บทที่ 5
มนุษย์และน้ำ

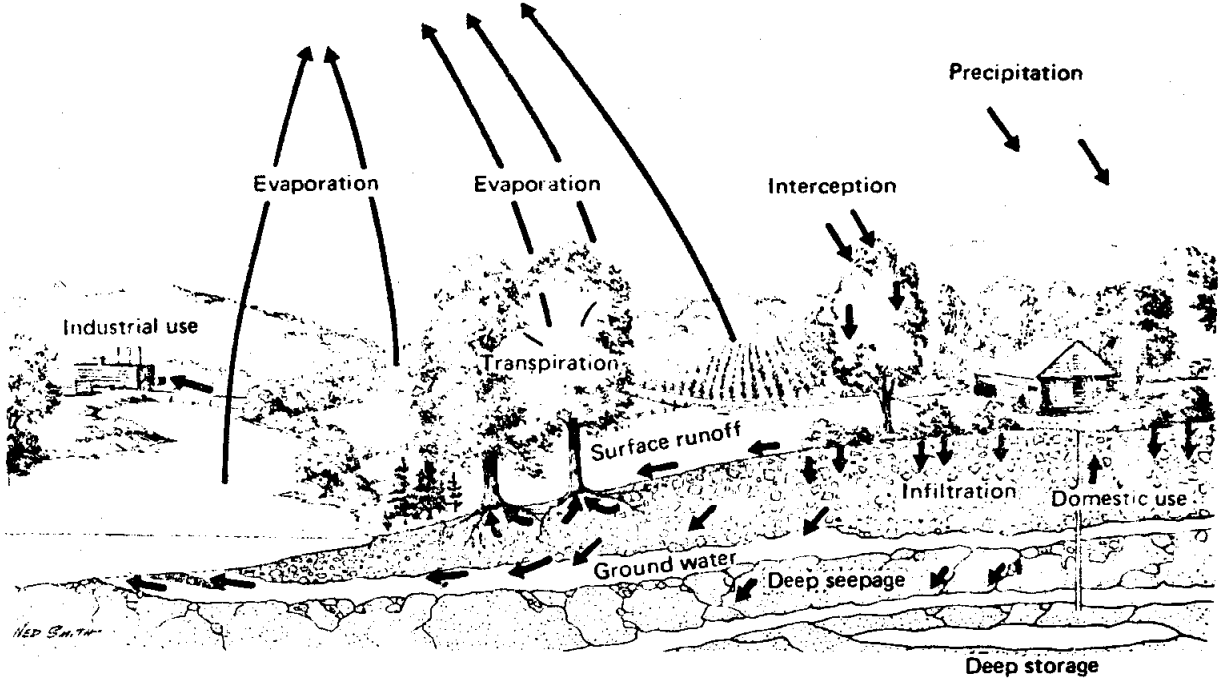
ตามทฤษฎีการสังเคราะห์ทางเคมี (chemosynthesis theory) เกี่ยวกับกำเนิดของสิ่งมีชีวิตในโลก น้ำเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการรวมตัวของแก๊สมีเทน แอมโมเนียและแก๊สไฮโดรเจนเกิดเป็นสารคล้ายโปรทีน Stanley Miller ประสบผลสำเร็จในการทดลองพิสูจน์สมมุติฐานนี้ในปี 1953

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลที่มีชีวิต ประมาณ 65 - 80 เปอร์เซนต์ของร่างกายสัตว์เป็นน้ำ ถ้าจะถามว่ามีสิ่งมีชีวิตอยู่บนดาวนพเคราะห์ดวงอื่นหรือไม่ คำถามแรกที่นักชีววิทยาจะย้อนถามกลับมาคือ มีน้ำอยู่บนดาวดวงนั้นหรือเปล่า ที่จำเป็นต้องถามเช่นนั้นเพราะว่าขบวนการและปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในร่างกายและเซลสิ่งมีชีวิตดำเนินไปได้ในรูปของสารละลาย

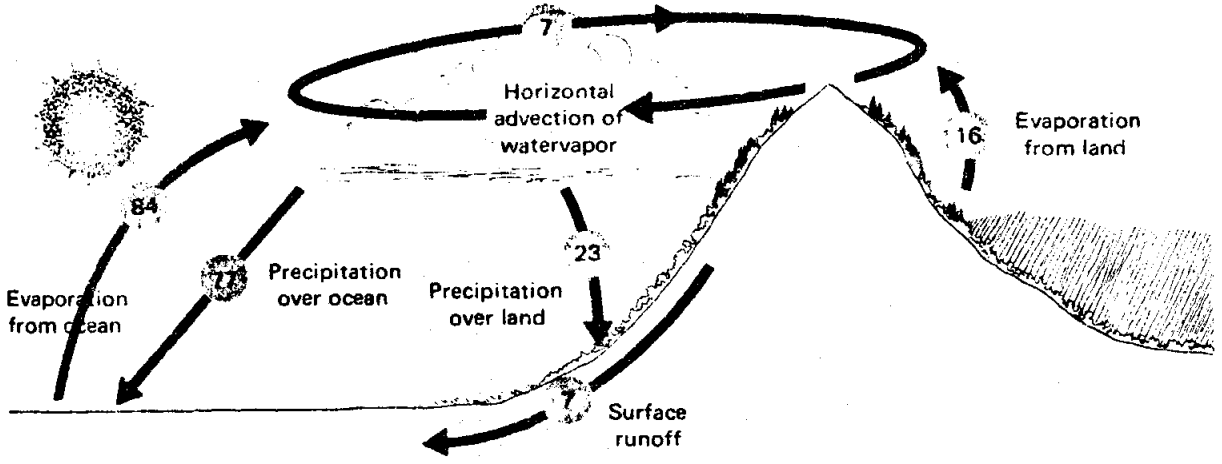
ในประวัติศาสตร์ความศิวิไลเกิดในเขตลุ่มแม่น้ำที่สำคัญทั้งนั้น แม้แต่ในปัจจุบันเมืองใหญ่ ๆ ของหลายประเทศก็อยู่ใกล้แม่น้ำ เมืองส่วนมากไม่สามารถขยายใหญ่ออกไปได้ถ้าขาดน้ำ ถ้าเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาเศรษฐกิจด้วยแล้วการสร้างเมืองใหม่ในเขตที่ขาดน้ำจึดเป็นปัญหาใหญ่ทีเดียว

การหมุนเวียนของน้ำ (Hydrologic Cycle)

น้ำที่มีอยู่ในธรรมชาติมีอยู่ 3 รูป คือ ของเหลว ไอน้ำ และน้ำแข็ง ที่มักพบอยู่ในวงจรน้ำในเขตร้อนอย่างบ้านเรามีอยู่ 2 รูปคือ ไอน้ำและของเหลวในเขตละติจูดที่สูงขึ้นไปน้ำในรูปน้ำแข็งเริ่มมีอยู่ในวงจรน้ำมากขึ้น พลังงานที่ทำให้วงจรน้ำหมุนเวียนอยู่ได้คือพลังงานจากดวงอาทิตย์ แหล่งน้ำที่สำคัญของวงจรคือน้ำในมหาสมุทร ถ้าคิดเปอร์เซนต์ของปริมาตร



รูป 5.1 วงจรน้ำแสดงทางเดินของน้ำที่ผ่านระบบนิเวศน์ (Smith, 1977)



รูป 5.2 เปอร์เซนต์น้ำที่หมุนเวียนอยู่ในวงจรน้ำของโลก ได้แปลงค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของโลก 83.6 ซ.ม.ให้เป็น 100 เปอร์เซนต์ (Smith 1977)

แหล่งน้ำ	ปริมาตร (ลูกบาศก์ไมล์)	เปอร์เซนต์
มหาสมุทร	317,000,000	97.2
น้ำแข็งที่ขั้วโลก	7,000,000	2.1
น้ำบาดาล	2,000,000	0.6
น้ำในทะเลสาปน้ำเค็มและทะเลในทวีป	25,000	0.01
น้ำในทะเลสาปน้ำจืด	30,000	0.01
น้ำในดิน	16,000	0.01
น้ำในบรรยากาศ	3,100	—
ต้นน้ำลำธาร	300	—
รวม	326,000,000	100.00

ตารางที่ 5.1 ปริมาณและเปอร์เซนต์ของน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ (Pereira, et.al., 1970)

ลักษณะการใช้น้ำ	ปริมาณน้ำที่ต้องการ (ลูกบาศก์กิโลเมตร)	
	รวม	ปริมาณที่เสียไปโดยการระเหย
ชลประทาน	**7,000**	**4,800**
ใช้ในครัวเรือน	**600**	**100**
อุตสาหกรรม	**1,700**	**170**
ทำให้ของเสียเจือจาง	**9,000**	**—**
อื่น ๆ	**400**	**400**
รวม	**18,700**	**5,470**

ปริมาณน้ำที่มีให้ใช้ทั้งหมด 37,400 ลูกบาศก์กิโลเมตร

ตารางที่ 5.2 ความต้องการการใช้น้ำที่คาดไว้ในปี ค.ศ. 2000 (Kalanin, and By Kov 1969)

น้ำในมหาสมุทรทั้งหมดจะตกประมาณ 97 เปอร์เซนต์ของน้ำทั้งหมดในโลก เนื่องจากน้ำมีความร้อนจำเพาะสูง เมื่อเทียบกับอากาศแล้วสูงกว่าอากาศประมาณสี่เท่า ความจุความร้อน (thermal capacity)ของน้ำในมหาสมุทรจึงมากกว่าอากาศเกิน 1,000 เท่า การศึกษาความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผิวน้ำทะเลระดับความลึกไม่เกิน 100 เมตร จึงมีประโยชน์ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้ล่วงหน้าเป็นเดือน (Newell, 1979)

น้ำฝนที่ตกลงมาให้ได้ใช้กันในการเกษตร การบริโภคและอุปโภคมาจากน้ำในมหาสมุทรเกือบทั้งหมด เมื่อน้ำในมหาสมุทรได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ก็ระเหยกลายเป็นไอน้ำ มวลอากาศที่มีไอน้ำเคลื่อนเข้าสู่ผืนแผ่นดินจะปะทะกับมวลอากาศเหนือพื้นดิน การปะทะกันระหว่างมวลอากาศที่มีอุณหภูมิต่างกันก็มีผลทำให้เกิดหมอกและเมฆซึ่งจะตกมาเป็นฝนหรือหิมะ ถ้ามวลอากาศอุ่นเคลื่อนตัวอยู่เหนือมวลอากาศเย็นเรียกว่า warm front แต่ถ้ามวลอากาศเย็นเคลื่อนตัวเข้าอยู่ใต้มวลอากาศอุ่นเรียกว่า cold front อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศรวมตัวเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ เรียกว่า dew point น้ำฝนที่ตกลงมาส่วนหนึ่งของน้ำฝนจะระเหยไปในขณะที่ฝนกำลังตก น้ำฝนที่ไหลซึมลงใต้ดินไม่ทันก็จะไหลบ่าชะล้างหน้าดินลงสู่แม่น้ำลำคลองเรียกว่า run off ส่วนหนึ่งของน้ำฝนถูกพืชดูดเอาไปใช้และพืชก็คายน้ำส่วนหนึ่งสู่บรรยากาศทางรูใบ น้ำที่ระเหยกลับไปในอากาศอาจระเหยโดยตรงมาจากพืชที่โดนฝนเปียก จากดินชื้น ลำธาร คลอง แม่น้ำ ถ้าฝนตกมา 30 นิ้วต่อปีประมาณ 21 นิ้วจะระเหยทั้งโดยตรงและโดยการคายน้ำจากพืชกลับไปในบรรยากาศอีก วงจรน้ำจะหมุนเวียนอยู่เช่นนี้ตราบเท่าที่มีพลังงานแสงอาทิตย์

การใช้น้ำและปัญหา

ในท้องที่ชนบทน้ำที่ใช้ได้โดยตรงจากแม่น้ำ ลำคลอง และบ่อน้ำโดยไม่มีขบวนการต้มหรือกรองหรือผ่านคลอรีนฆ่าเชื้อแต่อย่างใด ชาวชนบทหลายคนเชื่อว่าน้ำที่ใช้แล้วเททิ้งกลับลงในแม่น้ำลำคลองจะถูกทำให้เจือจางและดีเหมือนก่อนใช้โดยธรรมชาติเมื่อน้ำไหลไปได้ระยะทางหนึ่ง ปัจจุบันน้ำที่จะถึงมือผู้ใช้ในเมืองต้องใสสะอาดปราศจากเชื้อโรค แต่น้ำทิ้งที่ออกจากแต่ละบ้านในเมืองใหญ่ ๆ กลับสกปรกและอันตรายจนไม่สามารถจะดูดเอาน้ำในแม่น้ำลำคลองกลับมาทำเป็นน้ำประปาใช้ได้อีก ในประเทศที่พัฒนาแล้วเทคโนโลยีทำให้สามารถสกัดกรองมลภาวะและฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ จนนำเอาน้ำกลับมาใช้ได้อีก แต่ค่าใช้จ่ายก็สูง ในทางตรงข้ามประเทศที่กำลังพัฒนาถ้าทำได้ไม่ดีเท่ากับประเทศที่เจริญแล้วประชาชนก็รับกรรมไปในรูปของโรคภัยไข้เจ็บและความเสียหายที่เกิดกับสุขภาพ

การใช้น้ำแยกได้เป็น 2 ประเภทคือ ใช้สิ้นเปลือง (consumptive use) และใช้ไม่สิ้นเปลือง (non consumptive use) การใช้น้ำในการใดก็ตามที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำไปจากส่วนที่ใช้ได้ในวงจรน้ำ เป็นต้นว่าระเหยกลายเป็นไอ น้ำถูกเปลี่ยนไปอยู่ในเซลร่างกายของพืชและสัตว์ หรือถูกบรรจุอยู่ในกระป๋องอาหารคาวหวานในโรงงานอุตสาหกรรม การใช้น้ำเช่นนี้เป็นการใช้แบบสิ้นเปลือง แต่การใช้น้ำส่วนใหญ่ของคนในเมืองเป็นประเภทไม่สิ้นเปลือง การอาบน้ำ อาบนวด ซักผ้า ล้างชาม ละลายบัสสาวะอุจจาระให้เจือจาง ฯลฯ ไม่ได้ทำให้น้ำสูญเสียไปจากวงจรน้ำ เพียงแต่ทำให้น้ำอยู่ในสภาพสกปรกมีสิ่งเจือปนมาก (contaminated state) จนคนไม่กล้านำกลับมาใช้ใหม่ นอกจากการใช้น้ำภายในครัวเรือน (domestic use) ดังกล่าวแล้วการใช้น้ำปริมาณมากประเภทไม่สิ้นเปลืองอื่น ๆ ได้แก่การใช้น้ำเป็นตัวลดความร้อนของเครื่องยนต์ เครื่องจักรกลในโรงงานอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ (hydropower)

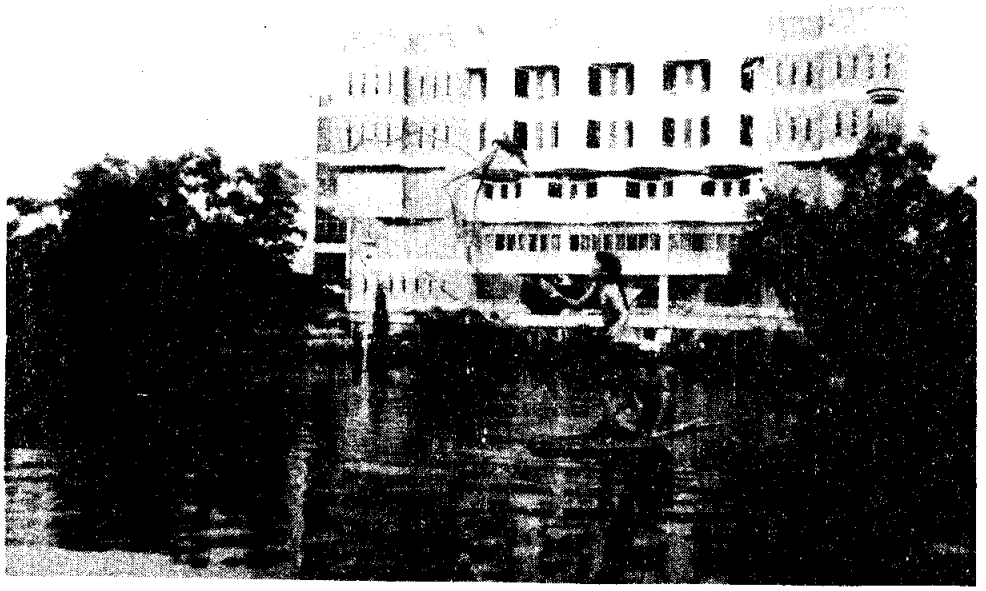
ปัญหาของน้ำที่เป็นไปตามธรรมชาติคือความแห้งแล้ง (drought)และน้ำท่วม (flood) สาเหตุของความแห้งแล้งส่วนหนึ่งมาจากการเปลี่ยนทิศทางลม ฝน สภาพลมฟ้าอากาศก็เป็นสาเหตุของน้ำท่วมเช่นเดียวกัน สิ่งที่นักอุตุนิยมวิทยาพยายามทำนายคือปีที่แห้งแล้งและปีที่จะมีน้ำท่วม จากประวัติและข้อมูลในเรื่องนี้พบว่าปีที่แห้งแล้งและปีน้ำมากมักสลับกัน แต่ช่วงปีที่แห้งแล้งหรือช่วงปีน้ำท่วมมักไม่สม่ำเสมอทำให้การทำนายล่วงหน้าทำได้

ยาก การศึกษาปีที่แล้งและปีที่ฝนดีในอดีตอาจทำได้โดยดูวงปีของพืช (annual ring) วงปีที่เห็นในเนื้อไม้จะแคบถ้าเป็นปีแห้งแล้ง ในทางตรงข้ามวงปีจะกว้างถ้าปีนั้นฝนดี

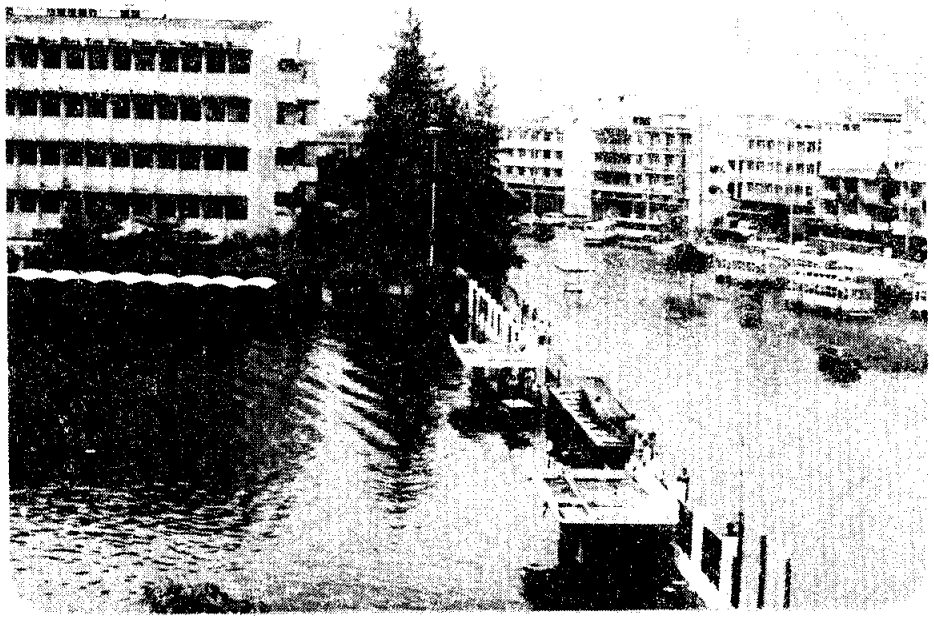
วิธีการหนึ่งที่ช่วยป้องกันไม่ให้น้ำท่วมและขณะเดียวกันก็ช่วยรักษาระดับน้ำในแม่น้ำลำคลองไม่ให้ลดต่ำมากในปีที่แห้งแล้งคือการป้องกันอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำ (watershed area) พื้นที่ต้นน้ำไม่ว่าเล็กหรือใหญ่มีหน้าที่เหมือนกันคือเปลี่ยนน้ำฝนที่ไหลซึมผ่านให้เป็นน้ำในลำธาร พื้นที่ 1 เอเคอร์สามารถเปลี่ยนน้ำฝน 0.1 นิ้ว ให้เป็นน้ำในต้นน้ำได้ถึง 11.3 ตัน พื้นที่ 1 ตารางไมล์สามารถเปลี่ยนน้ำฝนจำนวนเดียวกันให้เป็นน้ำได้ถึง 1.74 ล้านแกลลอน (Mattison and Alvarez, 1967) พืชที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่ต้นน้ำช่วยลดความเร็วของการไหลของน้ำและยังช่วยป้องกันการกัดกร่อนหน้าดิน ในกรณีที่พืชปกคลุมดินถูกตัดไปเมื่อมีฝนตกน้ำฝนจะไหลบ่าจากพื้นที่ต้นน้ำรวดเร็วพร้อมทั้งพัดพาเอาหน้าดินลงสู่ลำธาร ลำคลองหรือแควทำให้เกิดน้ำท่วมได้

การขุดลอกคูคลองและสันดอนในแม่น้ำเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาน้ำท่วม การตื้นเขินของแม่น้ำลำคลองเกิดขึ้นตลอดเวลาเนื่องจากการตกตะกอนของอนุภาคดินและสิ่งอื่น ๆ ที่พัดพามาตลอดทาง ตลิ่งริมน้ำเมื่อถูกน้ำเซาะดินพังลงหน้าก็ถูกพัดพาไปตามลำน้ำได้ไกลหลายกิโลเมตร การเพิ่มธาตุอาหารให้น้ำในแม่น้ำคลองโดยขบวนการดังกล่าวตามธรรมชาติเรียกว่า eutrophication การตื้นเขินของลำน้ำก็เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ทราบกันในเรื่อง succession การลอกดินตั้งแต่บริเวณปากแม่น้ำลำคลองขึ้นมาเป็นการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดแม่น้ำลำคลองทำให้ปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านเพิ่มขึ้น วิธีการนี้ควรปฏิบัติเป็นระยะซึ่งอาจเป็น 1 ปี 2 ปี หรือ 3 ปีตามความเหมาะสม

การสร้างเขื่อนเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาน้ำไม่พอและปัญหาน้ำท่วม ในประเทศไทยมีเขื่อนกั้นน้ำอยู่หลายเขื่อนซึ่งให้ประโยชน์ทั้งพลังไฟฟ้าจากกระแสน้ำ การชลประทาน และยังช่วยควบคุมปัญหาน้ำท่วม เขื่อนสร้างปัญหาทางลบเช่นเดียวกับผลทางบวก ผลเสียโดยตรงทางชีววิทยาได้แก่ชีวิตการเป็นอยู่ของสัตว์น้ำ ที่อยู่อาศัยและที่วางไข่ของปลาหลายชนิดถูกทำลายเนื่องจากกระแสน้ำใต้เขื่อนเปลี่ยนไป ในปี 1979 ศาลสูงของสหรัฐอเมริกาได้ระงับโครงการสร้างเขื่อนของ Tennessee Valley Authority (TVA) เนื่องจากการสร้าง



รูปที่ 5.3 น้ำท่วมกรุงเทพฯ พ.ศ. 2526 สภาพมหาวิทยาลัยรามคำแหงในระหว่างที่น้ำท่วม



รูป 5.4 น้ำท่วมบริเวณหัวหมาก พ.ศ. 2523 สภาพมหาวิทยาลัยรามคำแหงและถนนหน้ามหาวิทยาลัย

เขื่อนจะทำให้ปลาเล็ก ๆ ชนิดหนึ่งชื่อ snail darter สูญพันธุ์ได้ แม้ว่าการสร้างเขื่อนจะมีผลดีทางเศรษฐกิจทำให้คนมีงานทำมากขึ้น จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้หลายหมื่นกิโลวัต นำความเจริญมาสู่ท้องที่ แต่การทำลายพันธุ์สัตว์ สหรัฐอเมริกายอมรับว่าเป็นเรื่องที่ร้ายแรงกว่า ผลเสียอีกข้อหนึ่งของเขื่อนซึ่งสืบเนื่องจากระดับน้ำใต้เขื่อนต่ำโดยเฉพาะในปีที่น้ำน้อยคือการรุกตัวของน้ำเค็มเข้ามาในแม่น้ำลำคลองทำความเสียหายให้กับเรือกสวนนาไร่ ในปี พ.ศ. 2523 บริเวณลุ่มน้ำแม่กลองได้รับความเสียหายเช่นว่านี้ สาเหตุมาจากเขื่อนเช่นเดียวกัน การรุกตัวของน้ำเค็มนอกจากมีผลต่อพืชที่ทนน้ำเค็มไม่ได้แล้ว ยังมีผลต่อปลาและน้ำจืดที่ไม่มีกระดูกสันหลังจำพวกหอย ปู กุ้งอีกหลายชนิดที่ทนต่อระดับความเค็มของน้ำได้จำกัด

ลักษณะทางลบอีกข้อหนึ่งของเขื่อนคือการตกตะกอนของอนุภาคต่าง ๆ ในน้ำเหนือเขื่อนที่เรียกว่า siltation การตกตะกอนนี้ทำให้เขื่อนตื้นเขินเร็วขึ้นทำให้เก็บน้ำไว้ได้น้อย ถ้าบริเวณต้นน้ำมีการกัดกร่อนของดินมาก การเกิดชั้นดินใต้น้ำบริเวณเขื่อนก็ยิ่งเร็วขึ้น อายุการสะสมน้ำของเขื่อน (storage life) ก็สั้นตามมา นอกจากนี้ biological succession ยังช่วยทำให้การตื้นเขินของเขื่อนเร็วขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

ข้อเสียของเขื่อนซึ่งไม่มีทางป้องกันได้คือการระเหยของน้ำ การกักน้ำในบริเวณเขื่อนเพิ่มพื้นที่ผิวของน้ำ หลายเขื่อนที่สร้างแล้วเก็บน้ำมีลักษณะคล้ายทะเลสาป ถ้าประเมินน้ำที่สูญเสียไปเป็นไอซึ่งอยู่ในรูปที่นำเอามาใช้ไม่ได้เชื่อว่าเป็นน้ำหลายล้านลิตร ระดับที่ลดไปเนื่องจากการระเหยนี้เชื่อว่าเป็นเมตรหรือหลายเมตรต่อปี

เขื่อนตัวอย่างที่มีผลดีและสร้างปัญหาเป็นที่ถกเถียงกันจนทุกวันนี้คือ Aswan Dam ที่สร้างกั้นน้ำในแม่น้ำไนล์ประเทศอียิปต์ เขื่อนนี้สร้างเสร็จและเริ่มใช้ในปี 1971 การชลประทานที่ตามมาหลังจากการสร้างเขื่อนโดยปล่อยน้ำเข้าคูคลองเพื่อการเกษตรเป็นการเพิ่มพื้นที่เพาะยุงและ black fly โรคมาเลเรียมากขึ้น ส่วน black fly เป็นของหนอนที่ทำให้เกิดโรคตาบอด (river blindness) ถ้าหนอนนี้ได้เข้าไปในเส้นโลหิตคน นอกจากนี้การชลประทานยังเพิ่มโรค snail fever (schistosomiasis) ซึ่งเกิดจากหนอนตัวแบนที่อาศัยอยู่ในหอย ตัวอ่อนของหนอนนี้ว่ายน้ำแล้วเจาะผิวหนังเข้าสู่เส้นโลหิต แล้วจึงไปเจริญและออกไข่ในกระเพาะ การชลประทานทำให้หอยตายยากขึ้นเพราะระดับน้ำในคูคลองไม่ลดลงถึง

แห้ง การชลประทานก่อนการสร้างเขื่อนทำได้ปีละครั้ง หลังจากนั้นน้ำในคูคลองต่าง ๆ แห้งไปทำให้หอยตายเองตามธรรมชาติ โรคนี้ระบาดรวดเร็วขึ้นหลังจากเริ่มใช้เขื่อนเพื่อการชลประทานเปอร์เซนต์ผู้ป่วยจากโรคนี้สูงขึ้นจากสองสามเปอร์เซนต์เป็นแปดสิบเปอร์เซนต์ การตายทุกหนึ่งในสิบรายมีสาเหตุจากโรคนี้ (Keeton, 1972) ปัญหาสุดท้ายของเขื่อนนี้คือการตกตะกอนตื้นเขินซึ่งอาจทำให้เขื่อนกลายเป็นปิระมิดไปในระยะสองสามร้อยปี

ปัญหาน้ำที่ไม่ควรมองข้ามไปอีกปัญหาหนึ่งคือการชลประทาน การส่งน้ำมาตามคูคลองทำให้เกิดการสูญเสียน้ำปริมาณไม่น้อยในการระเหยและการซึมลงใต้ดินตลอดทางที่น้ำไหลผ่าน ถ้าพื้นที่แห้งแล้งมากน้ำระเหยไปเร็ว เกลือแร่ธาตุพวกโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต และพวกเกลือซัลเฟตที่ไหลมากับน้ำและที่ถูกชะละลายมาตลอดทางจะตกตะกอนบนพื้นที่ที่ทำการชลประทานเพื่อการเกษตรทำให้ดินเค็ม นอกจากนี้ในพื้นที่ราบการชลประทานทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น เกลือแร่ธาตุใต้ดินอาจถูกดูดซึมขึ้นมาสะสมบนดินชั้นบนโดย capillary action ของน้ำ ดินจะเค็มเนื่องจากมีเกลือสะสมอยู่มาก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า salinization ปัญหานี้เชื่อว่าเกิดขึ้นได้ในภาคอีสานซึ่งที่ดินเป็นดินทรายหรือดินร่วนปนทราย อากาศแห้งแล้งอุณหภูมิสูง การแก้ปัญหาดินเค็มเนื่องจากการชลประทานทำได้โดยใช้โปรแกรมการชลประทานและการระบายน้ำควบคู่กันไป (White, 1978)

มลภาวะทางน้ำ

มลภาวะทางน้ำที่ชาวบ้านเรียกว่าน้ำเสียหรือน้ำเน่าเป็นเรื่องที่ได้ยินได้ฟังกันมากในระยะหลังนี้ เมื่อพูดถึงน้ำเสียหลายคนนึกถึงโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ริมน้ำ หลายคนนึกถึงคลองหลอด คลองผดุงกรุงเกษม อีกหลายคนนึกถึงชาวเรือหรือชาวเรือนแพที่กินอยู่หลับนอนบนเรือ ไม่ว่าจะนึกถึงอะไร ความเข้าใจของคนส่วนใหญ่ตรงกันคือ การทำให้น้ำสกปรกไร้คุณค่าทั้งทางประโยชน์ใช้สอยและความงาม การทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำมักทำไปโดยขาดความคิดการณ์ไกล ความงามของแม่น้ำในสมัยก่อนการพัฒนาอุตสาหกรรมในบ้านเรา

เป็นอย่างไร ขอให้นึกถึงวรรณกรรมของสุนทรภู่ที่ได้พรรณนาไว้อย่างลึกซึ้ง เชื่อว่ากวีเอกในสมัยนี้ไม่สามารถเขียนบทกลอนพรรณนาความงามตามธรรมชาติของแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำแม่กลอง หรือแม่น้ำโขงได้อีกแล้ว เพราะภาพที่ปรากฏคงไม่ทำให้เกิดความนึกคิดหรือเขียนอะไรออกมาในทางที่งดงามได้ ลองนึกถึงบทกวีเกี่ยวกับสภาพแม่น้ำลำคลองในปัจจุบันและในอนาคตว่าจะออกมาในรูปใด

สาเหตุของมลภาวะทางน้ำพอที่จะรวบรวมเป็นข้อใหญ่ ๆ ได้ดังนี้ (1) การเพิ่มธาตุอาหารให้น้ำอย่างมากและรวดเร็วเนื่องจากการกระทำของมนุษย์ (2) ของเสียประเภทอินทรีย์สารที่ต้องการออกซิเจนในการเน่าเปื่อยสลายตัว (3) มลภาวะทางน้ำเนื่องจากอุณหภูมิน้ำสูงกว่าปกติที่ฝรั่งเรียกว่า thermal pollution (4) เชื้อโรคต่าง ๆ (5) สารเคมีที่เป็นพิษและสารรังสี

(1) ปกตินำ้ที่ไหลจากต้นน้ำลำธารลงสู่แคว แม่น้ำ ได้รับธาตุอาหารจากน้ำที่ไหลบ่า (run off) น้ำที่ไหลซึมผ่านพื้นที่ต้นน้ำ น้ำที่ไหลผ่านต้นไม้ (throughfall) ซึ่งละลายเอาอินทรีย์วัตถุที่ละลายน้ำ (dissolved organic matter = DOM) รวมทั้งเศษใบหญ้าใบไม้จากต้นไม้ริมน้ำ ธาตุอาหารต่าง ๆ ในน้ำจะมากขึ้นตามระยะทางที่กระแสน้ำไหล ขบวนการเพิ่มธาตุอาหารในน้ำ (eutrophication) เป็นไปตามธรรมชาติ น้ำที่มีแร่ธาตุอาหารน้อยขาดความสมบูรณ์ในสิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์และพืช เรียกสภาพน้ำนั้นว่า oligotrophic ส่วนน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ในสิ่งมีชีวิตและแร่ธาตุอาหารเรียกว่า eutrophic น้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุอาหารปานกลางเรียกว่า mesotrophic ถ้าพิจารณาในแง่ของ succession แล้วการเปลี่ยนแปลงของน้ำจะเปลี่ยนจาก oligotrophic ไปเป็น eutrophic การเปลี่ยนแปลงนี้ใช้เวลานานเป็นร้อย ๆ ปีหรือมากกว่า แต่เมื่อมนุษย์แปลงระบบนิเวศน์เพื่อผลประโยชน์ระยะสั้นหรือด้วยความคิดสั้น การเกษตรในรูปธุรกิจเกษตรที่ปลูกพืชชนิดเดียวในพื้นที่เป็นร้อยเป็นพันไร่ ซึ่งต้องใส่ปุ๋ยและใช้สารเคมีจำกัดศัตรูพืชจำนวนมาก สิ่งเหล่านี้จำนวนหนึ่งถูกชะล้างลงน้ำ การทิ้งของเสียรวมทั้งมูลสัตว์จากฟาร์ม น้ำผงซักฟอกหลังจากใช้ซักผ้าลงน้ำเหล่านี้ทำให้แร่ธาตุอาหารในน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขบวนการนี้เป็น cultural eutrophication ผลที่ตามมาคือสาหร่ายสีเขียวและบลูกรีนบางชนิดเติบโตขยายจำนวนอย่างรวดเร็วที่เรียกว่า algal bloom โดยทั่วไปปรากฏการณ์นี้มักเกิดในบ่อ บึง ทะเลสาปที่น้ำค่อนข้างนิ่ง สาหร่ายต้นเหตุนี้มีเพียงสองสาม

ชนิดเท่านั้น น้ำในสภาพนี้มีสีเขียวคล้ายซุปถั่วซึ่งไม่เป็นที่ดึงดูดใจให้ว่ายน้ำ พายเรือ ตกปลา หรือการนันทนาการอื่น ๆ สาหร่ายบลูกรีนบางชนิดขับสารพิษ ซึ่งเป็นพิษต่อปลาและคนได้ เมื่อสาหร่ายนี้ตายเน่าเปื่อยก็ยังให้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีกลิ่นเหม็นคล้ายไข่เน่า ถ้าจุลินทรีย์ที่ย่อยซากสาหร่ายให้เน่าเปื่อยเป็นพวกที่ใช้ออกซิเจน ภาวะการขาดออกซิเจนในน้ำอาจเกิดขึ้นได้ โดยทั่วไปการเกิด algal bloom มักไม่พบในแม่น้ำลำคลองที่กระแสน้ำไหลตลอดเวลา ผลเสียของ cultural eutrophication อีกข้อหนึ่งคือ วัชพืชน้ำ

(2) ของเสียประเภทอินทรีย์สารที่ต้องการออกซิเจนปริมาณสูงสำหรับการเน่าเปื่อย ส่วนใหญ่เป็นของเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง โรงงานฟอกหนัง โรงงานทำกระดาษ โรงฆ่าสัตว์ ปกติปริมาณออกซิเจนในน้ำมีน้อยกว่าในอากาศมากอยู่แล้ว เมื่อแบคทีเรียและเชื้อราในน้ำได้อาหารประเภทของเสียดังกล่าวก็ขยายจำนวนเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ผลที่ติดตามมาคือ ต้องแย่งกันใช้ออกซิเจนในน้ำ ปริมาณออกซิเจนในน้ำ (dissolved oxygen = DO) จะลดลงอย่างรวดเร็ว บางครั้งอาจลดจาก 10 ppm เหลือเพียง 2-3 ppm ซึ่งน้อยไม่เพียงพอต่อการหายใจของสัตว์น้ำ ปริมาณออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำด้วย แก๊สต่างละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ น้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ 5 องศาเซลเซียสมีปริมาณออกซิเจน (DO) 12.37 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียสมีปริมาณออกซิเจน 8.84 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ 30 องศาเซลเซียสมีเพียง 7.53 มิลลิกรัม/ลิตร ในการเน่าเปื่อยนี้แบคทีเรียได้พลังงานจากการแตกตัวของโมเลกุลของเสียเมื่อรวมกับออกซิเจน ผลของปฏิกิริยาได้โมเลกุลที่มีพลังงานน้อยกว่า คาร์บอนไดออกไซด์และพลังงาน

โมเลกุลสารอินทรีย์	+ ออกซิเจน	⟶	โมเลกุลที่มี	+ คาร์บอนได + พลังงาน
ที่มีพลังงานสูง			พลังงานต่ำ	ออกไซด์
(ไขมัน แป้ง โปรตีน)			(ไนเตรท ฟอสเฟต ซัลเฟต)	

แบคทีเรียใช้พลังงานนี้ในการดำรงชีวิต ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียในน้ำใช้ในการเน่าเปื่อยของเสียชนิดใดชนิดหนึ่งเรียกว่า biological oxygen demand (BOD) การวัดปริมาณ BOD ไม่สามารถทำได้โดยตรง เนื่องจากไม่สามารถกรองหรือแยกของเสียจากน้ำมาชั่งหาน้ำหนัก

ได้ทั้งหมด นอกจากนี้ของเสียหลายชนิดเน่าเปื่อยสลายตัวได้รวดเร็วและอีกหลายชนิดไม่เน่าเปื่อยสลายตัวได้รวดเร็วและอีกหลายชนิดไม่เน่าเปื่อยสลายตัวโดยเอนไซม์ของแบคทีเรีย (non-biodegradable) การวัดปริมาณ BOD จึงจำเป็นต้องวัดทางอ้อม Gaarder และ Gran (1927) เป็นผู้ได้รับเครดิตในเรื่องเทคนิคการใช้ขวดขาวใสและขวดสีดำวัด BOD วิธีการเริ่มด้วยการใช้ขวดที่มีฝาปิดสนิทขนาดเท่ากันสองขวดใส่น้ำที่ต้องการทราบ BOD มีขวด BOD โดยเฉพาะขนาด 300 มิลลิลิตรสำหรับการวิเคราะห์นี้ ขวดที่หนึ่งนำมาวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้เป็นปริมาณออกซิเจนที่มีในน้ำในตอนแรก ขวดที่เหลืออีกขวดหนึ่งต้องทำเป็นขวดสีดำโดยหุ้มด้วยเทปดำหรืออะลูมินัมฟอยล์ หลังจากใส่น้ำเต็มขวดปิดฝาพร้อมขวดแรกแล้ว ถ้าต้องการให้สภาพแวดล้อมต่าง ๆ เหมือนกับสภาพแวดล้อมที่เก็บตัวอย่างน้ำมาก็นำขวดนี้ไปแช่ที่จุดและความลึกเดียวกับที่เก็บตัวอย่างน้ำ ถ้าไม่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมก็นำขวดดำนี้มาเก็บไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 5 วัน หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนในขวด ปริมาณออกซิเจนที่ลดไปเมื่อเทียบกับปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ตอนต้นคือ BOD ของน้ำนั้น ค่า BOD เป็นดรรชนีของมลภาวะน้ำ เทคนิคนี้ใช้ในการวัด primary production ในน้ำ แต่ในการวัดต้องใช้ขวดสามขวด ขวดแรกวัดหาปริมาณออกซิเจนที่มีเมื่อเริ่มต้น ขวดดำและขวดใสต้องนำไปแช่ที่จุดที่เก็บตัวอย่างแล้วจึงนำขวดทั้งสองมาวัดหาปริมาณออกซิเจน ขวดใสจะมีออกซิเจนเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสังเคราะห์แสงของไฟโตแพลงตอน ขวดดำจะมีปริมาณออกซิเจนลดลงเพราะมีแต่การหายใจอย่างเดียว ความแตกต่างระหว่างปริมาณออกซิเจนในขวดใสและปริมาณออกซิเจนเมื่อเริ่มต้นเป็น net primary production ในรูปของออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น ความแตกต่างระหว่างปริมาณออกซิเจนเริ่มต้นกับออกซิเจนในขวดดำเป็นปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปในการหายใจของไฟโตแพลงตอน หักปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจออกจาก net primary production ก็จะได้ gross primary production production หมายถึงปริมาณอินทรีย์สารที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้นใหม่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ในกรณีที่สิ่งมีชีวิตเป็นพืชสีเขียวที่สังเคราะห์แสงได้เรียกน้ำหนักของอินทรีย์สารที่พืชสร้างขึ้นต่อหน่วยเวลาว่า primary production วิธีการประเมินผลผลิตอินทรีย์สารในรูปของออกซิเจนนี้เห็นได้ชัดว่าปริมาณออกซิเจนที่เป็นผลพลอยได้จากการสังเคราะห์แสงในขวดใสต้องถูกใช้ไปในการหายใจบ้าง ดังนั้นเทคนิคการวัดปริมาณออกซิเจนจึงไม่ได้คำนึงถึง photorespiration เลย นอกจากนี้แบคทีเรียและเชื้อราในน้ำที่อยู่ทั้งในขวดใสและขวดดำก็มีส่วนในการใช้ออกซิเจนให้ร่อยหรอลงไปอีก ปกติเวลาในการแช่ขวด

ใสและขวดดำในจุดที่เก็บตัวอย่างเพียง 6 ชั่วโมงก็เพียงพอ ถ้าน้ำนั้นมีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ (eutrophic) ถ้าทิ้งไว้นานเกินไปในขวดใสอาจมีออกซิเจนมากจนอิ่มตัว ในขวดดำก็อาจขาดออกซิเจนจนอยู่ในสภาพ anaerobic

ในการตรวจสภาพน้ำเสียเนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมทิ้งน้ำเสียลงน้ำ อาจทำได้ง่ายโดยวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจน (DO) ของน้ำเหนือโรงงาน ปริมาณออกซิเจนของน้ำในบริเวณท่อน้ำทิ้งของโรงงาน และปริมาณของออกซิเจนในน้ำใต้โรงงาน การเก็บตัวอย่างน้ำควรเก็บเป็นระยะ ๆ บริเวณที่ปริมาณออกซิเจนลดลงสัตว์และพืชน้ำก็พลอยลดลงด้วยอาจทดสอบโดยการสุ่มจับปลาและนับจำนวนไฟโตแพลงตอนในจุดที่เก็บตัวอย่างน้ำ ของเสียใด ๆ ก็ตามที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลงลงมากมีผลโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งหมด คุณค่าความงามของน้ำก็พลอยหมดไปด้วย ชาวเรือที่ถ่ายอุจจาระลงน้ำมีส่วนทำให้ปลาตะเพียนหรือปลาซ่อนที่อยู่ใกล้ ๆ มีปัญหาเกี่ยวกับระบบการหายใจมากขึ้นเพราะอุจจาระมี BOD สูงถึง 250

(3) Thermal pollution อาจไม่ใช่ปัญหาใหม่เพราะสาเหตุที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติอาจเป็นไปตามธรรมชาติ แสงอาทิตย์ในฤดูร้อนทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นได้ แต่สาเหตุใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำเป็นตัวลดความเย็นให้เครื่องจักร ถ้ายังจำกฎเทอร์โมไดนามิคส์ข้อที่สองที่ว่าในการเปลี่ยนพลังงานจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งส่วนหนึ่งของพลังงานต้องเสียไปในรูปของความร้อน เครื่องจักรกลในโรงงานอุตสาหกรรมก็เป็นไปตามกฎข้อนี้เพราะไม่สามารถใช้พลังงานจากน้ำมัน ถ่านหิน หรือฟืนได้หมดร้อยเปอร์เซนต์ ส่วนของพลังงานเชื้อเพลิงสูญไปในรูปของความร้อน ซึ่งถ้าไม่มีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแล้วเครื่องจักรอาจร้อนถึงขั้นระเบิดไหม้หรือหยุดทำงานได้ การแก้ปัญหาโดยใช้น้ำระบายความร้อนกลับสร้างปัญหาใหม่ให้กับสัตว์และพืชในน้ำ ปัญหาข้อแรกคือปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้น ปัญหาถัดไปคืออุณหภูมิสูงมีผลต่อการวางไข่ของปลาและทำให้ไข่ปลาที่วางไว้ตาย ปลาเป็นสัตว์เลือดเย็นที่ระบบประสาท ระบบหายใจและระบบเอนไซม์กระทบกระเทือนได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้นแม้แต่เพียงเล็กน้อย นอกจากปลาแล้วกุ้ง ปู สาหร่ายและแพลงตอนต่าง ๆ ก็ได้รับทุกข์จากน้ำอุ่นโดยทั่วหน้ากัน ที่สำคัญคือสัตว์และพืชน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้เป็นพวกที่อยู่ในตอนต้น ๆ ของลูกโซ่อาหาร ถ้าพวกนี้ไม่สามารถ

ดำรงชีวิตอยู่ได้ ปลาซึ่งเป็นสัตว์ที่อยู่ในลูกโซ่อาหารที่สูงขึ้นไปก็ขาดอาหารและลดจำนวนลงในที่สุด อาจมีผลดีจากน้ำอุ่นอยู่บ้างแต่ไม่ชดเชยกับผลเสียได้ ปลาบางชนิดสืบพันธุ์และวางไข่ในน้ำอุ่น การเลี้ยงปลาพวกนี้ในเขตน้ำที่มี thermal pollution อาจได้ผล

(4) เชื้อโรคในน้ำมีทั้งโปรโตซัว แบคทีเรีย ไวรัสและพยาธิต่าง ๆ อหิวาต์ ไทฟอย โปลิโอ บิดอาศัยน้ำเป็นพาหะพัดพาไปได้ไกลหลายกิโลเมตร เชื้อโรคพวกนี้เข้าสู่คนโดยทางอาหารและน้ำดื่ม การตรวจน้ำประปาที่คนใช้เขานับจำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (coliform bacteria) แบคทีเรียพวกนี้พบมากในลำไส้ใหญ่และในอุจจาระคน ถ้าพบแบคทีเรียพวกนี้ในน้ำมากเกิน 25 เปอร์เซนต์ต่อน้ำหนึ่งควอร์ทก็ควรฆ่าเชื้อในน้ำนั้นด้วยคลอรีนอีกก่อนนำไปบริโภค ปัญหาเกี่ยวกับแบคทีเรียพวกโคลิฟอร์มคือไม่ทราบว่าชนิดใดมาจากคนและชนิดใดมาจากสัตว์เลี้ยงที่เลี้ยงลูกด้วยนม

(5) สารเคมีและสารรังสีเกือบทั้งหมดที่เป็นสาเหตุของมลภาวะทางน้ำมาจากโรงงานอุตสาหกรรมและการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ยิ่งพบเทคโนโลยีใหม่ในการผลิตสินค้าและการสร้างอาวุธมากเท่าไร มลภาวะทางน้ำเนื่องจากสารเคมีและสารรังสีก็ยิ่งมากขึ้นเป็นเงาตามตัว สารเคมีที่โรงงานอุตสาหกรรมทิ้งลงน้ำเป็นพิษโดยตรงต่อคนและสัตว์ที่บริโภคน้ำที่มีสารเคมีเจือปน ตัวอย่างเรื่องนี้ที่เป็นที่ทราบกันดีทั่วโลกคือโรคอิไต-อิไตที่เกิดขึ้นกับคนญี่ปุ่นในย่านอ่าวมิอามาตะ สาเหตุเกิดจากของเสียที่มีปรอทเจือปนที่โรงงานอุตสาหกรรมทิ้งลงน้ำในอ่าวนั้น ผู้บริโภคน้ำ ปลา หอยในบริเวณนั้นมีอาการมือหงิก ตาฟาง ปวดหัว ที่ตายก็หลายรายที่รอดก็มีชีวิตอยู่แบบไม่สมประกอบ สารเคมีที่เห็นชัดอย่างหนึ่งในน้ำเกือบทุกหนแห่งได้แก่ฟอสเฟตที่เจือปนอยู่ในผงซักฟอก ในบริเวณที่น้ำไหลจะเห็นฟองของผงซักฟอกได้ชัด สารรังสีจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ที่พบว่าเข้ามาอยู่ในลูกโซ่อาหารที่มนุษย์อยู่ปลายลูกโซ่ได้แก่สตรอนเตียม-90 และเซสเซียม-137 คุณสมบัติที่ร้ายแรงข้อหนึ่งของสารรังสีคือต้องการเวลาในการสลายตัวนาน บางชนิดนานเกินร้อยปี ถ้าสลายตัวช้าลูกหลานเหลนเราก็ได้รับพิษภัยจากสารรังสีโดยทั่วถึงกัน สตรอนเตรียม-90 เป็นสาเหตุของมะเร็งในกระดูก ความเข้มข้นเพียง 1 ppm จะทำให้รังสี 0.002 คูรี่ต่อน้ำหนึ่งมิลลิลิตร ความเข้มข้นขนาดนี้รู้สึกว่าน้อยมาก แต่ก็มากกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่จะมีในน้ำโดยไม่มีพิษภัยถึง 2.5 พันล้านเท่า ประเทศโลกที่สาม โลกที่สี่ ประเทศด้อยพัฒนาหรือกำลังพัฒนาหรือโลกที่ยากจนหรือชื่อ

อื่น ๆ ที่ฝรั่งเขาเรียกไม่มีโอกาสได้พัฒนาอาวุธนิวเคลียร์ เพราะเพียงแต่ผลิตให้พอเลี้ยงประชากรในประเทศก็ทำได้ยาก ประเทศเหล่านี้ก็มีแต่ก้มหน้ารับสารรังสีจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ของประเทศที่พัฒนา ซึ่งมักเลือกสถานที่ทดลองที่ปลอดภัยหรือเป็นภัยต่อชนชาติตนเองน้อยที่สุด

การเปลี่ยนสภาพน้ำเสีย (Sewage Treatment)

วิธีการแก้ไขมลภาวะทางน้ำที่คนสมัยก่อนคิดว่าถูกและดีคือการทำให้เจือจางด้วยน้ำ คนที่สร้างบ้านเรือนอยู่ริมแม่น้ำลำคลอง นอกจากจะใช้น้ำในการบริโภคแล้ว ยังใช้น้ำเป็นตัวทำละลายของเสียให้เจือจาง ความคิดนี้เป็นมโนทัศน์ที่ผิด (false concept) ปัญหาในสมัยก่อนมีน้อยเพราะประชากรน้อย แต่ถ้าจำประวัติศาสตร์ของไทยได้จะเห็นว่ามีหลายยุคหลายสมัยที่อหิวาต์ระบาดทำให้ผู้คนล้มตายเป็นจำนวนมาก สาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการใช้แม่น้ำลำคลองเป็นที่ทำของเสียให้เจือจาง น้ำกลับเป็นพาหะนำเชื้อโรคแพร่กระจายไปได้รวดเร็วและกว้างขวาง วิธีการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำที่ใช้แล้วให้กลับมาอยู่ในสภาพที่นำไปใช้ได้ใหม่มี 3 วิธีคือ primary treatment, secondary treatment และ tertiary treatment

Primary treatment เป็นวิธีการเบื้องต้นที่ใช้เปลี่ยนน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน ประมาณ 30 เปอร์เซนต์ของโรงงานเปลี่ยนน้ำเสียในสหรัฐอเมริกามีวิธีการแบบนี้ ในเมืองต่าง ๆ ของสหรัฐอเมริกามีระบบท่อน้ำทิ้งจากห้องครัว ห้องน้ำ เครื่องซักผ้าซึ่งไหลไปรวมกันที่โรงงานเปลี่ยนสภาพน้ำเสีย บ้านเรามีแต่ท่อระบายน้ำทิ้งลงคลองและแม่น้ำ สำหรับถังถ่ายไม่มีระบบท่อระบายต้องใช้วิธีดูดและขนส่งออกจากบ้านเรือนไป ในกรณีที่รถเอกชนแอบดำเนินกิจการเชื่อว่าขั้นตอนคงไม่ได้สิ้นสุดลงที่โรงงาน ขั้นตอนของขบวนการเปลี่ยนน้ำเสียโดยวิธี primary treatment มีดังนี้คือ

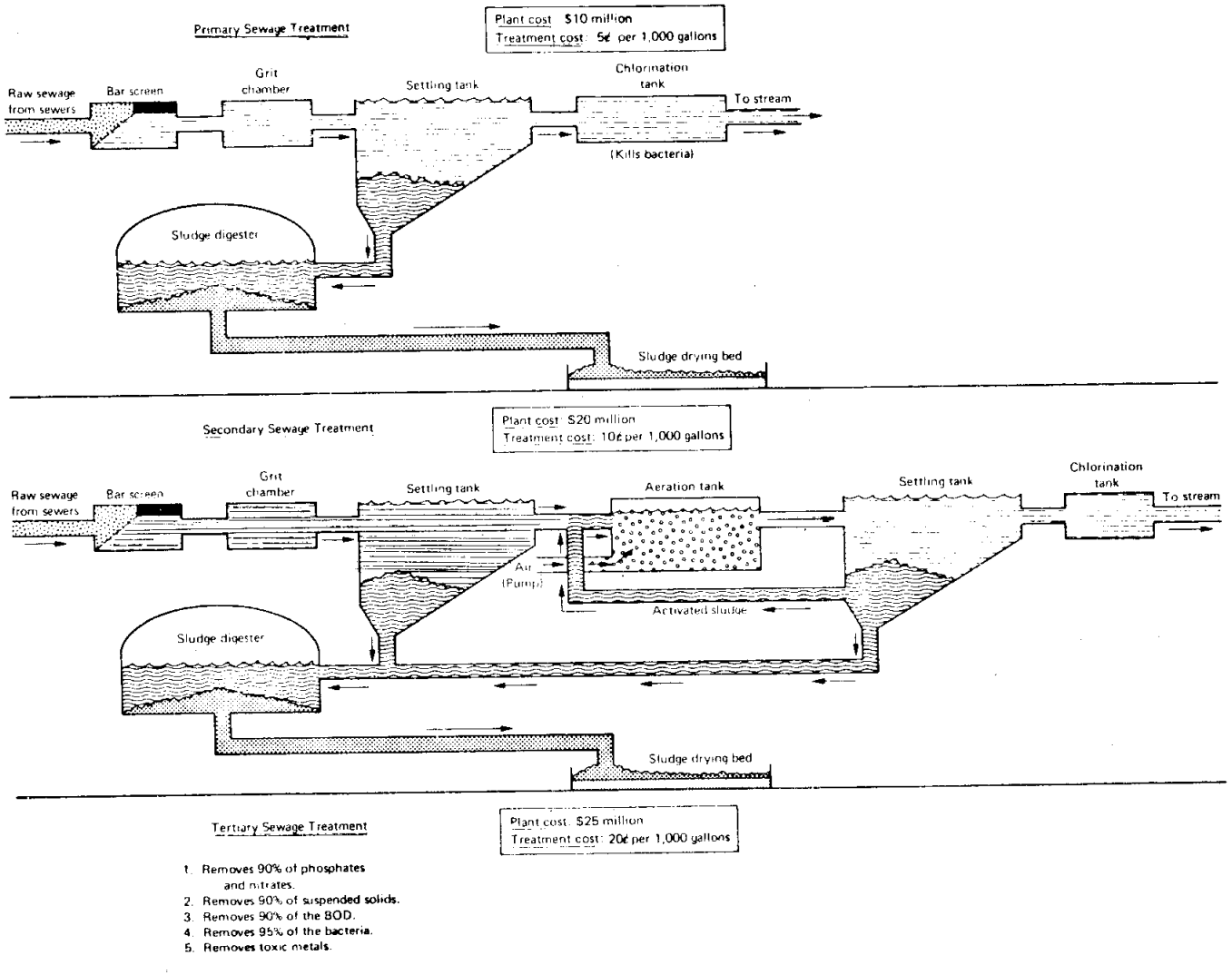
(1) กรอง (screening) ของเสียที่มีขนาดใหญ่ออกก่อนที่น้ำเสียจะผ่านไปสู่ขั้นตอนอื่น เพียงแต่ใช้ตะแกรงหยาบกั้นทางเดินน้ำไว้ ของเสียจำพวกใบไม้ กิ่งไม้ หนูตาย เศษผ้า เปลือกกล้วย ฯลฯ จะถูกกั้นไว้โดยตะแกรงซึ่งสามารถแยกออกได้โดยง่าย

(2) บด น้ำเสียที่ผ่านการกรองจะไหลเข้าห้องบดที่เรียกว่า grit chamber ของเสียที่ขนาดย่อมลงมาผ่านตะแกรงมาได้จะถูกบดให้มีขนาดเล็กลง

(3) น้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนที่สองจะไหลเข้ามาในถังตกตะกอน (sedimentation tank) ของเสียที่มีน้ำหนักจะตกตะกอนลงก้นถัง ส่วนที่ตกตะกอนมีลักษณะเหมือนโคลนและ ๆ เรียกว่า sludge ซึ่งจะถูกดูดให้ไหลมาตามท่อเข้าสู่ถังย่อย (sludge digester) ถังนี้ไม่มีออกซิเจน การเน่าเปื่อยของของเสียโดยแบคทีเรียจึงเป็นแบบไม่ต้องการอากาศ ผลที่ได้คือแก๊สมีเทนซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ โรงงานเปลี่ยนสภาพน้ำเสียส่วนใหญ่ได้พลังงานเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรและกิจกรรมอื่นจากแก๊สนี้ sludge ก้นถังที่เน่าเปื่อยแล้วจะถูกดูดไปตามท่อออกสู่ลานตาก sludge ที่ตากแห้งแล้วใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้

(4) น้ำเสียที่ผ่านจากถังตกตะกอนจะถูกฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนก่อนปล่อยทิ้งลงแม่น้ำลำคลอง ขบวนการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนนี้เรียกว่า chlorination

Secondary treatment โรงงานเปลี่ยนสภาพน้ำเสียประเภทนี้พัฒนาขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำเสียดีขึ้นกว่าประเภทที่หนึ่ง ประมาณ 60 เปอร์เซนต์ของโรงงานเปลี่ยนสภาพน้ำเสียในสหรัฐอเมริกาเป็นโรงงานประเภทนี้ ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นเนื่องจากเพิ่มขั้นตอนมากขึ้น ขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นจาก primary treatment คือหลังจากน้ำเสียผ่านจากถังตกตะกอนแล้วจะถูกส่งเข้าไปยังถังที่เรียกว่า aeration tank น้ำเสียที่มีอินทรีย์สารเจือปนอยู่จะมี BOD สูง การผ่านอากาศเข้าไปในน้ำเสียเป็นการช่วยให้แบคทีเรียย่อยอินทรีย์สารให้แตกสลายหมดไปด้วยขบวนการออกซิเจนเดชั่น หลังจากนี้น้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังตกตะกอนอีกถังหนึ่ง (รูป 5.5) sludge จะถูกดูดจากถังตกตะกอนทั้งหมดไปยังถังย่อยและหลังจากเน่าเปื่อยโดยไม่มีออกซิเจนได้แก๊สมีเทนแล้วก็ถูกดูดไปตากแห้งเพื่อใช้เป็นปุ๋ยต่อไป น้ำที่ผ่านจากถังตกตะกอนจะถูกฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนก่อนที่จะปล่อยลงแม่น้ำลำคลอง



รูป 5.5 ขบวนการเปลี่ยนสภาพน้ำเสีย primary, secondary และ tertiary treatment (Owen, 1975)

Tertiary treatment การเปลี่ยนสภาพน้ำเสียด้วยวิธีการนี้มีขั้นตอนมากขึ้นไปอีก ค่าใช้จ่ายก็สูงขึ้นเป็นเงาตามตัว ให้ระลึกเสมอว่าถ้าต้องการเปลี่ยนสภาพน้ำเสียให้ดีเหมือนก่อนใช้มากเท่าไรค่าใช้จ่ายก็ยิ่งสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายในการสกัดสิ่งเจือปนในน้ำ 80-90 เปอร์เซนต์แรกอาจไม่สูงมากนัก แต่ถ้าจะกำจัด 10-20 เปอร์เซนต์สุดท้ายในน้ำเสียให้หมดไปค่าใช้จ่ายอาจเพิ่มมากขึ้นกว่าเท่าตัวหรืออาจเป็นหลายเท่าก็ได้ น้ำที่ผ่าน secondary treatment ยังมีฟอสเฟตและไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียเหลืออยู่เป็นเหตุให้เกิดขบวนการ eutrophication เร็วขึ้น tertiary treatment จึงเพิ่มขั้นตอนการกำจัดฟอสเฟตโดยเติมปูนขาว เพื่อให้ฟอสเฟตตกตะกอน และกำจัดไนโตรเจนโดยการส่งน้ำผ่าน stripping tower ที่มีการเป่าลมผ่านน้ำเสียทำให้ลดเปอร์เซนต์แอมโมเนียลงได้อย่างมาก

แหล่งน้ำจืดใหม่

เรื่องที่ชาวกรุงเทพฯ พูดคุยกันเสมอในเกือบทุกวงการคือการย้ายเมืองหลวง ไม่ว่าจะย้ายเมืองไปที่ใด ข้อควรตระหนักข้อแรกคือแหล่งน้ำจืดในท้องที่นั้นมีหรือไม่ ถ้ามีปริมาณเพียงพอสำหรับจำนวนพลเมืองหรือไม่ ถ้าท้องที่นั้นขาดน้ำจืดเชื่อว่ามีปัญหาในกิจการต่าง ๆ ภายในเมืองแน่นอน แม้ว่าจะมีเทคโนโลยีสูงแต่ค่าใช้จ่ายเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงตลอดเวลา ในสหรัฐอเมริกาได้มีการนำวิธีการและเทคโนโลยีใหม่ เพื่อใช้ในการสร้างแหล่งน้ำจืดให้เพียงพอสำหรับการใช้ของพลเมืองในท้องที่ที่มีน้ำจืดน้อย วิธีการเหล่านี้เป็นเรื่องที่น่าสนใจควรแก่การศึกษา

1. การเปลี่ยนน้ำเสียที่มีมลพิษเจือปนให้กลับมาอยู่ในสภาพที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกดังได้กล่าวแล้วข้างต้น วัตถุประสงค์หลักในการเปลี่ยนสภาพน้ำเสีย คือพยายามทำให้น้ำปราศจากเชื้อโรค มลพิษ และอินทรีย์สาร ในเมืองใหญ่เช่นกรุงเทพฯ ควรมีโรงงานเปลี่ยนสภาพน้ำเสียประเภท secondary treatment ที่สามารถเปลี่ยนน้ำเสียได้เป็นจำนวนล้านลิตรต่อวันหรือมากกว่า ในเมืองที่ขาดน้ำจืดเช่น San Antonio ในรัฐเท็กซัสน้ำที่ผ่านขบวนการ

เปลี่ยนสภาพน้ำเสียถูกนำมาใช้ในการชลประทานเพื่อการเกษตร ใน Las Vegas, Santa Fe และ San Francisco เขาใช้น้ำที่สกัดสิ่งเจือปนแล้วมารดสนามกอล์ฟ การนำน้ำเข้ามาใช้ในทำนองดังกล่าวเป็นการรักษาระดับน้ำในดินไม่ให้ลดลงมากช่วยแก้ปัญหาแผ่นดินทรุดได้

2. ในพื้นที่แห้งแล้งและร้อนเช่นทะเลทราย ปกติปริมาณน้ำฝนก็น้อยอยู่แล้ว น้ำฝนที่ตกลงมาแต่ละครั้งนอกจากระเหยไปได้รวดเร็วแล้ว ยังซึมลงดินได้เร็วอีก การเคลือบพื้นที่ด้วยอัสฟัลท์ที่เรียกว่า asphalt coating เป็นเทคนิคที่ป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมลงดินทราย น้ำที่เก็บไว้ได้จะถูกระบายไปตามท่อแล้วเก็บไว้ในถังใหญ่ ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป ในการทดลองที่เมือง White Sand รัฐนิวเม็กซิโกพื้นที่ 9 เอเคอร์ที่เคลือบด้วยอัสฟัลท์สามารถเก็บน้ำฝนได้ถึง 60 เปอร์เซนต์ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ตกแต่ละครั้ง เมื่อเทียบกับแปลงทดลองเปรียบเทียบ (control) ซึ่งเก็บน้ำไว้ใช้ประโยชน์ได้เพียง 3 เปอร์เซนต์ จะเห็นว่าสามารถเก็บน้ำไว้ใช้ประโยชน์ได้มากกว่าถึง 20 เท่า ถ้าฝนตกตลอดปี 15 นิ้ว พื้นที่ 6 x 9 ตารางไมล์จะเก็บน้ำได้ถึง 8 พันล้านแกลลอน ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับคน **100.000** คน

3. ความคิดที่นักวิชาการทุกยุคทุกสมัยคิดเกี่ยวกับการแก้ปัญหาขาดแคลนน้ำจืด คือ เปลี่ยนน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืด พื้นที่ผิวโลกประมาณ 70 เปอร์เซนต์เป็นทะเลและมหาสมุทร ปริมาตรของน้ำทะเลทั้งหมดเท่ากับ 97.2 เปอร์เซนต์ของปริมาตรน้ำทั้งหมดในโลก แต่พลเมืองที่อาศัยอยู่ในเมืองริมทะเลไม่สามารถบริโภคน้ำทะเลได้เลย การเปลี่ยนน้ำทะเลมาเป็นน้ำจืดเรียกว่า desalination วิธีการที่ใช้แยกเกลือต่าง ๆ ออกจากน้ำทะเลได้แก่ electrodialysis, flash distillation, solar distillation และการใช้พลังงานนิวเคลียร์

electrodialysis เป็นขบวนการทำน้ำทะเลให้จืดโดยใช้อิเล็คโตรด (electrodes) ระหว่างอิเล็คโตรดเป็นเมมเบรน (membranes) บาง ๆ จำนวนมาก เมื่อผ่านน้ำทะเลเข้าไประหว่างเมมเบรนเหล่านี้ โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนจะแยกไปที่ขั้วไฟฟ้า เมืองแรกในสหรัฐอเมริกาที่ทำน้ำจืดจากน้ำทะเลเพื่อให้พลเมืองใช้ได้แก่ Coalinga ในรัฐแคลิฟอร์เนีย วิธีการทำน้ำจืดแบบ electrodialysis นี้สามารถลดปริมาณเกลือจาก 2,200 ppm ลงเหลือ 300-350 ppm และผลิตน้ำจืดได้วันละ 28,000 แกลลอน จะเห็นว่าวิธีการนี้เหมาะสำหรับ

เมืองเล็กที่มีพลเมืองน้อยเพราะว่าความสามารถสูงสุดของเครื่องมือและอุปกรณ์มีขีดจำกัด

Flash distillation จากชื่อพอจะเดาได้ว่าเป็นการกลั่นน้ำที่รวดเร็ว วิธีการคือทำน้ำเค็มให้ร้อนจนกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว (250 องศาฟาเรนไฮท์) แล้วให้ไอน้ำผ่านเครื่องควบแน่นกลั่นตัวเป็นน้ำ น้ำจืดที่ได้จืดมากจนดื่มไม่มีรสชาด รัฐบาลอเมริกันได้ตั้งโรงงานที่ใช้วิธีการนี้ที่เมือง Freeport รัฐเท็กซัส น้ำที่ใช้ป้อนโรงงานเป็นน้ำทะเลจากอ่าวเม็กซิโก อีกโรงงานหนึ่งที่สร้างขึ้นที่เมือง San Diego รัฐแคลิฟฟอร์เนียในปี 1962 สามารถเปลี่ยนน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืดได้วันละหนึ่งล้านแกลลอนโดยเสียค่าใช้จ่าย 97 c ต่อ 1,000 แกลลอน อย่างไรก็ดีน้ำที่ผลิตได้เป็นเพียง 1.33 เปอร์เซนต์ของน้ำทั้งหมดที่ชาวเมืองใช้ (Allen and Leonard, 1966)

Solar distillation เป็นโครงการที่น่าสนใจโดยเฉพาะในเขตร้อนที่มีแสงอาทิตย์มากและมีวันละหลายชั่วโมง วิธีการนี้อาจต้องใช้พื้นที่มากเพราะน้ำทะเลที่ถูกดูดขึ้นมาต้องถูกทำให้กลายเป็นไอโดยแสงแดด การทดลองที่ Solar Research Station ในเมือง Daytona รัฐฟลอริดา สามารถผลิตน้ำจืดได้ 500 แกลลอนต่อวัน พื้นที่หนึ่งตารางฟุตจะให้น้ำจืดได้ประมาณ 1 ปอนด์ถ้ามีแสงแดดพอเพียง

Nuclear power พลังงานนิวเคลียร์นอกจากจะให้กระแสไฟฟ้าแล้ว ยังสามารถเปลี่ยนน้ำเค็มให้เป็นน้ำจืดได้อีก รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับต้นทุนการผลิตน้ำจืดโดยพลังงานนิวเคลียร์ซึ่งตกประมาณ 25 c ต่อ 1,000 แกลลอน โรงงานพลังนิวเคลียร์สามารถผลิตน้ำจืดได้ถึง 620 ล้านแกลลอนซึ่งมากพอสำหรับเมืองใหญ่ ปัญหาที่หวั่นเกรงกันในกลุ่มผู้อนุรักษ์ธรรมชาติคือการเก็บของเสียที่มีรังสีไว้โดยไม่ให้มีการรั่วไหล เหตุการณ์โรงงานไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ที่ Three Mile Island รัฐเพนซิลเวเนียในปี 1979 ซึ่งจำเป็นต้องอพยพคนทั้งเมืองออกนอกเมืองเป็นเหตุให้ประธานาธิบดีคาร์เตอร์ต้องพิจารณาโครงการพลังนิวเคลียร์ซ้ำสอง เหตุการณ์ตัวอย่างล่าสุดนี้รัฐต้องเสียค่าใช้จ่ายในการอพยพพลเมือง ค่าอาหารและค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ดเป็นจำนวนมาก ธุรกิจการค้าและกิจการต่าง ๆ หยุดชะงักเสียหายอีกมาก เหตุการณ์นี้ยังผลให้ชาวอเมริกันจำนวนมากเดินขบวนเรียกร้องให้รัฐบาลปิดโรงงานไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ เมื่อเดือนมีนาคม 1981 ประชากรเมืองนี้ก็ได้เดินขบวนเนื่องในโอกาสครบรอบสองปีที่เหตุการณ์นี้ผ่านไปและยังคงเรียกร้องให้รัฐบาลปิดโรงงานพลัง

นิวเคลียร์ต้นเหตุอีก

แน่นอนที่การเปลี่ยนน้ำเค็มให้เป็นน้ำจืดเป็นความหวังสำหรับการแก้ปัญหาขาดแคลนน้ำจืดในอนาคต แต่มีอุปสรรคบางอย่างที่ต้องเอาชนะ ที่สำคัญมากคือจะทำอย่างไรกับเกลือที่เหลือจากน้ำเค็มซึ่งมีมากเป็นจำนวนหลายตัน เกลือที่เหลือแม้ว่าจะมีเกลือแร่ธาตุหลายชนิด แต่ส่วนใหญ่เป็นโซเดียมคลอไรด์ ในกรณีที่ใช้พลังงานนิวเคลียร์ก็ควรคำนึงถึงการรั่วไหลของสารรังสี ที่ไม่สมเหตุสมผลมากคือการเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืดเพื่อเอาน้ำจืดไปใช้ในการชลประทาน นอกจากอุปสรรคที่กล่าวมานี้อาจมีปัญหาเกี่ยวกับพลังงานที่ใช้ในการดูดน้ำทะเลขึ้นมา ถ้าเมืองอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมากหรือไกลจากทะเลมากค่าใช้จ่ายเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมาก

วิธีการทำน้ำจืดอีกวิธีหนึ่งที่บ้านเราทำกันคือการทำฝนเทียม วิธีการสร้างเมฆทำได้โดยใช้น้ำแข็งแห้งและซิลเวอร์ไอโอไดด์ วิธีนี้ไม่เพิ่มปริมาณน้ำฝนโดยเฉพาะในพื้นที่ราบ แต่ถ้าภูมิประเทศเป็นภูเขาอาจช่วยเพิ่มประมาณน้ำฝนให้สูงกว่าปกติได้ 10-15 เปอร์เซนต์ ปัญหาของวิธีนี้อยู่ที่ไม่สามารถควบคุมปริมาณและการกระจายของฝนเทียม นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายก็สูง ฝนเทียมจึงเหมาะสำหรับกรณีที่ขาดน้ำและแล้งมาก

พืชในป่าหลายชนิดเป็นพืชที่คายน้ำมากกว่าพืชที่เพาะปลูกในการเกษตร 50-100 เปอร์เซนต์ ส่วนใหญ่เป็นพืชที่ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เรื่องนี้อาจทำให้บางคนคิดว่าถ้าตัดไม้ในป่าให้หมดก็คงจะเพิ่มปริมาณน้ำให้ได้ใช้กันมากขึ้นซึ่งเป็นทำนองเดียวกับการเปิดป่าเพื่อเพิ่มพื้นที่การเกษตร ถ้าจะจัดการป่าโดยคำนึงถึงการอนุรักษ์ต้นน้ำ คุณภาพและปริมาณน้ำก็จำเป็นต้องเปลี่ยนพืชที่คายน้ำมากด้วยพืชชนิดที่คายน้ำน้อย ถ้าเมืองมีประชากร 100,000 คน ใช้น้ำจืดวันละ 12 ล้านแกลลอน ถ้าเทปริมาณน้ำจืดนี้ลงในพื้นที่ 10 ตารางไมล์จะได้น้ำสูงเพียง 0.1 นิ้วเท่านั้น แต่ในพื้นที่เท่ากันที่เป็นป่าระบบรากของต้นไม้สามารถดูดน้ำได้มากกว่าปริมาณนี้เป็นเท่าตัว จริงอยู่ที่การเปิดป่าให้โล่ง (clear cutting) เพิ่มปริมาณน้ำได้มาก เพราะเป็นการกำจัดการใช้น้ำแบบ consumptive use ของพืช (Jones et al., 1967) แต่ในระยะยาวแล้วมีผลเสียมากกว่าผลดี

ไม่ว่าจะพยายามแก้ไขปัญหาน้ำอย่างไร คำตอบที่ถูกต้องข้อหนึ่งคือ ควบคุมจำนวนประชากร เราสามารถเปิดป่าและแปลงทะเลทรายเพื่อเพิ่มอาหารสำหรับปากท้องประชากร แต่สิ่งที่เราสูญเสียในการตัดสินใจแลกเปลี่ยนนี้คือ ระบบนิเวศน์ธรรมชาติที่เป็นป่าและทะเลทราย สิ่งที่สูญเสียไปนี้เป็นสิ่งที่ฝรั่งในประเทศที่พัฒนาใฝ่หาและพยายามรักษาไว้ให้อนุชนรุ่นหลังศึกษาเชยชม สิ่งเหล่านี้ฝรั่งเรียกว่า wilderness สำหรับประเทศที่กำลังพัฒนายังพอมีโอกาสเลือกว่าจะแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มผลผลิตเพิ่มปัจจัยกันต่อไปหรือจำกัดจำนวนประชากร เรายังมีโอกาสเลือกในเวลานี้ถ้าเราต้องการจะทำ

สรุป

ปริมาณน้ำจืดที่มีอยู่ในโลกนี้ มีไม่ถึงหนึ่งเปอร์เซนต์ของน้ำทั้งหมด น้ำจืดในฐานะที่เป็นทรัพยากรอย่างหนึ่งของคนจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องอนุรักษ์ ปัญหาที่เกิดจากน้ำคือ ความแห้งแล้งและน้ำท่วม มนุษย์ได้พยายามแก้ปัญหานี้ในรูปแบบต่าง ๆ กัน ซึ่งในการแก้ปัญหายังทำให้มีผลติดตามในทางลบอีกในหลายกรณี กล่าวได้ว่าปัญหาจากน้ำเป็นผลที่เกิดขึ้นโดยที่คนเราไม่ได้คาดคิด (repercussions) และมักเป็นผลสืบเนื่องมาจากการนำเทคโนโลยีมาใช้ ความเจริญที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีนี่เองก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำซึ่งเป็นปัญหาที่เราไม่ได้คาดคิดไว้ล่วงหน้าเช่นกัน มลภาวะทางน้ำเป็นสิ่งที่ทำให้น้ำไร้คุณค่าทั้งทางด้านประโยชน์ใช้สอยและทางด้านความสวยงาม นอกจากสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำจะได้รับผลโดยตรงแล้ว คนเราซึ่งเป็นต้นเหตุของมลภาวะทางน้ำก็ยังต้องรับกรรมที่ตนเองก่อขึ้น เพราะคนเราก็อยู่ในระบบนิเวศน์ ต้องอาศัยน้ำดื่ม ใช้ และประกอบกิจกรรมอื่น ๆ ในด้านการค้า อุตสาหกรรมและการเกษตร มลภาวะทางน้ำเป็นเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนน้ำที่มีคุณภาพ การเปลี่ยนสภาพน้ำเสียจึงจำเป็นในชุมชนที่มีคนอยู่หนาแน่นอย่างในเมือง ถ้าคนกรุงเทพฯ หนึ่งคนใช้น้ำโดยเฉลี่ยวันละ 300 ลิตร ประชากรกรุงเทพฯ 5,000,000 คน จะใช้น้ำวันละ 1500,000,000 ลิตร ถ้ารวมน้ำที่เราใช้รดต้นไม้ สนามและสวนครัวเข้าไปด้วย ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวันคงไม่ต่ำกว่า 3,000,000,000 ลิตร

การจัดการและการอนุรักษ์น้ำไม่มีทางประสบผลสำเร็จถ้ามุ่งความสนใจไปที่ปัญหาเฉพาะท้องที่ การมองปัญหาควรมองในวิวที่กว้างและการแก้ไขต้องอาศัยองค์กรระดับรัฐบาล ถ้ามองกว้างขึ้นไปอีกปัญหาน้ำเป็นสิ่งที่ต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างประเทศช่วยแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามความรับผิดชอบของแต่ละบุคคลยังเป็นพื้นฐานของความสำเร็จในการแก้ปัญหาที่เกิดจากน้ำ ปัญหาที่เกิดกับน้ำ และปัญหาที่สืบเนื่องจากสองปัญหาแรก มีกี่คนที่เห็นคุณค่าของน้ำและยอมเสียสละเพื่อรักษาคุณค่าของน้ำ และถ้าคิดให้ดีใครที่เป็นผู้จ่ายชดใช้ความเสียหายที่เกิดจากปัญหาน้ำ

คำถาม

1. น้ำเป็นทรัพยากรประเภทใด อธิบายวงจรของน้ำในระบบนิเวศน์
2. การใช้น้ำของชาวกรุงเทพฯ เป็นแบบไหน และก่อให้เกิดปัญหาติดตามอย่างไร
3. จำเป็นต้องเปลี่ยนสภาพน้ำเสียหรือไม่ วิธีการเปลี่ยนสภาพน้ำเสียแบบใดที่คาดว่าเหมาะสำหรับบ้านเรา
4. ถ้าจะย้ายเมืองหลวงไปตั้งที่สัตหีบ ท่านคิดว่ามีปัญหาเรื่องน้ำหรือไม่ ถ้ามีจะแก้ไขปัญหาได้อย่างไร
5. มลภาวะทางน้ำทำลายสมดุลย์ของระบบนิเวศน์อย่างไร ถ้าจะแก้ปัญหามลภาวะทางน้ำท่านจะแก้อย่างไร
6. เขื่อนมีข้อดี แต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อเสีย ท่านจะให้ความเห็นเรื่องนี้อย่างไร

บรรณานุกรมและเชิงอรรถ

Allen, S. W., and J. W. Leonard. 1966. Conserving natural resources. McGraw-Hill Book-Company, New York.

Colman, E. A. 1953. Vegetation and watershed management. Ronald Press, New York.

Gaardner, T. and H. H. Gran. 1927. Investigation of the reproduction of plankton in the Oslo Fjord. Rapp. et Proc. Verb., Cons. Internat. Explor. Mer. 42 : l-48.

Jones, E. B., R. Lee and J. C. Frey. 1967. Land management for city water, Outdoors USA : the year book of agriculture. U.S. Department of Agriculture, Washington; D. C.

Kalanin, G. P. and V. D. Bykov 1969. The world's water resources, present and future. Impact-of science on society, UNESCO, 19 : 135-150.

Lind, 0. W. 1974. Handbook of common methods in limnology. C. V. Mosby Company, Saint Louis, Missourri.

Mattison, C. W. and J. Alvarez. 1967. Man and his resources in today'\ world. Creative Educational Society, Mankato, Minnesita.

Miller, L. 1962. The origin of life. In : W. Johnson and W. Steere (eds.) This is life. Holt, Rhinchart and Winston, Inc., New York.

Newell, R. E. 1979. Climate and the ocean. American Scientist 67 : 405-416.

Owen, O.S. 1979. Natural resource conservation : An ecological approach, Macmillan Publishing Co., Inc., New York.

Pereira, H. C., et al.,.1970. Water resources problems : present and future requirements for life. Unesco 1970. General reference.

Smith, R. L. 1977. Elements of ecology and field biology. Harper & Row, Publishers, New York.

White, G. F. 1978. Environmental effects of arid land irrigation in developing countries. UNESCO, Paris.

Wright, J. C. 1966. The coming water famine. Coward Company, New York.