่ได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับการทบทวนแก้ไข การมีส่วนร่วมของภาคประชาชนรวมทั้งการติดตามตรวจสอบเพื่อให้เกิดผลในทางปฏิบัติ จึงทำให้ค่ามาตรฐานหลายค่าที่กำหนดออกมาไม่เหมาะสมกับยุคสมัย ขาดการยอมรับจากผู้ปฏิบัติ และไม่เกิดผลในเชิงบังคับ
3. ระบบฐานข้อมูลเป็นอีกปัญหาหนึ่งของประเทศ ดังจะเห็นว่าหลายหน่วยงานที่มีการจัดเก็บข้อมูลของตนเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม (เช่น ข้อมูลคุณภาพอากาศ น้ำ ฯลฯ) และฐานข้อมูลด้านสุขภาพ (เช่น ข้อมูลการเจ็บป่วยและข้อมูลการตายด้วยโรคต่างๆ) แต่ยังคงขาดการประสานเชื่อมโยงฐานข้อมูลเหล่านี้เข้าด้วยกัน หรือการเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ยังเป็นไปได้ยาก ซึ่งการจัดทำมาตรฐาน โดยเฉพาะการประเมินขนาดและการตอบสนอง (dose-response assessment) จำเป็นที่จะต้องอาศัยข้อมูลทั้ง 2 ฐาน เป็นอย่างมาก

4. นอกจากปัญหาเรื่องการจัดทำค่ามาตรฐานแล้ว การบังคับใช้ค่ามาตรฐานให้เป็นไปตามกฎหมายก็เป็นปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่ง ดังจะเห็นได้ว่าค่ามาตรฐานที่มีการประกาศใช้ออกมาแล้วถูกเพิกเฉยละเลย ไม่มีผลในทางปฏิบัติ หรือผู้กระทำความผิดไม่เคยได้รับโทษหรือถูกฟ้องร้องเลย แม้แต่ผู้ได้รับผลกระทบเองก็ยังไม่เข้าใจถึงความสำคัญและ/หรือความหมายของค่ามาตรฐานในการปกป้องคุ้มครองสุขภาพของตน สิ่งเหล่านี้ย่อมเป็นอุปสรรคที่จะทำให้เจตนารมณ์ของการมีค่ามาตรฐานเพื่อคุ้มครองสุขภาพของมนุษย์ไม่อาจบรรลุถึงได้ในทางปฏิบัติ

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. ควรมีหน่วยงานกลางระดับชาติที่เป็นอิสระทำหน้าที่ในการกำหนดหลักเกณฑ์และแนวทางการกำหนดค่ามาตรฐาน การทบทวนแก้ไข และการมีส่วนร่วมของประชาชน เพื่อให้หน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่ตามกฎหมายได้ยึดถือเป็นแนวทางเดียวกัน
2. นอกจากนี้หน่วยงานกลางตามข้อ 1 ควรมีบทบาทในการพิจารณาเลือกค่ามาตรฐานที่อาจจำเป็นต้องมีการศึกษาในคนไทยและทำการศึกษาเพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ทั้งนี้การพิจารณาค่ามาตรฐานควรพิจารณาค่ามาตรฐานที่ดีที่สุดในการปกป้องสุขภาพของประชาชนแม้ในกลุ่มที่เสี่ยงที่สุด (เช่นเดียวกับค่า guideline ขององค์การอนามัยโลก)
3. หลังจากนั้นการพิจารณาความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติควรปล่อยให้หน่วยงานที่มีหน้าที่กำหนดค่ามาตรฐานตามกฎหมาย ซึ่งจะต้องพิจารณาหลักเกณฑ์หลายๆ ประการ เช่น ความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ ความพร้อมด้านเครื่องมือและเทคโนโลยี ความคุ้มค่าเกี่ยวกับต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้ (cost-effectiveness) ฯลฯ รวมทั้งอาจต้องพิจารณากระจายอำนาจการตัดสินใจในการพิจารณาปรับค่ามาตรฐานให้กับท้องถิ่น เพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานที่ตรงกับความต้องการของชุมชนมากที่สุด
4. ควรมีการรณรงค์สร้างความตระหนักถึงความสำคัญของค่ามาตรฐาน รวมทั้งความหมายและการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน สิ่งนี้เป็นปัจจัยที่สำคัญในการดึงภาคประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดทำค่ามาตรฐานในอนาคต อันจะนำไปสู่การพัฒนาแบบยั่งยืน
5. ควรจะได้มีการบรรจุเรื่องการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนในการจัดทำค่ามาตรฐานเข้าเป็นประเด็นหนึ่งในสมัชชาสุขภาพแห่งชาติหรือมีการกำหนดไว้ในพระราชบัญญัติสุขภาพแห่งชาติ เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนทางสังคมให้มีการดำเนินการกำหนดค่ามาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย รวมทั้งการบังคับใช้ให้เป็นไปตามกฎหมายได้จริงและเป็นที่ยอมรับแก่ทุกฝ่าย

เอกสารอ้างอิง

- Benoit Lapland and Craig Meisner. Estimating conventional industrial water pollution in Thailand. September 2001.
- Cohrssen JJ, Covello VT, Risk analysis: a guide to principles and methods for analyzing health and environmental risks. Washington, D.C.: Council on Environmental Quality, Executive Office of the President, 1989: 5–36.
- Cooper K, Vanderlinden L, McClenaghan T, Keenan K, Khatter K, Muldoon P, et. al. Environmental Standard Setting and Children's Health. Available: http://www.cela.ca/ch_health/CHP.pdf. (August 20, 2002).
- Covello VT, Merkhofer MW, Risk assessment methods: approaches for assessing health and environmental risks. New York: Plenum Press, 1993: 1–172.
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Report of the expert group meeting on emission monitoring and estimation. 27-29 January 1999, Niigata, Japan.
- Environmental standards. In: El-Shaarawi AH, Piegorsch WW, eds. The encyclopedia of environmetrics. Available: <http://www.wiley.co.uk/wileychi/eoenv/pdf/Vas055-.pdf>. (August 20, 2002).
- Hallenbeck WH, Quantitative risk assessment for environmental and occupational health. Chelsea: Lewis Publishers, 1993:63–126.
- Hendee WR. Public perception of radiation risks. In: Young JP, Yalow RS, eds. Radiation and public perception: benefits and risks. Washington, DC: American Chemical Society, 1995:13-22.
- Hester RE, Harrison RM. Air pollution and health. UK: Redwood Books Ltd., 1998.
- Jitendra J.Shah, Tanvi Nagpal, carter J. Brandon. Urban air quality management strategy in asia. the world bank, Washington D.C.
- Narong Chayakul, Pornpis Silkavute. Thailand's country profile for chemical safety.
- National Environment Protection Council. Report of the risk assessment taskforce. October 2000.
- Notification of the Ministry of Industry , No.1 B.E. 2540 (1997) issued under factory Act B.E. 2535 (1992), dated January 11, B.E. 2540 (1997), Published in the Royal Government Gazette, Vol.114, part 6D dated January 30, B.E. 2540 (1997).

Notification of the Ministry of Industry No.2, B.E.(1993), issued under factory Act B.E. 2535(1992), data July 20, B.E.2536 (1993), published in Royal Government Gazette, Vol.109, Part 108, dated October 16, B.G.2536 (1993).

Notification of the Ministry of Industry No.3, B.E. 2539 (1996), for Factory in Bangkok and sanest Prakarn, dated September 12, B.E. 2539 (1996).

Notification of the Ministry of Industry No.9, B.E. 2538(1995,) Vol.109, part 108, dated September 6, B.E. 2538 (1995).

Notification of the Ministry of Interior regarding safety in the use of hazardous chemicals, issued under the announcement of the Revolutionary Party, No.103, Dated August 22, B.E. 2534(1991), Published in the Royal Government Gazette, Vol.108, part 167, dated September 24, B.E. 2534 (1991).

Notification of the Ministry of Interior, issued under the announcement of the Revolutionary Party, No.103, Dated May 30, B.E. 2520(1977).

Notification of the Ministry of Interior, issued under the announcement of the Revolutionary Party, No.103, Dated November 12, B.E. 2519(1976), Published in the Royal Government Gazette, Vol.93, part 148, dated November 30, B.E. 2519(1976).

Notification of the Ministry of Science, Technology and Environment. Dated December 25 B.E.2538 (1995), Published in the Royal Government Gazette, Vd.113, part 9D dated January 30, B.E. 2539 (1996).

Notification of the Ministry of Science, Technology and Environment. Dated December 20, B.E. 2539 (1996).

Notification of the Ministry of Science, Technology and Environment. Dated June 17, B.E. 2540 (1997).

Notification of the Ministry of Science, Technology and Environment. No.2,Dated June 17, B.E. 2539 (1996), Published in the Royal Government Gazette, Vol.114, part 76D dated September 23, B.E. 2540 (1997).

Notification of the Ministry of Science, Technology and Environment. No.3,Dated June 23, B.E. 2540 (1997), Published in the Royal Government Gazette, Vol.114, part 76D dated September 23, B.E. 2540 (1997).

Notification of the Mo I, No.1 B.E. 2540 (1997) issued under Factory Act B.E.2535 (1992), Dated January 11, B.E. 2540 (1997), Published in the Royal Government Gazette, Vol.114, part 6D dated January 21, B.E. 2540 (1997).

Notification of the National Environment Board, No.10, B.E. 2538 (1995), Dated April 17, B.E. 2538 (1995).

Notification of the National Environment Board, No.15, B.E. 2540 (1997), Dated March 12, B.E. 2540 (1997).

Productivity Commission. Arrangements for setting drinking water standards: international benchmarking. April 2000.

Richter Dau, Williams WP. Assessment and management of urban air quality in Europe. Germany, 1998.

Rodricks JV, Calculated risks: understanding the toxicity and human health risks of chemicals in our environment. New York: Cambridge University Press, 1994: 158–179.

Singleton R, Castle P, Short D, Environmental assessment. London: the Authors and Thomas Telford Ltd., 1999.

UK Department for Environment Food and Rural Affairs. Air quality: the air quality strategy. Available : <http://www.defra.gov.uk/environment/statistics/des/airqual/ch021619.htm> (Oct 21, 2002).

US Environmental Protection Agency. Air quality planning & standards. Available : <http://www.epa.gov/cgi-bin/epaprintonly.cgi> (Jan 21, 2003).

US Environmental Protection Agency. Current drinking water standards. Available : <http://www.epa.gov/OGWDW/mcl.html> (Jan 20, 2003).

US Environmental Protection Agency. National ambient air quality standards (NAAQS). Available : <http://www.epa.gov/airs/criteria.html> (Oct 22, 2002).

US Environmental Protection Agency. Setting standards for safe drinking water. Available: <http://www.epa.gov/OGWDW/standard/setting.html> (January 20, 2003).

US. EPA., Guidance for risk characterization, <http://www.epa.gov/ordntrnt/ORD/spc/rcguide.htm>.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย. ก.ค. 2543.

ศูนย์บริหารกฎหมายสาธารณสุข กรมอนามัย. รวมพระราชบัญญัติที่เกี่ยวข้องกับการสาธารณสุขสิ่งแวดล้อม.

แสงสันต์ พานิช. การจัดการคุณภาพอากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.

สำนักงานนโยบายและแผน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535. Available: http://www.oepp.go.th/prapra2535_1.html (31 สิงหาคม 2546).

สำนักงานนโยบายและแผน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. นโยบายและแผนการส่งเสริม
และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. Available: <http://www.oepp.go.th/policy/policy1.html> (31
สิงหาคม 2546).

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 12 รายชื่อผู้ให้ข้อมูลการจัดทำมาตรฐานสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

มาตรฐาน	ผู้ให้ข้อมูล
1. มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค	อาจารย์นันทนา สันตจิตติ อดีตผู้อำนวยการกองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย
2. มาตรฐานความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน	คุณจุฑาพนิต บุญดีกุล หัวหน้าฝ่ายประสานงานคณะกรรมการและติดตามผล สำนักงานคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน และสวัสดิการสังคม
3. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป	คุณสุภาพ จันทร์หงษ์ นักวิชาการสิ่งแวดล้อม กองจัดการคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. มาตรฐานด้านเสียงและความสั่นสะเทือน	คุณนิภาภรณ์ เอี่ยมสังวาลย์ นักวิชาการสิ่งแวดล้อม กองจัดการคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	คุณพิมล จิระวิทยานุกูล นักวิชาการสิ่งแวดล้อม กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. มาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด	คุณสุวิมล นักวิชาการสิ่งแวดล้อม กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
7. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง กำหนดปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่อง	คุณสุนารี คิลกานนท์ นักวิทยาศาสตร์ สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม
8. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	ผู้อำนวยการส่วนรับรองหน่วยรับรอง สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
9. มาตรฐาน กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ	นายสัมฤทธิ์ ชูชนะทัศน์ รักษาการเจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน 7 กลุ่มพัฒนาระบบบริหาร กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี