

แน่ใจหรือว่า...วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คือ คำตอบของการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

อนุวัฒน์ แสงอ่อน*

บทความนี้แปลและเรียบเรียงมาจากส่วนหนึ่งของบทความที่ดีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการ Ecological Economics ฉบับที่ 37 เรื่อง Can pollution problems be effectively solved by environmental science and technology? An analysis of critical limitations โดย Michael H. Huesemann วัตถุประสงค์เพื่อเปิดมุมมองในอีกด้านหนึ่งเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันกลายเป็นเรื่องใหญ่ใกล้ตัวที่ไม่อาจมองผ่านเพียงเพราะเห็นแก่การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ การมองปัญหาอย่างขาดความลึกซึ้งหวังให้วิทยาศาสตร์มาช่วยแก้ปัญหามลพิษอันเป็นผลพวงจากการพัฒนานั้นหากได้อ่านบทความนี้เราอาจต้องหันกลับมาทบทวนความคิดดังกล่าวกันเสียใหม่

บทนำ

“ความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อมที่เป็นผลมาจากเทคโนโลยีนั้นเป็นปัญหาทางเทคนิคที่เทคโนโลยีได้ค้นพบและกำลังค้นหาทางแก้ไขและจะหาต่อไปอย่างต่อเนื่อง” แม้คำพูดประโยคนี้อาจถูกกล่าวมานานกว่า 30 ปีทว่าปัจจุบันความเชื่อที่ว่าเทคโนโลยีเป็นทั้งต้นตอและทางออกของปัญหาสิ่งแวดล้อมก็ยังคงอยู่เช่นนั้น ไม่เปลี่ยนแปลง ในความเป็นจริงช่วงเวลาสามทศวรรษที่ผ่านมาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ทุ่มเทความพยายามมหาศาลในอันที่จะทำความเข้าใจสถานะความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมและพัฒนาเทคโนโลยีในการแก้ไขฟื้นฟูผลกระทบอันเกิดจากมลภาวะ อาจกล่าวได้ว่างบประมาณหลายล้านบาทถูกใช้ไปกับการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและอีกหลายล้านบาทที่จะถูกใช้ไปอีกในอนาคต

แม้ว่าจะมีความพยายามอย่างเข้มข้นในการปกป้องสิ่งแวดล้อม คำถามกลับเกิดขึ้นว่าด้วยแนวทางของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในปัจจุบันการแก้ไขวิกฤตปัญหาสิ่งแวดล้อมจะเป็นไปได้ อย่างมีประสิทธิภาพจริงหรือ สาเหตุเพราะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันตั้งอยู่บนสมมติฐานที่มีความน่ากังขา ในเรื่องความสมเหตุสมผล 2 ประการ คือ

*อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์



1. วิทยาศาสตร์สามารถสนับสนุนความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติอย่างเพียงพอต่อการแก้ไขและป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม

2. เทคโนโลยีในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมสามารถกำจัดมลภาวะโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบใด ๆ ต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่อื่น ๆ

เป็นเรื่องน่าแปลกใจที่นักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและวิศวกรสิ่งแวดล้อมไม่เคยตั้งคำถามกับความสมเหตุสมผลของสมมติฐาน 2 ประการนี้ ทั้งที่ข้อเท็จจริงมีอยู่ว่างานของพวกเขาจะประสบความสำเร็จหรือไม่ขึ้นกับความถูกต้องแม่นยำของสมมติฐานเหล่านี้ นอกจากนี้ยังปราศจากเอกสารหลักฐานที่เกี่ยวกับการตรวจสอบสมมติฐานเหล่านี้ว่าเป็นจริงเป็นจัง วัตถุประสงค์ของบทความนี้จึงต้องการวิพากษ์สมมติฐานทั้ง 2 ประการและสร้างความเข้าใจข้อจำกัดในตัวเองของวิธีการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

แนวคิดแบบกลไก (mechanistic) และแบบลดทอน (reductionist) ของวิทยาศาสตร์เป็นข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลที่ถูกต้องและสมบูรณ์เกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อม

เป็นเวลากว่า 300 ปีแล้วที่วัฒนธรรมตะวันตกของยุโรปและอเมริกาเหนือได้ให้ความสำคัญอย่างยิ่งवादแก่การทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อทำความเข้าใจธรรมชาติและจักรวาลให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น การตระหนักว่าการสนับสนุนวิทยาศาสตร์ไม่ใช่เพียงเพื่อเพิ่มพูนองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อความไพบูรณ์ของศาสตร์นี้เพียงประการเดียวแต่เพราะวิทยาศาสตร์มีศักยภาพในการพัฒนาสิ่งที่วัฒนธรรมตะวันตกให้นิยามว่า “คุณภาพชีวิต (quality of life)” ด้วย อ้างอิงจากคำกล่าวของ Eugene Schwartz ว่า “จุดมุ่งหมายสำคัญของความรู้* สำหรับฟรานซิส เบคอน (Francis Bacon) และท่านอื่นๆ ในสายวิทยาศาสตร์ก่อนหน้านี้คือเป้าหมายแบบอรรถประโยชน์ที่จะยกระดับภาวะความเป็นอยู่ของมนุษย์ โดยการบรรเทาทุกข์และเพิ่มพูนความสุข โยนัทศนคติของนักปรัชญากรีกที่ว่าความรู้เป็นเพียงสิ่งสนองความพึงพอใจทางปัญญาออกไป เบคอนนิยามเป้าหมายที่แท้จริงของวิทยาศาสตร์ว่า “เป็นความสามารถของชีวิตมนุษย์ที่จะสร้างสิ่งประดิษฐ์และความมั่งคั่งร่ำรวย” เขาเรียกร้องให้ “สถาปนาและแผ่ขยายอำนาจและการปกครองของเผ่าพันธุ์มนุษย์เหนือจักรวาล”

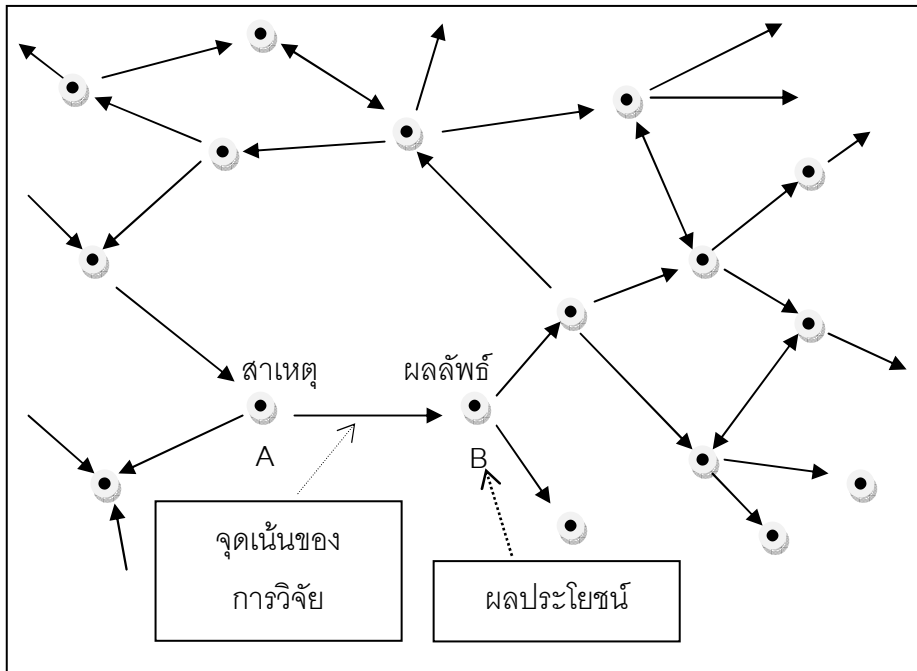
*คำว่า “วิทยาศาสตร์” ในภาษาอังกฤษ คือ “science” ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษาละตินที่แปลว่า “ความรู้” ดังนั้น คำว่า “ความรู้” ในที่นี้จึงมีความหมายเท่ากับ “วิทยาศาสตร์” -ผู้แปล



วิทยาศาสตร์สมัยใหม่นับแต่จุดเริ่มต้นมาหาใช้ศาสตร์ที่ปลอดจากค่านิยม (free value) และไม่เคยเป็นความจริงเชิงประวิสัย* (objective) ตรงกันข้ามการค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ที่ผ่านมา และที่จะมีต่อไปถูกกระตุ้นโดยความต้องการของสังคมที่จะเพิ่มพูนภาวะความเป็นอยู่และเพื่อทำให้ผู้คนจำนวนมากที่สุดได้รับความสุขตามแนวคิดอรรถประโยชน์นิยม (utilitarianism) ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ถูกแปรสภาพเกือบจะทันทีทันใดด้วยความช่วยเหลือจากวิศวกรให้กลายเป็นเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ ช่วยเติมเต็มความคาดหวังของสังคมอย่างไม่มีอะไรต้องแปลกใจ ด้วยแนวคิดแบบกลไก และแนวคิดแบบลดทอนงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์จึงมีสมมติฐานแฝงอยู่ 2 ประการ กล่าวคือ ธรรมชาติมีลักษณะการทำงานคล้ายกับเครื่องจักรกลและความซับซ้อนของธรรมชาติ (complexity) สามารถทำความเข้าใจได้โดยการศึกษาสมบัติของส่วนประกอบต่าง ๆ แยกเป็นอิสระจากกัน ดังที่ Longino กล่าวว่า “งานวิจัยเชิงกลไก (mechanistic research) เป็นที่ชื่นชมเพราะสามารถเผยแสดงธรรมชาติได้” เหมือนกับที่ Sarewitz สรุปไว้ว่า “งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์เชิงลดทอนช่วยบุกเบิกเส้นทางสู่โลกยุคหลังอุตสาหกรรม (post-industrial) ด้วยการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่สามารถแยกแยะ เผยแสดง และนำไปประยุกต์ใช้การ”

รูปที่ 1 แสดงกรอบคิดของการวิจัยเชิงกลไกและเชิงลดทอนที่พุ่งความสนใจไปที่ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์ที่แยกตัวเป็นอิสระเพื่อแสวงหาประโยชน์บางประการจากธรรมชาติ โดยทั่วไปหลังจากความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์ได้ถูกเปิดเผยโดยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ความพยายามที่จะเพิ่มผลลัพธ์ที่เป็นที่ต้องการก็เกิดขึ้นโดยการจัดการกับปัจจัยที่เป็นตัวสาเหตุ แต่ว่าธรรมชาติที่แท้จริงประกอบขึ้นมาจากเครือข่ายขนาดใหญ่ที่เกิดจากการเชื่อมโยงกันของสาเหตุและผลลัพธ์จำนวนมาก การเร่งให้เกิดผลลัพธ์ใดผลลัพธ์หนึ่งจึงส่งผลให้เกิดบางอย่างที่ไม่คาดคิดขึ้นในจุดอื่นของระบบหรือในอนาคตข้างหน้า ผลลัพธ์ที่คาดไม่ถึงเหล่านี้นับบ่อยครั้งที่ปรากฏเป็นมลภาวะสิ่งแวดล้อมหรือการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศที่หลากหลาย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า วิทยาศาสตร์ตะวันตกนั้นเป็นตัวเร่งการผลาญใช้ธรรมชาติจนกลายเป็นสาเหตุสำคัญของวิกฤตการณ์สิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

*ประวิสัย หรือ วัตถุวิสัย (objectivity) คือ สิ่งที่มีพื้นฐานอยู่บนข้อเท็จจริง เจื่อนใจที่เป็นความจริง โดยไม่ขึ้นอยู่กับจิตใจ นั่นคือผลของการตัดสินใจ ๆ จะไม่ขึ้นอยู่กับความคิดเห็นและความรู้สึก-ผู้แปล



ภาพประกอบที่ 1 การวิจัยเชิงกลไกและเชิงลดทอนมุ่งความสนใจไปที่สาเหตุและผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ระหว่าง A – B โดยไม่สนใจผลกระทบและปฏิสัมพันธ์อื่น ๆ ทั้งหมด

โชคไม่ดีที่นักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมหาได้ตระหนักถึงข้อจำกัดในตัวเองของระเบียบวิธีวิจัยในการแก้ปัญหาละเลยสิ่งแวดล้อมของตน ดังที่ Sarewitz เขียนไว้ว่า “วิทยาศาสตร์เชิงลดทอนสมัยใหม่เกิดขึ้นมาเพื่อสร้างความกระฉ่งแจ้งในความซับซ้อนของธรรมชาติ และเอาชนะมัน ทว่าแม้แต่นักวิทยาศาสตร์ที่มุ่งมั่นทุ่มเทให้กับการทำความเข้าใจและเปลี่ยนแปลงวิกฤตทางนิเวศวิทยาที่อาจปฏิเสธความคิดที่ว่าบทบาทของวิทยาศาสตร์เองนั้นมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดวิกฤตดังกล่าว” Commoner ก็เชื่อเช่นเดียวกันว่า “ระเบียบวิธีเชิงลดทอนซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของงานวิจัยสมัยใหม่ไม่ใช่วิธีที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ระบบธรรมชาติที่ยิ่งใหญ่อันกำลังถูกคุกคามด้วยความเสื่อมโทรม” นอกจากนี้ก็ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ยุคหลังของ Funtowicz และ Ravetz ที่ชี้ว่า “...ระเบียบวิธีสำหรับการจัดการกับปัญหาที่ไม่เคยพบเจอมาก่อนอาจทำได้ไม่ดีเท่ากับเวลาที่สร้างปัญหาเหล่านั้นขึ้นมาความสำเร็จส่วนใหญ่ของวิทยาศาสตร์แบบเดิมขึ้นกับอำนาจของมันในการอธิบายสิ่งที่ยังไม่มีใครรู้แน่ชัด... ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ผู้เชี่ยวชาญนำเราไปสู่ความสับสนของนโยบายซึ่งตัวเองก็ไม่อาจแก้ไขได้ เราไม่เพียงแต่สูญเสียการควบคุมเรายังสูญเสียความสามารถในการคาดคะเน



ว่าจะเกิดอะไรขึ้นต่อไปจากนี้ด้วย เวลานี้เรากำลังเผชิญกับความไม่แน่นอนและความไม่รู้ที่แผ่ไปทั่ว รวมทั้งความไม่มั่นใจในเรื่องจริยธรรมของนโยบายที่มาจากความคิดแบบวิทยาศาสตร์”

คำถามจึงเกิดขึ้นว่าในเมื่อวิทยาศาสตร์มีความโน้มเอียงอย่างแรงกล้าในการจะเข้าไปใช้ประโยชน์จากธรรมชาติแล้ววิทยาศาสตร์จะให้ข้อมูลที่ถูกต้องและสมบูรณ์เพียงพอในการปกป้องธรรมชาติไว้จากผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการเข้าไปใช้ประโยชน์หรือในกรณีของการแก้ไขผลกระทบจากมลภาวะในอดีตหรือการป้องกันความเสียหายของสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตเราจำเป็นต้องทำความเข้าใจทุกความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ที่เป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ เพราะหากมีความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลลัพธ์อันใดอันหนึ่งถูกเพิกเฉยไปในขั้นตอนการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ วันหนึ่งข้างหน้าเราอาจพบว่าความสัมพันธ์นั้นก่อหายนะมหาศาลแก่สภาพแวดล้อม ตัวอย่างที่ดีอันหนึ่งคือการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานทั้งในทางอุตสาหกรรมและการขนส่ง เป็นเวลานานหลายปีที่นักวิจัยให้ความสนใจกับการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในขณะที่ผลกระทบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) กลับไม่มีใครกล่าวถึงจนเมื่อไม่นานนี้ที่ปริมาณก๊าซดังกล่าวในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นกลายเป็นที่มาของปัญหาภาวะโลกร้อน (global warming) อะไรจะเกิดขึ้นหากนักวิจัยรู้เรื่องนี้ช้าไปอีก 50 ปี เมื่อนั้นเราอาจไม่มีหนทางแก้ไขอะไรได้อีก (สมมติว่าปัจจุบันปัญหาโลกร้อนยังมีทางแก้) แล้วขณะนี้ยังมีความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์ใดอีกที่พร้อมจะก่อให้เกิดวิกฤตได้ทุกเมื่อแต่เรากลับมองข้ามไป

ระเบียบวิธีทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันให้ความรู้กับเราเกี่ยวกับการทำงานของธรรมชาติ ทั้งระบบน้อยมากจะมีก็เพียงแค่บางส่วนของธรรมชาติที่ถูกเลือกมาค้นคว้าวิจัย ด้วยแนวคิดเชิงกลไกและเชิงลดทอนของวิทยาศาสตร์ทำให้เห็นแน่ชัดว่าเราไม่มีวันเข้าใจความเชื่อมโยงสัมพันธ์กันของโลกธรรมชาติทั้งหมด ตัวอย่างเช่น การระบุผลเสียทั้งหมดของสารเคมีสังเคราะห์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องเป็นไปได้ งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์นับจากอดีตจนถึงปัจจุบันมุ่งเน้นเพียงสารเคมีบางตัวและศึกษาเฉพาะผลกระทบของสารเหล่านั้นต่อสิ่งมีชีวิตเพียงบางชนิดหรือบางอวัยวะของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น ในทางทฤษฎีหากเราต้องการทราบผลกระทบทั้งหมดของสารเคมีสังเคราะห์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เราจำเป็นต้องทำการทดสอบผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสารนั้น ทั้งที่อยู่ในรูปสารบริสุทธิ์หรือเมื่อสารนั้นผสมกับสารอื่น และกับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด แต่ในทางปฏิบัติสิ่งเหล่านี้เป็นไปได้ไม่ได้เนื่องจาก (1) การตรวจหาผลกระทบมีข้อจำกัดที่เทคนิควิธีในการตรวจสอบ (เช่น อิทธิพลของสารประกอบคลอรีนที่รบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ (endocrine disruption) กว่าจะสามารถตรวจสอบได้ก็ผ่านไประยะถึง 50 ปีเนื่องจากยังไม่มีวิธีการค้นพบวิธี biological assays ซึ่งใช้ตรวจสอบ



การรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ) (2) การทดสอบสารเคมีทุกชนิดและทุกส่วนผสมต่าง ๆ กัน ต้องใช้งบประมาณมากเกินไป (3) มีสิ่งมีชีวิตบนโลกหลายล้านชนิดและมีอีกมากมายที่ยังไม่ถูกค้นพบ และ (4) ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตรุ่นต่อ ๆ ไปไม่สามารถตรวจวัดหรือพยากรณ์ได้

พิจารณารายงานการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์จำนวนมากที่ถูกศึกษา ความเข้าใจในความสัมพันธ์เหล่านี้แม้จะมีความสำคัญต่อมนุษย์ แต่ไม่สามารถให้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการปกป้องธรรมชาติ ดังนั้นวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมในปัจจุบันให้ความสำคัญแต่เฉพาะการปกป้องสุขภาพและความเป็นอยู่ของมนุษย์เท่านั้น Ehrenfeld เชื่อว่า “ไม่มี การปกป้องธรรมชาติจริง ๆ หรือในระบบมนุษยนิยม – มีแต่ความคิดที่ขัดแย้งในตัวเอง”

กฎทรงมวล : ข้อจำกัดของเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษด้วยวิธีทางกายภาพ

กฎทรงมวล (conservative of mass) ถูกกล่าวถึงในกฎข้อ 2 ทางนิเวศวิทยาของ Barry Commoner : “ทุกสิ่งทุกอย่างต้องไปที่ไหนสักที่” ดังนั้นมลพิษที่ไม่ได้ถูกแปรสภาพด้วยปฏิกิริยาเคมี หรือกระบวนการทางชีววิทยาจะต้องยังคงค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมและมวลของมันจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เทคโนโลยีการบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพหลายอย่างพยายามลดความเสี่ยงที่เกิดจากสารมลพิษด้วยการ (1) จำกัดการกระจายตัวของสารปนเปื้อน (เช่น การฝังกลบขยะ) (2) ลดความเป็นพิษด้วยการเจือจาง (เช่น ปล่องควันโรงงาน) หรือ (3) การเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง (เช่น การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการไล่ก๊าซด้วยอากาศ (air-stripping))

เนื่องจากมวลทั้งหมดของมลพิษไม่ได้ถูกลดด้วยเทคโนโลยีการบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพ ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีนี้ในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมจึงน่ากังขา เห็นได้ชัดว่าเทคโนโลยีนี้เป็นการเคลื่อนย้ายความเสี่ยงจากพื้นที่หนึ่งไปยังพื้นที่อื่นหรือจากปัจจุบันไปสู่อนาคต เช่น การฝังกลบขยะเพื่อจำกัดการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในเวลาปัจจุบัน แต่ความสมบูรณ์ของหลุมฝังกลบขยะจะได้รับการดูแลไปได้ยาวนานเพียงใด อนาคตข้างหน้าสารปนเปื้อนที่อยู่ในหลุมฝังกลบนั้นอาจแพร่กระจายกลับสู่สิ่งแวดล้อมและก่ออันตรายแก่คนในเวลานั้นได้

หลักการพื้นฐานในการเลือกใช้เทคโนโลยีการบำบัดด้วยวิธีเจือจางหรือวิธีเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง คือ การทำให้มลพิษนั้นมีความเป็นพิษน้อยลง หลักการนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่อ่อนมากหากพิจารณาว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์เชิงกลไกและเชิงลวดทอนนั้นไม่ได้ให้ความกระจ่างทั้งหมดกับเราเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของมลพิษแต่ละชนิด เช่น การเจือจางสารมลพิษอาจลดความเสี่ยงที่เป็นผลแบบเฉียบพลันและสังเกตได้ลงไป แต่อาจเพิ่มความน่าจะเป็นของการเกิดผลกระทบแบบเรื้อรังที่เรายังไม่ทราบในปัจจุบันหรือยากเกินไป



ที่จะตรวจสอบ เช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายมลพิษที่เราไม่อาจแน่ใจได้ว่าการทำเช่นนั้นจะส่งผลให้ ความเสี่ยงในภาพรวมลดลงจริง สิ่งที่จะเป็นไปได้มากที่สุดคือเราทราบความเป็นพิษของสารนั้น ในตัวกลางหนึ่งเป็นอย่างดี (เช่น สารประกอบคลอรีนที่ใช้เป็นตัวทำละลายปนเปื้อนในน้ำบาดาลที่ใช้ ผลิตน้ำดื่ม) แต่เรามีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับสารตัวเดียวกันในตัวกลางที่เราเคลื่อนย้ายมลพิษไปสู่ (เช่น สารประกอบคลอรีนที่ใช้เป็นตัวทำละลายที่แพร่ไปในอากาศ)

สรุปก็คือ เทคโนโลยีการบำบัดมลพิษด้วยวิธีทางกายภาพไม่ใช่เครื่องมือแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่มีประสิทธิภาพเพราะเทคนิคดังกล่าวเคลื่อนย้ายความเสี่ยงจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หรือจากปัจจุบันไป เป็นอนาคต เทคโนโลยีการบำบัดมลพิษด้วยวิธีทางกายภาพมีประสิทธิภาพเฉพาะเมื่อเราไม่สนใจ ความเสี่ยงที่ถูกเคลื่อนย้ายไปหรือเมื่อเราไม่สนใจว่าจะเกิดอะไรขึ้นในที่อื่นหรือเวลาอื่น

เทคโนโลยีการบำบัดมลพิษทุกวิธีไม่สามารถหลีกเลี่ยงผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ตามกฎข้อ 2 ของอุณหพลศาสตร์

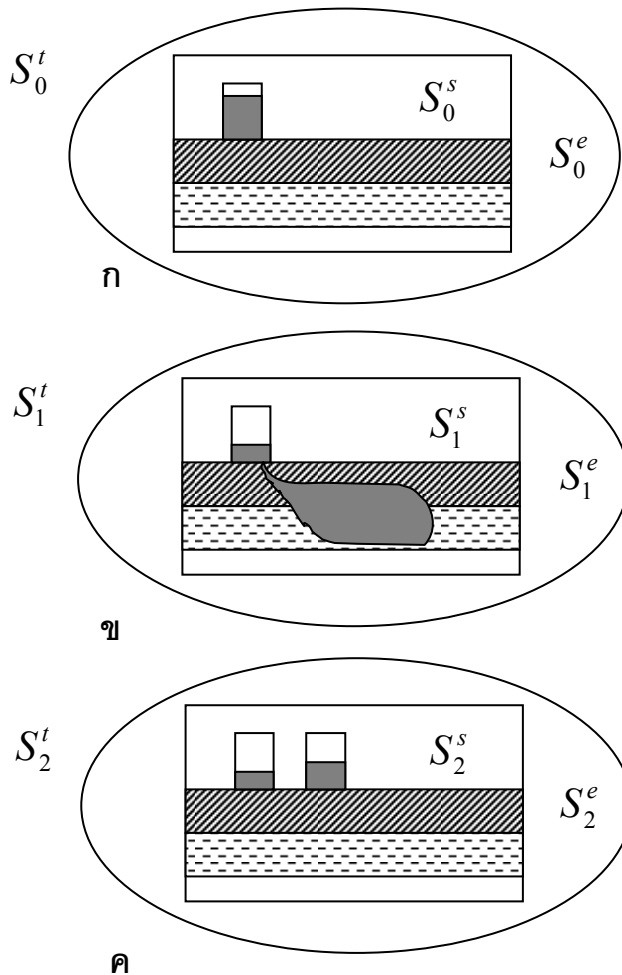
กฎข้อ 2 ของอุณหพลศาสตร์ระบุว่าเอนโทรปี (Entropy, S) ทั้งหมดของระบบปิดต้องเพิ่มขึ้น เสมอตามเวลา เนื่องจากว่าเอนโทรปีสามารถเชื่อมโยงกับความยุ่งเหยิง (chaos) หรือความไร้ระเบียบ (disorder) ของระบบตามสมการของ Boltzmann ซึ่งเท่ากับว่าความไร้ระเบียบต้องเพิ่มขึ้นในระบบปิด กฎข้อ 2 ของอุณหพลศาสตร์สามารถอธิบายว่าทำไมเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษทุกวิธีไม่สามารถ หลีกเลี่ยงผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมได้

พิจารณาจากตัวอย่างต่อไปนี้ ปัญหาที่พบทั่วไปของการกำจัดสารปนเปื้อนอินทรีย์ที่มี การกระจายตัวสูง เช่น เบนซีน (Benzene) หรือสารประกอบคลอรีนในน้ำใต้ดิน รูปที่ 2ก แสดงให้เห็น เอนโทรปีทั้งหมด (S'_0) ของระบบปิดก่อนเกิดมลภาวะ ($t = 0$) ซึ่งเป็นผลรวมของเอนโทรปีของระบบ ย่อย (S_0^s) (ประกอบด้วยถังบรรจุสารเคมี ชั้นดินและชั้นหินกักเก็บน้ำสะอาด) และเอนโทรปี ของสิ่งแวดล้อมโดยรอบ (S_0^e) เมื่อเกิดการรั่วไหลของสารเคมีจากถังและแพร่กระจายลงสู่ชั้นดิน และละลายลงในน้ำใต้ดิน (รูปที่ 2ข) เอนโทรปี (ความไร้ระเบียบ) ของระบบย่อยเพิ่มขึ้นเป็น S_1^s เนื่องจากสิ่งแวดล้อม (บริเวณที่อยู่นอกกล่องสี่เหลี่ยม) ไม่ได้รับผลกระทบ ทำให้เอนโทรปี S_1^e ยังคง ไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมคือ S_0^e แต่ตามกฎข้อ 2 ของอุณหพลศาสตร์เอนโทรปีทั้งหมด ($S'_1 = S_1^s + S_1^e$) ของระบบปิดย่อมเพิ่มขึ้นอันเป็นผลจากการเกิดมลภาวะขึ้น

เมื่อมีการบำบัดมลพิษเสร็จเรียบร้อยแล้วจะด้วยวิธีสูบน้ำบำบัด (pump and treat) (รูปที่ 2 ค) มลพิษที่กระจายตัวถูกกำจัดออกจากดินและชั้นหินกักเก็บน้ำ ถูกทำให้เข้มข้นขึ้น (concentrated) และ



บรรจุไว้ในถังใบที่สองเพื่อนำไปบำบัดหรือกำจัดต่อไป ในมุมมองของอุณหพลศาสตร์การกำจัดมลพิษ คือ การเปลี่ยนสภาพแวดล้อมที่มีเอนโทรปีสูง และไร้ระเบียบให้กลับมามีสภาพเดิมที่มีเอนโทรปีต่ำ (ดังรูปที่ 2ก) หรือกล่าวได้ว่าระหว่างการบำบัดเอนโทรปีของระบบย่อยที่มีการปนเปื้อนถูกทำให้ลดลง จาก S_1^s เป็น S_2^s คำถามเกิดขึ้นตรงนี้ว่าเอนโทรปีของระบบย่อยลดลงได้อย่างไรจึงจะไม่ขัด กับกฎข้อ 2 ของอุณหพลศาสตร์?



ภาพประกอบที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปีของระบบย่อย (S^s) และสิ่งแวดล้อม (S^e) จากสถานะเริ่มต้นสะอาด (ก) เกิดมลภาวะ (ข) และสุดท้ายสถานะหลังได้รับการบำบัด (ค) ดังที่อธิบายเพิ่มเติมในบทความ



เขียนแสดงเป็นสัญลักษณ์ได้ว่า : $S_2' > S_1' > S_0'$; $S_1^s > S_0^s$; $S_2^s < S_1^s$; $S_2^e > S_1^e = S_0^e$

จากกฎข้อ 2 ของอุณหพลศาสตร์ เอนโทรปีของระบบต้องเพิ่มขึ้นจาก S_1' เป็น S_2' นั่นคือ

$$S_2' > S_1' \quad \dots\dots\dots (1)$$

เนื่องจาก $S' = S^e + S^s$ จะได้ว่า

$$S_2^e + S_2^s > S_1^e + S_1^s \quad \dots\dots\dots (2)$$

จัดเรียงสมการที่ (2) ใหม่ และนิยามให้การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปีในสิ่งแวดล้อม และในระบบย่อยเป็น $\Delta S^e = S_2^e - S_1^e$ และ $\Delta S^s = S_2^s - S_1^s$ ตามลำดับ จะได้ว่า

$$\Delta S^e > -\Delta S^s \quad \dots\dots\dots (3)$$

ดังนั้น การบำบัดมลพิษสามารถทำให้เกิดความเป็นระเบียบ (order) ในระบบย่อย ($-\Delta S^s$) ได้ ต้องแลกมาด้วยความไม่เป็นระเบียบ (disorder) ของสิ่งแวดล้อม (ΔS^e)

เหตุผลหลักที่ว่าทำไมความไม่เป็นระเบียบในสิ่งแวดล้อมจึงเกิดขึ้นจากการบำบัดมลพิษ ก็เพราะในกิจกรรมดังกล่าวมีการใช้พลังงาน การนำพลังงานมาใช้ตามหลักการอุณหพลศาสตร์ คือ การเปลี่ยนรูปสสารที่มีเอนโทรปีต่ำ (เช่น ถ่านหิน น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ แร่ยูเรเนียม) เป็นของเสียที่มีเอนโทรปีสูง (คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรสออกไซด์ สารกัมมันตรังสี ความร้อน) เนื่องจากการสร้างผลิตพลังงานเกิดขึ้นนอกระบบย่อย เอนโทรปีสุทธิจึงเพิ่มขึ้นในสิ่งแวดล้อม ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบที่ไม่พึงปรารถนา

อาจมีคำถามตามมาว่า แล้วเอนโทรปีเกี่ยวข้องกับอย่างไรกับมลภาวะสิ่งแวดล้อม? เหตุผลก็เพราะว่าเอนโทรปีนั้นถูกใช้ในการวัดความยุ่งเหยิงหรือความไร้ระเบียบจึงไม่เป็นที่แปลกใจว่ามีการศึกษาการวัดเอนโทรปีที่เพิ่มขึ้นเพื่อใช้อบกระดั้บการเกิดมลภาวะ เช่น Kummel (1989) ใช้เอนโทรปีเป็นตัวชี้วัดมลภาวะในแบบจำลองเศรษฐศาสตร์มหภาค และ Faber และคณะ (1995) เสนอความสัมพันธ์ของมลภาวะกับเอนโทรปีที่เพิ่มขึ้นจากการแพร่กระจายและปฏิกิริยาของสารปนเปื้อนเพื่อใช้วัดระดับของมลภาวะ

การรั่วไหลของสารเคมีชนิดหนึ่งทำให้เอนโทรปีเพิ่มขึ้นได้จากกลไกพื้นฐาน 2 อย่าง คือ การแพร่กระจายทางกายภาพ (physical dispersion) และปฏิกิริยาเคมีที่ไม่ต้องการ สิ่งที่น่าสนใจคือ กลไกการเพิ่มเอนโทรปีทั้ง 2 อย่างนั้นสอดคล้องกับกระบวนการที่เกี่ยวกับความเสี่ยงที่กล่าวว่าสารเคมีจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพหรือสิ่งแวดล้อมก็ต่อเมื่อมีเส้นทางการได้รับสารพิษ (exposure pathway) (สารเคมีจำเป็นต้องเกิดการแพร่กระจายไปยังผู้รับที่อ่อนไหว) และสารเคมีนั้นต้องเป็นอันตรายต่อผู้ได้รับ (ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่ส่งผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้รับนั้น)



ข้อมูลเหล่านี้สนับสนุนการใช้เอนโทรปีเพื่อป้องกันการเกิดมลภาวะสิ่งแวดล้อม เราอาจทำความเข้าใจเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษด้วยกระบวนการทันสมัยนี้ได้ กล่าวคือเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษมีความพยายามที่จะเปลี่ยนแปลงหรือจำกัดการเพิ่มขึ้นของเอนโทรปีด้วยการพยายามควบคุมหรือรวบรวมมลพิษที่เกิดการแพร่กระจาย หรือโดยการทำปฏิกิริยาบางอย่างกับสารปนเปื้อนเพื่อให้สารนั้นเข้าสู่สถานะสมดุล (สถานะที่มีเอนโทรปีสูงสุด) เพื่อไม่ให้สารเคมีนั้นแพร่กระจายไปในสิ่งแวดล้อมจนเกิดปฏิกิริยากับผู้รับที่อ่อนไหว เราจะอภิปรายแนวคิดของเทคโนโลยีดังกล่าวกันในตอนต่อจากนี้

เทคนิควิธีที่ใช้กันมากในการควบคุมและรวบรวมมลพิษที่มีการแพร่กระจายในปัจจุบัน คือ การสูบน้ำขึ้นมาบำบัด (pump and treat) จากสถิติของสหรัฐอเมริกาถึงน้ำมันใต้ดินที่เกิดการรั่วไหลราว 250,000 ถังและนั่นส่งผลให้ชั้นหินกักเก็บน้ำใต้ดินเกิดการปนเปื้อนโดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทน้ำมันหรือสารประกอบคลอรีนที่มาจากสารตัวทำละลาย สารทั้งสองนี้ก่อให้เกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพของผู้ใช้น้ำจึงไม่น่าประหลาดใจที่เทคโนโลยีทางด้านสิ่งแวดล้อมพยายามจะจำกัดการแพร่กระจายของมันและเก็บรวบรวมมันกลับมา ในเทคนิค “การสูบน้ำขึ้นมาบำบัด (pump and treat)” น้ำใต้ดินที่เกิดการปนเปื้อนจะถูกสูบน้ำขึ้นมาจากชั้นหินกักเก็บน้ำ (aquifer) สารปนเปื้อนจะถูกกำจัดออกจากน้ำแล้วน้ำสะอาดจะถูกฉีด (inject) กลับคืน แต่ว่าสารปนเปื้อนส่วนใหญ่จะถูกดูดซับโดยชั้นหินแล้วค่อยละลายออกมาอยู่ในน้ำอย่างช้า ๆ กระบวนการบำบัดจึงต้องใช้เวลายาวนานกว่าจะประสบความสำเร็จ

เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น สมมติว่ามีน้ำใต้ดินปริมาณ 1,000,000 แกลลอนถูกปนเปื้อนด้วยเบนซีน (benzene) ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เพราะฉะนั้น มีเบนซีนที่ต้องกำจัดออกจากน้ำใต้ดิน เท่ากับครึ่งแกลลอน สมมติว่าต้องใช้เวลานาน 5 ปีจึงจะกำจัดเบนซีนออกจากน้ำได้ถึงระดับที่ปลอดภัย หากการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาบำบัดนั้นต้องใช้น้ำมันดีเซลวันละ 5 แกลลอน ทำให้เราต้องใช้น้ำมันดีเซลรวมทั้งหมด 9,125 แกลลอนในการนี้

จากกฎข้อ 2 ของอุณหพลศาสตร์ เอนโทรปีที่เพิ่มขึ้นจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลมากกว่าเอนโทรปีที่ลดลงในชั้นหินกักเก็บน้ำจากการกำจัดเบนซีนครึ่งแกลลอน หากใช้เอนโทรปีในการวัดมลภาวะ การบำบัดน้ำใต้ดินจำนวนจำกัดนั้นได้ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศปริมาณมหาศาล ซึ่งสามารถแพร่กระจายได้สูง เช่น SO_2 , NO_x , ฝุ่นละออง และ CO_2 ซึ่งตัวสุดท้ายนี้ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

เหตุผลของการใช้เทคนิคดังกล่าวก็คือเพื่อทำความสะอาดน้ำใต้ดิน ด้วยข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมก็ทำให้เห็นว่าเราไม่ได้มองผลกระทบในด้านอื่น ๆ เลย ถึงแม้ว่าใครสักคน



จะพยายามมองผลกระทบด้านอื่นแต่ความที่วิทยาศาสตร์เป็นศาสตร์ที่มีแนวคิดเชิงกลไก และเชิงลดทอนการทำเช่นนั้นย่อมไม่เกิดผลใด ๆ เช่น จะเป็นไปได้อย่างไรที่เราจะระบุความเสี่ยงทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของมลพิษในอากาศที่รวมทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก การสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล และการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตซึ่งสิ่งเหล่านี้มีความสลับซับซ้อนเป็นอย่างยิ่ง? ความเสี่ยงเหล่านี้จะถูกเปรียบเทียบอย่างเป็นปรัวสัยกับความเสี่ยงของสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปนเปื้อนของเบนซินที่เป็นสารก่อมะเร็งที่ละลายอยู่ในน้ำใต้ดิน 1,000,000 แกลลอนได้หรือ

สิ่งที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานจริงคือเรามุ่งพิจารณาแต่ปัญหาที่สังเกตได้ เพราะสถานการณ์เหล่านั้นเรามีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เพียงพอจะชี้ว่าสารมลพิษสิ่งแวดล้อมนั้นปรากฏขึ้น และก่อให้เกิดความเสี่ยงกับมนุษย์หรืออะไรก็ตามที่มีค่าต่อเราอย่างไรบ้าง ปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ทั้งหมดรวมทั้งผลกระทบจากการบำบัดมลพิษถูกเพิกเฉยเพราะวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเชิงกลไกยังไม่เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์นั้นหรืออาจเพราะผลกระทบนั้นเกิดขึ้นที่อื่น หรือเกิดผลกระทบกับสิ่งอื่นที่เรายังไม่เห็นความสำคัญ กล่าวแบบรวบรัดได้ว่าเราสนใจแต่สิ่งที่วิทยาศาสตร์รู้และเห็นคุณค่า อย่างเช่นเบนซินที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินเป็นเรื่องควรให้ความสำคัญเพราะเรารู้ว่ามันเป็นสารก่อมะเร็ง แต่ตรงกันข้ามเทคนิคการบำบัดมลพิษด้วยวิธีการสูบน้ำมาบำบัดที่ก่อให้เกิดมลภาวะกระจายออกไป (ฝนกรด, หมอกพิษ, โอโซน เป็นต้น) และภาวะโลกร้อนในอนาคตกลับถูกเพิกเฉยเพราะเป็นสิ่งที่ยังสังเกตไม่พบและไม่ได้เกิดขึ้นทันทีทันใด สรุปคือเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษด้วยการรวบรวมมลพิษที่แพร่กระจายออกไปในสิ่งแวดล้อมนั้นจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพก็เมื่อเราใช้มุมมองอย่างแคบ ๆ เท่านั้น ซึ่งถ้าพิจารณาอย่างรอบด้านแล้วคงมีคำถามตามมาว่าเทคโนโลยีนั้นช่วยปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นจริงหรือ

บทส่งท้าย

สิ่งที่เราควรให้ความสนใจในการแก้ไขปัญหาสังแวดล้อมคือการค้นหารากเหง้าที่แท้จริงของปัญหา ค่านิยมของการให้ความสำคัญกับวัตถุเป็นแรงขับเคลื่อนหลักที่ทำให้เกิดภาวะประชากรล้นเกิน (overpopulation) และภาวะการบริโภคมากเกินไป (overconsumption) การปกป้องสิ่งแวดล้อมระยะยาวแท้จริงอาจไม่ใช่ปัญหาทางเทคนิคแต่เป็นปัญหาทางสังคมและปัญหาทางศีลธรรมที่ต้องแก้ด้วยการลดอิทธิพลอันรุนแรงของค่านิยมที่มุ่งเน้นแต่วัตถุนั้น สังคมถูกทำให้เชื่อมาตลอดว่าปัญหาทุกปัญหาแก้ได้ด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เราจึงไม่เคยคิดจะเปลี่ยนพฤติกรรมและค่านิยมใด ๆ แม้จะรู้ว่ามันจำเป็นก็ตาม



เอกสารอ้างอิง

Huesemann, M. H., 2001. Can pollution problems be effectively solved by environmental science and technology? An analysis of critical limitations. *Ecological Economics* 37, 271-287.
