304.2
ส 928น

นิเวศวิทยาสิ่งแวดล้อม กับการปรับปรุงความเป็นอยู่ของมนุษย์

10 ก.ย. 2538

โดย

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสานมิตร

พฤษภาคม 2535

181080

คำนำ

หนังสือนิเวศวิทยาะ สิ่งแวดล้อมกับการปรับปรุงความเป็นอยู่ของมนุษย์เล่มนี้ ผู้เรียบเรียงมีวัตถุประสงค์ให้ นิสิต นักศึกษา ใช้เป็นตำราสำหรับอ่านประกอบ ในวิชาที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนิเวศวิทยา หรือวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ผู้อ่านจะได้ทราบถึงพื้นฐานความเป็นมาของวิชานิเวศวิทยา แนวความคิดของระบบนิเวศ เพื่อเรียนรู้ระบบที่มีอยู่ในธรรมชาติ และนำไปสู่ความเข้าใจถึงมนุษย์กับธรรมชาติ ว่ามีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันอย่างไร สสารและพลังงานหมุนเวียนไปในระบบธรรมชาติได้อย่างไร ตลอดจนปัญหาสิ่งแวดล้อมบางประการที่เกิดจากการที่มนุษย์ทำให้ธรรมชาติเสียสมดุล นอกจากนั้นยังจะได้ทราบถึงผลเสียที่มนุษย์ได้รับจากระบบนิเวศ เช่น โรคภัยไข้เจ็บ อันเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันที่แวดล้อมตัวมนุษย์ ในขณะเดียวกันมนุษย์ยังรู้จักวิธีใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบในระบบนิเวศเพื่อปรับปรุงชีวิตความเป็นอยู่มาตลอด เช่น อาศัยสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ได้แก่ จุลินทรีย์ พืช และสัตว์ มาผลิตอาหารและพลังงาน เพื่อหล่อเลี้ยงชีวิตมนุษย์ให้ดำรงอยู่ได้ สำหรับเรื่องสุดท้ายผู้อ่านยังจะได้ทราบแนวทางการอนุรักษ์ฟื้นฟู และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งหากทุกคนมองเห็นความสำคัญถึงการคงอยู่ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบนิเวศของโลกใบนี้แล้ว การร่วมมือกันปฏิบัติตามแนวทางดังกล่าวคงเป็นไปได้โดยไม่ยากนัก ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอันมีค่าก็จะดำรงอยู่คู่โลกต่อไป

อนึ่ง ผู้เรียบเรียงหวังว่าหนังสือเล่มนี้ยังจะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจทั่วไปที่ประสงค์จะศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเพื่อให้มองเห็นบทบาทและหน้าที่ตลอดจนประโยชน์ของสิ่งต่าง ๆ ในระบบนิเวศรอบตัวได้เป็นอย่างดี เพื่อจะได้ช่วยกันสงวนรักษาและช่วยกันฟื้นฟูธรรมชาติแวดล้อมให้คงอยู่ตลอดไปชั่วกาลนาน จึงขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

(เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา)

พฤษภาคม 2535

สารบัญ

		หน้า
คำนำ		ก
สารบัญ		ข
บทที่ 1	นิเวศวิทยา และระบบนิเวศ	1
	1.1 บทนำ	1
	1.2 ความเป็นมาและความหมายของวิชานิเวศวิทยา	1
	1.3 ความหมาย ลักษณะ และองค์ประกอบของระบบ	3
	1.4 ความหมายของระบบนิเวศ	5
	1.5 องค์ประกอบ และแนวคิดของระบบนิเวศ	6
	1.6 ตัวอย่างระบบนิเวศในสระน้ำ	10
บทที่ 2	ประชากรมนุษย์ และความสมดุลของธรรมชาติ	14
	2.1 บทนำ	14
	2.2 ความหมายและลักษณะที่สำคัญของประชากร	15
	2.3 ความสมดุลของธรรมชาติ	23
	2.3.1 บทบาทและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ	23
	2.3.2 การถ่ายทอดพลังงานและการหมุนเวียนของธาตุต่าง ๆ ผ่านโซ่อาหารในระบบนิเวศ	25
	2.3.3 ภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างสมดุล และความสามารถในการปรับตัวของระบบนิเวศ	32
	2.3.4 ความหลากหลาย ความสลับซับซ้อน ความสามารถในการรองรับ และความมั่นคงของระบบนิเวศ	33
	2.3.5 การไหลของพลังงาน และการหมุนเวียนของสสารในชีวภาค	35
	1) วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic cycle)	38
	2) วัฏจักรของออกซิเจน (Oxygen cycle)	40
	3) วัฏจักรของคาร์บอน (Carbon cycle)	41
	4) วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen cycle)	46
	5) วัฏจักรของฟอสฟอรัส (Phosphorous cycle)	47

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม	49
2.4.1	ความหมายของสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ	49
2.4.2	มนุษย์กับปัญหาสิ่งแวดล้อม	51
	1) สาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับประชากรมนุษย์	52
	2) ทรัพยากรธรรมชาติร่อยหรอ	54
	3) การเกิดมลพิษ	65
บทที่ 3	โรคภัยไข้เจ็บ	79
3.1	บทนำ	79
3.2	ความหมายของโรคภัยไข้เจ็บ	79
3.3	ประเภทของโรคภัยไข้เจ็บ	81
3.4	ปัจจัยที่ทำให้เกิดโรค	88
3.5	แหล่งโรค	92
3.5.1	แหล่งโรคจากมนุษย์	92
3.5.2	แหล่งโรคจากสัตว์	94
3.5.3	แหล่งโรคจากพืช	95
3.5.4	แหล่งโรคจากสิ่งแวดล้อม	96
3.6	การป้องกันโรค	97
3.7	โรคน่ารู้	98
3.7.1	โรคเอดส์	98
3.7.2	โรคเบาหวาน	102
3.7.3	ไข้หวัด	104
3.7.4	โรคแพ้อากาศ	105
3.7.5	โรคเนื้องอก	106
บทที่ 4	ประโยชน์ของจุลินทรีย์	111
4.1	บทนำ	111
4.2	ความหมายและความสำคัญของจุลินทรีย์	111

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
4.3	การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์	112
	4.3.1 ด้านอุตสาหกรรม	112
	4.3.2 ด้านการผลิตอาหาร	115
	4.3.3 ด้านการแพทย์และสาธารณสุข	117
	4.3.4 ด้านการเกษตร	117
	4.3.5 ด้านการลดมลพิษ	118
	4.3.6 ด้านการผลิตพลังงานทดแทน	118
บทที่ 5	พลังงานจากชีวมวล	120
5.1	บทนำ	120
5.2	ความหมาย ความสำคัญ และแหล่งกำเนิดของพลังงานจากชีวมวล	120
	5.2.1 ความหมายของพลังงานจากชีวมวล	120
	5.2.2 ความสำคัญของพลังงานจากชีวมวล	121
	5.2.3 แหล่งกำเนิดของพลังงานจากชีวมวล	121
5.3	การผลิตพลังงานจากชีวมวลที่สำคัญ	122
	5.3.1 กระบวนการใช้ความร้อน	124
	1) การเผาไหม้โดยตรง	124
	2) ไพโรไลซิส	127
	3) แก๊สซิฟิเคชัน	132
	5.3.2 กระบวนการทางชีวเคมี	132
	1) การผลิตแก๊สชีวภาพ	132
	- ชนิดของบ่อหมักแก๊สชีวภาพ	134
	- กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อหมักแก๊สชีวภาพ	140
	- แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายและการสร้างแก๊สมีเทน	143
	- ปริมาณและส่วนผสมของแก๊สชีวภาพ	145
	- ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสร้างแก๊สชีวภาพ ..	150

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

- การใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพ 151
2) การผลิตแอลกอฮอล์ 152
- วัตถุดิบและกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ 152
- การนำแอลกอฮอล์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน.. 154

5.4 พลังงานชีวมวลจากแหล่งอื่น 155
5.4.1 น้ำมันเชื้อเพลิงจากพืช 155
5.4.2 พลังงานจากขยะมูลฝอย 156
5.4.3 แก๊สไฮโดรเจนจากสาหร่าย 157

บทที่ 6 การอนุรักษ์ ฟื้นฟู และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม 158
6.1 บทนำ 158
6.2 ความหมายของการอนุรักษ์ 158
6.3 หลักการอนุรักษ์ 159
6.4 แนวความคิดในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม 161
6.5 แนวทางในการอนุรักษ์ ฟื้นฟู ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม 163
6.5.1 ระดับบุคคล 163
6.5.2 ระดับท้องถิ่น 164
6.5.3 ระดับประเทศ 166
6.5.4 ระดับโลก 172

บรรณานุกรม 173

บทที่ 1

นิเวศวิทยา และ ระบบนิเวศ

1.1 บทนำ

สรรพสิ่งทั้งหลายในโลกล้วนแต่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน สิ่งมีชีวิตย่อมมีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมรอบข้าง ทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดการดำรงอยู่ซึ่งความสมดุลทางธรรมชาติ การศึกษาวิชานิเวศวิทยานับเป็นพื้นฐานแห่งความรู้ความเข้าใจถึงบทบาทและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะนำไปสู่การมองเห็นความสำคัญขององค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบนิเวศ ที่เป็นสื่อกลางในการหมุนเวียน ถ่ายเท ของสสาร และพลังงานอยู่ตลอดเวลาอย่างไม่หยุดนิ่ง ดังนั้นประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเนื้อหาในบทนี้คือจะช่วยให้ทราบถึง ความเป็นมาและวิวัฒนาการของวิชานิเวศวิทยา ชีวาลัย และระบบนิเวศมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นความเข้าใจในแนวคิดของระบบนิเวศสามารถนำไปประยุกต์ หรือวิเคราะห์ระบบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่างๆ ในธรรมชาติรอบตัวได้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจและรักธรรมชาติรอบตัวและเป็นพื้นฐานของการเรียนรู้เนื้อหาของบทต่อ ๆ ไป

1.2 ความเป็นมาและความหมายของวิชานิเวศวิทยา

คำว่า "Ecology" แปลเป็นภาษาไทยว่า "นิเวศวิทยา" ได้ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกโดยนักชีววิทยาชาวเยอรมันชื่อ เอิร์น เฮกเกล (Ernst Haeckel) เมื่อปี ค.ศ. 1869 "Eco" มาจากคำในภาษากรีกคือ "Oikos" ซึ่งแปลว่า "House" คือบ้านหรือที่อยู่อาศัย มีความหมายเช่นเดียวกับคำว่า "Economics" และตามคำนิยามเดิมนั้น Ecology หมายถึง การศึกษาที่ว่าด้วยเศรษฐศาสตร์ของพืชและสัตว์ (The economy of plants and animals) ต่อมาคำนิยามได้เปลี่ยนไป คือ Ecology หมายถึง การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อมของมัน ซึ่งรวมทั้งสิ่งมีชีวิตด้วยกันเองและสิ่งไม่มีชีวิต สิ่งแวดล้อมที่ว่านี้ หมายความถึงสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติมิได้รวมถึงสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์คิดค้นสร้างสรรค์ดัดแปลงขึ้นจากธรรมชาติ

แต่เดิม Ecology เป็นเพียงบางส่วนของ Biology หรือวิชาชีววิทยา ลักษณะการศึกษาแบ่งออกเป็น

- <u>ออทอีโคโลจี (Autecology)</u> หมายถึง การศึกษาสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง (Single species) กับสภาพแวดล้อมที่ควบคุมหรือมีผลต่อการดำรงชีวิตของมัน เช่น การศึกษาเรื่องของแมงมุม การศึกษาเรื่องของเฟื่องฟ้า การศึกษาเรื่องของกล้วยไม้ เป็นต้น

- <u>ซีนอีโคโลจี (Synecology)</u> หมายถึง การศึกษากลุ่มของสิ่งมีชีวิต (Aggregates of mixed organisms) ที่อยู่รวมกันเป็นชุมชน (Community) การศึกษาจะเน้นในเรื่องจำนวนสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดที่สัมพันธ์กันในระบบห่วงโซ่อาหาร (Food chain) โดยสามารถแสดงให้เห็นถึงพีระมิดของจำนวน (Pyramid of numbers) เช่น เหยี่ยว 1 ตัว จะอยู่ได้ต้องกินงู 3 ตัว งู 3 ตัว กินกบ 12 ตัว กบ 12 ตัว กินตั๊กแตน 240 ตัว ตั๊กแตน 240 ตัวกินหญ้าในพื้นที่ 240 ตารางเมตร เป็นต้น

ต่อมาในปี ค.ศ. 1935 นักนิเวศวิทยา (Ecologist) ชื่อทรานซ์ลีย์ (Transley) ได้พยายามแบ่งย่านต่าง ๆ ในชีวภาค (Biospere) (ดูความหมายในข้อ 2.3.5) ออกเป็นระบบนิเวศ (Ecosystems) เพื่อความสะดวกและเพื่อประโยชน์ในการศึกษาวิจัย ระบบนิเวศอาจจะเล็กใหญ่แตกต่างกันไป แล้วแต่จุดประสงค์ของการศึกษานั้น ๆ ระบบนิเวศที่ใหญ่ที่สุด ได้แก่ Ecosphere หรือชีวภาค (Biosphere)

ในการศึกษาด้านนิเวศวิทยานั้น ถือว่ามนุษย์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของระบบนิเวศเช่นเดียวกับสัตว์อื่น ๆ คือเป็นสิ่งมีชีวิตและผลิตอาหารเองไม่ได้ ทำหน้าที่เป็นผู้บริโภค (Consumer) หากพฤติกรรมของมนุษย์มีจำกัดอยู่เพียงเพื่อดำรงชีวิต คือ กิน ถ่าย หลับนอน และสืบพันธุ์ เช่นเดียวกับสัตว์อื่น ๆ ในชีวาลัยแล้ว ก็คงไม่เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างใหญ่หลวงดังในปัจจุบัน แต่ด้วยเหตุที่มนุษย์มีข้อแตกต่างจากสัตว์อื่น คือ มีมันสมองที่วิวัฒนาการสูงจนสามารถคิดค้นแปลงธรรมชาติและประดิษฐ์สิ่งของขึ้นใช้สอยเพื่อความสะดวกสบาย จึงเกิดปัญหาติดตามมา เพราะพฤติกรรมของมนุษย์ได้ละเลยกฎพื้นฐานของระบบนิเวศมากขึ้นทุกที จึงทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม อันเป็นองค์ประกอบอื่น ๆ ในระบบนิเวศ ซึ่งส่งผลสะท้อนกลับมาคุกคามการดำรงชีวิตของมนุษย์เองในรูปวิกฤตการณ์สิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ มนุษย์จึงเริ่มตื่นตัวและพยายามหาแนวทางป้องกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

ความพยายามที่จะศึกษาหาทางป้องกันและแก้ไขปัญหาวิกฤตการณ์สิ่งแวดล้อมนั้น ทำให้เกิดศาสตร์ที่เรียกว่า วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (Environmental science) อันเป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการศึกษาถึงผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ต่อความสัมพันธ์ของระบบสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม หรือกล่าวง่าย ๆ ว่า วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมก็คือการขยายขอบเขตการศึกษานิเวศวิทยา ให้รวมถึงผลกระทบอันเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made impact) ด้วยนั่นเอง

1.3 ความหมาย ลักษณะ และองค์ประกอบของระบบ

ความหมายของระบบ

ระบบ (System) หมายถึง สิ่งซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบย่อยหรือหน่วยย่อยหลาย ๆ หน่วย ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน และทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อให้บรรลุเป้าประสงค์เดียวกัน เมื่อส่วนประกอบย่อยประกอบกันเป็นระบบแล้ว สามารถทำงานได้ผลดีกว่าส่วนประกอบย่อยแต่ละส่วนจะทำได้ ส่วนประกอบย่อยเรียกว่า ระบบย่อย (Subsystem) แต่ละระบบอาจจะมีระบบย่อยจำนวนแตกต่างกัน ระบบย่อยหลาย ๆ ระบบรวมกันเป็นระบบใหญ่หนึ่งระบบ เช่น ถ้าพิจารณาต้นไม้ในป่าในลักษณะระบบ จะเห็นว่า ราก ลำต้น กิ่ง ใบ ดอก ผล ฯลฯ เป็นระบบย่อยของแต่ละต้น และต้นไม้แต่ละต้นเป็นระบบย่อยอันหนึ่งของระบบป่า เป็นต้น ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าระบบใด ๆ ย่อมเป็นระบบย่อยของระบบที่ใหญ่กว่าเสมอ

ลักษณะของระบบ

จากคำจำกัดความ และการแยกประเภทของระบบที่ได้กล่าวมาแล้ว สรุปได้ว่า ระบบใด ๆ ย่อมมีลักษณะหรือองค์ประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1) ระบบประกอบด้วยองค์ประกอบย่อย คือหน่วยย่อยที่รวมตัวกันขึ้นตามธรรมชาติ หรือโดยการกระทำของมนุษย์เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง

2) องค์ประกอบย่อยที่รวมตัวเป็นระบบ แต่ละองค์ประกอบต่างมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน การดำเนินงานและหน้าที่ของหน่วยย่อยแต่ละหน่วยเป็นไปเพื่อให้บรรลุเป้าประสงค์ของระบบใหญ่

3) ระบบใด ๆ ย่อมมีสิ่งแวดล้อมของระบบ โดยที่สิ่งแวดล้อมของระบบถือได้ว่าเป็นระบบที่ประกอบด้วยระบบย่อย หรืออาจกล่าวได้เช่นกันว่า ระบบใด ๆ ย่อมเป็นระบบย่อยของระบบที่ใหญ่กว่าหรือของสิ่งแวดล้อม

4) ระบบอาจถูกจำแนกออกได้หลายชนิดตามความประสงค์ของผู้จำแนก

5) ทุกระบบจะต้องมีการจัดการและการดำเนินงานเพื่อให้ระบบเกิดการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม และผลักดันให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

องค์ประกอบของระบบ

ระบบ ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ ส่วนนำเข้า (Input) ส่วนกระบวนการ (Process) ส่วนผลลัพธ์ (Output) และส่วนป้อนกลับ (Feed-back) ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทั้ง 4 ดังแสดงในภาพ 1.1

ภาพ 1.1 องค์ประกอบของระบบ

1) ส่วนนำเข้า (Input) คือส่วนที่เป็นทรัพยากรหรือสิ่งที่จำเป็นเพื่อนำเข้าสู่ระบบและก่อให้เกิดการทำงานหรือกระบวนการ ทรัพยากรนี้อาจอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ หรือหลายชนิดก็ได้แล้วแต่ชนิดของระบบ เช่น ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ ส่วนนำเข้าได้แก่ อาหาร น้ำ เป็นต้น

2) ส่วนกระบวนการ (Porcess) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปรสภาพวัตถุดิบหรือทรัพยากรหรือสิ่งที่นำเข้ามายังระบบให้ได้ผลลัพธ์หรือผลผลิต ส่วนกระบวนการอาจจะประกอบไปด้วยระบบย่อยหลาย ๆ ระบบ และมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของระบบ เช่น ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ ส่วนกระบวนการคือกรรมวิธีการย่อยอาหารได้แก่ การเคี้ยวอาหาร การเคลื่อนที่ของอาหารในหลอดอาหาร การย่อยอาหารด้วยน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร เป็นต้น

3) ส่วนผลลัพธ์ (Output) เป็นส่วนที่เกิดขึ้นหรือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อส่วนนำเข้าได้ผ่านส่วนกระบวนการแล้ว ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของระบบ ส่วนผลลัพธ์ของระบบมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของระบบเช่น พลังงานที่ได้จากการย่อยอาหาร ในขณะเดียวกันจะมีการขับถ่ายของเสียที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายออกมาด้วย

4) ส่วนป้อนกลับ (Feed-back) ส่วนที่ใช้ในการควบคุมกำกับการทำงานของส่วนกระบวนการ เพื่อให้เกิดผลผลิตหรือผลลัพธ์ตามที่กำหนดไว้ ส่วนป้อนกลับนี้จะนำเอาส่วนนำเข้าหรือผลลัพธ์ที่ได้จากระบบเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมาย ผลการเปรียบเทียบจะนำไปสู่การปรับปรุงส่วนกระบวนการกล่าวคือ ถ้าผลการเปรียบเทียบปรากฏว่าผลผลิตที่ได้อาจจะมีปริมาณหรือคุณภาพต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ แสดงว่าต้องมีการปรับให้อยู่ในสภาพปกติหรือปรับปรุงแก้ไขต่อไป ส่วนป้อนกลับนี้อาจอยู่ในรูปของข่าวสารหรือภาวะทางกายภาพของส่วนผลลัพธ์ เช่น อาการหิว หมดเรี่ยวแรง เป็นต้น ซึ่งกระตุ้นให้ร่างกายนำอาหารเข้าสู่กระบวนการอีกต่อไป

1.4 ความหมายของระบบนิเวศ

ระบบนิเวศ (Ecosystem) หมายถึง ระบบความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิต อันได้แก่พืชและสัตว์ด้วยกันเอง กับสิ่งไม่มีชีวิต คือสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ ได้แก่ น้ำ อากาศ และแร่ธาตุจำพวกแคลเซียม ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน ออกซิเจน ฯลฯ สารเหล่านี้ไม่ได้อยู่นิ่งกับที่ แต่จะมีการเคลื่อนไหวถ่ายเทจากภายนอกผ่านไปสู่ภายในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ และกลับออกสู่ภายนอก วนเวียนอยู่เช่นนี้เป็นวัฏจักร

ระบบความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้เป็นไปตามกฎเกณฑ์อย่างมีระเบียบภายในระบบนิเวศทุกระบบทำให้ระบบอยู่ในภาวะสมดุล (Steady state or equilibrium) แนวความคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ในระบบนิเวศนี้ชี้ให้เห็นโดยเด่นชัดว่า ชีวิตทั้งหลายไม่อาจดำรงอยู่ได้อย่างโดดเดี่ยว โดยปราศจากความสัมพันธ์กับองค์ประกอบอื่น ๆ ชีวิตหนึ่งจะดำรงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อมีชีวิตอื่น ๆ อยู่ด้วย และข้อที่สำคัญยิ่งคือ ชีวิตจะดำรงอยู่ได้ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกระบบ คือ จากดวงอาทิตย์ พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้ความสัมพันธ์ทั้งหลายดำเนินไปได้ตามขั้นตอนภายใต้ระเบียบและกฎเกณฑ์ของระบบ

1.5 องค์ประกอบ และแนวคิด ของระบบนิเวศ

สิ่งแวดล้อมที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ต่างมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดหรือไม่อาจแยกออกจากกันได้ หน่วยของสิ่งมีชีวิตใด ๆ ที่ประกอบด้วยองค์ประกอยย่อย เช่นในชุมชนของสิ่งมีชีวิตแห่งหนึ่ง ๆ ย่อมมีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ดังนั้นในความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีการไหลของพลังงานไปตามโครงสร้างทางอาหาร (Trophic structure) และมีการแลกเปลี่ยนสสารระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิตในระบบอยู่ตลอดเวลา ซึ่งระบบดังกล่าวก็คือระบบนิเวศนั่นเอง (Trophi มาจากคำว่า Trope แปลว่า "อาหาร")

หากทราบแนวคิดของระบบนิเวศแล้วจะเป็นพื้นฐานของความเข้าใจถึงเรื่องอื่น ๆ อีกหลายประการ เช่น การถ่ายทอดสสารและพลังงานไปตามห่วงโซ่อาหาร (Food chain) ความหลากหลายทางชีววิทยาและวัฏจักรของสารต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับเรื่ององค์ประกอบของระบบนิเวศจะกล่าวถึง ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบย่อยที่มีชีวิตกับไม่มีชีวิตว่ามีการแลกเปลี่ยนหมุนเวียนสสารและพลังงานกันภายใต้บทบาทหน้าที่หรือการทำงานของแต่ละองค์ประกอบอย่างไรก่อนที่จะกล่าวรายละเอียดเกี่ยวกับแนวคิดของระบบนิเวศในลำดับต่อไป

องค์ประกอบของระบบนิเวศ

ระบบนิเวศมีองค์ประกอบอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ องค์ประกอบส่วนที่ไม่มีชีวิต (Abiotic components) และองค์ประกอบส่วนที่มีชีวิตหรือเรียกว่ามวลชีวภาพ (Biotic component or Biomass) สำหรับองค์ประกอบส่วนหลังนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ประเภทที่สร้างอาหารเองได้หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าผู้ผลิต (Autotrophic components or Producers) และประเภทที่สร้างอาหารเองไม่ได้แต่ต้องอาศัยอาหารจากแหล่งอื่นหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าผู้บริโภค (Heterotrophic components or Consumers) ดังนั้นเมื่อแบ่งองค์ประกอบทุกส่วนในระบบนิเวศออกเป็นส่วนย่อยจะได้ 6 ระบบยย่อยหรือ 6 ประการ คือ

<u>ส่วนที่ไม่มีชีวิต</u>

1) สารอนินทรีย์ ที่หมุนเวียนอยู่ในวัฏจักรของสสาร ได้แก่ ธาตุ และ สารประกอบต่าง ๆ เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ฯลฯ

2) สารอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ฮิวมัส เป็นต้น สารเหล่านี้เป็นตัวเชื่อมระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิตเข้าด้วยกัน กล่าวคือ มีอยู่ทั้งในสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต

3) ปัจจัยกายภาพ ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น ความดัน เป็นต้น

<u>ส่วนที่มีชีวิต</u>

4) ผู้ผลิต (Producers) เป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองได้ (Autotrophic organisms) โดยการตรึงพลังงานจากแสงสว่างมาใช้ในการเปลี่ยนสารอนินทรีย์ให้กลายเป็นสารที่มีความสำคัญและซับซ้อนขึ้น และเป็นอาหารขององค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ พืชสีเขียวทั้งหลาย

5) ผู้บริโภคขนาดใหญ่ (Macroconsumers) หรือ ฟาโกทรอฟ (Phagotrophs) (Phago = กิน) เป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้(Heterotrophic organisms) ประเภทหนึ่งที่ดำรงชีวิตอยู่ได้โดยการกินสิ่งมีชีวิตหรืออินทรียสารชนิดอื่นเป็นอาหาร ได้แก่ สัตว์ต่าง ๆ

6) ผู้บริโภคขนาดเล็ก (Microconsumers) หรือแซโพรทรอฟ (Saprotrophs) (Sapro = ย่อยสลาย) หรือ ออสโมทรอฟ (Osmotrophs) (Osmo = ผ่านเยื่อเมมเบรน) เป็นสิ่งมีชีวิตอีกประเภทหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ (Heterotrophic organisms) มีโครงสร้างซับซ้อนและทำหน้าที่ดูดซับสารที่ย่อยสลายแล้วเข้าไปในโครงร่างของตนเอง จากนั้นจะปล่อยอนินทรีย์สารออกมาซึ่งมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตกลุ่มผู้ผลิตและกลุ่มอื่น นอกจากนั้นยังสามารถกระตุ้นหรือระงับการทำงานของระบบนิเวศอื่น ๆ ได้ด้วย สิ่งมีชีวิตในกลุ่มนี้ เช่น รา แบคทีเรีย ยีสต์ ไวรัส

แนวคิดของระบบนิเวศ

ระบบนิเวศเป็นหน่วยพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญในวิชานิเวศวิทยา ซึ่งกล่าวถึง สิ่งมีชีวิตหรือสังคมของสิ่งมีชีวิต กับสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีชีวิต ทั้งสองต่างก็มีความสำคัญซึ่งกันและกัน และเป็นสิ่งซึ่งทำให้ชีวิตต่าง ๆ บนโลกใบนี้ดำรงอยู่ได้ต่อมาเป็นลำดับ ไม่มีสิ่งมีชีวิตชนิดใดที่อยู่ได้โดยปราศจากสิ่งแวดล้อม หลักการของความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และหลักการของการรวมเป็นหนึ่งเดียวของทุกสิ่งทุกอย่าง ต่างก็ถือเป็นส่วนหนึ่งในความหมายของวิชานิเวศวิทยา ความเป็นหนึ่งเดียวระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติได้มีการกล่าวและบันทึกไว้ในประวัติศาสตร์ นานมาแล้วด้วยเช่นกัน

แนวคิดของระบบนิเวศมีขอบเขตกว้างขวางมาก โดยแนวคิดหลักจะเน้นถึง ความสัมพันธ์อย่างมีกฎเกณฑ์ ความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน และความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลขององค์ประกอบย่อยหรือหน่วยย่อยต่าง ๆ ในระบบนิเวศ ซึ่งต่างก็มีบทบาทของตัวเองและแต่ละส่วนจะแยกจากจากกันไม่ได้

อาจกล่าวได้ว่า ระบบนิเวศเป็นการจัดองค์กรทางชีววิทยา เพื่อให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์เชิงระบบ เราอาจสร้างระบบนิเวศขึ้นก็ได้ การศึกษาระบบนิเวศมีอยู่หลายระดับตั้งแต่ระบบเล็กจนถึงระบบขนาดใหญ่ เช่น ระดับการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการซึ่งเรียกว่า ไมโครอีโคซีสเต็ม (Microecosystem) สระน้ำ ทะเลสาบ ป่าไม้ ไปจนถึงระดับทะเลและมหาสมุทร เป็นต้น ตราบใดที่องค์ประกอบหลักของระบบนิเวศยังคงอยู่ และปฏิบัติภาระกิจตามบทบาทหน้าที่อย่างมีระเบียบและดำเนินการต่อไปอย่างไม่หยุดนิ่งแล้วแม้ว่าจะมาร่วมกันเพียงระยะเวลาอันสั้นหรือมาประกอบกันแบบชั่วคราว ก็อาจถือว่าเป็นระบบนิเวศได้ เช่น สระน้ำที่สร้างขึ้นชั่วคราว จะมีสิ่งมีชีวิตเพียงไม่กี่ชนิดและมีกระบวนการต่าง ๆ เกิดขึ้นยังไม่ซับซ้อนมากนัก

ระบบนิเวศใด ๆ ก็ตามไม่ว่าจะเป็น นิเวศบนบก นิเวศในน้ำจืดหรือน้ำเค็ม หรือความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับเกษตรกรรมหรือวิศวกรรมก็ตาม ต่างก็เป็นความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่สร้างอาหารเองได้กับองค์ประกอบที่อาศัยอาหารจากแหล่งอื่นทั้งสิ้น บทบาทขององค์ประกอบในระบบนิเวศมักจะถูกแบ่งออกเป็นระดับตามสถานที่ที่องค์ประกอบนั้น ๆ ตั้งอยู่ ได้แก่ ส่วนที่อยู่ระดับสูงขึ้นมาในอากาศหรือเหนือสิ่งอื่นและมีกระบวนการเมแทบอลิซึมที่เป็นแบบ ออร์โธโทรฟิก (Autotrophic) เรียกกว่า "แนวสีเขียว" ("Greenbelt") เป็นเขตที่สัมผัสกับแสงแดดอย่างเพียงพอ นั่นคือ ส่วนที่เป็นต้นไม้ ใบพืชนั่นเอง อีกส่วนหนึ่งที่อยู่ด้านล่างลงมามีกระบวนการเมแทบอลิซึมเป็นแบบ เฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic) เรียกว่า "แนวสีน้ำตาล" ("Brown belt") เป็นบริเวณที่อินทรียสารสะสมตัวอยู่ในดินหรือในตะกอนต่าง ๆ

หากจัดองค์ประกอบของระบบนิเวศที่ได้จำแนกไว้ตามบทบาทหน้าที่ดังกล่าวแล้ว ออกเป็นลำดับต่าง ๆ ตามช่วงระยะเวลาก่อนหลังของการปฏิบัติหน้าที่ของแต่ละองค์ประกอบแล้วจะเห็นว่า ในช่วงแรกสิ่งมีชีวิตชนิดที่สร้างอาหารเองได้ จะเริ่มผลิตอาหารขึ้นก่อน อาหารจะถูกนำมาใช้เลี้ยงตัวเองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะเก็บสะสมไว้ใน ลำต้น ใบ ดอก ผล และราก ต่อมาเศษชิ้นส่วนของพืชที่ร่วงหล่นทับถมลงบนพื้นดิน จะเป็นช่วงเวลาที่สิ่งมีชีวิตกลุ่มที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ทำการบริโภคต่อไป

การจัดบทบาทหน้าที่ขององค์ประกอบออกตามสถานที่และกาลเวลาดังได้กล่าวมาแล้ว จะนำไปสู่การจัดแบ่ง ลักษณะวงจรการไหลของพลังงานระหว่าง 2 องค์ประกอบหลักในระบบนิเวศ คือผู้ผลิตกับผู้บริโภค เป็น 2 วงจร ได้แก่

1) เกรสซิงเซอร์กิต (Grazing circuit) ซึ่งเป็นวงจรที่มีการบริโภคต้นพืชโดยตรงหรือบริโภคชิ้นส่วนของต้นพืช

2) ออร์กานิกดีไทรทัสเซอร์กิต (Organic detritus circuit) ซึ่งหมายถึงวงจรการสะสมตัวและการย่อยสลายสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว คำว่าดีไทรทัส (Detritus) แปลว่าผลผลิตที่ได้จากการแตกสลาย มาจากคำในภาษาลาตินที่เรียกว่า ดีเทอเรีย (Deterere) ซึ่งนำมาจากคำในวิชาธรณีวิทยา ที่นิยมใช้กันในความหมายที่ว่า เศษชิ้นส่วนของหินที่แตกสลาย สำหรับในที่นี้หมายถึง อนุภาคของอินทรียสารทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว

ระบบนิเวศได้ถูกจัดแบ่งออกตามโครงสร้างและตามบทบาทหน้าที่ออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ และในการศึกษาการจัดองค์กรทางชีววิทยาจึงมีความจำเป็นต้องเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่เหล่านั้นด้วย

โดยธรรมชาติสิ่งที่มีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตของระบบนิเวศมีการสานต่อยิดโยงกันอย่างแยกออกจากกันยาก (ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถแยกสิ่งมีชีวิตออกจากสิ่งไม่มีชีวิตได้อย่างชัดเจน) ธาตุที่มีประโยชน์ส่วนใหญ่ (C, H, O, N, P และอื่น ๆ) และสารประกอบอินทรีย์ (คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ฯลฯ) ไม่เพียงแต่จะมีอยู่เฉพาะภายในและภายนอกของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น ยังเป็นตัวประสานระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิตเข้าด้วยกันอีกด้วย

มีสารบางอย่างที่พบเฉพาะในสิ่งมีชีวิตเท่านั้น เช่น สาร เอทีพี (ATP: Adenosine triphosphate) เป็นสารที่มีการสะสมพลังงานไว้สูง ไม่พบว่ามีในสิ่งที่ไม่มีชีวิต แม้แต่สิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วหรือฮิวมัส ก็ยังไม่พบว่ามีสารชนิดนี้เป็นส่วนประกอบอยู่เลย สำหรับสาร ดีเอ็นเอ (DNA: Deoxyribonucleic acid) ซึ่งเป็นสารทางพันธุกรรมและสารคลอโรฟิลล์ มีอยู่ทั้งภายในและนอกสิ่งมีชีวิต แต่จะไม่มีบทบาทและหน้าที่อะไรเลยถ้ามีอยู่ภายนอกเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ถ้าเราวัดปริมาณเอทีพี ฮิวมัส และคลอโรฟิลล์ ออกมาเป็นหน่วยวัดต่อพื้นที่และต่อปริมาตร ค่าที่ได้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึง มวลชีวภาพ การย่อยสลาย และผลผลิตของระบบนิเวศได้ตามลำดับ

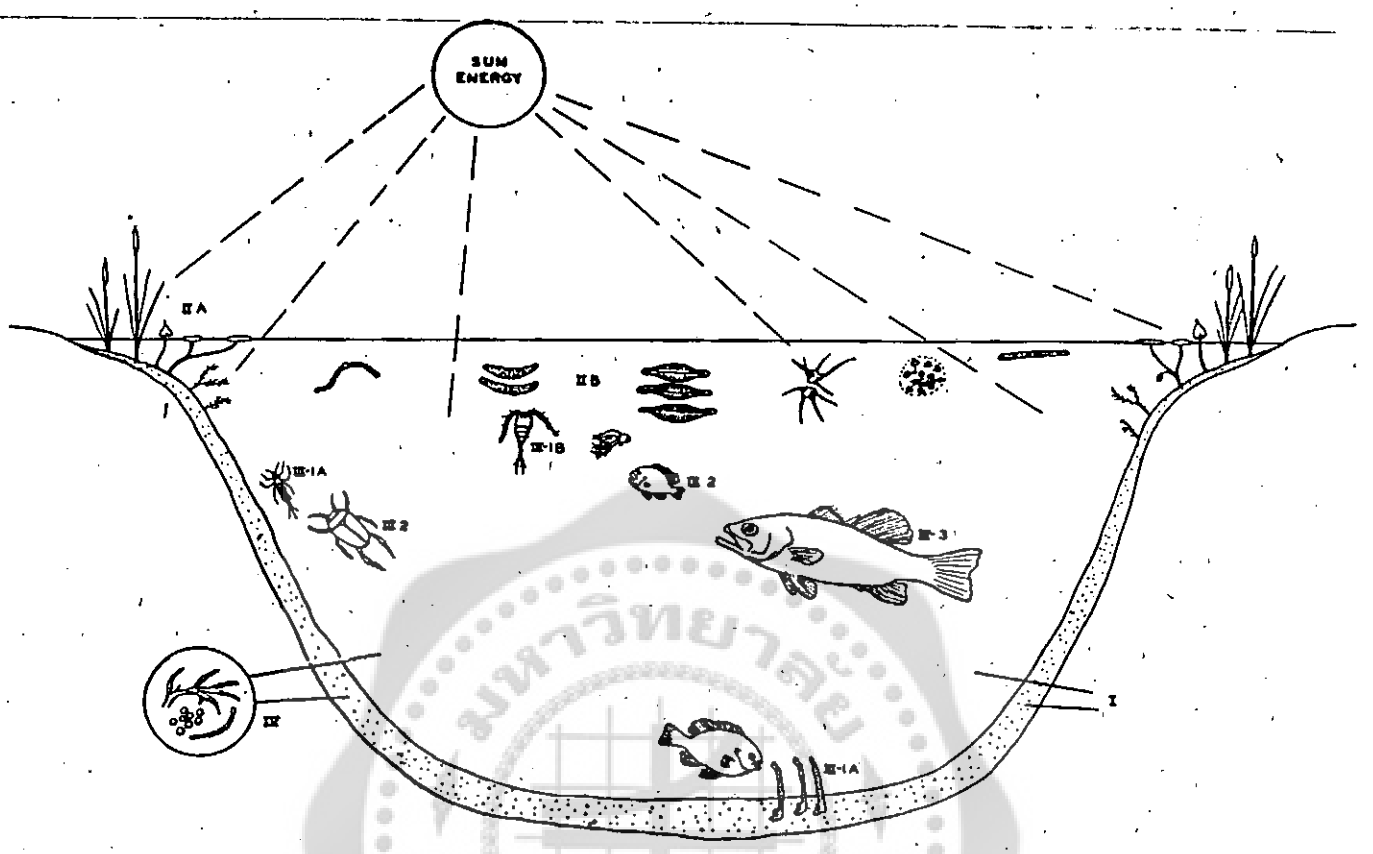
การจำแนกสิ่งมีชีวิตดังได้กล่าวมา อาศัยบทบาทหน้าที่เป็นหลัก มิใช่จำแนกตามชนิด (Species) ต่าง ๆ การจัดแบ่งออกเป็นกลุ่มที่สร้างอาหารเองไม่ได้ออกเป็นพวกที่มีขนาดเล็กและพวกที่มีขนาดใหญ่ ก็ถือเอาความแตกต่างที่พวกที่มีขนาดเล็กไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยตัวเอง แต่ปกติอาศัยตัวกลางที่ย่อยสลายแล้วเป็นสิ่งนำพาไป นอกจากนั้นยังมีขนาดเล็ก มีอัตราการเผาผลาญอาหารและมีการเปลี่ยนแปลงสูง ดังนั้นในการศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเหล่านี้ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญพิเศษทางชีวเคมีมากกว่าที่จะศึกษาเพียงลักษณะรูปร่างเท่านั้น ไม่มีผู้ใดสามารถตรวจวัดบทบาท และหน้าที่ของมันในระบบนิเวศได้เสมือนกับที่ไม่สามารถตรวจนับจำนวนของมันได้โดยตรงถ้ามองด้วยตาเปล่า สำหรับสิ่งมีชีวิตพวกที่มีขนาดใหญ่ ได้รับพลังงานเข้าสู่ร่างกายโดยการกินสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ชนิดอื่น ๆ อาหารดังกล่าวจะอยู่ในรูปอนุภาคหรือสารอินทรีย์ ส่วนคำว่าสัตว์ เป็นคำที่มีความหมายกว้าง โดยทั่วไปสัตว์มักมีการปรับรูปร่างตัวเองให้มีลักษณะคล่องตัวเหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวหรือหาอาหารได้ดี นอกจากนี้ยังมีพัฒนาการของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น มีพัฒนาการของระบบประสาทการรับรู้ซับซ้อน มีระบบการย่อยอาหาร ระบบหายใจ ระบบหมุนเวียนของเลือด เป็นต้น

1.6 ตัวอย่างระบบนิเวศในสระน้ำ

การศึกษาระบบนิเวศที่ดีที่สุดคือการศึกษาสระเล็ก ๆ ทุ่งหญ้า หรือสนามที่มีอายุมาก ๆ ในความเป็นจริงบริเวณที่มีแสงส่องถึง เช่น สนามหญ้า กระถางต้นไม้ใกล้หน้าต่าง หรือระบบนิเวศขนาดเล็กที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการก็สามารถศึกษาได้ในขั้นเริ่มต้นซึ่งความหลากหลายหรือความซับซ้อนขององค์ประกอบยังมีไม่มาก และสังเกตได้ง่ายกว่าของจริง

อย่างไรก็ตามสิ่งที่สามารถจะเรียนรู้พอเป็นตัวอย่างที่ไม่ใช่การเริ่มฝึกหัดจากห้องปฏิบัติการ หรือในป่าใหญ่หรือมหาสมุทร แต่เป็นสิ่งที่พอจะบอกรายละเอียดได้พอเพียงเท่าที่พึงกระทำได้ คือ การศึกษาระบบนิเวศจาก สระ ทุ่งหญ้า พื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างระบบนิเวศในสระน้ำ

ในสระน้ำแห่งหนึ่ง ๆ ถือว่าเป็นระบบนิเวศโดยธรรมชาติ ที่มีความซับซ้อนจนไม่สามารถแยกแยะสิ่งมีชีวิตบางชนิดออกมาได้ สิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่สามารถแยกออกมานับจำนวนได้ แต่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ไม่สามารถแยกออกมานับได้ อย่างไรก็ตามความซับซ้อนดังกล่าวอาจลดลงถ้าเราแยกองค์ประกอบออกเป็นหน่วยพื้นฐานย่อย ๆ ต่าง ๆ (ดังภาพ 1.2) จากภาพองค์ประกอบจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ตามลำดับดังนี้



ภาพ 1.2 ระบบนิเวศในสระน้ำ มีหน่วยพื้นฐานได้แก่ I สารต่าง ๆ ที่ไม่มีชีวิต ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์; IIA ผู้ผลิต-พืชที่มีราก; IIB ผู้ผลิต-ไฟโตแพลงก์ตอน; III-1A ผู้บริโภคอันดับที่หนึ่ง (กินพืช) - อาศัยอยู่ก้นสระ; III-1B ผู้บริโภคอันดับที่หนึ่ง (กินพืช) - ซูแพลงก์ตอน; III-2 ผู้บริโภคอันดับที่สอง (กินสัตว์); III-3 ผู้บริโภคอันดับที่สาม (กินสัตว์อันดับที่สอง); IV ผู้ย่อยสลาย-แบคทีเรียและราในสิ่งเน่าเปื่อย กระบวนการเมแทบอลิซึมของระบบดำเนินไปได้โดยอาศัยพลังงานจากดวงอาทิตย์ ในขณะที่อัตราการเกิดกระบวนการดังกล่าว และความคงสภาพของสระขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเข้าของวัตถุจากน้ำฝนและจากบริเวณลุ่มน้ำที่สระนั้นตั้งอยู่ (ที่มา: Odum E, 1971. p.13.)

1) สิ่งไม่มีชีวิต (Abiotic substances) (I) ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ขั้นพื้นฐาน เช่น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน แคลเซียม ไนโตรเจน และเกลือฟอสฟอรัส กรดอะมิโน และกรดฮิวมิก ฯลฯ

สารเหล่านี้จะเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตในสัดส่วนที่น้อยมาก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสสารขนาดเล็กอยู่ในชั้นตะกอนก้นสระ หรืออยู่ในตัวของสิ่งมีชีวิตเอง

เฮย์ (Hayes, 1951) กล่าวว่าในสระหรือทะเลสาปใด ๆ ธาตุอาหารต่าง ๆ มิได้ละลายอยู่ในน้ำเท่านั้น แต่ในระบบนิเวศที่อยู่ในสภาพสมดุลระหว่างน้ำกับของแข็งแล้ว ปกติธาตุอาหารจะอยู่ในรูปของแข็ง โดยที่อัตราการปลดปล่อยหรือการละลายธาตุอาหารจากของแข็งเหล่านั้น รวมทั้งพลังงานจากแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ ช่วงเวลาของกลางวัน และสภาพภูมิอากาศอื่นๆ ล้วนเป็นกระบวนการสำคัญที่ควบคุมการดำเนินการให้เป็นไปตามบทบาทหน้าที่ของระบบนิเวศทั้งหมดในแต่ละวันได้

2) สิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ผลิต (Producer organisms) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

- พืชขนาดใหญ่ บางชนิดลอยน้ำได้และบางชนิดมีรากฝังในดิน ขึ้นได้ในบริเวณน้ำตื้น ในภาพ คือ IIA

- พืชขนาดเล็กและลอยน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายเรียกว่าแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) (Phyto = พืช, plankton = ลอยน้ำได้) ในภาพคือ IIB พืชชนิดนี้จะกระจายอยู่ระดับน้ำลึกเท่าที่แสงจะส่องผ่านไปถึง ในกรณีที่น้ำมีแพลงก์ตอนพืชอยู่มาก น้ำจะมีสีเขียว เราไม่สามารถมองเห็นพืชชนิดนี้ด้วยตาเปล่าได้ง่ายนัก ในบริเวณสระหรือทะเลสาปขนาดใหญ่ หรือทะเล มหาสมุทร แพลงก์ตอนพืชจะมีความสำคัญมากกว่าพืชที่มีรากในการผลิตอาหารแก่ระบบนิเวศ

3) สิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคขนาดใหญ่ (Macroconsumer organisms) ได้แก่ สัตว์ เช่น ตัวอ่อนของแมลง กุ้ง ปู และปลา แบ่งออกเป็น 2 ระดับได้แก่

<u>ระดับแรก</u> คือประเภทที่กินพืชเป็นอาหาร (ในภาพคือ III-1A, III-1B) เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton) และเบนทอส (Benthos) ซึ่งเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่บริเวณ

หน้าผิวดินก้นสระ สัตว์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะอาศัยอยู่คู่กับพืชทั้ง 2 ชนิด ในข้อ 2) และจะกินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารเป็นส่วนใหญ่

ระดับที่สอง คือประเภทที่กินสัตว์เป็นอาหาร ได้แก่ แมลง ปลา (ในภาพคือ III-2, III-3) สัตว์เหล่านี้จะกินสัตว์ในระดับแรกหรือกินพวกเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นอาหาร

นอกจาก 2 ระดับที่กล่าวมา ยังมีผู้บริโภคอีกชนิดหนึ่งที่ดำรงชีวิต โดยการกินเศษชิ้นส่วนที่หลุดร่วงลงมาจากชั้นที่มีสิ่งมีชีวิตประเภทที่สร้างอาหารเองได้อาศัยอยู่ เรียกผู้บริโภคชนิดนี้ว่า ดีไทรทิวอร์ (Detritivore) (ในภาพคือ III-1A บริเวณด้านล่างของสระ)

4) สิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคขนาดเล็ก (Microconsumer organisms) (ในภาพคือ IV) ได้แก่ แบคทีเรียในน้ำ แฟลกเจลเลต และรา ที่กระจายอยู่ในน้ำหรือในโคลนก้นสระ ซึ่งเป็นบริเวณที่ซากพืช ซากสัตว์ สะสมตัวอยู่

แบคทีเรียและราเหล่านี้ แทบจะไม่ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำเกิดโรคได้เลย มันจะเข้าทำลายซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วเท่านั้น ในสภาพอุณหภูมิที่เหมาะสม การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซากของสิ่งมีชีวิตจะถูกย่อยออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยและถูกกินโดยแบคทีเรีย รา และพวกดีไทรทิวอร์

ธาตุอาหารต่าง ๆ ก็จะถูกปล่อยออกมาให้สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ นำไปใช้อีกต่อไป

บทที่ 2

ประชากรมนุษย์และความสมดุลของธรรมชาติ

2.1 บทนำ

มนุษย์เป็นทรัพยากรธรรมชาติอย่างหนึ่งที่อยู่รวมกันเป็นสังคม และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศธรรมชาติ ประชากรมนุษย์เป็นทรัพยากรที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอทั้งในแง่จำนวน และการกระทำของมนุษย์

ทุกสรรพสิ่งไม่ว่าจะเป็นสิ่งที่มีชีวิตหรือสิ่งไม่มีชีวิตในระบบนิเวศธรรมชาติแล้วล้วนมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน เพื่อให้ดำรงอยู่ได้ต่อไปในระบบนิเวศของโลกใบนี้ ในธรรมชาติสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ จะมีการเกื้อกูลกัน ประสานประโยชน์ซึ่งกันและกัน แต่ในขณะเดียวกันบางสังคมก็อาจมีการแก่งแย่ง ทำลายล้างกัน ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการควบคุมมิให้องค์ประกอบของระบบนิเวศธรรมชาติบางชนิดเติบโตมากเกินควรหรือเกินกว่าความสมดุลตามธรรมชาตินั่นเอง

สสารและพลังงานในระบบนิเวศมีการไหลเวียนกันไปอย่างไม่หยุดยั้งในสภาพที่มีความสมดุลท่ามกลางองค์ประกอบของระบบนิเวศ ทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ซึ่งแบ่งเป็นระบบย่อย ๆ หรือเป็นวัฏจักรต่าง ๆ เช่น วัฏจักรของน้ำ วัฏจักรของออกซิเจน วัฏจักรของคาร์บอน และวัฏจักรไนโตรเจน เป็นต้น

ประชากรมนุษย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่ถือว่าเป็นผู้บริโภคในระบบนิเวศ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมมาแต่ดึกดำบรรพ์ กล่าวคือ ต้องอาศัยอาหารจากธรรมชาติมาแต่อดีต ต่อมามีวิวัฒนาการเพิ่มขึ้นและพึ่งพาสิ่งแวดล้อมในรูปของปัจจัยสี่ ได้แก่ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแล้วแต่มาจากสิ่งแวดล้อมธรรมชาติแทบทั้งสิ้น มนุษย์เป็นผู้ที่มีความฉลาด มีความคิด ที่จะปรับปรุง ดัดแปลง ความเป็นอยู่ ให้สะดวกสบายขึ้นจนสามารถสร้างเทคโนโลยีใหม่ ๆ เป็นจำนวนมากซึ่งต้องนำทรัพยากรธรรมชาติขึ้นมาใช้เป็นวัตถุดิบแทบทั้งสิ้น ประกอบกับจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสิ่งแวดล้อมไม่สามารถรองรับได้ มนุษย์ใช้ทรัพยากรธรรมชาติมากเกินไปและใช้อย่างขาดความระมัดระวัง ทำให้ธรรมชาติเสียสมดุล และ

เกิดปัญหาทรัพยากรธรรมชาติร่อยหรอ และปัญหาคุณภาพสิ่งแวดล้อมเสีย แล้วมีผลกระทบย้อนกลับมาบั่นทอนสุขภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์ดังที่ประสบกันอยู่ทุกวันนี้

2.2 ความหมายและลักษณะที่สำคัญของประชากร

ความหมายของประชากร

ประชากร (Population) หมายถึง กลุ่มของสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตชนิดเดียวกันมาอยู่รวมกันในที่แห่งหนึ่ง ๆ คำว่า Population มาจากคำในภาษาลาตินว่า Populus ซึ่งแปลว่า จำนวนประชากรที่อาศัยอยู่หรือมีอยู่ในที่แห่งใดแห่งหนึ่งในอาณาเขตหนึ่งหรือในประเทศหรือในโลก ดังนั้นในการพิจารณาถึงกลุ่มประชากรจำเป็นต้องอธิบายได้ว่า เป็นประชากรของอะไรโดยมีขอบเขตจำกัดลงไปด้วยว่า ณ สถานที่ใด ในเวลาใด เช่น ประชากรของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2536 บางครั้งอาจกำหนดปริมาณด้วย เช่นประชากรของโลกกลางปี ค.ศ. 1990 มีจำนวน 5,321 ล้านคน (ข้อมูลจาก The Population reference bureau, Inc.,1990)

ลักษณะที่สำคัญของประชากร

การศึกษาประชากรมีอยู่หลายวิธีแต่วิธีที่ถือว่าดีที่สุดเป็นการศึกษาเชิงสถิติ ซึ่งเสนอข้อมูลในลักษณะกลุ่มโดยไม่ได้เป็นคุณลักษณะของสมาชิกใดสมาชิกหนึ่งในกลุ่ม ลักษณะของกลุ่มประชากรที่ศึกษากันมีอยู่หลายประการ เช่น อายุ เพศ ศาสนา การศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ ตลอดจนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของประชากรที่สำคัญบางประการ มาให้ทราบพอเป็นตัวอย่างตามลำดับดังนี้ คือ

1) **การเกิด (Birth)** การเกิดหมายถึงจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นโดยการขยายพันธุ์ โดยปกติมีการวัดการเกิดโดยอาศัยอัตราการเกิดอย่างหยาบ (Crude birth rate) ซึ่งหมายถึงจำนวนเกิดมีชีพในปีหนึ่ง ต่อประชากร 1,000 คน กล่าวคือเป็นการเปรียบเทียบจำนวนคนเกิดมีชีพ ในช่วงระยะเวลาหนึ่งปีกับจำนวนประชากรในช่วงระยะเวลาเดียวกัน แล้วใช้ 1,000 เป็นตัวคูณเพื่อให้นำมาเปรียบเทียบกันได้ ดังมีสูตรการคำนวณคือ

$$\text{อัตราเกิดอย่างหยาบ} = \frac{\text{จำนวนเกิดมีชีพในปีหนึ่ง}}{\text{จำนวนประชากรเฉลี่ยในปีนั้น (หรือจำนวนประชากรกลางปีนั้น)}} \times 1,000$$

หน่วย คือ จำนวนประชากร 1,000 คนต่อปี

การใช้ประโยชน์จากอัตราเกิดอย่างหยาบมีอยู่หลายประการ เช่น ศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชากร ใช้วัดผลการวางแผนครอบครัวอย่างง่าย ๆ และอาจใช้เปรียบเทียบให้เห็นถึงการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ หรือชุมชนได้โดยทางอ้อม โดยมีเครื่องชี้วัดว่าประเทศที่พัฒนาแล้วนั้นมักจะมีอัตราเกิดต่ำ ประเทศที่ด้อยพัฒนาจะมีอัตราเกิดสูง ส่วนประเทศที่กำลังพัฒนาจะมีอัตราเกิดลดลงเรื่อย ๆ จากอัตราเดิม

2) การตาย (Death) การวัดการตายของประชากร โดยทั่วไปใช้อัตราตายอย่างหยาบ (Crude death rate) ซึ่งหมายถึงจำนวนตายในปีหนึ่งต่อประชากร 1,000 คน เป็นการเปรียบเทียบจำนวนคนตายในช่วงระยะเวลา 1 ปี กับจำนวนประชากรในช่วงระยะเวลาเดียวกันแล้วใช้ 1,000 เป็นตัวคูณเพื่อให้นำมาเปรียบเทียบกันได้ ดังมีสูตรในการคำนวณคือ

$$\text{อัตราตายอย่างหยาบ} = \frac{\text{จำนวนคนตายในปีที่กำหนด}}{\text{จำนวนประชากรเฉลี่ยในปีนั้น (หรือจำนวนประชากรกลางปีนั้น)}} \times 1,000$$

อัตราตายอย่างหยาบมีประโยชน์ เช่น ใช้ศึกษาภาวะการตายของประชากรและการเปลี่ยนแปลงในทางลดลงของประชากร คาดคะเนการตายที่จะเกิดขึ้นในปีต่อ ๆ ไป เพื่อประโยชน์ในการวางแผนเพื่อแก้ปัญหาเมื่อทราบถึงสาเหตุของการตาย เป็นต้น

3) การย้ายถิ่น (Migration) โดยทั่วไปคำว่าการย้ายถิ่น หมายถึง การที่ประชากรย้ายถิ่นที่อยู่จากที่อยู่อาศัยเดิมไปอาศัยอยู่ที่อื่น คำว่า Migration อาจใช้กับคนหรือสัตว์ก็ได้ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในกรณีย้ายถิ่นชั่วคราว เช่น สัตว์ย้ายถิ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงฤดูกาล ได้แก่ นก และ ปลา บางชนิด สำหรับการย้ายถิ่นที่มีการเคลื่อนจากกลุ่มอย่างถาวรนั้นอาจใช้คำว่า การย้ายถิ่นเข้า (Immigation) ซึ่งหมายถึงการเคลื่อนย้ายเข้ามาในกลุ่ม และคำว่าการย้ายถิ่นออก (Emigration) ซึ่งหมายถึงการย้ายออกไปจากกลุ่มอย่างถาวร ทั้งสองคำนี้

โดยมากใช้กับประชากรมนุษย์เท่านั้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย้ายถิ่นของประชากรมนุษย์มีอยู่ 2 ประการ คือ ปัจจัยที่ผลักดันให้ย้ายถิ่นออก เช่น การลดน้อยถอยลงของทรัพยากรธรรมชาติ ปัญหาทางด้านรายได้และอาชีพ ปัญหาเกิดภัยพิบัติตามธรรมชาติ ปัญหาขาดความปลอดภัยและความเป็นธรรม และปัญหาการขาดแคลนสถานที่ศึกษา เป็นต้น ปัจจัยที่ดึงดูดให้เกิดการย้ายถิ่นเข้า เช่น การหางานทำ การศึกษา การขยายตัวทางอุตสาหกรรม ค่าแรงงานสูง การค้นพบทรัพยากรธรรมชาติ และความดึงดูดใจในสภาพแวดล้อมและความปลอดภัย เป็นต้น

การวัดการย้ายถิ่นที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ "อัตราผู้ย้ายถิ่นเข้า" ซึ่งหมายถึง จำนวนผู้ย้ายถิ่นเข้าต่อประชากร 1,000 คน กับ "อัตราผู้ย้ายถิ่นออก" ซึ่งหมายถึง จำนวนผู้ย้ายถิ่นออกต่อประชากร 1,000 คน ดังมีสูตรในการคำนวณหาดังนี้

$$\text{อัตราผู้ย้ายถิ่นเข้า} = \frac{\text{จำนวนผู้ย้ายถิ่นเข้า}}{\text{จำนวนประชากรกลางปีในปีเดียวกัน}} \times 1{,}000$$

$$\text{อัตราผู้ย้ายถิ่นออก} = \frac{\text{จำนวนผู้ย้ายถิ่นออก}}{\text{จำนวนประชากรกลางปีในปีเดียวกัน}} \times 1{,}000$$

สำหรับอัตราการย้ายถิ่นสุทธิ หมายถึง ผลต่างระหว่างอัตราการย้ายถิ่นเข้ากับอัตราการย้ายถิ่นออก

4) ความหนาแน่นของประชากร (Population density) หมายถึง ขนาดของประชากรต่อหน่วยพื้นที่หรือปริมาตร เช่น จำนวนประชากร 1,000 คนต่อตารางกิโลเมตร ถ้าเป็นสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น ไดอะตอม 3 ล้านเซลล์ต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ต้นไม้จำนวน 250 ต้นต่อพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร เป็นต้น

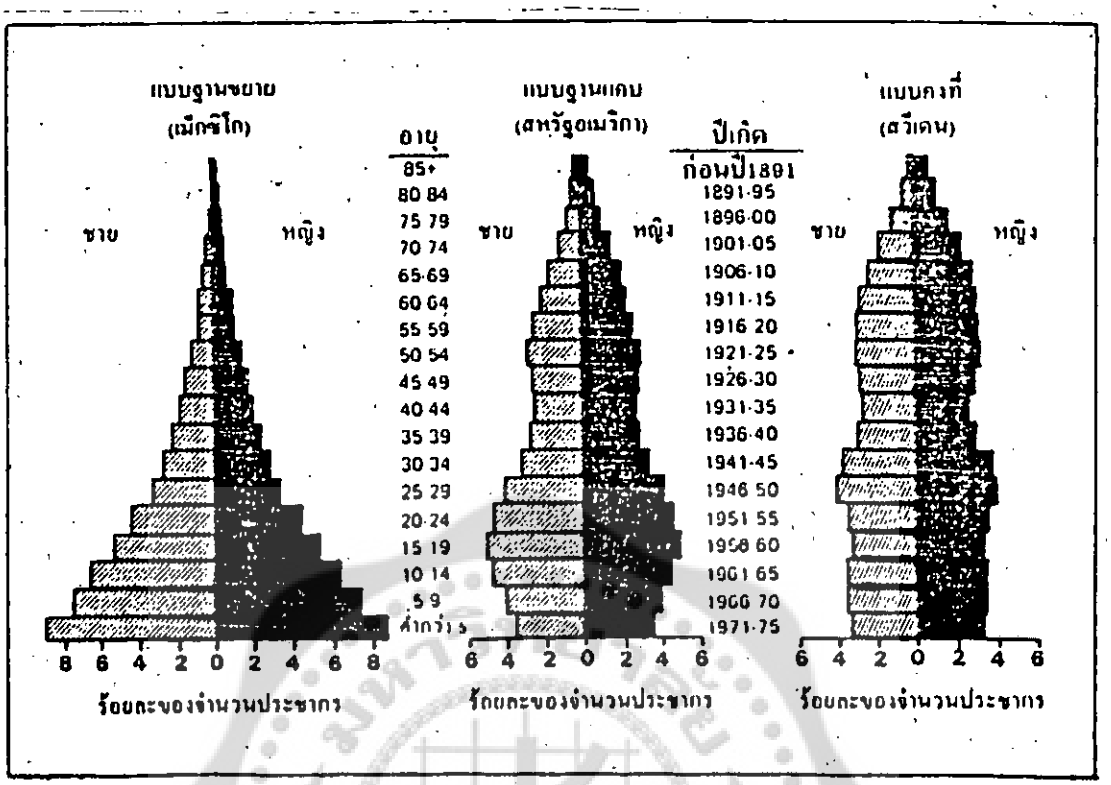
5) อัตราส่วนของเพศ (Sex ratio) เป็นการเปรียบเทียบจำนวนประชากรเพศชาย ต่อจำนวนประชากรเพศหญิง เช่น ในชุมชนแห่งหนึ่งมีประชากรชายเกิดจำนวน 110 คน ต่อประชากรเพศหญิง 100 คน

6) **การกระจายของอายุ** ลักษณะของประชากรในเวลาใดเวลาหนึ่งมิได้มีอายุเท่ากัน บางคนอยู่ในวัยรุ่น บางคนอยู่ในวัยเด็ก หรือวัยผู้ใหญ่ หรือวัยชรา เป็นต้น การแสดงข้อมูลที่บ่งบอกถึงลักษณะของประชากรที่จำแนกออกไปตามอายุรวมทั้งจำแนกตามเพศชายและหญิงว่ามีจำนวนอยู่เท่าไรในชุมชน หรือประเทศหนึ่ง ๆ นิยมใช้รูปกราฟแท่งที่พลอตตามแนวนอนที่เรียกว่า "พีระมิด ประชากร" (ดังภาพ 2.1) ลักษณะของพีระมิดมีเส้นตั้งตรงกลางเรียกว่าแกน ซึ่งแบ่งพีระมิดออกเป็น 2 ส่วน ส่วนทางซ้ายมือมีไว้เพื่อแสดงประชากรชาย และทางขวามือมีไว้แสดงประชากรหญิง เส้นนอนที่อยู่ล่างสุดคือเส้นฐานซึ่งมีสเกลขีดบอกไว้ด้วย ส่วนใหญ่ใช้เป็นเปอร์เซนต์ สเกลนี้มีไว้เพื่อบอกให้ทราบว่าประชากรแต่ละกลุ่มอายุคิดเป็นร้อยละเท่าไรของประชากรทั้งหมด สเกลนี้อาจใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มก็ได้ถ้าต้องการขนาดที่แท้จริงของประชากร ส่วนรูปที่เป็นแท่งวางเรียงซ้อนกันขึ้นไป แสดงถึงร้อยละของประชากรในแต่ละกลุ่มอายุต่อประชากรทั้งหมดหรือถ้าใช้จำนวนเต็มแทนร้อยละ แท่งเหล่านี้จะแสดงจำนวนประชากรที่แท้จริงแต่ละกลุ่มอายุ สำหรับกลุ่มอายุโดยทั่วไปแบ่งออกเป็นกลุ่มละ 5 ปี คือ 0-4 ปี, 5-9 ปี เรื่อย ๆ ขึ้นไป หรือจะแบ่งกลุ่มอายุเป็นกลุ่มละกี่ปีก็ได้ แต่กลุ่มละ 5 ปีเป็นที่นิยมมากที่สุด

ลักษณะทั่วไปของพีระมิดประชากรมีอยู่ 3 แบบ คือ 1) แบบฐานชยาย แสดงถึงชุมชนนั้นมีประชากรในกลุ่มอายุน้อย ๆ อยู่เป็นจำนวนมาก นั่นแสดงว่าผู้ปกครองต้องรับภาระเลี้ยงดูเด็กที่ยังช่วยตัวเองไม่ได้จำนวนมาก ในขณะเดียวกันก็มีอัตราตายสูงด้วยเช่นกัน 2) แบบฐานแคบ แสดงถึงชุมชนแห่งนั้นมีประชากรกลุ่มอายุน้อยอยู่จำนวนไม่มาก หรือมีเด็กเกิดน้อย 3) แบบคงที่ แสดงถึงว่าในชุมชนมีประชากรในกลุ่มอายุต่าง ๆ อยู่เป็นจำนวนเท่า ๆ กัน ยกเว้นประชากรในกลุ่มอายุที่สูงขึ้นค่อย ๆ ลดลง แสดงให้เห็นถึงอัตราการเกิดใกล้เคียงกับอัตราตาย ประชากรมีความเป็นอยู่ดี นอกจากนี้พีระมิดประชากรยังสะท้อนให้เห็นลักษณะอื่นอีกมาก เช่นถ้าประชากรที่อยู่ในวัยเรียนมีมากแสดงว่าชุมชนนั้นรัฐบาลต้องรับภาระในการจัดการศึกษาให้มาก เป็นต้น

7) **ศักย์ทางชีวภาพ (Biopotential)** หมายถึงความสามารถในการสืบพันธุ์หรือการมีลูกของประชากร โดยทั่วไปประชากรจะมีศักย์ทางชีวภาพสูง หมายความว่าสามารถที่จะมีบุตรหรือผลิตลูกหลานได้มาก เช่น สัตว์บางชนิด เช่น สุกรออกลูก 1 ครั้ง ได้หลายตัว และเมื่อเวลาผ่านไปก็จะมีลูกหลานเพิ่มขึ้นอีกจำนวนมาก

8) **การเติบโตของประชากร (Population growth)** ในที่นี้หมายถึงการเพิ่มจำนวนขึ้นของประชากร ซึ่งประชากรจะมีลักษณะเฉพาะของการเพิ่ม จำนวนที่สามารถนำมา



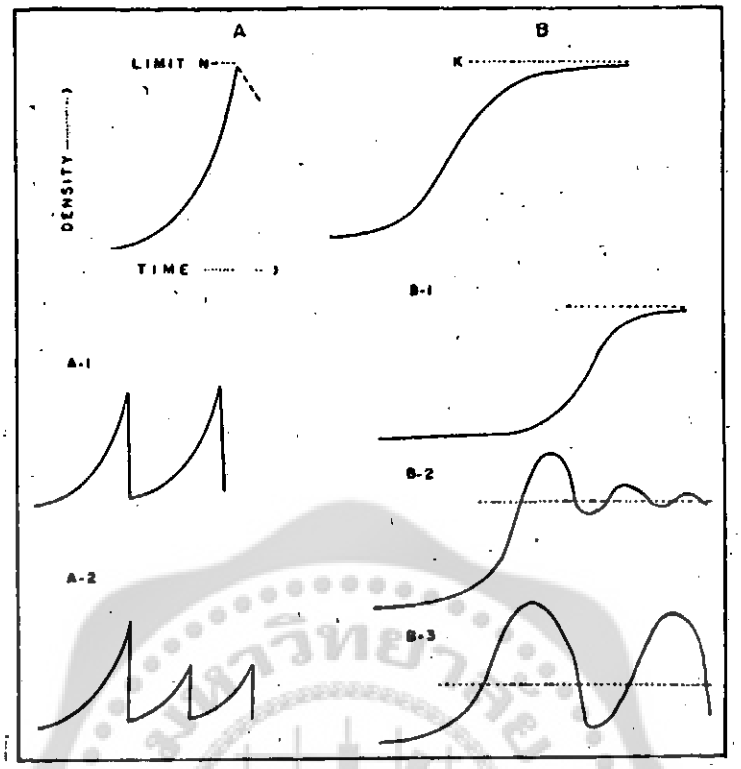
ภาพ 2.1 พีระมิดประชากร แสดงลักษณะทั่วไปของส่วนประกอบทางอายุและเพศสามแบบ (ที่มา: Population Reference Bureau ใช้ข้อมูล ค.ศ. 1976 ใน มุกดา สุขสมาน, 2529. หน้า 67.)

เขียนกราฟแสดงความหนาแน่น เมื่อระยะเวลาผ่านไปได้ 2 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบที่มีลักษณะเป็นรูปตัวเจ (J-shape growth form) และแบบที่มีลักษณะเป็นรูปตัวเอส (S-shape growth form or Sigmoid form) ความแตกต่างของการเติบโตทั้ง 2 แบบนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิต และสภาพแวดล้อมที่ต่างกันออกไป (ดังภาพ 2.2)

การเติบโตของประชากรรูปตัวเจ แสดงถึงความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบทวีคูณ ต่อมามีการหยุดชะงักลง โดยข้อจำกัดของสิ่งแวดล้อม เช่น ทรัพยากรหมดลง ที่อยู่อาศัยคับแคบลง อาหารหมด หรือภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ลักษณะเช่นนี้ในธรรมชาติมักจะเกิดขึ้นกับประชากรของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เช่น สาหร่าย พืชล้มลุก และแมลง เป็นต้น

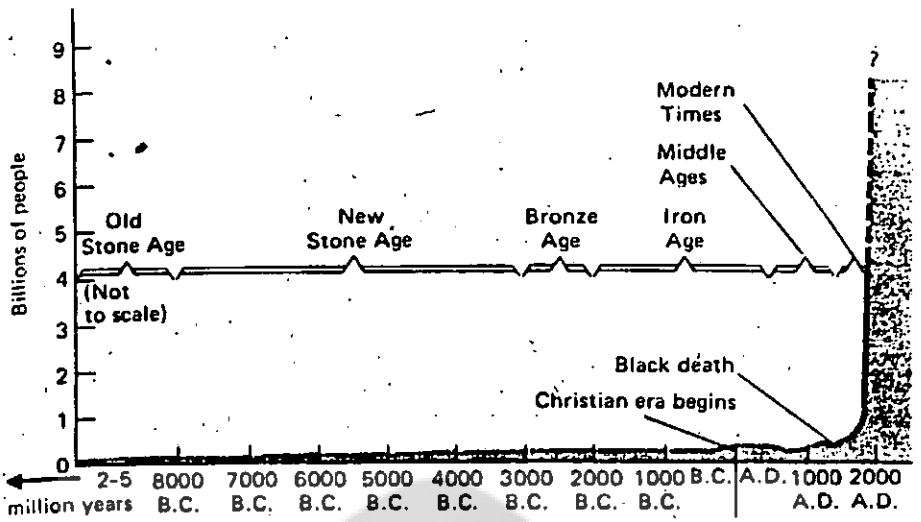
การเติบโตของประชากรรูปตัวเอส หรือซิกมอยด์ แสดงถึง ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในระยะแรก ต่อมาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่อย ๆ ช้าลงอีก โดยมีความต้านทานจากสภาพแวดล้อม หรือขีดจำกัดของสภาพแวดล้อมมากขึ้น จนกระทั่งทำให้ประชากรลดลง และถึงจุดคงที่ ยอดสูงสุดที่ไม่มีการเพิ่มขึ้นมากกว่านี้อีก ใช้อักษรตัว K แทนยอดสูงสุด ซึ่งเรียกว่าความสามารถในการรองรับ(Carrying capacity) การเติบโตแบบนี้ส่วนใหญ่เกิดกับประชากรของสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เช่น แบคทีเรีย และ ยีสต์

สำหรับประชากรมนุษย์นั้น ในบางท้องถิ่นอาจมีรูปแบบการเติบโตที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของสิ่งแวดล้อมในท้องที่แห่งนั้น แต่ประชากรโลกมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากหลายร้อยปีในอดีต ทั้งนี้เนื่องจากมนุษย์สามารถลดปัจจัยหรือขีดจำกัดของสิ่งแวดล้อมลงได้ เช่น กำจัดสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวเบียดเบียนมนุษย์ เช่น เชื้อโรคต่าง ๆ ลงได้ เพิ่มอาหาร ควบคุมโรคภัยไข้เจ็บได้มากขึ้น จึงทำให้มนุษย์มีชีวิตรอดได้และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากภาพ 2.3 ประชากรโลกในระยะแรกจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1850 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเป็น 2 เท่า ในปี ค.ศ. 1930 (จาก 1 พันล้านคนเป็น 2 พันล้านคน) รูปแบบการเพิ่มประชากรโลกเป็นแบบเอ็กซโพเนนเชียล หรือเป็น 2 เท่าในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาต่อภาวะประชากร กล่าวคือ มนุษย์มีการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่มากขึ้นเรื่อย ๆ และหากไม่มีการลดอัตราการเพิ่มจะทำให้ทรัพยากรต่าง ๆ หมดสิ้นไป การเติบโตอาจจะถึงระดับขีดความสามารถในการรองรับก็เป็นไปได้



ภาพ 2.2 ลักษณะการเติบโตของประชากรบางรูปแบบ ภาพ A เป็นรูปตัวเจ (หรือเป็นการเติบโตแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล) และภาพ B เป็นรูปตัวเอส (หรือเป็นการเติบโตแบบซิกมอยด์) ภาพ A-1 และ A-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงแบบขึ้น ๆ ลง ๆ ของการเติบโตแบบตัวเจ ส่วนภาพ B-1, B-2 และ B-3 แสดงถึงผลที่เกิดจากการชลอหรือการปรับความหนาแน่นของประชากรที่เป็นไปได้ในรูปแบบต่าง ๆ เมื่อเวลาล่วงเลยไปในระหว่างการเพิ่มขึ้นของประชากรที่มีอายุน้อย และการตายของประชากรที่มีอายุมากหรือหมดประสิทธิภาพ (ตัวอย่างเช่น พืชและสัตว์ชั้นสูง). เมื่ออาหารหรือสิ่งจำเป็นอื่น ๆ ที่สะสมตัวอยู่ก่อนที่ประชากรจะเกิดขึ้น มีจำนวนมาก ก็จะทำให้ประชากรเพิ่มขึ้นมากอย่างรวดเร็วในระยะแรกดังภาพ A-2, และ B-2 (กรณีนี้ใช้อธิบายระบบนิเวศในสระน้ำหรือทะเลสาบที่เกิดใหม่ ซึ่งจะมีความอุดมสมบูรณ์ของปลาหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ มากกว่าสระน้ำหรือทะเลสาบที่มีอายุมาก) (ที่มา: Odum E, 1971. p. 184.)

181080



ภาพ 2.3 การเติบโตของประชากรมนุษย์ จำนวนประชากรโลกเพิ่มเป็น 2 เท่า จากปี ค.ศ. 1850 ถึงปี ค.ศ. 1930 (จาก 1 พันล้านถึง 2 พันล้านคน) และเพิ่มเป็น 2 เท่าอีกครั้งหนึ่ง ในปี ค.ศ. 1975 (4 พันล้านคน) และยังอาจเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าอีกครั้ง (8 พันล้านคน) ภายในปี ค.ศ. 2010 การเติบโตเช่นนี้จะสามารถดำเนินต่อไปได้อีกนานซักเท่าใด ก่อนที่จะถึงจุดที่เรียกว่าความสามารถในการรองรับ (Carrying capacity) (ที่มา: Jean Van der Tak, Carl Hub, and Elaine Murphy, "Our Population Predicement: A New Look," Population Bulletin, Vol. 34, No. 5, Population Reference Bureau, Inc., December 1979. In Enger E, 1983. p. 113.)

2.3 ความสมดุลของธรรมชาติ

ระบบนิเวศเป็นระบบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิต คือสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารเหล่านี้มิได้อยู่นิ่งกับที่ แต่จะเคลื่อนไหวถ่ายเทจากภายนอกผ่านไปสู่สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ และกลับออกสู่ภายนอกวนเวียนกันเป็นวัฏจักร ระบบความสัมพันธ์เช่นนี้จะเป็นไปตามกฎเกณฑ์ที่มีระเบียบภายในระบบนิเวศทุกระบบ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบนั้น ๆ อยู่ในภาวะสมดุล (Steady state or Equilibrium) สำหรับการศึกษา ความสมดุลของธรรมชาติในที่นี้จะครอบคลุมถึงเรื่องต่าง ๆ ได้แก่ บทบาทและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ การถ่ายทอดพลังงานและการหมุนเวียนของธาตุต่าง ๆ ผ่านห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ ภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างสมดุลและความสามารถในการปรับตัวของระบบนิเวศ ความหลากหลาย ความสลับซับซ้อน ความสามารถในการรองรับ และความมั่นคงของระบบนิเวศ และประการสุดท้ายคือการไหลของพลังงานและการหมุนเวียนของสสารในชีวภาพ

2.3.1 บทบาทและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ

จากแนวความคิดของระบบนิเวศที่ว่า ชีวิตทั้งหลายไม่อาจดำรงอยู่ได้อย่างโดดเดี่ยว โดยปราศจากความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับองค์ประกอบอื่น ๆ ชีวิตหนึ่งจะดำรงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อมีชีวิตอื่น ๆ อยู่ด้วย และที่สำคัญคือต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากดวงอาทิตย์ พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้ความสัมพันธ์ทั้งหลายดำเนินไปได้ตามขั้นตอนภายใต้ระเบียบกฎเกณฑ์ของระบบ

สิ่งมีชีวิตทั้งหลายในระบบนิเวศทุกระบบมีบทบาทและหน้าที่เฉพาะอย่างของตนเท่านั้น ซึ่งตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า "นิเช" (Niche) สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง ๆ จะมีบทบาทและหน้าที่อย่างไรนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่าสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นอาศัยอยู่ ณ ที่ใด ทำกิจกรรมอะไร เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นที่จะเป็นตัวบังคับหรือกำหนดบทบาทของมันได้อีกด้วย อาจกล่าวเปรียบเทียบในเชิงชีววิทยาได้ว่า สิ่งมีชีวิตย่อมมีที่อยู่อาศัย คือ Habitat มีอาชีพ คือ นิเช นั่นเอง บทบาทหน้าที่ของสิ่งมีชีวิตได้ถูกแบ่งออกเป็นลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1) **ผู้ผลิต (Producer)** ได้แก่ พืชสีเขียว สิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้มีบทบาทและหน้าที่ที่สำคัญที่สุด คือเป็น "ผู้ผลิตอาหาร" ให้แก่ สิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่น ๆ โดยการตรึงพลังงานจากดวงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เพื่อสร้างสารอินทรีย์

ขึ้นมา ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เซลลูโลส และอื่น ๆ สารเหล่านี้จะประกอบกันเป็นเนื้อเยื่อของพืชในลำต้น ใบ ดอก ผล กิ่ง ฯลฯ ดังนั้นพืชสีเขียวจึงเป็นผู้ผลิตอาหารของโลก

2) ผู้บริโภค (Consumer) บางทีเรียกว่าผู้บริโภคขนาดใหญ่ (Macroconsumer) เป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ได้แก่ สัตว์ต่าง ๆ แต่จะมีบทบาทอยู่ในฐานะผู้บริโภคอาหารจากสารประกอบที่พืชสร้างขึ้น และกินสัตว์ด้วยกันเองต่อไปเป็นทอด ๆ ผู้บริโภคยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ตามประเภทของอาหารที่บริโภค คือ

- ผู้บริโภคที่กินพืช (Herbivorous) ได้แก่ สัตว์ที่บริโภคพืชเป็นอาหารเพียงอย่างเดียว เช่น โค กระบือ ช้าง ม้า กระต่าย ตั๊กแตน ผึ้ง ฯลฯ
- ผู้บริโภคที่กินเนื้อ (Carnivorous) ได้แก่สัตว์ที่กินเนื้อสัตว์เป็นอาหารเพียงอย่างเดียว เช่น เสือ สิงโต เหยี่ยว งู จระเข้ ปลาช่อน ปลาฉลาม ฯลฯ
- ผู้บริโภคที่กินซากสัตว์ (Scavenger) หมายถึง สัตว์ที่กินซากสัตว์เป็นอาหาร ได้แก่ แร้ง ปลาบางชนิด
- ผู้บริโภคที่กินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) ได้แก่สัตว์ที่อาศัยทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร ได้แก่ มนุษย์ สุกร หนู ไก่ เป็ด เป็นต้น

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งผู้บริโภคตามลักษณะของห่วงโซ่อาหาร (Food chain) ได้ 2 ประเภท คือ

- ผู้ล่าเหยื่อ (Predator) เป็นผู้บริโภคที่กินสัตว์ด้วยกันเองเป็นอาหาร เช่น เสือ สิงโต งู เหยี่ยว นกเค้าแมว เป็นต้น

สัตว์บางชนิดเป็นทั้งผู้ล่าและผู้ถูกล่าหรือเหยื่อ (Prey) เช่น หนูถูกงูกิน หนูอยู่ในฐานะเหยื่อ ส่วนงูอยู่ในฐานะผู้ล่า แต่พอเหยี่ยวกินงู งูก็เปลี่ยนไปเป็นเหยื่อ

- ตัวเบียน หรือปรสิต (Parasite) ผู้บริโภคประเภทนี้จะอยู่กับสิ่งมีชีวิตอื่นทั้งพืชและสัตว์ และจะแย่งอาหารจากตัวของสิ่งมีชีวิตนั้นโดยตรง หนอนพยาธิในตัวคน หนอนพยาธิในรากพืช (Nematode) หมัด เห็บ เหา และ รวมถึงผู้บริโภคขนาดเล็กด้วยได้แก่ รา แบคทีเรีย และไวรัสบางชนิด ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

3) ผู้ย่อยสลาย (Decomposer) หรือเรียกว่าผู้กำจัดของเสีย หรือผู้บริโภคขนาดเล็ก (Microconsumer) ก็ได้ สิ่งมีชีวิตในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายหรือเปลี่ยนซาก

พืช ซากสัตว์ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ให้กลายเป็นสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ต่อไป ผู้ย่อยสลายที่สำคัญ ได้แก่ รา แบคทีเรีย ไวรัส เป็นต้น

จะเห็นว่าองค์ประกอบทั้งหมดในระบบนิเวศต่างก็มีบทบาทและหน้าที่หรือกิจกรรมตามธรรมชาติของตนเอง กิจกรรมทั้งหลายมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในลักษณะต่อเนื่องกันไปตามลำดับ และไม่หยุดนิ่ง (Dynamic) มีการเคลื่อนที่ของสสาร และมีการไหลผ่านของพลังงานอยู่ตลอดเวลา กลไกเหล่านี้เกิดขึ้นและดำเนินไปอย่างซับซ้อน และลึกซึ้งเกินกว่าที่มนุษย์จะเข้าใจได้อย่างละเอียด และยังเร้นลับเกินกว่าที่มนุษย์จะจินตนาการถึงได้

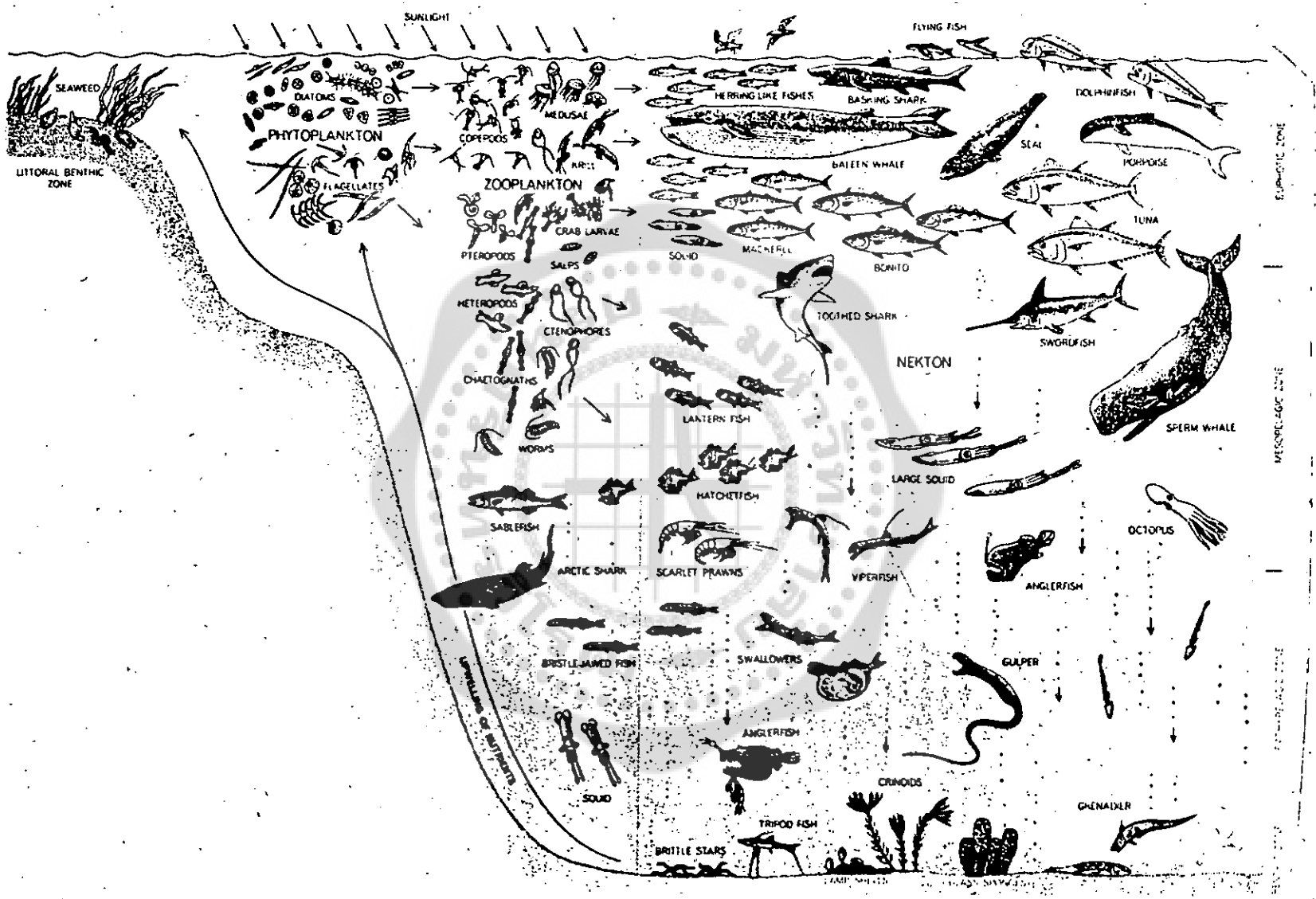
ระบบนิเวศมีอยู่ทุกหนทุกแห่งในโลกมากมายหลายระบบ แต่มีขนาดใหญ่น้อยแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขอบเขตของการพิจารณา เช่น กะลามะพร้าวที่มีน้ำขัง ภายในมีตะไคร่น้ำ มีลูกน้ำ ไรน้ำ อยู่เพียง 4-5 ตัว ก็เป็นระบบนิเวศได้ ทำนองเดียวกัน สระน้ำ ทะเลสาป อ่างเก็บน้ำ ป่า ทะเล มหาสมุทร ต่างเป็นระบบนิเวศได้ ดังภาพ 2.4 ถ้าหากระบบใหญ่น้อยเหล่านั้นมีองค์ประกอบพื้นฐานและความสัมพันธ์ดังกล่าวมาแล้ว ระบบนิเวศที่ใหญ่ที่สุดก็คือ Ecosphere หรือ Biosphere คือชีวาลัยนั่นเอง

2.3.2 การถ่ายทอดพลังงานและการหมุนเวียนของธาตุต่าง ๆ ผ่านห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ

ความต้องการอาหารของสิ่งมีชีวิตเป็น กระบวนการทางธรรมชาติ การถ่ายทอดพลังงานและการหมุนเวียนของธาตุต่าง ๆ เป็นขั้นตอนจากผู้ผลิตอาหารไปสู่ผู้บริโภคและผู้ย่อยสลายอย่างมีระบบนั้น ทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า โซ่อาหาร (Food chain) ขึ้นในระบบนิเวศ แต่ระดับของโซ่อาหารเรียกว่า **ระดับทรอฟิก (Trophic level)**

ห่วงโซ่อาหารอาจแบ่งได้เป็นสองลักษณะ คือ โซ่อาหารแบบผู้ล่า (Predator chain) และ โซ่อาหารแบบปรสิต (Parasite chain) ตัวอย่างของโซ่อาหารแบบผู้ล่า คือ

หญ้า ——> ตั๊กแตนปาทังกา ——> กบ ——> งู ——> เหยี่ยว



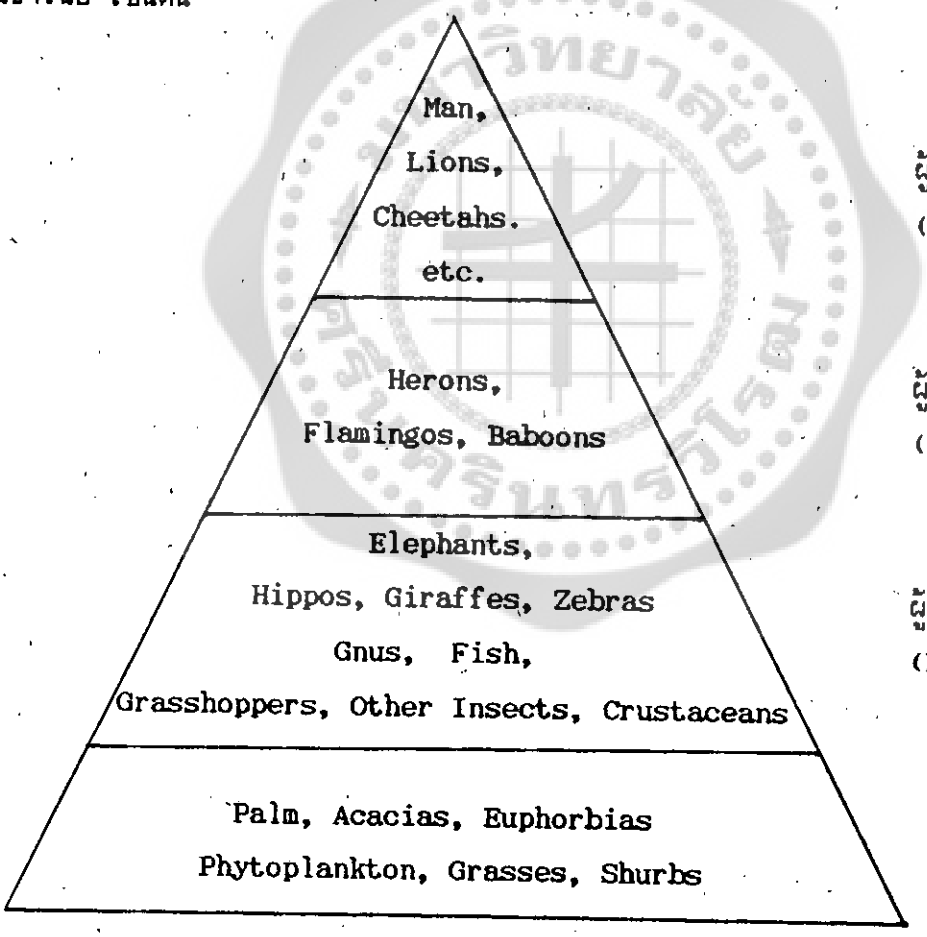
ภาพ 2.4 ตัวอย่างระบบนิเวศในทะเล (ที่มา: Odum E, 1971. p.334.)

ส่วนตัวอย่างของโซ่อาหารแบบปรสิตจะเป็นโซ่อาหารที่อยู่ในสิ่งมีชีวิตแต่ละตัว เช่น

ตัวหนอนบนต้นพืช ———> แบคทีเรียในตัวหนอน ———> ไวรัสในแบคทีเรีย

โดยทั่วไปแล้วโซ่อาหารแบบปรสิตจะสั้นกว่าโซ่อาหารแบบผู้ล่า และขนาดของผู้บริโภคในระดับที่สูงขึ้นไปของโซ่อาหารแบบปรสิตจะเล็กลงเรื่อย ๆ ในขณะที่ขนาดของผู้บริโภคในระดับที่สูงขึ้นไปของโซ่อาหารแบบผู้ล่าจะใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ

ภาพ 2.6 พีระมิดโซ่อาหารที่แสดงให้เห็นถึงระดับโทรฟิก ในระบบนิเวศของทุ่งหญ้าแบบสะวันนา (Savannah ecosystem) ซึ่งพบในทวีปแอฟริกาตะวันออก เช่น ที่ประเทศเคนยา แทนซาเนีย เป็นต้น



ภาพ 2.5 พีระมิดโซ่อาหารในระบบนิเวศทุ่งหญ้าแบบสะวันนา

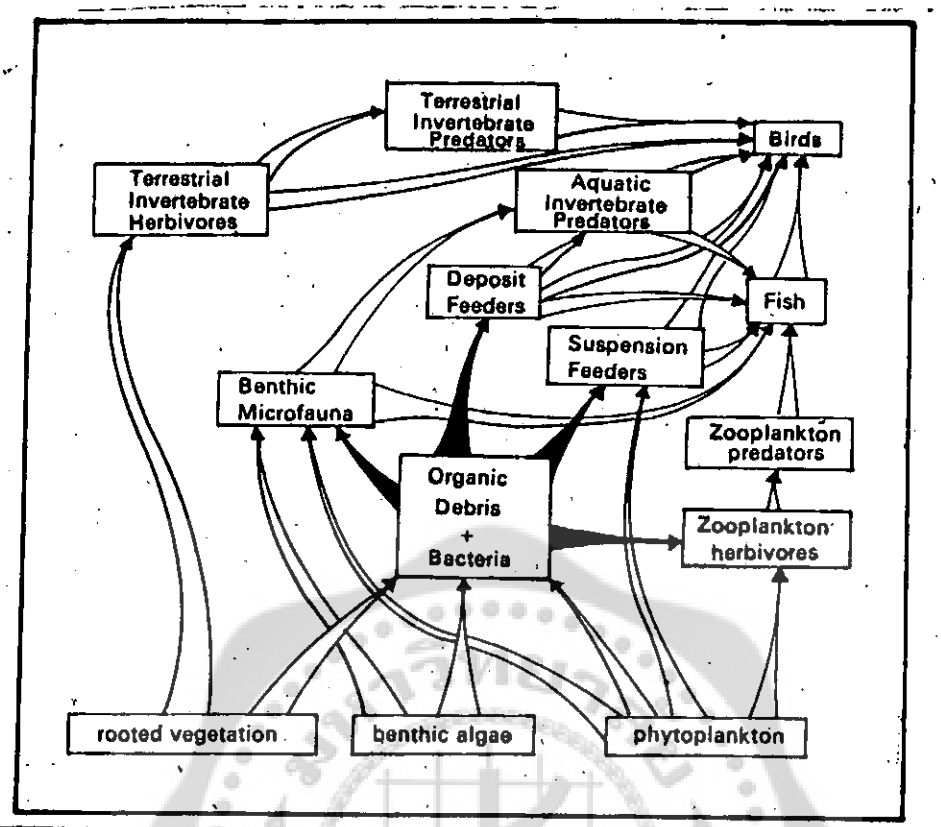
จากภาพพีระมิดจะเห็นว่าปริมาณของผู้ผลิต คือ พืช จะมีมากที่สุดในห่วงโซ่อาหาร เมื่อเทียบกับผู้บริโภคในระดับทรอฟิกสูงขึ้นไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ระดับโทรฟิกที่อยู่ในระดับต้น จะมีมวลชีวภาพ(Biomass) มากกว่า ระดับโทรฟิกที่อยู่สูงขึ้นไป

ภายในระบบนิเวศต่าง ๆ กันนั้น ประกอบด้วยหลาย ๆ โซ่อาหาร แต่ละโซ่อาหารจะไม่อยู่เป็นเอกเทศ แต่จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันแบบยึดโยง (Interconnection) ทำให้เกิดความสลับซับซ้อนในรูปแบบที่เรียกว่า "สายใยอาหาร" (Food web) ทั้งนี้เพราะในระดับทรอฟิกที่ต่ำลงมากจะมีชนิดของสิ่งมีชีวิตมากกว่าในระดับที่สูงกว่า ทำให้ผู้บริโภคที่อยู่ในระดับทรอฟิกที่สูงกว่าสามารถเลือกกินอาหารได้หลายชนิดในเวลาเดียวกัน ดังตัวอย่างของสายใยอาหารของระบบนิเวศน้ำกร่อยที่แสดงไว้ในภาพ 2.6

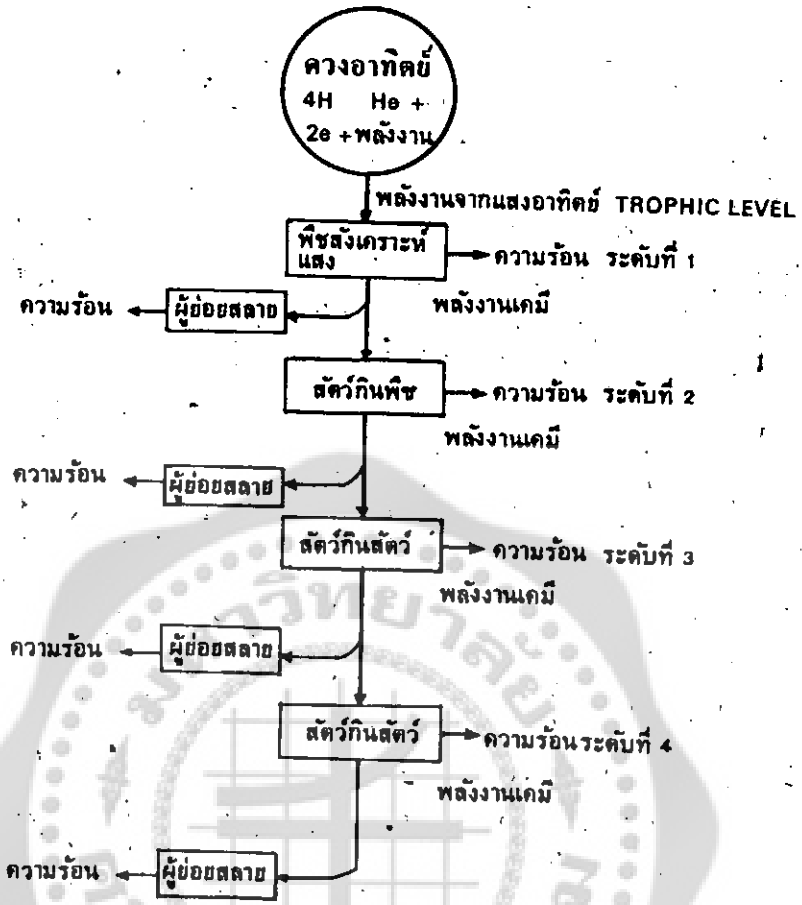
การถ่ายทอดและการแลกเปลี่ยนรูปของพลังงานในแต่ละระดับทรอฟิกจะเป็นไปตามกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ (The Law of Thermodynamics) ที่ว่า พลังงานไม่สามารถจะถูกสร้างขึ้นใหม่หรือถูกทำลายลงได้ในจักรวาลนี้ แต่การเปลี่ยนรูปของพลังงานจากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่ง (Transformation) จะต้องมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน (Heat) เสมอไป

ดังนั้น จากพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ชีวภาคได้รับตกประมาณ 1.3×10^{23} กิโลแคลอรีต่อปี จะถูกพืชสีเขียวตรึงไว้ใช้ โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงเพียงไม่ถึง 1 % และเมื่อถูกถ่ายทอดไปยังผู้บริโภคในแต่ละระดับทรอฟิก จะเกิดการสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อนเสมอ ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างพลังงานและสสารในระบบนิเวศก็คือ พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่ระบบนิเวศนั้นจะเป็นพลังงานชุดใหม่เสมอ ไม่มีการหมุนเวียน จึงเป็นลักษณะของ Renewable energy ไม่ใช่ Recycled energy ส่วนหนึ่งของพลังงานจะถูกเก็บสะสมไว้ในรูปของพลังงานเคมี คือ สารประกอบประเภทโปรตีน คาร์โบไฮเดรท ซึ่งจะเป็นอาหารของผู้บริโภคในระดับทรอฟิกที่สูงกว่า และอีกส่วนหนึ่งของพลังงานก็จะสูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อน ในขณะที่การถ่ายทอดจากระดับทรอฟิกหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง คือ แผนภูมิและกราฟแสดงปริมาณพลังงาน (ภาพ 2.7, 2.8)

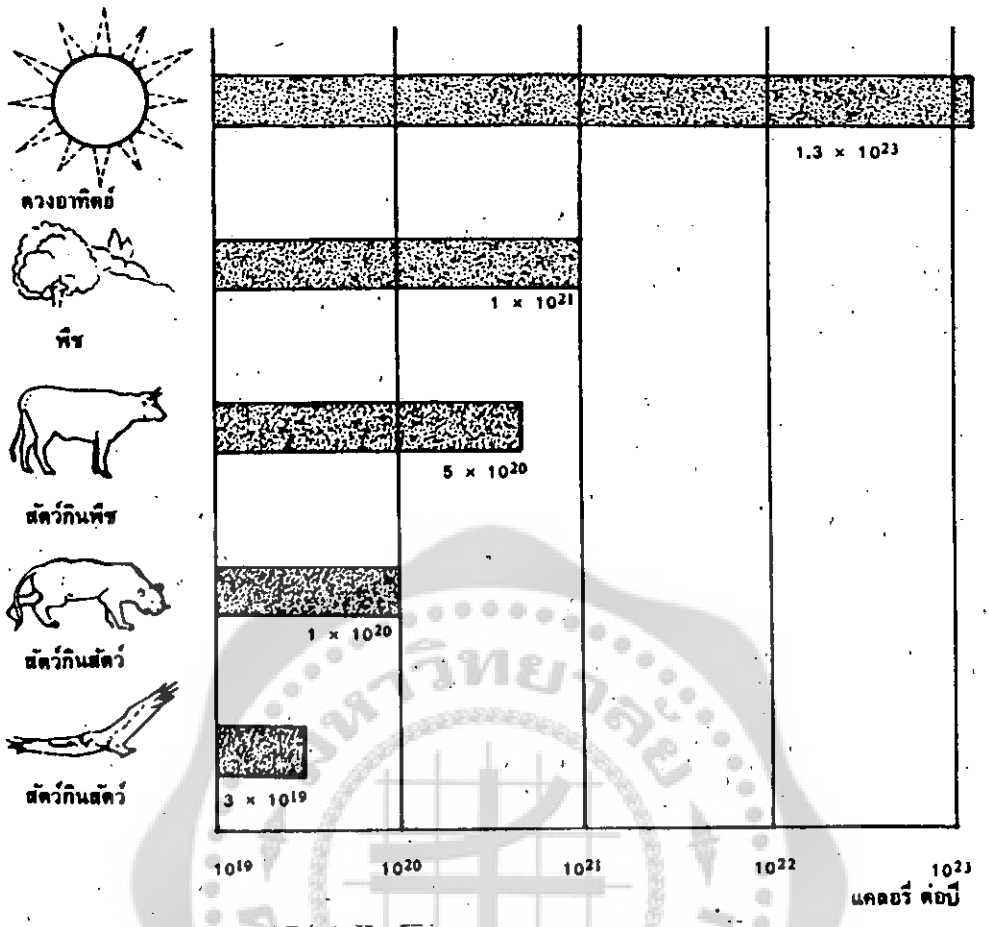
แต่สำหรับสสารนั้น จะเป็นสารชุดเดิมหมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศ โดยอาศัยพลังงานในตัวขับเคลื่อนในลักษณะของวัฏจักร



ภาพ 2.6 สายใยอาหาร (Food web) ในระบบนิเวศน้ำกร่อย (Estuarine ecosystem)
(ที่มา: นาท ดัณฑวิรุฬห์, 2528. หน้า 15.)



ภาพ 2.7 การสูญเสียพลังงานในแต่ละระดับโทรฟิกของโซ่อาหาร (ที่มา: นาท ดัณฑวิรุฬห์, 2528. หน้า 16.)



ภาพ 2.8 ปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปในแต่ละระดับของโทรฟิกของโซ่อาหาร (ที่มา: นาท ตัณฑวิรุฬห์, 2528. หน้า 177.)

จากการศึกษาตัวอย่างหนึ่งพบว่า การที่จะให้ได้มาซึ่งเนื้อวัว 1 กิโลกรัมนั้น วัวจะต้องกินหญ้าประมาณ 10 กิโลกรัม และจาก 1 กิโลกรัมของเนื้อวัวที่ได้ เมื่อคนบริโภคเข้าไปจะทำให้คนเจริญเติบโตขึ้น 0.1 กิโลกรัม แสดงให้เห็นว่า กระบวนการถ่ายทอดพลังงานจากผู้บริโภคระดับทรอฟิกหนึ่งไปสู่อีกระดับโทรฟิกหนึ่งจะมีการสูญเสียเสมอ และเป็นปริมาณมากด้วย อาจถึง 90 % โดยเฉลี่ย

2.3.3 ภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างสมดุล และความสามารถในการปรับตัวของระบบนิเวศ

ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบภายในระบบนิเวศทั้งหลายจะต้องอยู่ในภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างสมดุล (Dynamic equilibrium) โดยธรรมชาติเสมอ และการที่องค์ประกอบทั้งหลายของระบบนิเวศมีกิจกรรมที่สัมพันธ์ซึ่งกันและกัน แบบยึดโยงอย่างสลับซับซ้อนโดยตลอดทั้งระบบนั้น จึงเป็นที่แน่นอนว่า หากองค์ประกอบส่วนใดส่วนหนึ่งถูกทำให้กระทบกระเทือนแม้เพียงเล็กน้อย ผลแห่งการกระทำนั้นก็จะถูกส่งทอดไปถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ทั่วทั้งระบบ ระบบนิเวศที่สามารถปรับตัวเข้าสู่สภาวะแห่งความสมดุลใหม่ได้อีกครั้งหนึ่งก็จะคงอยู่ต่อไปได้ แต่หากผลกระทบนั้นรุนแรงเกินกว่าที่ระบบจะปรับตัวให้เข้าสู่สมดุลใหม่ได้ ระบบนั้นทั้งระบบก็จะต้องแตกสลายลง (Collapse) ตัวอย่างเช่น ระบบนิเวศในแหล่งน้ำแห่งหนึ่งถูกทำให้ปริมาณของออกซิเจนในน้ำลดลง เนื่องจากมีการปล่อยของเสียจากโรงงานและอาคารบ้านเรือนที่อยู่รอบ ๆ ลงไปในแหล่งน้ำนั้น เป็นผลให้ผู้ย่อยสลายคือแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) ในน้ำต้องทำงานอย่างหนัก ในการย่อยสลายของเสียพวกที่เป็นสารอินทรีย์ให้กลายเป็นสารอนินทรีย์โดยเร็ว ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดลง สัตว์น้ำเล็ก ๆ บางชนิดก็จะมีชีวิตอยู่ไม่ได้ จำนวนสัตว์เล็ก ๆ ที่อยู่ระดับทรอฟิกต่ำ ๆ ก็จะลดลง ในขณะเดียวกันการที่ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงก็จะมีผลกระทบต่อกระบวนการหายใจของพืชน้ำ ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลงด้วย มีผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืชต่ำลง การเจริญเติบโตของพืชชะงัก สัตว์เล็กใหญ่ทั้งหลายที่กินพืชเป็นอาหารก็จะลดลงเช่นกัน จนในที่สุดสิ่งมีชีวิตบางชนิดอาจไม่สามารถอาศัยอยู่ได้

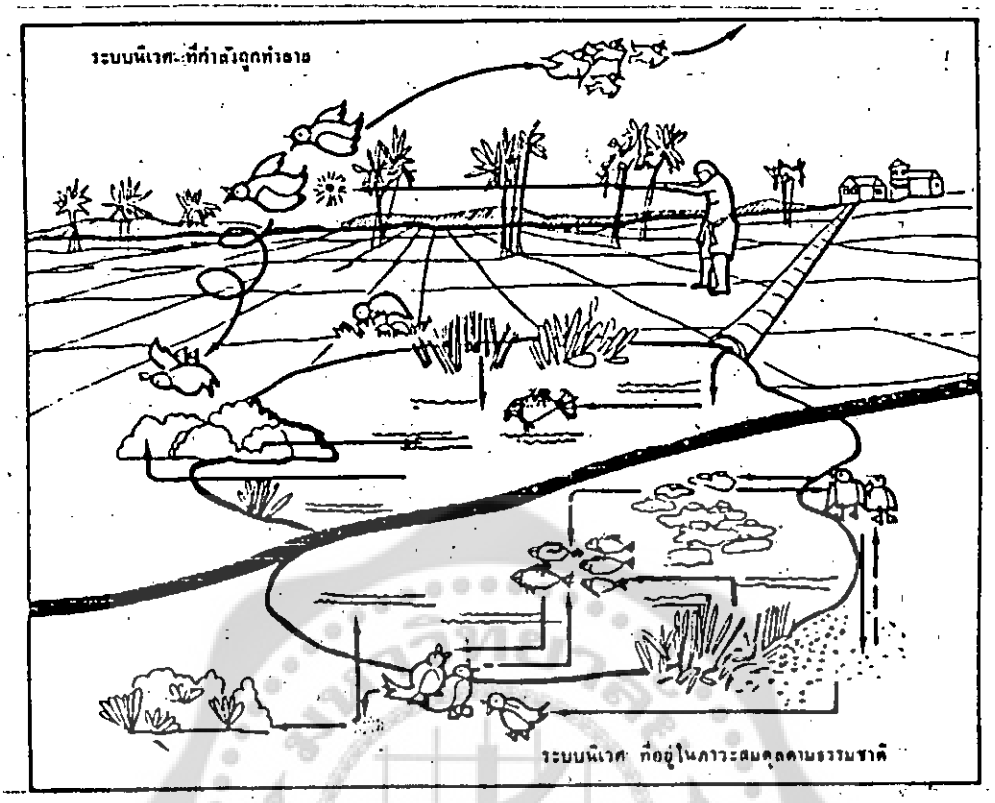
หากปริมาณของเสียที่ปล่อยออกมานั้นมีไม่มากนักหรือไม่ต่อเนื่อง อัตราการทำงานเพื่อย่อยสลายของเสียโดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน ทันกับอัตราของเสียที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำ ก็จะทำให้แหล่งน้ำนั้นปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุลได้อีกครั้งหนึ่ง ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำเริ่มเพิ่มขึ้น สิ่งมีชีวิตทั้งหลายจะเริ่มปรับตัวและขยายพันธุ์ต่อไปในระดับที่สมดุลใหม่ได้ ซึ่งอาจจะเท่าหรือไม่เท่ากับสมดุลเดิมก็ได้

ถ้าปริมาณของเสียที่ปล่อยออกมานั้นมีจำนวนมากและเป็นแบบต่อเนื่อง แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน จะย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นไม่ทัน ปริมาณของออกซิเจนในน้ำก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้แบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) เข้ามารับช่วงย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นเกิดเป็นแก๊สมีเทนและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนที่อยู่รอบ ๆ สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตและผู้บริโภคก็จะตายลง การไหลเวียนของพลังงานและแร่ธาตุ ซึ่งเคยมีอยู่เดิมขาดตอนลง ระบบไม่สามารถปรับตัวเข้าสู่สภาวะแห่งสมดุลได้อีก ลักษณะเช่นนี้ก็คือภาวะที่ระบบได้แตกสลายลงแล้ว (ภาพ 2.9)

2.3.4 ความหลากหลาย ความสลับซับซ้อน ความสามารถในการรองรับ และความมั่นคงของระบบนิเวศ

เป็นที่เชื่อกันว่าความหลายหลาย (Diversity) ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศนั้นเป็นลักษณะที่จะนำไปสู่การจัดระเบียบแห่งความสัมพันธ์ที่สลับซับซ้อน (Complexity) และความมั่นคง (Stability) ของระบบ และเมื่อองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งของระบบถูกทำลายไป สิ่งอื่น ๆ ภายในระบบก็ยังคงอยู่รวมกันต่อไปได้ หรือพอมีเวลาที่จะปรับตัวได้โดยไม่แตกสลายไปในทันทีทันใด ตัวอย่างเช่น ในระบบนิเวศของป่าแบบสะวันนา ซึ่งประกอบด้วยสิงโตทำหน้าที่เป็นผู้บริโภคประเภทกินเนื้อ หรือเป็นผู้ล่า (Predator) กวาง ยีราฟ ม้าลาย ฯลฯ ทำหน้าที่เป็นผู้บริโภคประเภทกินพืช คือ กินหญ้าและพืชอื่น ๆ เป็นอาหาร และขณะเดียวกันก็เป็นเหยื่อ หรือเป็นอาหารของสิงโต ถ้าบังเอิญกวางถูกสิงโตจับกินมากเกินไปกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ จำนวนกวางก็จะลดลงมาจนหาจับกินได้ยาก สิงโตก็จะมีทางเลือกจับสัตว์ชนิดอื่นเช่น ม้าลาย วัว แทนต่อไป ในขณะเดียวกันกวางก็จะมีโอกาสขยายพันธุ์เพิ่มมากขึ้นจากเดิมเมื่อสัตว์อื่นมีจำนวนลดลง สิงโตก็จะกลับมากินกวางอีกต่อไป หรืออีกนัยหนึ่งเมื่อสิงโตมีอาหารกินอย่างสมบูรณ์ ก็จะทำให้จำนวนของสิงโตเพิ่มมากขึ้น ความต้องการอาหารก็จะมากขึ้นด้วย ทำให้ปริมาณของเหยื่อหรือสัตว์กินพืชทั้งหลายลดลง พืชพันธุ์ต่าง ๆ ที่เป็นอาหารของเหยื่อก็จะมีโอกาสฟื้นตัวขยายแพร่พันธุ์มากขึ้น ส่วนสิงโตเมื่อหาอาหารกินได้ยากขึ้นก็จะลดจำนวนลง ความต้องการอาหารลดลง เหยื่อก็มีโอกาสขยายพันธุ์เพิ่มมากขึ้น และเป็นอาหารของสิงโตอีกเช่นนี้เรื่อยไปในลักษณะเกิดความสมดุลแบบไม่หยุดนิ่งของระบบที่มีความมั่นคง (Stability)

จะเห็นว่าความมั่นคงของระบบนิเวศส่วนหนึ่งขึ้นกับความหลากหลายขององค์ประกอบในระบบ เช่น การทำไร่นาแบบผสมผสาน หรือ ในแปลงพืชที่ปลูกพืชหลายชนิดปะปนกันย่อมมีความทนทานต่อโรคหรือแมลงบางชนิดได้ดีกว่าแปลงที่ปลูกพืชเพียงชนิดเดียว อย่างไรก็ดี



ภาพ 2.9 ระบบนิเวศที่กำลังถูกทำลาย และระบบนิเวศที่อยู่ในภาวะสมดุลตามธรรมชาติ
(ที่มา: นาท ตัณฑวิรุฬห์, 2528. หน้า 19.)

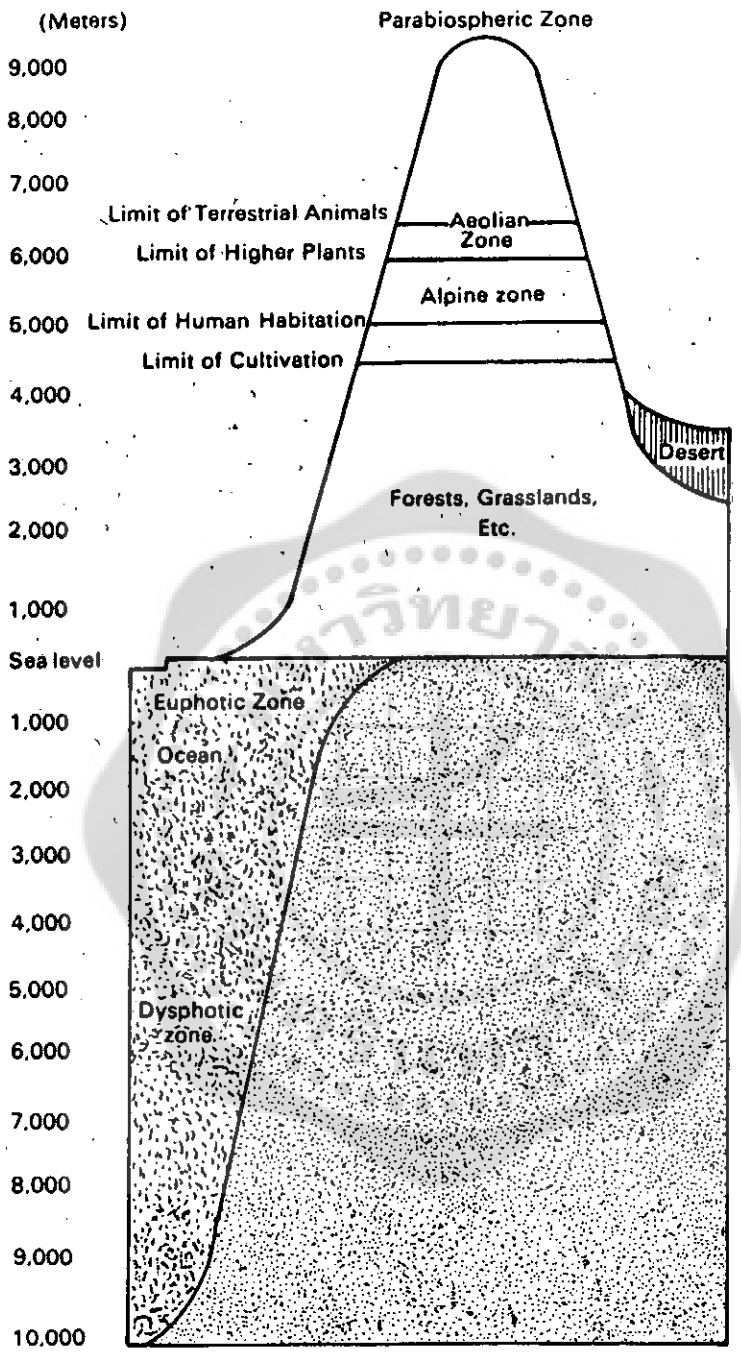
ความหลากหลายก็มีขีดจำกัด (Limitation) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการรองรับ (Carrying capacity) ของระบบนิเวศนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น สมมติว่าผลผลิตของหญ้าในพื้นที่หนึ่งไร่ จะใช้เป็นอาหารสำหรับกวาง ยีราฟ ม้าลาย ฯลฯ ชนิดใดชนิดหนึ่งได้หนึ่งตัวเพื่อดำรงชีวิตอยู่ ดังนั้นถ้าหากสัตว์จำนวนนี้มีปริมาณมากเกินไป อัตราการเกิดของหญ้าไม่ทันกับอัตราการบริโภค ก็จะทำให้เกิดปัญหาที่เรียกว่าโอเวอร์เกรสซิง (Over grazing) เมื่อเป็นเช่นนี้ปริมาณของสัตว์เหล่านี้ก็จะลดลง ขณะเดียวกัน สมมติว่าสิงโตหนึ่งตัวมีชีวิตอยู่ได้จะต้องกินอาหารที่มีปริมาณเท่ากับปริมาณอาหารที่กวางหรือยีราฟหรือม้าลาย ฯลฯ หนึ่งตัวกินภายในสองวัน ดังนั้นหากกวาง ยีราฟ หรือม้าลาย ฯลฯ ลดลง ด้วยเหตุที่ถูกล่ามากเกินไปหรืออาหารไม่เพียงพอจนต้องล้มตายหรือสูญพันธุ์ไป สิงโตก็จะไม่อาจมีชีวิตอยู่ได้เช่นกัน ระบบนิเวศทั้งระบบก็จะแตกสลายลงในที่สุด

2.3.5 การไหลของพลังงาน และการหมุนเวียนของสสารในชีวภาค

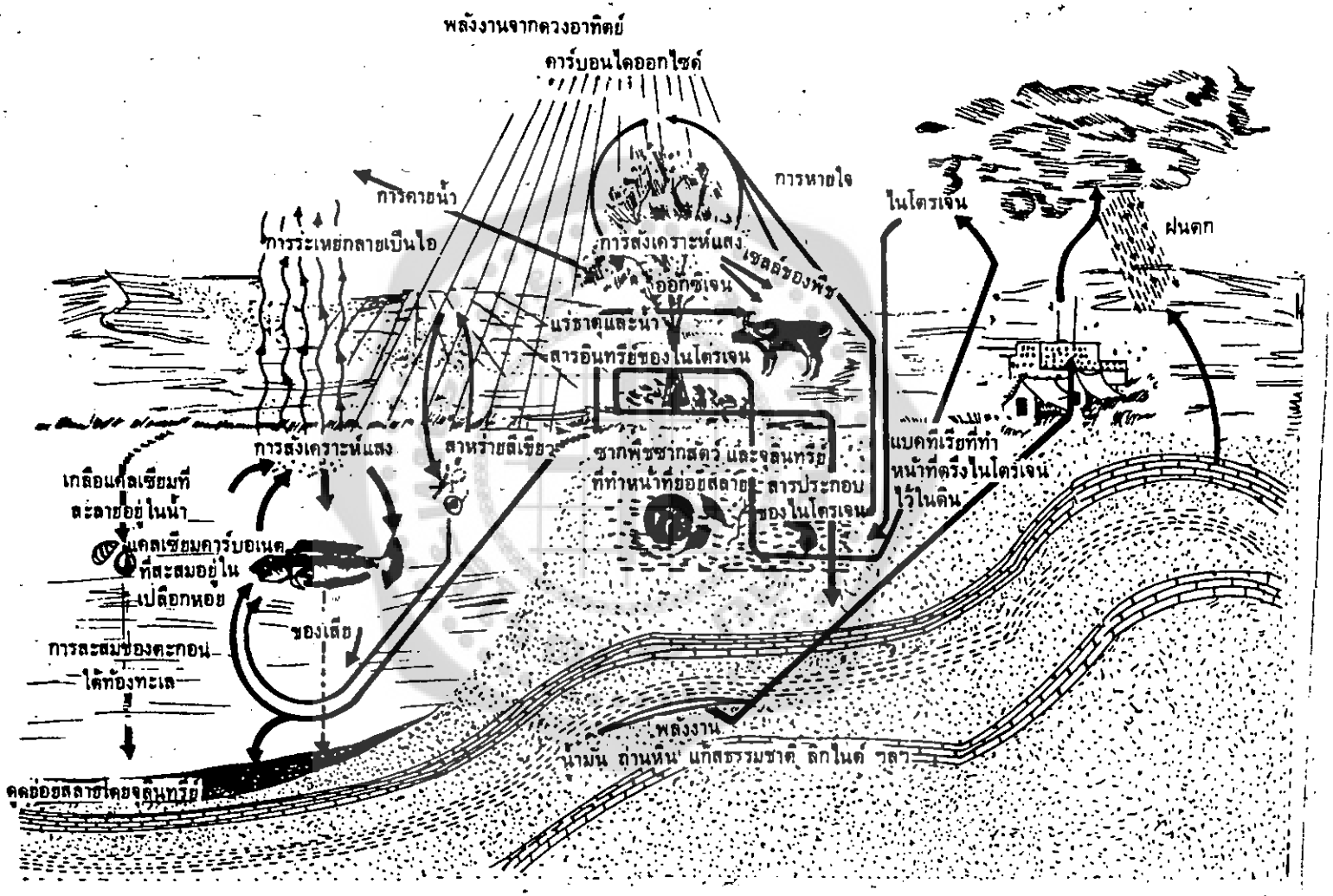
คำว่า "ชีวภาค" (Biosphere) บางทีอาจใช้คำว่า "ชีวาลัย" หมายถึงอาณาบริเวณบาง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ ผิวโลก ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นแผ่นดินประกอบด้วย ดิน หิน แร่ธาตุ เรียกว่า "ธรณีภาค" (Lithosphere) ส่วนที่เป็นน้ำ เช่น มหาสมุทร ทะเล ทะเลสาบ ห้วย หนอง คลอง บึง เรียกว่า "อุทกภาค" (Hydrosphere) และส่วนที่เป็นอากาศ ประกอบด้วยแก๊สต่าง ๆ เรียกว่า "บรรยากาศ" (Atmosphere) ขอบเขตของชีวาลัยจะสูงและต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 9,000 เมตร และ 10,000 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเทียบจากความสูงของยอดเขาเอเวอเรสต์ที่สูงที่สุดในโลก และความลึกของจุดที่ลึกที่สุดของมหาสมุทรแปซิฟิก (ภาพ 2.10)

แหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญที่สุดของชีวภาค ก็คือดวงอาทิตย์ พลังงานดังกล่าวจะถูกตรึงไว้ในชีวภาคด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชสีเขียว (ภาพ 2.11) ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเป็นอาหารของสัตว์ต่อไป พร้อมทั้งพืชยังปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนที่เป็นประโยชน์และจำเป็นสำหรับกระบวนการหายใจของสัตว์และพืชออกมาด้วย เมื่อพืชและสัตว์ตายลงก็จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ สารที่ได้จากการย่อยสลายนี้จะกลายเป็นอาหารของพืชต่อไป หรือสะสมทับถมกันกลายเป็น ดิน หิน แร่ และแหล่งพลังงานต่าง ๆ ในชีวภาค

ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันอย่างเป็นระบบของทุกองค์ประกอบในชีวภาค ทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตเหล่านี้ วิเคราะห์ได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหมุนเวียนเป็นวัฏจักร (Cycle)



ภาพ 2.10 อาณาบริเวณของชีวภาคในแนวดิ่ง (ที่มา: นาท ตันตวิรุฬห์, 2528. หน้า 3.)



ภาพ 2.11 ระบบความสัมพันธ์ของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในชีวภาค (ที่มา: นาท ตัณฑวิรุฬห์, 2528. หน้า 4.)

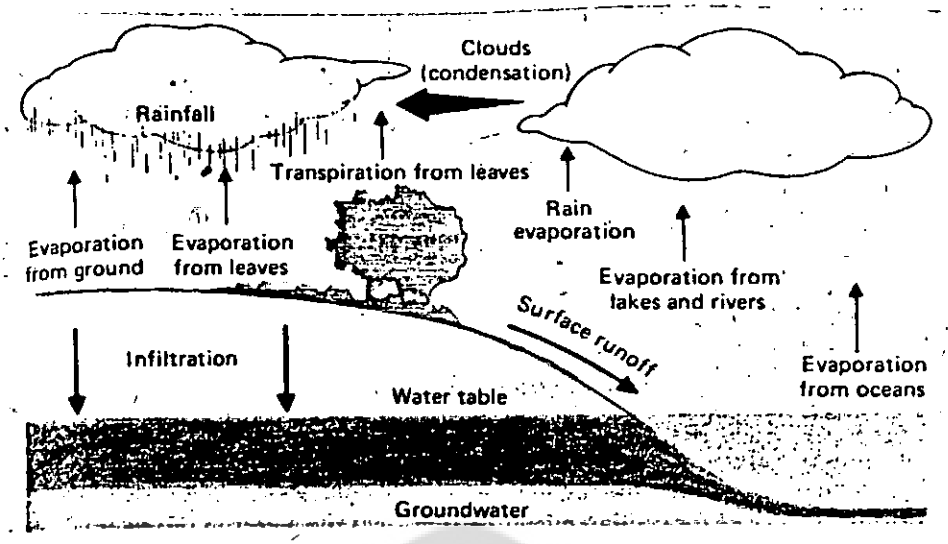
ต่าง ๆ มากมาย วัฏจักรที่สำคัญคือ วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic cycle) วัฏจักรของออกซิเจน (Oxygen cycle) วัฏจักรของคาร์บอน (Carbon cycle) วัฏจักรของไนโตรเจน (Nitrogen cycle) และวัฏจักรของฟอสฟอรัส (Phosphorus cycle) การหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงอย่างมีระบบเหล่านี้ดำเนินไปได้โดยอาศัยพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญ ดังจะอธิบายสาระสำคัญของวัฏจักรต่าง ๆ ทั้งในแง่ของกลไกและการใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิตในชีวภาคในลำดับต่อไปนี้

1) วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic cycle)

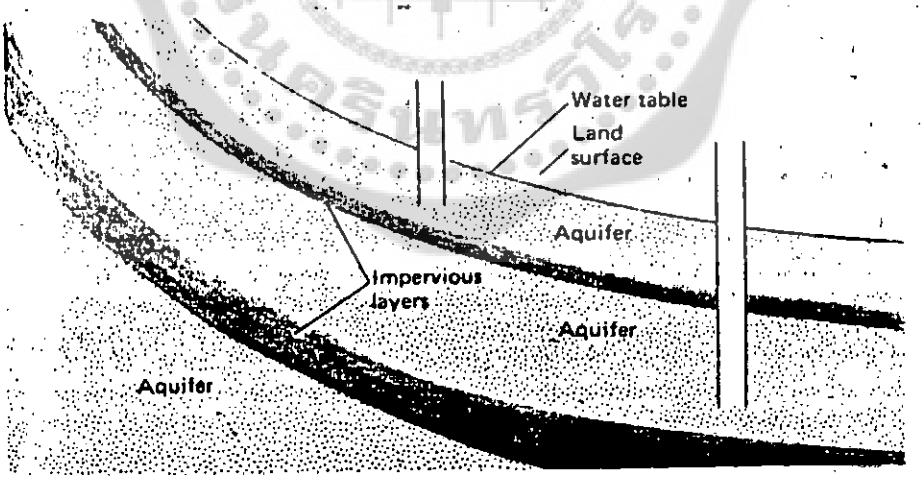
พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้น้ำจากผิวโลกระเหยเป็นไอน้ำ และเมฆหมอก แล้วจึงกลายเป็นฝนตกกลับมาหมุนเวียนเป็นวัฏจักรของน้ำ ดัง (ภาพ 2.12) จากภาพแสดงให้เห็นถึงพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งมีความร้อนทำให้น้ำที่ผิวของมหาสมุทรบางส่วนที่อยู่ในดินและในพืช ระเหยขึ้นไปในบรรยากาศ น้ำที่ระเหยจากในพืชเรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration) ของพืช อากาศที่อุ้มไอน้ำไว้นี้จะเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวโลก เมื่ออากาศเย็นลงไอน้ำกลุ่มนี้ก็กลั่นตัวเป็นน้ำ ซึ่งตกลงมาสู่ผิวโลกในรูปของฝน ลูกเห็บ หรือหิมะ น้ำที่ตกลงมาบางส่วนจะระเหยกลับไปสู่บรรยากาศ แต่ส่วนใหญ่ซึมลงใต้ดินและไหลลงสู่ที่ต่ำ ตามทางน้ำสายต่าง ๆ และไหลไปบนผิวดินจากที่สูง หรือภูเขาสู่ที่ราบ ทะเลสาบ ทะเลและมหาสมุทร น้ำส่วนที่ซึมลงสู่ใต้ดินอาจถูกเก็บกักไว้เป็นน้ำใต้ดินเป็นระยะเวลายาวนาน เรียกว่า น้ำบาดาล (Ground water) ส่วนน้ำที่ไหลไปบนผิวดินหรือไหลในแม่น้ำลำธาร เรียกว่า น้ำไหลล้น (Runoff)

ผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ต่อวัฏจักรของน้ำ

การใช้ประโยชน์ที่ดินของมนุษย์บางอย่าง มีผลกระทบต่อการระเหย (Evaporation) น้ำไหลล้น และอัตราการซึมลงดิน (Infiltration) ของน้ำในวัฏจักรน้ำ เช่น กรณีการใช้น้ำระบายความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม หรือการใช้น้ำสำหรับการเกษตร ทำให้อัตราการระเหยของน้ำสูงขึ้น การระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วนี้มีผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศหรือทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง บริเวณเขตชุมชนเมืองซึ่งมีถนนและทางระบายน้ำจำนวนมาก น้ำที่ไหลบนสิ่งเหล่านี้ มีส่วนทำให้ปริมาณน้ำไหลล้นเพิ่มขึ้น แต่สิ่งเหล่านี้ยังกีดขวางการซึมลงดินของน้ำหรือทำให้น้ำซึมลงใต้ดินได้น้อยลง การซึมลงดินของน้ำมีผลกระทบต่อกิจกรรมการใช้ประโยชน์ของน้ำของมนุษย์อย่างมาก เช่น ความต้องการการใช้น้ำบาดาลของชุมชนเมืองย่อมอยู่ในปริมาณ



ภาพ 2.12 วัฏจักรของน้ำ (ที่มา: Enger E, 1983. p. 345.)



ภาพ 2.13 ชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) และระดับน้ำใต้ดิน (Water table)
(ที่มา: Enger E, 1983. p. 345.)

สูง แต่การซึมลงไปทดแทนของน้ำใต้ดินมีน้อยลงย่อมทำให้ความต้องการใช้น้ำกับปริมาณน้ำบาดาลที่มีอยู่ไม่สมดุลกันอาจทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำได้

น้ำที่ซึมลงสู่ใต้ดินส่วนที่มิได้ถูกเก็บไว้โดยรากของพืช ก็จะซึมลงอย่างช้า ๆ สู่ชั้นหินต่าง ๆ จนถึงชั้นที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ เรียกว่าชั้นหินกั้นน้ำ (Aquifuge or Impervious Layer) น้ำจำนวนนั้นก็จะถูกเก็บกักสะสมอยู่เหนือชั้นดังกล่าว เรียกชั้นหินที่มีน้ำขังอยู่ว่าชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) ซึ่งเป็นชั้นหินที่มีสมบัติยอมให้น้ำซึมผ่านได้โดยง่าย เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเม็ดแร่กว้าง หรือมีโพรง หรือรอยแตกต่อเนื่องกัน พื้นผิวหรือแนวระดับน้ำใต้ผิวดินที่อยู่ระหว่างเขตอิ่มน้ำกับเขตอิ่มอากาศหรือ ระดับผิวบนสุดของชั้นหินอุ้มน้ำ เรียกว่า ระดับน้ำใต้ดิน (Water table) น้ำในชั้นหินอุ้มน้ำสามารถไหลอย่างช้า ๆ ผ่านชั้นหินได้ เมื่อชั้นหินที่รองรับอยู่ถูกแรงกดดันจนโค้งงอก็จะจะทำให้ปลายด้านใดด้านหนึ่งของชั้นหินอยู่ในระดับสูงกว่าปลายอีกด้านหนึ่ง (ภาพ 2.13) น้ำจึงไหลลงสู่บริเวณต่ำกว่าด้วยแรงดึงดูดของโลกชั้นหินอุ้มน้ำมีความสำคัญต่อการใช้น้ำของมนุษย์มาก ทั้งในอุตสาหกรรม การเกษตร และชุมชน ประชากรในเมืองใหญ่ ๆ มักต้องพึ่งพาน้ำบาดาลเสมอ ปริมาณน้ำในแหล่งน้ำบาดาลจะยังคงอยู่ตลอดไปนานเท่าใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้น้ำบาดาลต้องไม่มากเกินกว่าปริมาณน้ำที่ซึมลงไปทดแทนในชั้นหินอุ้มน้ำที่มีอยู่

2) วัฏจักรของออกซิเจน (Oxygen cycle)

อะตอมของธาตุออกซิเจนมีอยู่ในแหล่งต่าง ๆ ของชีวาลัยได้หลายรูปแบบ คือ

- เป็นโมเลกุลของแก๊สออกซิเจน (O_2) ในบรรยากาศซึ่งมีปริมาณมากประมาณ 21 % ของอากาศทั้งหมด
- เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของน้ำ (H_2O)
- เป็นองค์ประกอบในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
- เป็นองค์ประกอบในสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น น้ำตาล แป้ง และโปรตีน
- อยู่ในรูปของไอออน เช่น ไนเตรต (NO_3^-), คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ซึ่งละลายอยู่ในน้ำ เป็นต้น
- เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุ ที่รวมตัวกันเป็นหินต่าง ๆ ชั้นดิน ในเปลือกโลก เช่นหินปูนที่มีองค์ประกอบเป็นแร่แคลไซต์ ($CaCO_3$) แร่ธาตุได้แก่ แร่ควอรตซ์ (SiO_2) แร่เหล็กฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) เป็นต้น ออกซิเจนในแหล่งนี้พบว่ามีปริมาณมากที่สุดในชีวภาค

ภาพ 2.14 แสดงแหล่งของออกซิเจนในโลก การแลกเปลี่ยนออกซิเจนอย่างรวดเร็วจะเกิดขึ้นโดยสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย (ภาพ 2.15) พืชจะสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรทโดยการรวมน้ำกับคาร์บอนไดออกไซด์เข้าด้วยกันภายใต้แสงแดด และปล่อยออกซิเจนออกมาดังสมการต่อไปนี้

$$6\ CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{แสงแดด}} \underset{\text{(คาร์โบไฮเดรตและน้ำตาล)}}{C_6H_{12}O_6} + 6O_2$$

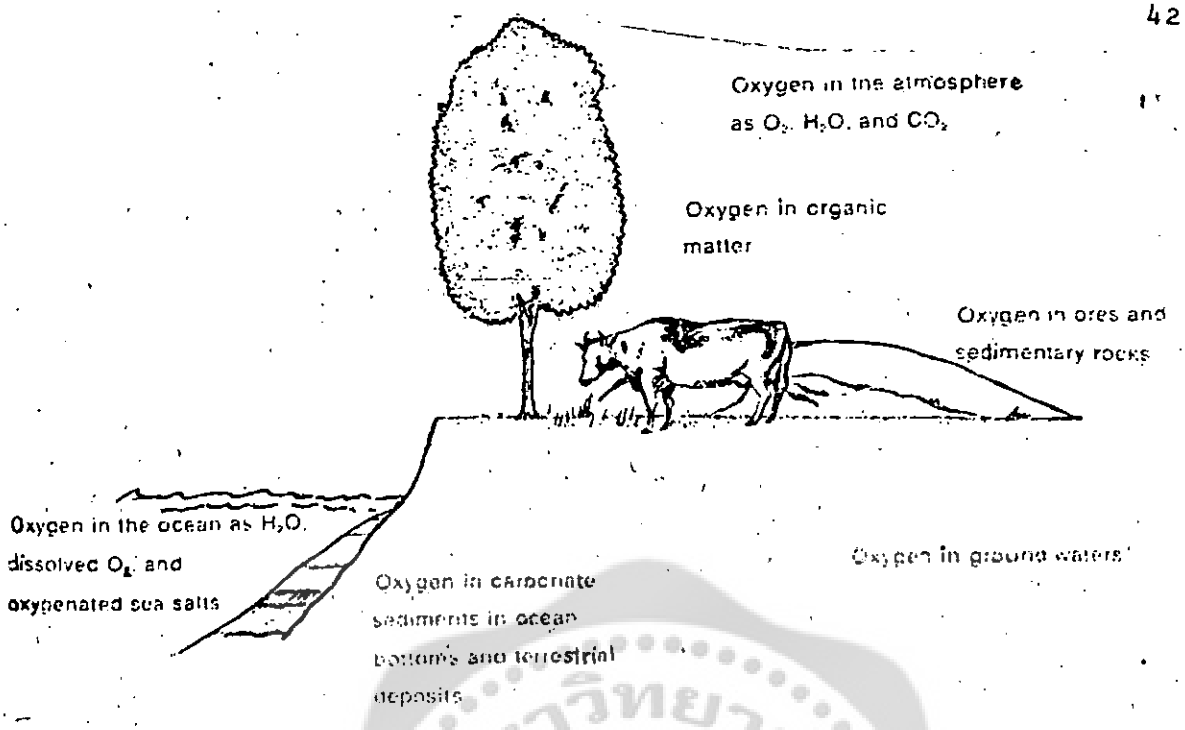
กระบวนการนี้เรียกว่า การสังเคราะห์แสง โมเลกุลในเนื้อเยื่อพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมออกซิเจน ส่วนสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Heterotrophic organisms) หรือไม่สามารถสร้างน้ำตาลจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้จะบริโภคพืชเป็นอาหารและดูดซึมสารเคมีต่าง ๆ ที่มีออกซิเจนเข้าไป สารเหล่านี้จะถ่ายทอดไปสู่ผู้บริโภคอันดับต่าง ๆ ในสายใยอาหาร (Food web) ต่อไป อะตอมออกซิเจนก็จะถูกปล่อยออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยกระบวนการหายใจ ดังสมการต่อไปนี้

$$6O_2 + C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{Heterotrophic organisms}} 6CO_2 + 6H_2O$$

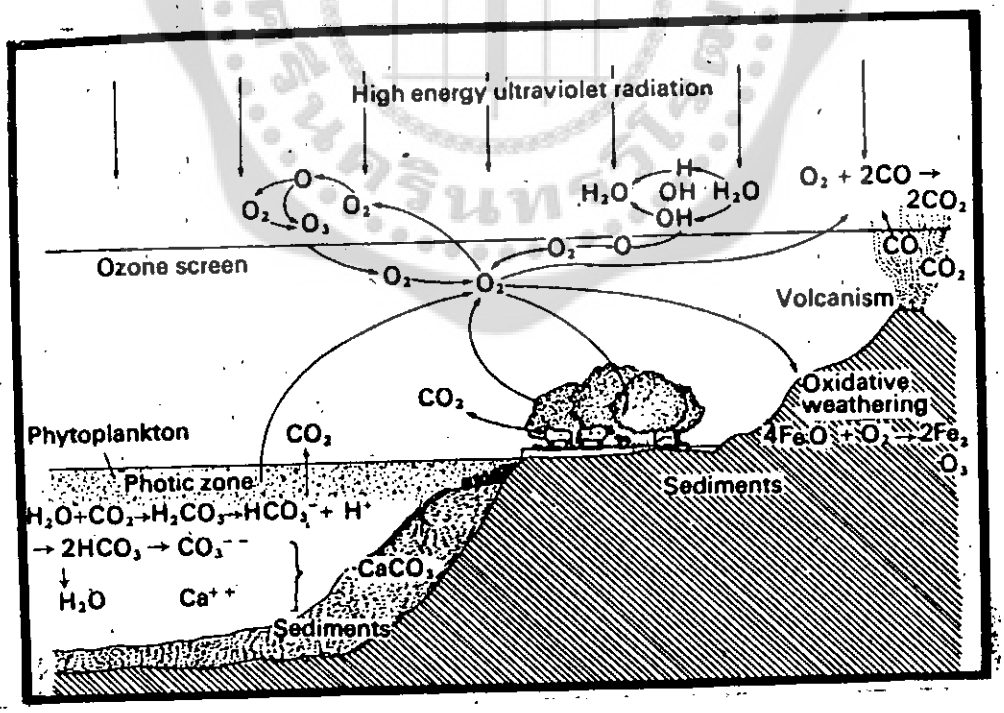
ในที่สุดพืชก็จะนำน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้นี้ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้อีกจนเป็นวัฏจักรของออกซิเจน

3) วัฏจักรของคาร์บอน (Carbon cycle)

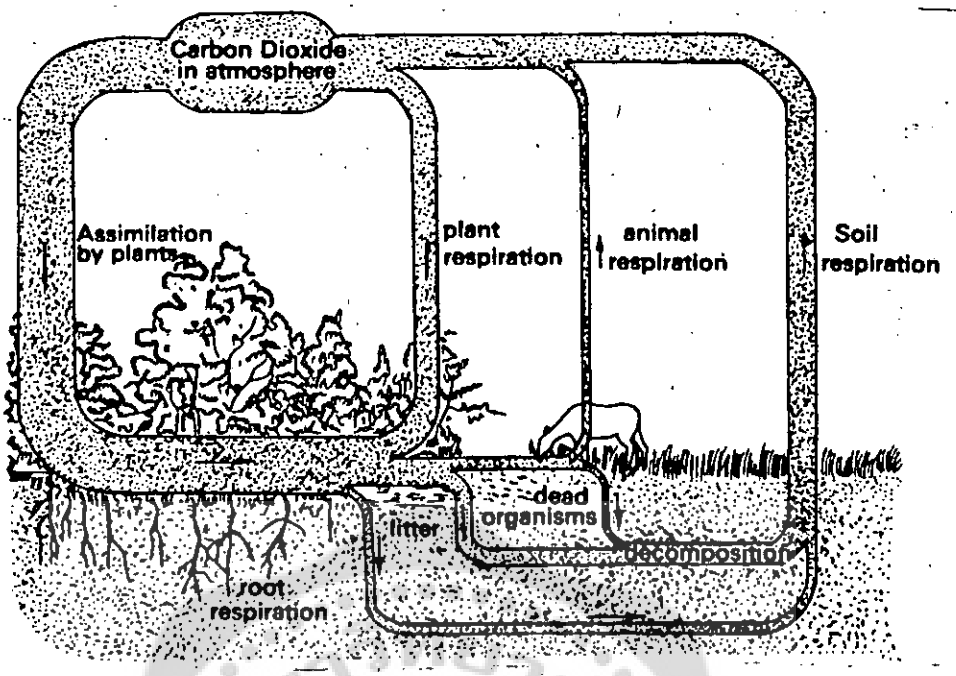
คาร์บอนเป็นธาตุสำคัญธาตุหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ แหล่งที่สะสมธาตุคาร์บอนไว้เป็นจำนวนมากในชีวภาคคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและน้ำ ในน้ำฝนมีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ประมาณ 0.3 มิลลิลิตรต่อน้ำฝน 1 ลิตร พืชใช้แก๊สนี้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง คาร์บอนไดออกไซด์ถูกนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในพืช คาร์บอนจะถ่ายทอดไปยังสัตว์โดยสัตว์กินพืช ทั้งพืชและสัตว์ก็ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสู่บรรยากาศโดยการหายใจ การย่อยสลายสารเน่าเปื่อยยังทำให้เกิดแก๊สดังกล่าวออกมาสู่บรรยากาศด้วย (ภาพ 2.16) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในบรรยากาศนอกจากได้จากกระบวนการในสิ่งมีชีวิตดังกล่าวแล้ว ยังได้จากการเผาไหม้สิ่งไม่มีชีวิตด้วย คือ การเผาเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ เป็นต้น



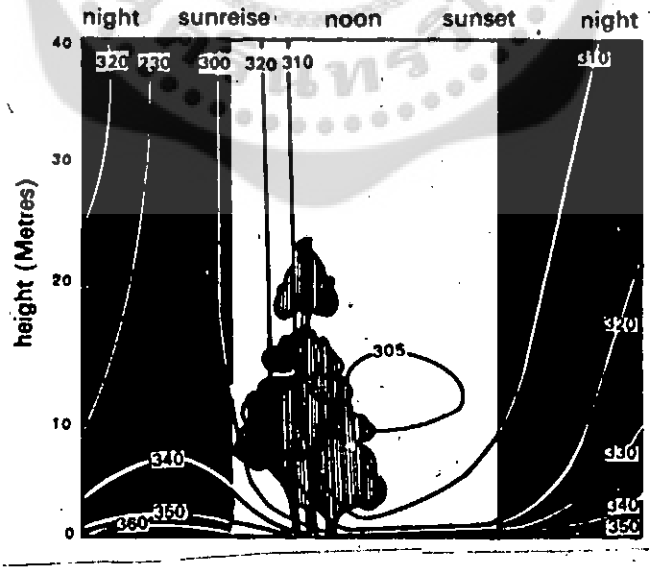
ภาพ 2.14 แหล่งของออกซิเจนในโลก (ที่มา: Turk A, 1978. p. 47.)



ภาพ 2.15 วัฏจักรของออกซิเจน (ที่มา: นาท ตันฑวิรุฬห์, 2528. หน้า 6.)



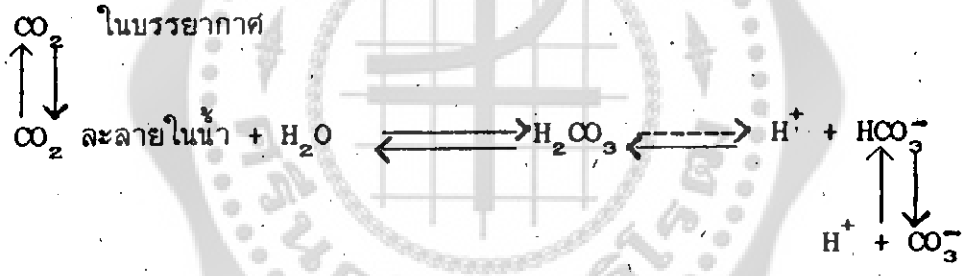
ภาพ 2.16 วัฏจักรของคาร์บอน (ที่มา: นาท ตัณฑวิรุฬห์, 2528. หน้า 6.)



ภาพ 2.17 รูปแบบการกระจายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ตามแนวดิ่งในอากาศรอบ ๆ ป่าไม้ (ที่มา: นาท ตัณฑวิรุฬห์, 2528. หน้า 7.)

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงในรอบ 24 ชั่วโมงของแต่ละวัน (ภาพ 2.17) เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นเริ่มเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชเริ่มจับคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ เป็นผลให้ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณรอบ ๆ ต้นพืช ลดต่ำลงอย่างรวดเร็วจนถึงเที่ยงวัน ขณะใกล้เที่ยงวันอุณหภูมิสูงขึ้นความชุ่มชื้นลดลง อัตราการหายใจของพืชเพิ่มขึ้น ปริมาณสุทธิของคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง พอถึงเวลากลางคืนการสังเคราะห์แสงหยุดลง แต่การหายใจยังคงดำเนินอยู่ตลอด ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง มีผู้ทดลองวิเคราะห์ พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผิวดินเวลาใกล้เที่ยงมีความเข้มข้นถึง 350-400 พีพีเอ็ม (ppm = part per million) ในขณะที่บริเวณยอดไม้มีคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 10-15 พีพีเอ็ม หรือเหลือประมาณ 305 พีพีเอ็มเท่านั้น

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำอาจแลกเปลี่ยนกันได้ โดยกระบวนการ (Diffusion) ทิศทางการแพร่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ในสมการดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยาทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาชนิดผันกลับ ทิศทางของปฏิกิริยาจึงขึ้นกับความเข้มข้นขององค์ประกอบตามสมการ

ในทางธรณีวิทยา ซากพืชทับถมกันในสภาพของถ่านหิน หินน้ำมัน ปิโตรเลียม ในบริเวณชั้นเปลือกโลก ส่วนโครงกระดูกและส่วนที่เป็นส่วนแข็งของสัตว์ ก็กลายเป็นหินปูน หรือหินคาร์บอเนต โดยก่อนหน้านั้น วัตถุเหล่านี้จะผ่านกระบวนการพัดพา (Transportation) ไปสะสมตัวกันในบริเวณที่ลุ่มหรือแอ่ง (Basin) ต่าง ๆ เช่น ที่ลุ่มน้ำขัง ทะเลสาบ ทะเล มหาสมุทร เป็นต้น จนเวลาผ่านไปก็จะกลายสภาพเป็นวัตถุดังกล่าว

ผลกระทบจากการเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของโลก

ประชากรมนุษย์มีส่วนทำให้วัฏจักรของคาร์บอนเปลี่ยนแปลงโดยที่มนุษย์ทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น จนเกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศในชีวภาคอย่างมากมาย ตั้งแต่ ค.ศ. 1850 มนุษย์รู้จักใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) ซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ที่เกิดจากการทับถมกันของซากสิ่งมีชีวิตตามกระบวนการทางธรณีวิทยา การเผาไหม้เชื้อเพลิงดังกล่าวมาจนถึงปัจจุบัน ทำให้เกิดการปล่อยคาร์บอนกลับสู่บรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ประมาณว่า 5-6 พันล้านตันต่อปี ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ 2-3 พีพีเอ็มต่อปี ช่วงเวลา 100 ปี ที่ผ่านมาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจากศตวรรษที่แล้วไม่ต่ำกว่า 20 % นอกจากนั้นการตัดไม้ทำลายป่าอย่างรุนแรงทั่วโลก ทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชลดลง และส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย

กลไกการเกิดผลกระทบต่อบรรยากาศของโลกคือ โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีอยู่ประมาณ 0.03 % ของบรรยากาศทั้งหมด จะรวมตัวกับไอน้ำแล้วมีสมบัติดูดกลืนและสะท้อนรังสีอินฟราเรด (รังสีของแสงที่มองไม่เห็น มีความยาวคลื่นมากกว่า 7×10^{-6} ซม.) จากแสงแดด รวมทั้งความร้อนที่ถูกส่งออกไปจากผิวโลก ให้กลับสู่ผิวโลกอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นอุณหภูมิของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกอยู่ซึ่งเป็นส่วนประกอบของชีวภาคร้อนอบอ้าวขึ้นอีก ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า "ปรากฏการณ์เรือนกระจก" (Green house effect) ที่เรียกอย่างนี้เพราะว่าลักษณะที่เกิดขึ้นเหมือนกับในเรือนกระจกสำหรับเพาะชำต้นไม้ในประเทศหนาว กล่าวคือคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่เหมือนกับกระจกในเรือนเพาะชำ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านเข้าไปในเรือนก็ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายใน แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถผ่านกระจกออกไปได้ จึงเกิดความร้อนสะสมขึ้นภายในเรือนกระจกนั้น

ปรากฏการณ์เรือนกระจกที่เกิดขึ้นยังมีสาเหตุมาจากการปล่อยแก๊สอื่น ๆ ขึ้นไปในบรรยากาศอีกด้วย เช่น สาร CFC (Chlorofluorocarbon) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และมีเทน (CH_4) เป็นต้น ผลจากการเพิ่มของแก๊สเหล่านี้ในบรรยากาศนอกจากจะทำให้อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้นแล้ว ยังมีผลกระทบทำให้โลกเปลี่ยนแปลง (Global change) ในลักษณะอื่น ๆ เช่น ทำให้ภูมิอากาศและระบบนิเวศในชีวภาคเปลี่ยนแปลง กล่าวคืออุณหภูมิที่ผิวโลกจะสูงขึ้น 1-9.5 องศาเซลเซียสภายในระยะเวลา 100 ปีข้างหน้า พื้นที่ที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรขึ้นไปจะมีฤดูหนาวสั้นลง บริเวณทั่วไปมีความชื้นสูงและร้อนขึ้น ทำให้อัตราการเสื่อมสภาพของผิวดินเร็วขึ้น แผ่นดินบางบริเวณกลายเป็นทะเลทราย ส่วนบริเวณที่เปียกชื้นจะเปียกชื้นมากขึ้น โดย

จะมีพายุในเขตร้อนบ่อยครั้งและรุนแรง สิ่งมีชีวิตบนพื้นโลกจะเปลี่ยนแปลง บางชนิดสูญพันธุ์ไป พืชที่ต้องการแสงมากจะเพิ่มจำนวนขึ้น ส่วนพืชที่ไม่ต้องการแสงมากจะล้มตายและลดจำนวนลง ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้หิมะและน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกและที่สูงละลาย ประกอบกับความร้อนทำให้น้ำบริเวณต่าง ๆ ขยายตัว ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 60 ซม. ภายในช่วง 100 ปีข้างหน้า ซึ่งจะทำให้พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล เกาะบางเกาะต้องจมตัวลงหรือมีน้ำทะเลท่วมถึง รวมเป็นระยะทางยาวประมาณ 360,000 กิโลเมตร ประชากรมนุษย์ของโลกประมาณ 10 ล้านคนต้องเดือดร้อนที่อยู่อาศัย น้ำเค็มจะรุกล้ำเข้ามาในแหล่งน้ำจืด ชายหาดบางแห่งหายไป ปากแม่น้ำจะรุกล้ำเข้ามาในแผ่นประมาณ 20 กิโลเมตร น้ำทะเลอาจทำให้ชายฝั่งสึกกร่อนเร็วขึ้นและหมดไปในที่สุด ทำให้นิเวศบนบกและชายฝั่งเปลี่ยนแปลงอย่างมาก นอกจากนั้นยังผลให้เกิดผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมอีกด้วย เช่น กรณีแหล่งน้ำจืดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมใกล้ทะเลก็จะถูกน้ำทะเลลุกล้ำเข้าไป ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมต้องเพิ่มต้นทุนในการจัดหาแหล่งน้ำจืดมากขึ้น สินค้าที่ผลิตได้ก็อาจแพงขึ้นด้วย

4) วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen cycle)

ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่สำคัญไม่น้อยไปกว่าธาตุคาร์บอน ด้วยเหตุที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน และสารอินทรีย์อื่น ๆ อีกหลายชนิด แม้ว่าในบรรยากาศมีแก๊สไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 78 % ซึ่งมากกว่าแก๊สอย่างอื่นที่ปนอยู่ทั้งหมด แต่เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่ไม่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมี จึงทำให้พืชไม่อาจนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที แหล่งสะสมของธาตุไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้งานได้ คือ เกลือไนเตรต พืชสามารถดึงดูดเอาอนุมูลไนเตรตไอออน (NO_3^-) จากเกลือแร่ที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้น ไปเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโน (Amino acid) และสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ ในต้นพืช ธาตุไนโตรเจนเหล่านี้จะเป็นองค์ประกอบของพืชไปจนกว่าพืชจะตายลง

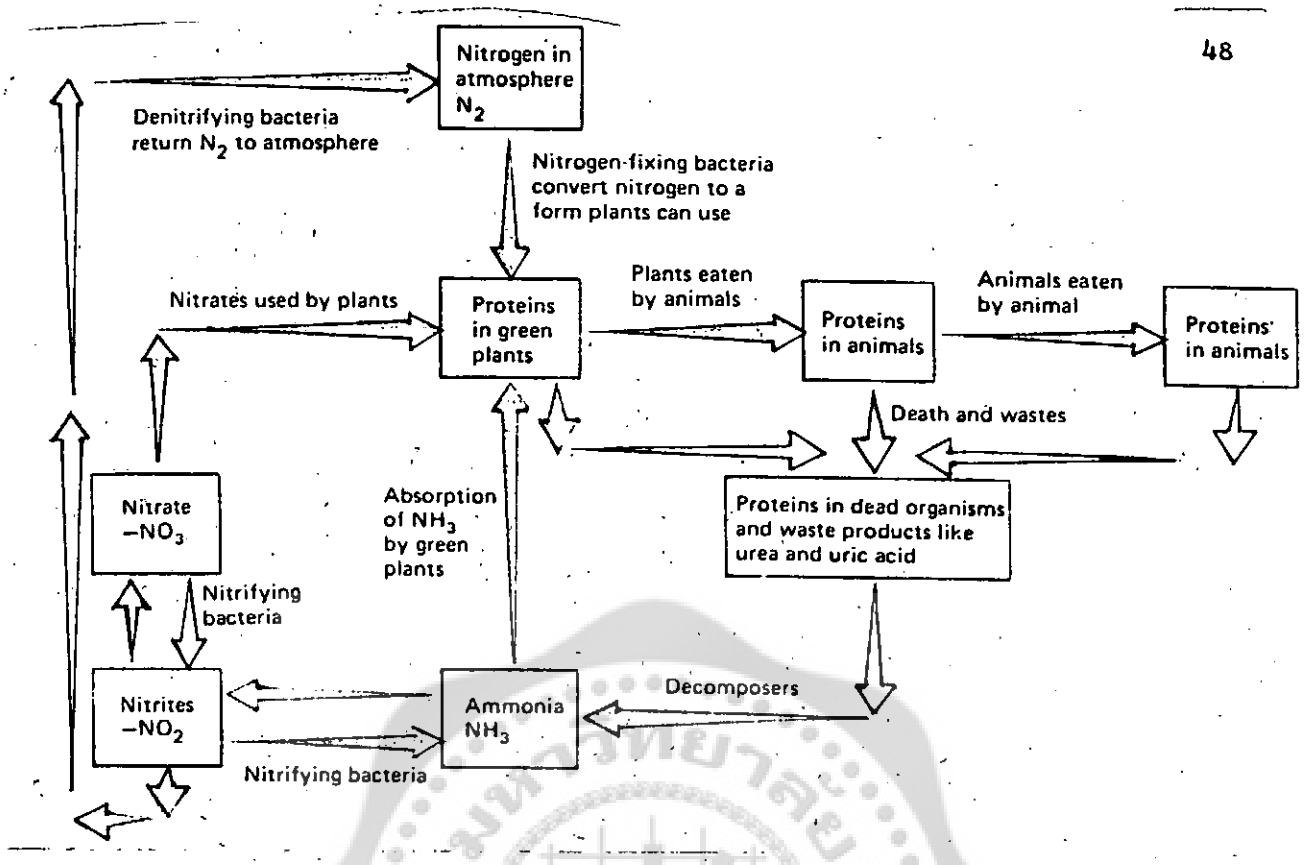
สัตว์ได้รับธาตุไนโตรเจนโดยการกินพืช เมื่อพืชและสัตว์ตายลง ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในชิ้นส่วนต่าง ๆ ก็จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ต่อมาแก๊สนี้ถูกแบคทีเรียที่เรียกว่า ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง แบคทีเรียดังกล่าวนี้มี 2 ประเภท ประเภทแรกทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนีย ให้เป็นสารประกอบไนไตรต์ (Nitrite compound) และขับสารนี้ออกสู่สิ่งแวดล้อม ประเภทที่สองทำหน้าที่เปลี่ยนสารประกอบไนไตรต์ต่อไปให้เป็นสารประกอบไนเตรต (Nitrate compound) แล้วจึงขับออกมาสู่สิ่งแวดล้อมอีก ทำให้พืชสามารถดูดกลับไปใช้ประโยชน์ได้

มีแบคทีเรียบางชนิดสามารถเปลี่ยนสารประกอบไนเตรต ให้สลายตัวกลับกลายไปเป็นแก๊สไนโตรเจนลอยไปในบรรยากาศได้อีก เรียกแบคทีเรียประเภทนี้ว่า ดีไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Denitrifying bacteria) การทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้ทำให้ปริมาณสารไนเตรตลดลงไป แต่ก็ยังมีแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งที่สามารถนำเอาแก๊สไนโตรเจนจากบรรยากาศมาเปลี่ยนเป็นสารไตเตรตเป็นการชดเชยกัน แบคทีเรียชนิดดังกล่าวนี้เรียกว่า ไนโตรเจนฟิกซิงแบคทีเรีย (Nitrogenfixing bacteria) เช่นชนิดที่อาศัยอยู่ในปมรากถั่ว นอกจากนี้ยังมีพืชชั้นต่ำบางชนิดที่อาศัยอยู่ในน้ำ สามารถตรึงเอาแก๊สไนโตรเจนจากบรรยากาศมาเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบของไนโตรเจนได้

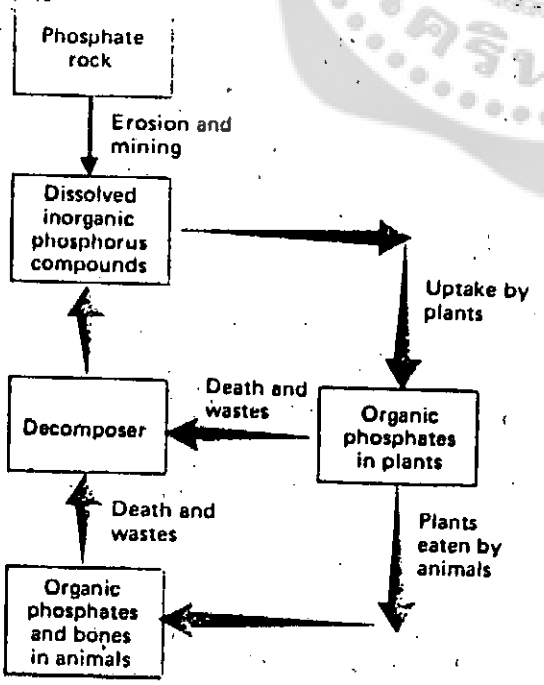
กล่าวโดยสรุปคือ อะตอมของไนโตรเจนจะหมุนเวียนในระบบนิเวศได้โดยไนโตรเจนในบรรยากาศเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้สร้างโปรตีนและสารประกอบในต้นพืชได้โดยแบคทีเรียประเภทไนโตรเจนฟิกซิงแบคทีเรีย โปรตีนจะถูกถ่ายทอดไปยังสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ คือ สัตว์ที่กินพืช และสัตว์ที่กินสัตว์ ไนโตรเจนในพืชและสัตว์ที่ตายลงจะถูกแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยสลายเปลี่ยนให้ซากเหล่านั้นไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งพืชสามารถนำกลับไปใช้ได้บางส่วน ส่วนที่เหลือจะมีแบคทีเรียประเภทไนตริไฟอิงแบคทีเรียเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไนไตรต์ และไนเตรต โดยพืชจะดูดเอาไนเตรตไปใช้ประโยชน์ได้ และบางส่วนของไนเตรตจะถูกแบคทีเรียชนิดดีไนตริไฟอิงแบคทีเรียเปลี่ยนกลับไปเป็นแก๊สไนโตรเจนในบรรยากาศต่อไป (ดังภาพ 2.18)

5) วัฏจักรของฟอสฟอรัส (Phosphorus cycle)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุสำคัญอีกชนิดหนึ่งในโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต เป็นส่วนประกอบของโมเลกุลต่าง ๆ เช่น ดีเอ็นเอ (DNA : Deoxyribonucleic acid) และโครงสร้างที่เป็นผนังของเซลล์ เป็นต้น นอกจากนั้นกระดูกและฟันของสัตว์ก็มีฟอสฟอรัสจำนวนมากเช่นกัน แหล่งของฟอสฟอรัสตามธรรมชาติจะอยู่ในหินที่มีแร่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ (Phosphate rock) โดยธรรมชาติสารประกอบที่มีธาตุฟอสฟอรัสเหล่านี้ถูกกัดกร่อนและชะล้างพังทลาย ละลายออกมาโดยการกระทำของน้ำ ลมฟ้าอากาศ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ พืชก็จะดูดเอาสารเหล่านี้ไว้เพื่อสร้างเป็นโมเลกุลต่าง ๆ ในต้นพืช สารประกอบฟอสฟอรัสจึงถ่ายทอดไปสู่สัตว์กินพืช และต่อไปยังสัตว์กินสัตว์ และเมื่อพืชหรือสัตว์ล้มตายลง ผู้ย่อยสลายจึงทำหน้าที่เปลี่ยนสารประกอบฟอสเฟตในซากเหล่านั้น ให้กลายเป็นสารฟอสเฟตและปล่อยกลับสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป (ภาพ 2.19)



ภาพ 2.18 วัฏจักรไนโตรเจน (ที่มา: Enger E, 1983. p. 55.)



ภาพ 2.19 วัฏจักรฟอสฟอรัส (ที่มา: Enger E, 1983. p. 56.)

ปุ๋ยเคมีที่ใช้กันอยู่มักจะประกอบด้วยสารประกอบของธาตุอาหารหลักของพืช 3 ชนิดได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปรแทสเซียม ปริมาณเป็นร้อยละของธาตุทั้งสามจะบอกเป็นตัวเลข เช่น 15 - 15 - 15 แสดงว่าปุ๋ยนั้นมีธาตุทั้งสามชนิดอยู่อย่างละ 15 % การใส่ปุ๋ยลงในดินหรือการหมุนเวียนของธาตุต่าง ๆ ในธรรมชาติ ถือว่าเป็นการหมุนเวียนของสสารอยู่ในชีวภาค ในระบบนิเวศเกษตร ธาตุต่าง ๆ จะถูกดึงออกจากระบบ ไปกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตของพืชทุกครั้ง จึงทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง เกษตรกรจึงต้องเพิ่มปุ๋ยหรือธาตุอาหารแก่ดินอยู่เสมอ เพื่อรักษาความสมดุลของระบบนิเวศธรรมชาติภายใต้การหมุนเวียนของสสารและพลังงาน ผ่านผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้ย่อยสลายเป็นวัฏจักรต่อไป

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม

ประชากรมนุษย์มีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมมาอย่างแนบแน่นตั้งแต่อดีต มนุษย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งในระบบนิเวศหรือในชีวภาค ซึ่งมีบทบาทและหน้าที่เป็นผู้บริโภคอาหารในระบบนิเวศ จะเห็นว่ามนุษย์ใช้องค์ประกอบอื่น ๆ ในระบบนิเวศเพื่อการดำรงชีวิต ตั้งแต่ปัจจัยสี่จนถึงสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ จากสิ่งแวดล้อมรอบตัวมนุษย์ และมนุษย์มีความต้องการและมีความสามารถอย่างไม่มีขอบเขตจำกัด จึงทำให้เกิดทั้งประโยชน์และโทษต่อตัวมนุษย์เองและสิ่งแวดล้อมขึ้นอย่างมาก ในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมนี้จะครอบคลุมถึง สาระสำคัญ 2 ประการคือ ความหมายของสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ และมนุษย์กับปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะกล่าวถึงสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับประชากรมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติร่อยหรอ และการเกิดมลพิษ

2.4.1 ความหมายของสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

<u>สิ่งแวดล้อม</u> หมายถึง ทุกสิ่งทุกอย่างรอบ ๆ ตัวเราซึ่งมีทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต สิ่งแวดล้อมอาจแบ่งออกได้ตามแบบต่าง ๆ ดังนี้

<u>แบ่งตามรูปแบบการสัมผัส</u>

1) **สิ่งแวดล้อมในด้านรูปธรรม (Concrete environment)** หรือมนุษย์สามารถมองเห็น สัมผัส จับต้องได้ คือ

- สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ (Physical environment) หมายถึง สิ่งไม่มีชีวิต (abiotic resources) ซึ่งรวมถึงสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ได้แก่ ดิน น้ำ อากาศ แร่ธาตุ และสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์ได้สร้างสรรค์ดัดแปลงขึ้น โดยอาศัยความรู้ทางเทคโนโลยีหรือความสามารถทางศิลปะ เช่น อาคาร บ้าน ถนน วัด รูปปั้น เครื่องจักร เครื่องยนต์ โรงงาน ภาพเขียน ฯลฯ

- สิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ (Biological environment) หมายถึง สิ่งมีชีวิต (Biotic resources) ได้แก่ โพรทิสตา พืช สัตว์

2) **สิ่งแวดล้อมในด้านนามธรรม (Abstract Environment)** หรือมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นหรือสัมผัสจับต้องได้ ได้แก่ ระบบสังคม เศรษฐกิจ การเมืองและวัฒนธรรม (Social, Economic, Political and Cultural environments) ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นระบบความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับมนุษย์

<u>แบ่งตามลักษณะการเกิด</u>

1) สิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ สิ่งไม่มีชีวิต เช่น ดิน น้ำ อากาศ หิน แร่ ภูเขา ฯลฯ และสิ่งมีชีวิต เช่น สัตว์ป่า ป่าไม้ จุลินทรีย์ มวลมนุษย์

2) สิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ โบราณสถาน โบราณวัตถุ อาคารบ้านเรือน เครื่องจักรกล ถนน เขื่อน ศิลปกรรม ขนบธรรมเนียม ประเพณี วัฒนธรรม เศรษฐกิจ สังคม การเมือง ฯลฯ เป็นต้น

<u>ทรัพยากรและ/หรือสิ่งแวดล้อม</u>

คำว่า ทรัพยากร และ สิ่งแวดล้อม นั้น คนส่วนใหญ่ยังคงเข้าใจว่าเป็นต่างเรื่องกัน แต่ความจริงเป็นเรื่องเดียวที่ถูกมองคนละแง่

เมื่อกล่าวถึงทรัพยากร คนทั่วไปมักหมายถึง แร่ธาตุ พลังงาน พืช สัตว์ต่าง ๆ ซึ่งบางอย่างก็เกิดทดแทนใหม่ได้ และบางอย่างก็เกิดทดแทนใหม่ไม่ได้ ดังนั้นเมื่อพูดถึงการขาดแคลนทรัพยากรจึงหมายความว่า เรามองทรัพยากรในเชิงปริมาณ

เมื่อกล่าวถึงสิ่งแวดล้อม คนส่วนใหญ่มักจะหมายถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ซึ่งเกิดกับของสามสิ่งที่เป็นสิ่งรองรับชีวิตมนุษย์ พืชและสัตว์ คือ อากาศ น้ำ และดิน ซึ่งทั้ง

สามสิ่งนี้เป็นทรัพยากรเหมือนกันและเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุดต่อชีวิตของเรา เมื่อเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษขึ้น เรามักจะมองสิ่งเหล่านี้ในเชิงคุณภาพ ดังนั้นเราจึงใช้คำว่า คุณภาพของอากาศ คุณภาพของน้ำ คุณภาพของดิน หรือคุณภาพของสิ่งแวดล้อม

แต่ถ้ามองปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษในเชิงปริมาณเหมือนทรัพยากรอื่น ๆ ก็ย่อมได้คือ ถ้าน้ำเสียก็หมายความว่า น้ำที่ดีส่วนหนึ่งหายไป ปริมาณน้ำดีซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้ก็ลดน้อยลง ดินเสีย อากาศเสียก็เช่นเดียวกัน ในทางตรงข้าม หากเราจะมองปัญหาในเชิงคุณภาพว่า ทรัพยากรที่ใช้สิ้นเปลืองก็คือเสื่อมคุณภาพไปนั่นเอง

ดังนั้นทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมจึงเป็นเรื่องเดียวกัน แต่ถูกมองต่างกัน คือ ปริมาณและคุณภาพ ซึ่งสามารถสับเปลี่ยนกันได้

อย่างไรก็ตาม คำว่าทรัพยากร ยังมีความหมายที่เด่นชัดกว่านั้น คือ สิ่ง (แวดล้อม) ใดก็ตามที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ได้ เช่น ใช้เป็นอาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม การขนส่ง และอื่นๆ เขาจะเรียกว่าเป็น ทรัพยากร ทรัพยากรยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ทรัพยากรที่ไม่สามารถเกิดใหม่ได้ เช่น แร่ธาตุ น้ำมัน และทรัพยากรที่เกิดใหม่ได้ เช่น ต้นไม้ คน กุ้ง ปลา เป็นต้น

คำว่า ทรัพยากรธรรมชาติ หมายถึง สิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และให้ประโยชน์ต่อมนุษย์ไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง

2.4.2 มนุษย์กับปัญหาสิ่งแวดล้อม

จากความหมายของคำว่า สิ่งแวดล้อม ดังได้กล่าวข้างต้น จะเห็นว่า มนุษย์มีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมอย่างแนบแน่นมาตั้งแต่อดีต มนุษย์เป็นทรัพยากรอย่างหนึ่ง ซึ่งอาศัยปัจจัย 4 ในการดำรงชีวิต ได้แก่ ที่อยู่อาศัย อาหาร เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค ปัจจัย 4 เหล่านี้มนุษย์ต้องดัดแปลง หรือนำมาจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นทรัพยากรแทบทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นแร่ธาตุ ป่าไม้ พืชพันธุ์ธัญญาหารต่าง ๆ ย่อมถูกใช้ไปจำนวนมาก ปัญหาเรื่องความสมดุลของธรรมชาติหรือความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิต ในแง่ของโครงสร้างและหน้าที่ยังไม่เกิดขึ้นมากนักในยุคต้น เนื่องจากผู้คนยังมีชีวิตอยู่ภายใต้อิทธิพลของธรรมชาติ ความเปลี่ยนแปลงธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป และสามารถปรับดุล

ของตัวเองได้ ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงยังไม่ปรากฏ จนกระทั่งประชากรของโลกเพิ่มขึ้นจำนวนมาก พร้อม ๆ กับโลกได้พัฒนาทางเทคโนโลยี เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมมากขึ้น มนุษย์ขวนขวายหาความสุขสบาย โดยมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติกันมากยิ่งขึ้น เกือบทุกประเทศต่างมุ่งพัฒนาเศรษฐกิจอย่างจริงจัง ปัญหาสิ่งแวดล้อมจึงปรากฏให้เห็นบ้าง จนกาลเวลาผ่านมาถึงระยะไม่กี่สิบปีมานี้ปรากฏว่าเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมรุนแรงขึ้นในบางส่วนของโลก และปัญหาดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกันในทุกประเทศทั้งที่พัฒนาแล้วและกำลังพัฒนา เช่น

- ปัญหามลพิษ (Pollution) ที่เกี่ยวกับน้ำ - อากาศ - ดิน - และสารเคมีต่าง ๆ
- ปัญหาทรัพยากรธรรมชาติที่เสื่อมสลายและหมดสิ้นไปอย่างรวดเร็ว เช่น น้ำมัน แร่ธาตุ ป่าไม้ พืช สัตว์ และที่ดิน เป็นต้น
- ปัญหาเกี่ยวกับการย้ายถิ่นเข้าเมืองใหญ่ การตั้งถิ่นฐานและชุมชนของมนุษย์ เช่น ขาดการวางผังเมือง ทำให้เกิดความแออัดยัดเยียด ใช้ทรัพยากรธรรมชาติผิดประเภทและผิดลักษณะตลอดจนปัญหาแหล่งเสื่อมโทรมและปัญหาจากของเหลือทิ้ง ได้แก่ ขยะ เป็นต้น

จากปัญหาที่เกิดขึ้น นักพัฒนาและนักวางแผนที่มีเหตุผลก็เริ่มตระหนักว่า การเร่งรัดนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ให้มากที่สุดเพื่อเร่งและเน้นความเจริญทางวัตถุนั้น ไม่อาจสร้างความสุขให้แก่ชีวิตดังที่มุ่งหมายไว้ มนุษย์อาจมีความสะดวกสบายมากขึ้น แต่ต้องเสี่ยงกับภัยจากมลพิษในอากาศ ในน้ำ ในอาหาร และความเสื่อมโทรมทางด้านสุขภาพจิต เป็นต้น ดังนั้นแนวทางการพัฒนาจึงเริ่มเปลี่ยนแปลงและให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จนได้มีความเห็นพ้องกันว่า การพัฒนาที่ถูกต้องควรเป็นการพัฒนาที่มุ่งยกระดับคุณภาพของชีวิตให้ดีขึ้นมากกว่าการเล็งผลได้ทางเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม เพียงอย่างเดียว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ การพัฒนาและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม เป็นเรื่องที่สามารถดำเนินการควบคู่กันไปได้ เพียงแต่ร่วมกันพิจารณาหาจุดแห่งความสมดุลซึ่งจะก่อประโยชน์ทั้งด้านเศรษฐกิจ และรักษาคุณภาพแห่งสิ่งแวดล้อมไว้ได้ด้วย ในที่นี้จะกล่าวถึงสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับประชากรมนุษย์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งได้แก่ทรัพยากรธรรมชาติร่อยหรอ และการเกิดมลพิษ ตามลำดับ

1) สาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับประชากรมนุษย์

การเพิ่มประชากรเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ถ้า

อัตราเพิ่มของประชากรยังคงอยู่ในระดับเช่นปัจจุบัน ก็เป็นที่คาดหมายได้ว่าการทำลายสิ่งแวดล้อมจะขยายวงกว้างออกไปเรื่อย ๆ อีกทั้งมีการขาดแคลนอาหารมากขึ้นในเขตที่ยากจน เมื่อประชากรเพิ่มและอุตสาหกรรมขยายตัว ความต้องการผลผลิตทางการเกษตรก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งก็นำไปสู่ภาวะที่หนักอึ้งอันเกิดจากสารเคมี ยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืชที่ถูกปนเปื้อนไปกับอากาศ น้ำ และดิน ผลก็คือ ภาวะเป็นพิษแผ่วงกว้างออกไป ไม่เพียงแต่เท่านั้นแม้แต่น้ำบาดาลก็ยังได้รับความกระทบกระเทือนด้วย ในขณะที่ความเป็นพิษเกิดขึ้นสิ่งที่ตามมาคือภัยคุกคามจากโรคร้ายที่มีต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย

การเพิ่มประชากรทำให้ความต้องการที่ดินทำกินเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ภูมิประเทศและความงดงามตามธรรมชาติหายไป นั่นหมายถึงแหล่งเพาะพันธุ์สิ่งมีชีวิตทั้งหลายได้จบสิ้นลงด้วย

ผลสะท้อนของความแออัดของประชากรทั้งในเขตเมืองที่มีความเจริญสูงกว่าเขตอื่น ๆ สืบเนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรในเขตนั้น ๆ และการย้ายถิ่นมาจากถิ่นที่ต้องการความเจริญกว่า แสดงออกมาให้เห็นในรูปของปริมาณขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ที่หลงเหลือจากการผลิตและการบริโภค ความเสื่อมโทรมของดิน ตลอดจนความโสโครกของแหล่งน้ำอันเนื่องมาจากน้ำทิ้งและขยะมูลฝอยจากครัวเรือนในเขตเมืองที่ทิ้งลงในน้ำ การกำจัดขยะส่วนใหญ่ยังเป็นแบบดั้งเดิม กล่าวคือ นำมากองสุมกันไว้ หรือมีการเผาบ้าง ขุดหลุมฝังหรือหมักบ้าง แต่เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนไม่มีที่จะกอง อีกทั้งการกองที่เป็นไปอย่างขาดหลักวิชา ทำให้เกิดความเน่าเหม็นและขาดสุขลักษณะ เป็นที่แพร่เชื้อโรคได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง สำหรับน้ำทิ้งจากบ้านเรือนส่วนใหญ่ถูกปล่อยให้ไหลออกไปสู่ แม่น้ำลำคลอง บึงบ่อ หรือสระที่ใกล้เคียง ผลเสียที่ตามมาคือ แหล่งน้ำสกปรกมากขึ้นทุกวันจนกระทั่งเน่าเสียหรือตื้นเขินไปในที่สุด

การจะลดการทำลายสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มประชากรเป็นไปได้ยากมาก ในขณะที่ประชากรส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นในเขตเมืองหรือชนบทยังอาศัยอยู่กันอย่างแออัดในเนื้อที่คับแคบเนื่องจากความยากจน มีรายได้ต่ำ ไม่สามารถปรับปรุงสิ่งแวดล้อมรอบตัวให้ดี หรือขยับขยายไปตั้งบ้านเรือนในแหล่งที่ดีได้ การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของเขตเมือง โดยการปรับปรุงการสุขาภิบาลให้ทันสมัย โดยให้มีระบบระบายน้ำเสียแบบมีการวางท่อระบายน้ำทิ้งไปยังโรงกรอง ควบคู่ไปกับการสร้างโรงงานกำจัดขยะที่ทันสมัย ตลอดจนการสร้างที่อยู่อาศัยให้แก่คนจน หรือการปรับปรุงการสาธารณูปโภคให้ดี เหล่านี้ล้วนแต่เป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุและสิ้นเปลืองเงินมากมายเกินกว่าที่รัฐบาลส่วนใหญ่ในประเทศที่กำลังพัฒนาสามารถจะจ่ายได้ สำหรับในเขตชนบท การปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้ดีขึ้นก็ไม่ใช่เรื่องง่ายนัก ชาวชนบทมักไม่รู้จักการกำจัดขยะมูลฝอยอย่าง

ถูกวิธี ขยะจะถูกทิ้งลงในคูคลองหรือหลังบ้าน โดยปราศจากความเอาใจใส่ว่าอะไรจะเกิดขึ้นในระยะยาว น้ำทิ้งก็ปล่อยลงข้างบ้านเช่นเดียวกัน บางแห่งยังมีการเลี้ยงสัตว์ใต้ถุนบ้าน อุจจาระและปัสสาวะของสัตว์รวมทั้งน้ำทิ้งและของเสียจากครัวเรือน จึงเป็นปัจจัยสำคัญควบคู่กันกับปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ของชนบทที่ทำให้สิ่งแวดล้อมของหมู่บ้านอยู่ในขั้นสกปรกเน่าเสียปราศจากสุขลักษณะ เป็นอันตรายต่อสุขภาพเป็นอย่างยิ่ง สามารถก่อให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บได้ การแก้ไขปัญหาดังกล่าวต้องเผชิญกับอุปสรรคที่ว่า ชาวชนบทยังตกอยู่ในสภาพยากจน ไม่มีปัญญาและขาดทุนรอนที่จะหาทางป้องกันหรือแก้ไขสิ่งแวดล้อมรอบตัวเราให้ดีขึ้น อีกทั้งยังมองไม่เห็นความจำเป็นก็ได้

เราทราบกันดีแล้วว่า การเพิ่มขึ้นของประชากรเป็นไปในอัตราสูงมาก เมื่อเป็นเช่นนี้ การบริโภคทรัพยากรต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอาหาร น้ำมัน แร่ธาตุ ก็ต้องเพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกันด้วย ประชากรเพิ่มย่อมต้องการที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้น ต้องใช้เครื่องอุปโภคเพิ่มขึ้น เช่น เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม เครื่องใช้ต่าง ๆ ต้องใช้เทคโนโลยีเพิ่มขึ้น คือ การผลิตเกือบทุกชนิดต้องใช้เครื่องจักรกลช่วยและสารเคมี ปุ๋ย ยากำจัดศัตรูพืชเพิ่ม ป่าไม้ลดเพราะที่อยู่อาศัยเพิ่มและที่ดินเพาะปลูกไม่พอต้องโค่นไม้ถางป่า เมื่อคนเพิ่ม เครื่องอุปโภคเพิ่มทำให้สิ่งแวดล้อมเสีย ขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลเพิ่ม อากาศเสีย น้ำเสีย สุขภาพจิตเสีย ความจริงสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมมีอยู่มากมาย นอกจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรแล้วยังมีสาเหตุอื่นได้แก่ พฤติกรรมของมนุษย์ ความด้อยการศึกษา ความยากจน ภัยธรรมชาติ สงคราม หรือความขัดแย้งทางการเมือง การเร่งขยายตัวทางเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ อาจกล่าวโดยสรุปคือ ต้นเหตุส่วนใหญ่ของปัญหาก็คือมนุษย์นั่นเอง และสำหรับในที่นี้จะกล่าวถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมในสองลักษณะคือ ปัญหาทรัพยากรธรรมชาติร่อยหรอ และสิ่งแวดล้อมเป็นพิษหรือเกิดมลพิษ ดังรายละเอียดบางประการที่สำคัญในหัวข้อต่อไป

2) ทรัพยากรธรรมชาติร่อยหรอ

ทรัพยากรธรรมชาติเป็นสิ่งแวดล้อมอย่างหนึ่งซึ่งเมื่อคนเพิ่มขึ้น ทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดใหม่ไม่ได้ เช่น แร่ธาตุ น้ำมัน ก็หมดลงไปเรื่อย ๆ ส่วนทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดใหม่ได้ เช่น ต้นไม้ กุ้ง หอย ปู ปลา ก็เกิดไม่ทันการบริโภคของคนและโรงงานอุตสาหกรรม จึงร่อยหรอขาดแคลนลงไปทุกที

นักวิชาการเชื่อว่า มนุษย์เรามีเวลาเหลืออยู่ในโลกที่มีความอุดมสมบูรณ์เพียง 100 ปี นอกจากจะมีการแก้ปัญหาการเพิ่มของประชากรและปรับปรุงสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนี้ เนื่องมาจากมีประชากรล้นโลก การใช้ทรัพยากรอย่างผิด ๆ จะส่งผลให้เกิดภัยพิบัติต่าง ๆ เช่น ออกซิเจนอาจหมดไปจากโลก สารพิษกระจายไปทั่วโลก โรคระบาดรวมทั้งการขยายตัวของทะเลทรายและการขาดน้ำ ลำดับต่อไปจะกล่าวถึงขีดจำกัดของสิ่งแวดล้อมที่สำคัญบางประการ

1. **ทรัพยากรดินและการใช้พื้นที่** ดินเป็นทรัพยากรที่ถือได้ว่า สร้างขึ้นใหม่ไม่ได้ เพราะในสภาพปกติดินเกิดขึ้นในอัตราที่ช้ามาก ดินเกิดจากการผุกร่อนของหินและมีซากของสิ่งมีชีวิตปนอยู่ด้วย

ดินเปรียบเหมือนโรงงานที่สะสมและผลิตสารเคมีที่มีประโยชน์แก่สิ่งมีชีวิต ใต้ชั้นดินลงไปเป็นชั้นหินซึ่งเป็นจุดกำเนิดของดิน ถ้ามีการดูแลรักษาดินเป็นอย่างดีแล้ว จะสามารถนำดินมาใช้ประโยชน์ได้อย่างต่อเนื่องและไม่สิ้นสุด แต่ถ้าไม่รู้จักการดูแลรักษา ดินก็จะหมดสภาพความสมบูรณ์ และถูกชะล้างพังทลายไปหมด

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของประชากรกับฐานะทางเศรษฐกิจประมาณได้ว่ามนุษย์แต่ละคนต้องการพื้นที่อย่างน้อยที่สุด 12.5 ไร่เพื่อการอยู่อาศัย ผลิตอาหารได้พอเพียงแก่การบริโภค พักผ่อนหย่อนใจ โดยจะแบ่งออกเป็นลักษณะการใช้ที่ดินดังนี้

เนื้อที่เพื่อผลิตอาหาร	3.75	ไร่
เนื้อที่เพื่อผลิตเครื่องนุ่งห่ม	2.5	ไร่
เพื่อพักผ่อนหย่อนใจ	5	ไร่
เพื่อการอุตสาหกรรม	1.25	ไร่
รวมทั้งหมด	12.5	ไร่

ความต้องการที่ดินตามปริมาณดังกล่าวข้างต้น ต้องมีอากาศพอเหมาะ ดินดีและปริมาณน้ำพอเหมาะ จึงจะสามารถให้ผลผลิตและความต้องการตามตัวเลขดังกล่าวได้

สำหรับประเทศไทย จำนวนเนื้อที่ของประเทศมีประมาณ 321 ล้านไร่ แต่เป็นที่ดินซึ่งสามารถเพาะปลูกได้ประมาณ 80 ล้านไร่ จำนวนที่ดินต่อคนจึงมีตัวเลขดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 จำนวนที่ดินต่อประชากร 1 คน

ปี พ.ศ.	2493	2503	2513	2523	2533
จำนวนที่ดินต่อคน (ไร่/คน)	16.8	12.2	8.9	6.6 (ตัวเลขประมาณค่า)	5.1

ที่มา : การขยายตัวของประชากรในประเทศไทย, กระทรวงสาธารณสุขและสถาบันประชากรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำนวนที่นาต่อชาวนา 1 คนนั้นพิจารณาได้จาก พ.ศ. 2497 ที่นาของประเทศไทยมีประมาณ 95-100 ล้านไร่ และมีประชากรที่มีอาชีพทำนาประมาณ 9 ล้านคน พ.ศ. 2513 ประชากรเพิ่มขึ้นเป็น 12.5 ล้านคน ดังนั้นจำนวนที่นาต่อชาวนา 1 คน จะลดลงดังตัวเลขในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 จำนวนที่นาต่อชาวนา 1 คน

ปี พ.ศ.	2497	2513	2528	2543
		ประมาณ	ประมาณ	ประมาณ
จำนวนชาวนา (ล้านคน)	9.0	12.5	18.0	23.0
ที่นาต่อชาวนา 1 คน (ไร่/คน)	10.6	7.6	5.3	4.1

จากข้อมูลในตารางทั้งสองจะเห็นว่า จำนวนที่ดินต่อคนลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อกาลเวลาผ่านไป นั่นแสดงว่าความต้องการของการใช้ที่ดินได้เพิ่มขึ้น เพราะจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นแต่พื้นที่มีอยู่คงที่

การใช้ที่ดินในประเทศที่กำลังพัฒนาแตกต่างกับการใช้ที่ดินในประเทศพัฒนา ในประเทศพัฒนานั้นประชากรจะปรับปรุงดินที่มีอยู่ให้มีคุณภาพและเหมาะสมกับพืชที่ปลูกหมุนเวียนตามฤดูกาล

โดยใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ พืชพันธุ์ดี เป็นการเพิ่มผลผลิตได้อย่างน่าพอใจ แต่ในประเทศกำลังพัฒนา ประชากรบางส่วนยังนิยมการย้ายถิ่น เช่น ถ้าที่ดินที่ตนทำกินไม่ดีก็จะย้ายไปยังเขตอื่น ๆ อาจไปตัดไม้ทำลายป่าสงวนของชาติ นอกจากนั้นยังนิยมการย้ายถิ่นเข้าเมืองใหญ่เพื่อหางานทำ และมีผลทำให้เกิดความแออัดยัดเยียดกันในเมืองใหญ่ เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ตามมามากมาย

ตามปกติพื้นดินในป่าย่อมปกคลุมไปด้วยใบไม้ ซึ่งร่วงหล่นลงมาทับถมอยู่อย่างหนาแน่น เป็นเวลานับสิบปี ร้อยปี การสะสมของใบไม้นาน ๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำให้เกิดความชุ่มชื้นเป็นปุ๋ยอย่างดีช่วยให้ต้นไม้เหล่านั้นงอกงาม ต้นไม้ช่วยทำให้ฝนตก เมื่อฝนตกหนัก น้ำจะไม่ไหลรวดเร็วมาท่วมบ้านเมือง เพราะต้นไม้ในป่าช่วยดูดซับและสกัดกั้นน้ำไว้ ทำให้กระแสน้ำไหลช้าลงและซึมหายไปในดินมากน้อยตามลักษณะของป่าและลักษณะของดิน หากป่าถูกมนุษย์ทำลายหมดไปเท่ากับเป็นการทำลายความชุ่มชื้นที่จะช่วยทำให้ฝนตก และถ้าฝนตกลงมา น้ำฝนจะไหลบ่ามาอย่างรวดเร็วลงสู่พื้นที่ต่ำกว่า อีกทั้งยังพัดพาหน้าดินให้พังทลายลงมาด้วยเพราะหน้าดินไม่มีรากพืชยึดเหนี่ยวไว้ เหตุการณ์ดังกล่าวถือว่าเป็นภัยร้ายแรงอย่างหนึ่ง ดังเช่น เหตุการณ์น้ำท่วมภาคใต้ครั้งใหญ่เมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2531 สาเหตุใหญ่เกิดจากการตัดไม้ทำลายป่า

การพังทลายของหน้าดินและการขาดธาตุอาหารพืชในดินและการขาดน้ำ เนื่องจากความต้องการที่ดินทำกินเพิ่มมากขึ้น จึงมีการตัดไม้ทำลายป่า ต้นน้ำลำธาร เพื่อทำเป็นที่ทำกินมากขึ้น ทำให้ไม่มีพืชคลุมดินไว้ เมื่อฝนตกลงมาจึงเกิดการชะล้างพังทลายของดิน ทำให้ธาตุอาหารที่อยู่หน้าดินไหลลงมาด้วย พื้นดินบริเวณนั้นจึงเหลือแต่หิน เศษหิน และทราย ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ และเกิดความแห้งแล้งหรือขาดน้ำในฤดูแล้งอย่างรุนแรงด้วยเพราะดินไม่มีพืชปกคลุมและดูดซึมน้ำไว้

นอกจากนี้การทำเหมืองแร่ที่ผิวดิน ยังทำให้เกิดผลเสียหายมากต่อพื้นที่ เพราะการนำเอาแร่ขึ้นมาต้องขุดชั้นดินที่ปิดทับอยู่ด้านบนออกก่อนจึงจะสามารถนำแร่ขึ้นมาได้ เช่นเหมืองดีบุก เหมืองถ่านหิน เหมืองอัญมณี เป็นต้น การทำเหมืองผิวดินบางชนิดจะมีการขนย้ายหรือใช้น้ำฉีดดินหรือกรวดทราย เพื่อทำให้ชั้นดินพังทลายลงและปนกับน้ำที่ใช้ฉีดแล้วจึงดูดขึ้นไปบนรางแยกแร่ ทำให้ดินที่ผ่านการทำเหมืองแล้วขาดความอุดมสมบูรณ์ไม่เหมาะแก่การปลูกพืช ผิวดินขรุขระไม่เรียบต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงหากจะปรับปรุงดินเพื่อให้เพาะปลูกได้อีก

2. น้ำและการใช้น้ำ ทั้งปริมาณและคุณภาพของน้ำใช้ในโลกมีความจำเป็นต่อประชากรของโลกทั้งปัจจุบันและในอนาคต ในปีหนึ่ง ๆ มนุษย์ต้องการน้ำสำหรับใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ร่างกายมนุษย์ต้องการน้ำดื่มวันละ 2 ลิตรต่อคน แต่เมื่อรวมกับน้ำใช้ เช่น อาบ หุงต้ม ซักล้าง รดต้นไม้ เฉลี่ยตั้งแต่วันละ 50-500 ลิตรต่อคน ทั้งนี้ขึ้นกับความเป็นอยู่ของแต่ละคน

น้ำที่มนุษย์จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ต้องสะอาด ปราศจากเชื้อโรค น้ำที่มีคุณภาพได้จากการหมุนเวียนของน้ำในโลก โดยพลังงานจากดวงอาทิตย์ทำให้น้ำในทะเล แม่น้ำลำคลองระเหยขึ้นสู่บรรยากาศแล้วจับตัวกลายเป็นเมฆตกลงมาเป็นฝน และยังอยู่ตามส่วนต่าง ๆ บนโลก อีกส่วนหนึ่งจะหมุนเวียนอยู่ในสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เช่น ในร่างกายมนุษย์ สัตว์ และในต้นพืช เป็นต้น ปริมาณของน้ำในส่วนต่าง ๆ เมื่อรวมกันแล้วคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่น้ำสะอาดที่ใช้อุปโภคบริโภคกลับลดน้อยลง เช่น น้ำในแม่น้ำลำคลองเป็นน้ำที่ปราศจากคุณภาพ มนุษย์จะนำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ไม่ได้เป็นส่วนมาก เพราะเกิดมลพิษมีสารพิษปะปนบ้าง เป็นน้ำเน่าเสีย ถ้าหากแก้ไขปัญหาน้ำเสียไม่ได้ ปัญหาการขาดแคลนน้ำจะเกิดขึ้นกับมนุษย์ในเวลาอีกไม่นาน ด้วยเหตุนี้สหประชาชาติจึงกำหนดให้ปี พ.ศ.2523-2533 เป็นทศวรรษแห่งการรณรงค์ให้สมาชิกทั่วโลกเร่งรัดให้มีการจัดหาน้ำสะอาดเพื่ออุปโภคบริโภค

สำหรับประเทศไทย ในอดีตไม่เคยมีปัญหาเรื่องน้ำ เพราะมีแม่น้ำลำคลองมากมายที่จะใช้ประโยชน์ได้ แต่ปัจจุบันแม่น้ำหลายแห่งกลายสภาพเป็นน้ำเน่าเสีย ไม่สามารถใช้อาบหรือใช้ซักผ้าได้ เช่น แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำเจ้าพระยาบางตอน และคลองเกือบทุกคลองในกรุงเทพมหานคร

การทำให้น้ำเสียสาเหตุใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ มนุษย์กำลังสร้างปัญหาให้กับตนเอง กำลังสร้างความหายนะให้ตนเอง สังคม และโลก

การมีโรงงานเกิดขึ้นมากมายเพื่อผลิตสิ่งต่าง ๆ ออกสนองความต้องการของประชากรและการเพิ่มของประชากรอย่างรวดเร็ว สองประการนี้ทำให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างสูง การใช้น้ำควรเป็นไปในลักษณะประหยัด น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนจะต้องทำให้สะอาดเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ต้องไม่ทิ้งขยะมูลฝอยต่าง ๆ ลงในแม่น้ำลำคลอง เพราะสิ่งเหล่านี้จะทำให้น้ำในแหล่งน้ำเน่าเสียและมีผลทำให้สัตว์น้ำซึ่งเป็นอาหารของมนุษย์ต้องตายและลดจำนวนลง และน้ำเสียยังทำให้สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เสียอีกด้วย ประชากรใน

ประเทศกำลังพัฒนาส่วนมากยังต้องอาศัยน้ำเพื่อการอุปโภค ใช้น้ำรดพืชพันธุ์ธัญญาหาร ใช้ในการทำนา เพราะฉะนั้นถ้าน้ำจืดมีจำนวนมากอยู่ขณะนี้จริง แต่ไม่ช่วยกันสงวนรักษาให้มีคุณภาพดีอยู่ตลอดไปแล้วไม่ต้องสงสัยเลยว่า ปัญหาร้ายแรงต่าง ๆ จะเกิดตามมา

3. **อากาศและปริมาณของแก๊สบางชนิด** ขณะนี้ปริมาณออกซิเจนยังคงมีปริมาณพอเพียง แต่แก๊สอื่นที่เป็นอันตรายมีปริมาณมากขึ้น อัตราส่วนของอากาศที่มนุษย์หายใจยังคงที่ คือ มีออกซิเจน 21% การที่ออกซิเจนคงที่ นักนิเวศวิทยาเชื่อว่าเนื่องมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ทั้งพืชในทะเลและพืชบนบก แต่ถ้ามนุษย์ยังทิ้งของเสียลงทะเลเช่นทุกวันนี้เรื่อย ๆ และมีการทำลายป่าไม้และทุ่งหญ้า อีกไม่นานจะเกิดอันตรายจากการเสียสมดุลของออกซิเจนในธรรมชาติ ปริมาณออกซิเจนที่เราใช้หายใจจะต้องลดน้อยลงอย่างแน่นอน

ปัญหาเกี่ยวกับบรรยากาศในระยะยาว คือ การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ และการสลายตัวของโอโซนในบรรยากาศ ชั้นโอโซนอยู่ในระดับสูงจากพื้นดินประมาณ 22-23 กิโลเมตร เป็นดุจ หลังคา ที่คุ้มครองโลกไม่ให้ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย นักวิทยาศาสตร์ค้นพบว่ามีสารอยู่ 2 ชนิดที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศได้ คือ แก๊สไนตริกออกไซด์ ซึ่งได้จากการเผาไหม้น้ำมันปิโตรเลียม เช่น ในเครื่องบินไอพ่นชนิดเร็วเหนือเสียง หรือจากการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ และสารคลอไรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ซึ่งเป็นน้ำยาทำให้เกิดแรงอัดในกระป๋องสเปรย์ทุกชนิด และใช้ใส่ในเครื่องทำความเย็นทั้งหลาย สารนี้มีเพิ่มขึ้นทุกวันคิดเป็นหลายล้านตันต่อปี สารนี้จะค่อย ๆ ระเหยขึ้นไปทำลายชั้นโอโซน ดังนั้นหากมีการใช้สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนบนผิวโลกในประเทศต่าง ๆ ต่อไปเรื่อย ๆ ปริมาณของโอโซนจะถูกทำลายและเบาบางลงทุกที อันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกจะเพิ่มขึ้นตลอดเวลา เช่น อัตราการเป็นมะเร็งผิวหนัง และตาเป็นต้อกระจกเพิ่มขึ้น เป็นต้น อย่างไรก็ตาม มีกลุ่มประเทศบางกลุ่มได้พยายามลดสารนี้เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมโลก เช่น ในพิธีสารมอลทรีอัล (MONTREAL PROTOCOL) ได้มีการลงนามร่วมระหว่าง 36 ประเทศกับกลุ่มประชาคมยุโรค (EC) ในปี พ.ศ. 2530 ให้ลดการผลิตสารนี้ลง

4. **พลังงาน** พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้หลายแบบ ในแบบหนึ่งก็คือ มีการเปลี่ยนจากวัตถุให้กลายเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกของมนุษย์และการใช้ในการคมนาคมติดต่อกัน พลังงานถูกนำมาทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในการทำความสว่าง ความเย็น ความร้อน ฯลฯ น้ำมันเป็นรูปหนึ่งของพลังงานในรถยนต์ รถไถนา และสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการคมนาคม ขนส่งอีกนานาประการ มนุษย์ต้องการพลังงานอย่างต่ำที่สุดโดยเฉลี่ยคือ 2,000 กิโลแคลอรีต่อคนต่อวัน แต่

ละคนต้องรับประทานอาหารเพื่อให้เกิดพลังงานที่จะทำงานได้ การใช้พลังงานในรูปต่าง ๆ นี้ พบว่าประเทศที่พัฒนาแล้วจะมีการใช้พลังงานมากกว่าประเทศด้อยพัฒนาหลายเท่า

เราสามารถดูว่าประเทศใดร่ำรวย ประเทศใดยากจนได้จากการใช้พลังงานของประเทศนั้น ตัวอย่างเช่น รายได้ต่อหัวประจำปีของคนอเมริกันค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงสามารถใช้พลังงานได้ปริมาณสูงมาก โดยเฉพาะกระแสไฟฟ้า ชาวอเมริกันมีกระแสไฟฟ้าใช้จำนวนมหาศาลจึงได้ใช้กระแสไฟฟ้าในการถลุงอลูมิเนียม ทำยาง หล่อเหล็กกล้า ทำวัสดุเทียมใหม่ๆ การใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อทำความอบอุ่นในบ้านเรือน สำหรับในประเทศที่ยากจน นอกจากประชาชนจะไม่มีกระแสไฟฟ้าใช้กันโดยทั่วถึงแล้ว ยังปรากฏว่าค่าไฟฟ้าแพงมาก

น้ำมันที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ เช่น น้ำมันเบนซิน และน้ำมันหล่อลื่น มีความสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรมนุษย์มาก เพราะถ้าขาดน้ำมันหรือน้ำมันแพง จะก่อให้เกิดปัญหาสืบเนื่องต่อการครองชีพ กล่าวคือ ค่าขนส่งต้องแพงขึ้นเป็นเงาตามตัว สิ่งอุปโภคบริโภคและอื่น ๆ ที่ต้องเสียค่าขนส่งมากก็ย่อมมีราคาแพงขึ้น

ในบางประเทศรัฐบาลมีมาตรการเข้มงวดในการใช้น้ำมันและพลังงาน รัฐจะแนะนำให้ใช้พลังงานเมื่อมีความจำเป็น และประหยัดเท่าที่จะทำได้ ดวงไฟฟ้าต่าง ๆ เมื่อไม่ต้องการใช้จึงให้ดับ แม้กระทั่งการขับรถยนต์ก็ให้มีอัตราความเร็วไม่เกินที่กำหนดเป็นอัตราที่ประหยัดที่สุด เช่น ในสหรัฐอเมริกากำหนดให้รถยนต์และรถบรรทุกขับได้ไม่เกิน 55 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ 88 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถ้าผู้ใดฝ่าฝืนจะถูกจับและลงโทษ ข้อแนะนำเพื่อประหยัด คือ การใช้รถร่วมกัน เช่น แทนที่จะขับไปคนเดียวก็ชักชวนเพื่อนบ้านที่ทำงานที่เดียวกันหรือมีที่ทำงานในเส้นทางเดียวกันนั่งไปด้วย ในเมืองใหญ่ประชาชนนิยมจอดรถไว้ชานเมืองแล้วนั่งรถไฟหรือรถประจำทางเข้าเมือง เป็นการประหยัดพลังงานได้มาก และยังทำให้ลดปัญหาจราจรติดขัดลงอีกด้วย สำหรับเมืองไทยยังคงทำได้ไม่เต็มที่เพราะเจ้าของรถยนต์ยังเกรงว่ารถยนต์อาจถูกขโมยหรือถูกงัดแงะได้ คนอเมริกันเริ่มนิยมใช้รถยนต์ขนาดเล็กกันมากขึ้น การกระทำดังตัวอย่างที่กล่าวมาจะช่วยประหยัดพลังงาน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งจะทำให้ยืดอายุการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเอาไว้ใช้นานขึ้น ในประเทศกำลังพัฒนาที่จะต้องสั่งน้ำมันจากต่างประเทศเข้ามาใช้ ราคาน้ำมันย่อมสูงกว่าในประเทศที่ผลิตได้เอง หรือราคาน้ำมันจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับนโยบายของรัฐบาล น้ำมันเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปนับวันจะหมดไปทุกขณะ และถ้าเราไม่มีมาตรการประหยัดการใช้น้ำมันแล้วอาจทำให้น้ำมันหมดอย่างรวดเร็วเกินไป

พลังงานในรูปต่าง ๆ จะเป็นไฟฟ้า น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ เป็นปัจจัยสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์มาก ในประเทศหนาวต้องใช้พลังงานทำความอบอุ่น ใช้ในการขนส่ง ใช้ทำอาหาร ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ถ้าพลังงานนี้หมดไปหรือแพงมาก ก็ไม่ต้องสงสัยเลยว่าประชากรจะต้องประสบปัญหาอย่างหนัก

ตัวการสำคัญที่ทำให้การใช้พลังงานสูงมาก คือ การเพิ่มจำนวนเครื่องอุปโภคบริโภค รวมทั้งขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรและลักษณะการใช้ ฉะนั้นการควบคุมอัตราเพิ่มของประชากรให้มีอัตราต่ำย่อมมีความหมายต่อการยืดอายุของพลังงานเช่นนี้ไปได้อีกนาน และอาจนานพอที่จะให้ธรรมชาติได้มีเวลาในการสร้างสิ่งที่กำลังจะหมดไปให้กลับมีใหม่ขึ้นมา หรือสร้างพลังงานทดแทนได้

5. แร่ธาตุ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติจะเพิ่มปริมาณมากน้อยอย่างไร ขึ้นอยู่กับอัตราเพิ่มของประชากร ตัวอย่างเช่น การใช้แร่ธาตุของสหรัฐอเมริการ ถ้าครอบครัวมีบุตรเฉลี่ย 2 คน จะใช้น้อยกว่าครอบครัวที่มีบุตร 3 คน ร้อยละ 9 ในปี ค.ศ. 2000 ความแตกต่างนี้จะเป็นร้อยละ 17 ในปี ค.ศ. 2020 และปริมาณการใช้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

สำหรับการใช้แร่ธาตุบางชนิด เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีส นักวิชาการคาดคะเนว่ายังมีปริมาณเพียงพอไปอีก 100-240 ปี นับจากปี ค.ศ. 1968 โดยจะมีราคาแพงขึ้นเล็กน้อย สำหรับทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ดีบุก อาจจะขาดแคลนลงในอนาคต จะเห็นว่าแร่ธาตุต่าง ๆ ได้ลดจำนวนลง มนุษย์จึงพยายามค้นคว้าเพื่อทำผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ขึ้นมาทดแทนแร่ธาตุบางอย่าง เป็นการชลอให้หมดช้าลง เช่น พลาสติก ไนลอน และสารเทียมต่าง ๆ ปรากฏว่าได้ผลดีในการใช้แทนโลหะหลายอย่างแต่ยังประสบปัญหาบางประการ กล่าวคือ มนุษย์ยังหาวิธีทำลายพลาสติกไม่ได้ กลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่น่าวิตกมาก

การที่จะประกันว่าจะให้มีทรัพยากรพอใช้ในอนาคตได้ ก็ต้องมีการยอมรับนโยบายบางประการ ซึ่งทำให้ลดการใช้ทรัพยากรในปัจจุบัน นโยบายเหล่านี้ส่วนใหญ่ดำเนินการโดยเพิ่มราคาทรัพยากรให้สูงขึ้น ส่วนการนำทรัพยากรที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่และการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น บางอย่างมีค่าใช้จ่ายสูงมากและถือว่าไม่ประหยัด อย่างไรก็ดีหากการเติบโตทางอุตสาหกรรมและประชากรยังเพิ่มขึ้น และอัตราการใช้ทรัพยากรของบุคคลเพิ่มขึ้นมากเท่าใดย่อมทำให้ทรัพยากรยิ่งร่อยหรอลงไปมากเท่านั้น อะตอมของแร่ธาตุที่ถูกใช้ไปและเปลี่ยนสภาพไปในที่สุดจะกระจัดกระจายไปในรูปที่ละลาย เจือจาง หรือใช้การไม่ได้ปนเปื้อนไปในอากาศ ในดิน และในน้ำ ระบบนิเวศธรรมชาติจะดูดกลืนรับเอาบรรดาสารที่ถ่ายเทต่าง ๆ แล้วผ่านกรรมวิธี

ใหม่แปรสภาพเป็นสารที่เป็นประโยชน์ หรืออย่างน้อยก็ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในรูปอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการขับถ่ายในปริมาณมาก ก็อาจเกินกว่าที่กลไกการดูดกลืนของธรรมชาติจะรองรับได้ทั้งหมด บรรดาของเสียก็จะรวมตัวกันขึ้นในสิ่งแวดล้อมแล้วค่อย ๆ ปรากฏขึ้นจนเห็นได้ชัด แล้วก่อความเดือดร้อนรำคาญและมีอันตรายต่อชีวิตได้ เช่น สารปรอทในปลาทู สารตะกั่วในน้ำดื่ม และอากาศเมืองใหญ่ ๆ กองขยะในเขตชุมชน เศษถุงพลาสติกในดิน คราบน้ำมันตามชายหาด เหล่านี้ล้วนเป็นผลมาจากการที่มีทรัพยากรแร่ธาตุหมุนเวียนถ่ายเทผ่านมือมนุษย์เพิ่มมากขึ้นทั้งสิ้น ดังนั้นจึงไม่น่าแปลกใจว่าสิ่งที่จะเพิ่มปริมาณขึ้นแบบทบต้นในระบบโลกอีกอย่างหนึ่งคือ ภาวะเน่าเสียนั่นเอง

6. ป่าไม้ ป่าไม้เป็นสังคมของพืชที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม มีเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและพฤติกรรมเฉพาะ ประโยชน์ของป่าไม้มีมากมาย เช่น ใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน นำมาเป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานในรูปฟืน ถ่าน ช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นแหล่งกำเนิดของแม่น้ำและป้องกันน้ำท่วม ป้องกันลมพายุ และเป็นแหล่งนันทนาการ ช่วยดูดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป และคายออกซิเจนออกมา เป็นต้น

พื้นที่ป่าไม้ของประเทศลดลงอย่างรวดเร็วและกำลังจะหมดไปในที่สุด ทั้งนี้เพราะจำนวนประชากรของประเทศเพิ่มขึ้น วิวัฒนาการของสังคมก็เจริญขึ้น ความต้องการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรเพิ่มมากขึ้น ความต้องการใช้ไม้หรือผลิตภัณฑ์ไม้ที่ได้จากป่าก็เพิ่มมากขึ้นเป็นเงาตามตัว ขณะเดียวกันไม้กลายเป็นของหายากและขาดแคลนลง ประเทศไทยใช้ไม้และผลิตภัณฑ์ไม้เฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นมาก ดังจะเห็นได้จากการสำรวจของผู้เชี่ยวชาญเมื่อปี พ.ศ. 2513-2515 และจากการคาดคะเนการใช้ไม้ต่อไปข้างหน้า ปรากฏว่าการใช้ไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ของประชากรไทยจะเป็นดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 การใช้ไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ของคนไทย

ผลิตภัณฑ์	พ.ศ.2513	พ.ศ.2528	พ.ศ.2543
– ไม้แปรรูป (ล้าน $ม^3$)	4.3	7.7	10.8
– วัสดุแผ่นที่ทำจากไม้ (พันตัน) (ไม้อัดแผ่นเรียบอื่น ๆ)	6.5	270	950
– ผลิตภัณฑ์กระดาษ (พันตัน)	175	790	2,800
– เสากลม (ล้าน $ม^3$)	1.5	24	3
– ฟืน - ถ่าน (ล้าน $ม^3$)	5.0	70	85

ที่มา : ประคอง อินทร์จันทร์. การจัดการทรัพยากรป่าไม้ ใน เกษม จันทร์แก้ว. เอกสารคำบรรยาย การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะกรรมการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 3 พ.ศ. 2531, หน้า 4-2.

การสำรวจของกรมป่าไม้จากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม และจากแหล่งวิจัยต่าง ๆ พบว่าพื้นที่ป่าไม้ของประเทศลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะมีการทำลายป่าในรูปแบบต่าง ๆ กล่าวคือ ความต้องการใช้ที่ดินเพิ่มขึ้นเพราะความต้องการอาหารเพิ่มขึ้น จึงมีการบุกรุกทำลายป่าเพื่อใช้ที่ดินในการทำกินเกิดขึ้นอยู่เสมอ เช่น กรณีประชากรบุกรุกพื้นที่ป่าสงวน เป็นต้น การทำไร่เลื่อนลอยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นจากชาวเขาที่อาศัยบริเวณป่าต้นน้ำลำธาร การทำผลิตภัณฑ์ไม้แกะสลักและเฟอร์นิเจอร์ การลักลอบตัดไม้ของพ่อค้าหรือนายทุนเพื่อนำมาขายเป็นไม้แปรรูป พื้นที่ป่าไม้ประเทศไทยที่ลดลงแต่ละปีแสดงไว้ดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 พื้นที่ป่าไม้ที่ลดลงของประเทศไทย

พ.ศ.	พื้นที่ป่าไม้ (ล้านไร่)	สัดส่วนพื้นที่ป่าไม้ต่อพื้นที่รวมของประเทศ (%)
2481	231	72
2493	212	66
2504	170	53
2516	138	43
2519	125	39
2521	109	34
2525	99	31
2528*	93	29
2531**	90	28

ที่มา : ดัดแปลงจาก บุญชนะ กลั่นคำสอน และธงชัย จารุพัฒน์. สถานการณ์ป่าไม้ของประเทศไทยในช่วงเวลา 21 ปี เสนอในการประชุมวิชาการป่าไม้ประจำปี 2526 กรมป่าไม้,* กรมป่าไม้,** กิตติ ประทุมแก้ว รายงานการศึกษาเรื่องการบุกรุกป่าสงวนแห่งชาติ ศึกษาเฉพาะกรณี ป่าแควระบม - สียัด อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา พ.ศ. 2532, หน้า 10.

การทำลายป่าอย่างหนักนี้มิได้ทำให้ต้นไม้สูญหายไปแต่เพียงอย่างเดียว ยังเกิดผลกระทบ และก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ อีกมาก คือ การทำลายป่าไม้ถือเป็นการทำลายระบบนิเวศ ทำลายอู่ข้าวอู่น้ำของประชากรมนุษย์ ทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เกิดอากาศร้อนและแห้งแล้ง ขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง และเกิดน้ำท่วมอย่างฉับพลันในฤดูฝน ดังตัวอย่างที่ได้กล่าวไว้ในเรื่องทรัพยากรดินและการใช้พื้นที่ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการพังทลายของหน้าดินลงสู่แม่น้ำลำคลองและอ่างเก็บน้ำ ทำให้แหล่งน้ำขุ่นข้นและตื้นเขินในเวลารวดเร็วด้วย ปริมาณออกซิเจนที่ผลิตจากคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง สัตว์ป่าไม่มีที่อยู่อาศัยและขาดแหล่งอาหาร ต้องอพยพไปอยู่ในป่าแห่งอื่นที่ปลอดภัยน้อยกว่า ทำให้ถูกตามล่าได้ง่ายขึ้น ในที่สุดก็สูญพันธ์ การทำลายป่าด้วยวิธีการเผาย่อมส่งผลให้เพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศอีกทางหนึ่ง

3) การเกิดมลพิษ

มลพิษหรือภาวะมลพิษ (Pollution) ซึ่งหมายถึง สถานการณ์ของสิ่งแวดล้อมที่ไม่น่าพึงพอใจ หรือสถานการณ์ที่อาจก่อให้เกิดมลพิษหรือความเสียหายขึ้นได้ เช่น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ มลพิษในดิน มลพิษทางเสียง สารพิษในอาหาร เป็นต้น

มลพิษทางอากาศ (Air pollution)

อากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งในการดำรงชีวิตมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ บนพื้นโลก เมื่อเกิดมลพิษทางอากาศแล้ว มนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ จะอยู่ได้อย่างไร

อากาศ คือ ส่วนประกอบของแก๊สต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ ผิวโลก ซึ่งส่วนประกอบนี้เหมาะสมสำหรับสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลก อากาศโดยทั่วไปมักจะไม่บริสุทธิ์ มักมีแก๊สที่เป็นอันตรายและฝุ่นผงต่าง ๆ ปนเปื้อนอยู่เสมอ ในปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าเป็นอากาศบริเวณไหน สิ่งที่ปรากฏเข้ามาในอากาศอาจเกิดจากธรรมชาติ เช่น การเน่าสลายของธัญพืช การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟป่า เป็นต้น สิ่งเหล่านี้มีไม่มากนัก ที่สำคัญมากไปกว่าอากาศเป็นพิษตามธรรมชาติก็คือ ผลที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เราเอง เช่น รถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม การทำเหมืองแร่บางชนิด เหมืองหิน โรงโม่หิน เป็นต้น รถยนต์ถือว่าเป็นต้นตอของการเกิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง

สารพิษจากแหล่งต่าง ๆ

1. รถยนต์และยานพาหนะอื่น ๆ

- คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) เป็นแก๊สที่ออกมาจากท่อไอเสีย เป็นแก๊สพิษที่มีอันตรายต่อคน อาจทำให้ถึงตายได้ ถ้าได้รับเข้าไปมาก ๆ เช่น การติดเครื่องยนต์ในโรงเก็บรถที่ปิดมิดชิดเวลานาน ๆ ทำให้คนอยู่ในรถหรือในโรงรถนั้นตายได้ภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง แก๊สนี้เป็นอันตรายต่อระบบหมุนเวียนโลหิตเป็นอย่างมาก

- สารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) คือ สารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนกับไฮโดรเจนอยู่รวมกัน สารไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่ออกมาจากท่อไอเสีย นอกจากนั้นมาจากการระเหยของน้ำมันจากเครื่องหรือจากถังน้ำมันและจากเพลาข้อเหวี่ยงด้วย สารชนิดนี้สามารถสะสมในร่างกายได้ และเป็นอันตรายต่อระบบสมองเป็นอย่างมาก

- สารออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of nitrogen) ออกไซด์ของไนโตรเจนจะออกมาทางท่อไอเสียเช่นกัน เป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ พืช

- สารประกอบตะกั่ว สารประกอบตะกั่วปกติจะใช้ผสมกับน้ำมันชนิดพิเศษ หรือ น้ำมันซุปเปอร์ เพื่อป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์ สารนี้เมื่อเผาไหม้ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์แล้ว ไอตะกั่วจะออกมาจากท่อไอเสียลอยสู่อากาศ และปะปนไปกับสิ่งแวดล้อม ตะกั่วเป็นโลหะที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมากอาจถึงตายได้ จากการทดลองของคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี พบว่า คนในกรุงเทพมหานครจะมีระดับของตะกั่วในเลือดสูงกว่าคนในบริเวณนอกเมือง ซึ่งแสดงว่าอากาศในกรุงเทพฯ นั้น มีสารตะกั่วอยู่มากกว่าที่อื่นและมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเริ่มมีการลดปริมาณสารตะกั่วที่ผสมในน้ำมันเบนซินลงเพื่อลดปัญหาดังกล่าวในปี พ.ศ. 2534

2. โรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ แก๊สพิษซึ่งเหมือนกับที่ได้จากยานพาหนะ แต่อาจมีฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า และมีหมอกควันเพิ่มขึ้นด้วย โรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นที่รุนแรง เช่น โรงงานปลาป่น โรงงานฟอกหนัง โรงงานหลอมพลาสติก เป็นต้น โรงงานประเภทอื่น ๆ ที่มีส่วนทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี โรงงานอุตสาหกรรมโลหะ โรงงานปูนซิเมนต์ โรงงานอุตสาหกรรมน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจากขบวนการผลิตจะปล่อยสารออกมาในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจน เขม่าควัน ไอของสารประกอบประเภทตะกั่ว ไอของกรด เป็นต้น

3. การกำจัดขยะมูลฝอย การกำจัดขยะมูลฝอยมักก่อให้เกิดการปนเปื้อนสารพิษในอากาศได้ เช่น แก๊ส ฝุ่น เขม่า ควัน ที่ได้จากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยรวมทั้งกลิ่นเน่าเหม็นของขยะด้วย

4. โรงงานไฟฟ้า สารพิษจากโรงงานไฟฟ้าที่ออกมาจะคล้ายกับสารพิษที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมและยานพาหนะ แต่อาจมีเฉพาะบริเวณรอบ ๆ โรงงานไฟฟ้าเท่านั้น

5. เหมืองแร่บางชนิด การทำเหมืองแร่ที่ทำให้อากาศเป็นพิษ ได้แก่ การทำเหมืองแร่ที่มีกระบวนการผลิตที่มีการระเบิดและย่อยหิน และการเปิดหน้าดินเพื่อนำแร่ธาตุที่อยู่ใต้ดินขึ้นมา เช่น การทำเหมืองหินปูนเพื่อผลิตปูนซิเมนต์ และนำไปทำวัสดุก่อสร้าง การทำเหมืองถ่านหินจะทำให้มีการเปิดหน้าดินและขนย้ายหน้าดินทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายมากในบริเวณรอบๆ เหมือง

6. การเกษตร เนื่องจากความต้องการที่จะผลิตอาหารเพิ่มขึ้น จึงต้องหาทางเพิ่มผลผลิตให้มากโดยการใช้สารเคมีช่วย เช่น การฉีดยาฆ่าแมลง ยาปราบวัชพืช สารเหล่านี้สามารถฟุ้งกระจายไปในอากาศและปนเปื้อนไปในสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น น้ำ ดิน และตกค้างในผลิตผลทางการเกษตร ตลอดจนเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ในที่สุด การเผาป่าเพื่อทำไร่เลื่อนลอย เนื่องจากการทำกินในพื้นที่เดิมได้ผลผลิตต่ำกว่า ผลจากการเผาไหม้ทำให้เกิดฝุ่นละออง และสารพวกไฮโดรคาร์บอนในอากาศ ทำให้เกิดอากาศเป็นพิษและบดบังทัศนียภาพ

7. การระเหยของแก๊สบางชนิด จากน้ำมันเชื้อเพลิง สี แลคเกอร์ การพ่นสี จากแหล่งน้ำเน่าเสีย เป็นต้น

สารที่สำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ และอันตรายจากมลพิษทางอากาศ

อันตรายที่เกิดจากอากาศเป็นพิษมีผลโดยตรงต่อชีวิตมนุษย์ สัตว์ พืช และวัตถุ อันตรายที่เกิดต่อมนุษย์ซึ่งพบว่ามีการตายและพิการจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ในกรุงเทพมหานครปี พ.ศ. 2524 มีนักเรียนบริเวณถนนประชาชื่นสูดอากาศที่มีคลอรีนจากกระบวนการทำน้ำประปา เจ็บป่วยทันทีประมาณกว่า 100 คน สารพิษที่สำคัญ ได้แก่

1. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและสิ่งอื่น ๆ เป็นแก๊สที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศมากที่สุด ปกติคาร์บอนไดออกไซด์ไม่จัดว่าเป็นแก๊สพิษ แต่ถ้าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เจือปนในบรรยากาศมากทำให้อากาศบริสุทธิ์ลดลงได้ นอกจากนี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีความสามารถในการสะสมตัวในชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเรียกปรากฏการณ์เรือนกระจกดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว

2. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น น้ำหนักเบา เป็นแก๊สพิษที่ถูกปล่อยจากท่อไอเสียรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นและติดขัดจะมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นจำนวนมาก แก๊สชนิดนี้เป็นอันตรายต่อมนุษย์โดยตรง เพราะเมื่อร่างกายหายใจเอาแก๊สนี้เข้าไป จะทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถรับออกซิเจนจากปอดไปเลี้ยงร่างกายได้ตามปกติ เนื่องจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีความสามารถในการรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงได้ดีมากกว่าแก๊สออกซิเจน หากปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ร่างกายรับเข้าไปไม่มากนัก จะทำให้ปวดศีรษะ วิงเวียน หายใจอึดอัด คลื่นไส้อาเจียน เกิดความตึงเครียดร่างกายอ่อนเพลีย เป็นลมหมดสติ และถ้าได้รับในปริมาณมากอาจทำให้เสียชีวิตได้

3. **แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์** เป็นแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ่านหิน และน้ำมันที่มีแก๊สนี้ปนอยู่ โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาสู่บรรยากาศในปริมาณสูง ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำมันปิโตรเลียม โรงงานอุตสาหกรรมโลหะ โรงงานถลุงแร่โลหะ เช่น แร่ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี เตาให้ความร้อน เตาเผาแร่เหล็ก เตาถ่านโค้ก เตาเผาขยะ และเครื่องยนต์ดีเซลของเรือและรถยนต์

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีอันตรายต่อร่างกายมากยิ่งขึ้นเมื่อรวมตัวกับฝุ่นละออง ฝุ่นละอองบางชนิดสามารถดูดซึมและละลายแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ในตัว เช่น โซเดียมคลอไรด์ ละอองไอของเหล็ก ฟอสฟอรัส แมงกานีส วานาเดียม เป็นต้น แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถซึมผ่านผนังของโพรงจมูก คอ และลิ้นไก่ได้ดี ผลก็คือ จะเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ ทำให้เกิดอาการแสบตา แสบจมูก น้ำมูกไหล ตาแดง คอแดง บางรายอาจมีอาการหลอดลมอักเสบเรื้อรังด้วย

นอกจากนี้อันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์แล้ว แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังมีอันตรายต่อพืชและวัตถุโดยตรงอีกด้วย คือ เมื่อแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศจะทำปฏิกิริยากับความชื้นในบรรยากาศ กลายเป็นกรดซัลฟูริกเจือปนอยู่ในน้ำฝนและตกลงมาเป็นฝนกรด เมื่อพืชดูดซึมเข้าไป กรดซัลฟูริกจะเข้าไปทำลายเนื้อเยื่อภายในทำให้เนื้อเยื่อภายในบิดเบี้ยว ใบเป็นจุด เป็นรูหรือแหว่ง และทำให้ต้นไม้แคระแกร็น ผลผลิตลดลง อาจทำให้ผสมพันธุ์ไม่ติด นอกจากนี้กรดซัลฟูริกยังทำให้วัตถุเกิดการผุกร่อนได้

4. **ออกไซด์ของไนโตรเจน** เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น ถ่านหิน แก๊ส ฟืน แหล่งที่มาของแก๊สชนิดนี้ ได้แก่ หม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินและน้ำมัน อุปกรณ์เตาเผาต่าง ๆ เครื่องยนต์ของรถ เรือ เตาให้ความอบอุ่นในบ้านเรือน แลคเกอร์ ฟิล์มถ่ายรูป และปุ๋ย ตาราง 2.5 แสดงปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่ถูกปล่อยออก ในสหรัฐอเมริกา พบว่าแหล่งที่ปล่อยออกมากที่สุด คือ การขนส่งซึ่งมาจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์นั่นเอง

ตาราง 2.5 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่ปล่อยออกในสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 1950-1970 (ล้านตัน/ปี)

ประเภทของแหล่ง	1950	1960	1968	1969	1970
การสันดาปเชื้อเพลิงของแหล่งอยู่นิ่ง	4.3	5.2	9.7	10.2	10.0
การขนส่ง	5.2	8.0	10.6	11.2	11.7
การกำจัดขยะ	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4
การเผาทางเกษตรกรรม	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
อื่น ๆ	0.5	0.3	0.4	0.4	0.3
รวม	10.4	14.0	21.4	22.5	22.7

ที่มา : ดัดแปลงจาก ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. มลภาวะอากาศ พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ: เอเชียเพรส จำกัด, 2531, หน้า 7.

ออกไซด์ของไนโตรเจนที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ ไนตริกออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์

ไนตริกออกไซด์เป็นแก๊สไม่มีสีและกลิ่น ปกติเป็นแก๊สไม่มีพิษ แต่จะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษในที่ที่มีอุณหภูมิสูงได้

ไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นแก๊สสีน้ำตาลแกมแดงมีกลิ่นฉุน เมื่อรวมตัวกับน้ำจะเกิดกรดไนตริก เป็นอันตรายร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิต ถ้าร่างกายรับแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะทำอันตรายต่อปอดโดยตรง เช่น ทำให้ปอดอักเสบ เกิดเนื้องอกในปอด และทำให้หลอดลมตีบตัน

สำหรับพืชที่ดูดซึมเอาแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์เข้าไป ถ้าแก๊สนั้นมีลักษณะเจือจางจะทำให้พืชเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ แต่ถ้าได้รับแก๊สที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้น้ำหนักพืชลดลง เนื้อที่ระหว่างเส้นใบจะมีสีซีด หยุดการเจริญเติบโตและใบเหี่ยวในที่สุด

5. โลหะหนักและสารประกอบโลหะหนัก โลหะหนักที่มีผลต่อภาวะอากาศ ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารประกอบโลหะหนัก สารเหล่านี้ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในรูปของอนุภาคหรือละออง และจะตกลงในน้ำและดิน ก่อให้เกิดปัญหาสารพิษสะสมในน้ำและดิน

- สารประกอบตะกั่ว ตะกั่วเป็นโลหะสีเทาเงิน มักจะอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้ผสมในน้ำมันเบนซินชนิดพิเศษ หรือน้ำมันเบนซินซุปเปอร์ เพื่อป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์ นอกจากนั้นสารประกอบตะกั่วยังอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์อีกด้วย

ละอองตะกั่วที่เจือปนอยู่ในบรรยากาศส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซินในรถยนต์ และจะออกมาจากท่อไอเสีย ดังนั้นบริเวณที่มีการจราจรคับคั่งจะมีปริมาณของละอองตะกั่วเจือปนอยู่ในบรรยากาศมาก (ภาพ 2.19)

ละอองตะกั่วเป็นสารที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตมาก การหายใจเอาอากาศที่มีสารตะกั่วเจือปนเข้าไป จะเป็นอันตรายต่อระบบประสาท ไต ทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคโลหิตจาง เม็ดเลือดแดงมีอายุสั้นลง ในหญิงมีครรภ์สารตะกั่วสามารถผ่านทางรกเข้าสู่ร่างกายทารกได้ ข้อควรตระหนัก คือ สารตะกั่วสามารถสะสมอยู่ในกระดูกและเม็ดเลือดได้นาน

- แคดเมียม เป็นโลหะที่อาจถูกปล่อยจากอุตสาหกรรมด้านการผลิตแบตเตอรี่ การทำโลหะผสม โรงงานผลิตสารปราบศัตรูพืช โรงงานพิมพ์ผ้า โรงงานเชื่อมประสาน เป็นต้น โลหะชนิดนี้เมื่อเข้าสู่ร่างกาย จะมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร ระบบหายใจ ระบบประสาท ไต และกระดูก

- ปรอท ปรอทเป็นโลหะหนักที่มีสถานะเป็นของเหลว เมื่ออุณหภูมิปกติปรอทสามารถระเหยเป็นไอได้ และปนเปื้อนไปในอากาศ สารปรอทอาจถูกปล่อยมาจากโรงงานผลิตคลอรีน โรงงานอุตสาหกรรมผลิตอมัลกัม (โลหะเจือระหว่างปรอทกับโลหะอื่น) โรงงานผลิตสารฆ่าเชื้อรา โรงงานทำกระดาษ พลาสติก สี โรงงานอุตสาหกรรมโซดาไฟ เป็นต้น เมื่อร่างกายได้รับสารนี้เข้าไปจะมีอันตรายต่อระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินหายใจ และเลือด

6. ไฮโดรคาร์บอน คือ สารที่มีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนอยู่รวมกัน ไฮโดรคาร์บอนเกิดจากการระเหยของน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ แหล่งของไฮโดรคาร์บอนมีทั้งรถยนต์ซึ่งเป็นแหล่งที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมมากที่สุด สถานที่กักเก็บและกลั่นน้ำมัน และกระบวนการพ่นสี ไฮโดรคาร์บอนมีหลายรูปแบบ เช่น ฟอร์มาดีไฮด์ อัลดีไฮด์ และคีโทนด์ เป็นต้น เมื่อร่างกายได้รับแก๊สเหล่านี้แล้ว อาจทำให้เกิดอาการแสบตา แสบจมูก น้ำตาไหล น้ำมูกไหล และยังสามารถสะสมในร่างกายได้ และเป็นอันตรายต่อระบบสมองอย่างมาก

7. หมอกควัน (Smog) เกิดจากการรวมตัวของหมอก (Fog) ซึ่งเป็นกลุ่มของหยดน้ำแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศกับควัน (Smoke) ซึ่งเป็นอนุภาคของแข็ง เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ประกอบด้วยคาร์บอนและวัตถุที่เผาไหม้ได้

ในบรรยากาศส่วนใหญ่หมอกควัน เกิดขึ้นเมื่ออากาศสงบนิ่ง มลสารที่ถูกปล่อยออกมาจากปล่องควันของโรงงานต่าง ๆ เช่น จากโรงงานกรดซัลฟูริก โรงงานถ่านหิน โรงงานทำสังกะสี โรงงานผลิตเหล็กกล้า โรงงานทำกระดาษรวมทั้งการเผาป่าและเผาเชื้อเพลิงอื่น ๆ จะเข้าไปรวมตัวกับละอองน้ำในบรรยากาศ ทำให้เกิดหมอกควันซึ่งเป็นอันตรายต่อเยื่อบุอ่อนส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยเฉพาะเยื่อบุในระบบทางเดินหายใจ และทำความระคายเคืองให้ดวงตา นอกจากนี้ยังทำให้ใบพืชร่วง และพืชหยุดชะงักการเจริญเติบโต

8. ไฟโตเคมีคอล โปรดัก เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของแก๊สต่าง ๆ ในบรรยากาศโดยมีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดขึ้นได้ทั่วไปไม่ว่าที่สูงหรือที่ต่ำ โฟโตเคมีคอล โปรดัก จะทำให้อากาศไม่แจ่มใส และถ้าเกิดในที่ต่ำจะเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อจมูก นัยน์ตา ทำให้สีของตัวอาคารซีดและทำให้โลหะผุกร่อน สำหรับประเทศไทย โฟโตเคมีคอล โปรดัก มักจะเกิดขึ้นในช่วงสั้น ๆ เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากการถ่ายเทอากาศค่อนข้างดี

9. เขม่า, ขี้เถ้า, ฝุ่นละออง เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่สุด เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทั้งจากรถยนต์ การเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาป่า เผาขยะ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีลักษณะเป็นสีขาว เทา และดำ อันตรายจากเขม่าและขี้เถ้า คือ ทำให้เกิดความรำคาญและเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดลม ทำให้การเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงัก เนื่องจากมีการสังเคราะห์แสงไม่สมบูรณ์ ทำให้วัตถุ อาคารบ้านเรือนสกปรกและสีซีดจางเร็ว

ฝุ่นละอองเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้ ฝุ่นละอองมักเกิดจากกระบวนการผลิต เช่น การทำเหมืองแร่ การระเบิดและย่อยหิน การเกษตรบางประเภท และการก่อสร้าง เป็นต้น ฝุ่นที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมอาจเป็นฝุ่นที่มาจากพืชหรือสัตว์หรือฝุ่นสารเคมีต่าง ๆ ฝุ่นที่ผ่านเข้าไปในร่างกายจะเข้าสู่ปอด บางส่วนจะติดและสะสมอยู่ในปอด บางส่วนจะกลับออกมากับลมหายใจ อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นจากการสูดหายใจเข้าไป จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ฝุ่นไปเกาะติดและสะสมตัวอยู่ ความเป็นพิษของฝุ่นและการเกิดภูมิแพ้ต่อฝุ่นนั้น โรคที่เกิดจากการที่สูดเอาฝุ่นเข้าไปในร่างกายมาก ๆ มักจะเป็นโรคปอดชนิดต่าง ๆ เช่น โรคหืด โรคปอดอักเสบ ผู้ป่วยจะมีอาการเหนื่อยหอบ หายใจลำบาก

มลพิษทางน้ำ (Water pollution)

น้ำเป็นสิ่งที่มนุษย์ขาดไม่ได้ มนุษย์ใช้น้ำในการบริโภคและอุปโภคเพื่อการเจริญของร่างกายแล้วยังใช้น้ำเพื่อการเกษตร อุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นแหล่งผลิตพลังงาน (เช่น เขื่อนผลิตกระแสไฟฟ้า) เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจด้วย หลังจากมนุษย์ใช้น้ำแล้ว น้ำจะกลายเป็นน้ำที่ไม่สะอาด หรือถ้ามีสิ่งเจือปนในน้ำมาก ๆ ก็จะกลายเป็นน้ำเสีย

มลพิษทางน้ำ หมายถึง น้ำที่สิ่งเจือปนในน้ำเกินมาตรฐานทั้งเป็นอันตรายต่อการบริโภค มลพิษทางน้ำส่วนใหญ่จะเกิดจากการกระทำของมนุษย์ทั้งสิ้น เช่น การอุตสาหกรรม การทิ้งขยะมูลฝอยและปล่อยน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน การเลี้ยงสัตว์ การป่าไม้ การเกษตร การทำเหมืองแร่ การก่อสร้าง การคมนาคมทางน้ำ เป็นต้น

แหล่งที่ทำให้น้ำในแหล่งน้ำเกิดมลพิษ

1. โรงงานอุตสาหกรรม ในการประกอบอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ต้องใช้น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต น้ำถูกใช้เป็นวัตถุดิบ ใช้หล่อเครื่องจักรเพื่อระบายความร้อนให้แก่เครื่องจักร ใช้ทำความสะอาดวัตถุดิบและเครื่องจักรเครื่องยนต์ของโรงงาน ตลอดจนใช้ชะล้างกากและของเสียจากโรงงาน ดังนั้นน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตหรือน้ำใช้แล้วจากโรงงาน จะมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ติดมากับน้ำด้วย ในประเทศพัฒนาแล้วมีการแก้ปัญหาน้ำทิ้งโดยโรงงานทุกโรงจะต้องมีการกำจัดน้ำเสียและตรวจคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่ปล่อยลงไปเป็นระยะ ๆ สำหรับประเทศไทยกำลังประสบปัญหาเกี่ยวกับน้ำในแม่น้ำลำคลองที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมบางโรงระบายน้ำทิ้งลงมาโดยไม่ได้กำจัดน้ำเสีย เพราะการกำจัดน้ำเสียต้องใช้งบประมาณมาก ทำให้ผลตอบแทนสำหรับโรงงานน้อยลง ประกอบกับผู้ประกอบการมีความมักง่าย ไม่ตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นต่อชุมชนและประเทศชาติ ดังจะเห็นได้จากน้ำในแม่น้ำแม่กลองเคยเน่าเสีย

2. อาคารบ้านเรือน จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย สิ่งปฏิกูลย่อมมีมากขึ้นเป็นเงาตามตัว ยิ่งระบบระบายน้ำของประเทศเราไม่มีการกำจัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงลำคลองและแม่น้ำ จึงทำให้สิ่งปฏิกูลไหลลงไปในแม่น้ำลำคลอง

ในกรณีของแม่น้ำเจ้าพระยาเน่า เชื่อกันว่าสาเหตุส่วนใหญ่มาจากอาคารบ้านเรือนนี่เอง เพราะประชากรของกรุงเทพมหานครมีมากมาย น้ำที่ใช้แล้วถูกทิ้งลงในแม่น้ำ

ลำคลอง โดยไม่มีระบบกำจัดน้ำเสียเลย ความมักง่ายของผู้คนที่ชอบทิ้งขยะมูลฝอยลงในคูคลอง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ก็ไหลลงท่อระบายน้ำ ลงคลอง ลงแม่น้ำเจ้าพระยา ยิ่งไปกว่านั้นกรุงเทพฯ เป็นที่ลุ่ม อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลเพียงประมาณหนึ่งเมตรเท่านั้น ระบบส้วมซึมในกรุงเทพมหานครจึงไม่ค่อยได้ผล จะทำให้ส้วมเต็มเร็วมาก ดังนั้นส่วนใหญ่มักจะต่อท่อจากส้วมลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะซึ่งทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำมากยิ่งขึ้น

3. **การเกษตรกรรม** การเพิ่มผลผลิตโดยใช้สารเคมี เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยาปราบวัชพืชเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช สารเคมีเหล่านี้จะมีบางส่วนตกค้างอยู่ในผลิตผลทางการเกษตร ตกค้างในดิน และหากฝนตกสารเคมีจะถูกชะล้างลงไปสู่แหล่งน้ำลำธาร ทำให้คุณภาพน้ำเลวลงและไปสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตในน้ำด้วย

4. **เหมืองแร่** การทำเหมืองแร่มีหลายวิธีด้วยกัน วิธีที่เป็นสาเหตุทำให้แหล่งน้ำเสียมากที่สุด คือ วิธีเหมืองฉีดและวิธีเหมืองสูบ ซึ่งใช้น้ำในกระบวนการฉีดล้างแร่ ในการฉีดล้างแร่นั้นจะต้องมีตะกอนดิน โคลน ทราย และเศษหินที่ถูกล้างออกไหลสู่แหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำขุ่นข้นมีตะกอนตกทับถมและตื้นเขินในที่สุด

ผลของน้ำเสีย

1. **ทำให้เกิดการสูญเสียการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ** น้ำเสียเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ไม่สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภค และไม่สามารถนำมาใช้เพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมได้

น้ำเสียเกิดผลกระทบต่อการผลิตน้ำใช้อย่างยิ่ง กล่าวคือ ทำให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเข้าเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มเพิ่มขึ้น เมื่อแหล่งน้ำเสียเพิ่มขึ้น การเลือกแหล่งน้ำเพื่อการประปาก็ยิ่งหายาก ในการแยกสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออกทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และยังเพิ่มค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเครื่องจักรอุปกรณ์ที่เสียหายเนื่องจากการใช้น้ำไม่ได้คุณภาพ

สำหรับความเสียหายต่อการเกษตรนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากสารพิษเจือปนเนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรม และความขุ่นข้นของน้ำเนื่องจากการทำเหมืองแร่ เป็นต้น

2. **ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ** น้ำเสียจะมีสารเคมีหรือสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ปะปน ซึ่งอาจทำให้สัตว์น้ำตายและลดปริมาณลงหรือสูญพันธุ์ได้ น้ำที่มีสารพิษจะทำให้

ปลาตายทันที ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อาจทำให้พืชและสัตว์น้ำขนาดเล็ก ๆ ที่เป็นอาหารของปลาและตัวอ่อนตายได้ ในที่สุดปลาจะขาดอาหารและลดจำนวนลง ทำให้เกิดผลเสียต่อการประมงอย่างยิ่ง

3. เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรคและสารพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย โรคหลายชนิด เช่น โรคผิวหนัง โรคระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ อหิวาต์ ไข้ไทยฟอยด์ โรคบิด เกิดจากน้ำสกปรกเป็นพาหะ น้ำเสียอีกประเภทหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคโดยไม่อาศัยเชื้อโรค คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารพิษเจือปน สารพิษเหล่านี้ทำให้เกิดโรคร้ายแรงทำลายสุขภาพของประชาชน เช่น ในประเทศญี่ปุ่นเคยเกิดโรค *มินามาตะ* เกิดจากคนรับประทานปลาที่มีสารปรอทสูง ซึ่งสารปรอทถูกปล่อยจากโรงงานผลิตสารเคมีและไปสะสมในปลา ในอ่าวมินามาตะ ผู้ป่วยมีอาการประสาทพิการ มือเท้าชา เป็นมาก ๆ อาจถึงทุพพลภาพและตายได้ และโรค *อิไตอิไต* ที่เกิดจากประชาชนใช้น้ำที่มีสารแคดเมียมที่ปล่อยจากโรงงานถลุงแร่สังกะสี ทองแดงและตะกั่ว ในการบริโภคและการเกษตรกรรม อาการของโรคจะทำให้ปวดบริเวณสะโพก แขนขา ปวดร้าวในกระดูกทำให้กระดูกยุบและตายได้ในที่สุด

4. ทำให้เกิดความสกปรกและความไม่น่าดู ทำให้ชุมชนขาดความสวยงาม แม่น้ำ ลำธาร ทะเล และแหล่งน้ำอื่น ๆ ที่สะอาดเป็นความสวยงามทางธรรมชาติ ผู้คนใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เช่น ว่ายน้ำ ตกปลา แล่นเรือ และอื่น ๆ หากแหล่งน้ำสกปรกความสวยงามย่อมหมดไปไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เพราะเป็นที่รังเกียจเนื่องจากมีสี สิ่งสกปรก และกลิ่น นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพทางใจและกายของประชากรที่อาศัยอยู่ใกล้แหล่งน้ำนั้น น้ำทะเลบางแห่งเริ่มเน่าเสีย เช่น พัทยา บางแสน เนื่องจากมีขยะ สิ่งปฏิกูลและน้ำทิ้งจากโรงแรม อาคารบ้านเรือน ถูกปล่อยลงสู่ทะเลมาก ทะเลเปรียบเหมือนถังขยะใบใหญ่ที่รองรับของเสียจากแหล่งต่าง ๆ รวมทั้งแม่น้ำสายเล็กสายน้อยไหลลงสู่ทะเลด้วย ความเน่าเสียไม่เพียงแต่มีผลกระทบต่อผู้คนในประเทศเท่านั้น ยังมีผลกระทบต่อชาวต่างประเทศที่เข้ามาท่องเที่ยวอีกด้วย

สิ่งที่มีอยู่ในน้ำเน่าเสียและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1. สิ่งปฏิกูลต่าง ๆ สิ่งเหล่านี้มีมากมายในเขตชุมชนหนาแน่นบริเวณสลัมในคลอง สิ่งปฏิกูลต้องการออกซิเจนในการย่อยสลาย เมื่อมีมากทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงจนหมด ทำให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถอาศัยอยู่ในน้ำต่อไปได้ น้ำในคลองจะกลายเป็นสีดำ และในที่

สุดจะเน่าส่งกลิ่นเหม็น สิ่งปฏิกูลบางชนิดไม่สลายตัวตามธรรมชาติ เช่น พลาสติก ซึ่งยากแก่การทำลายให้หมดไป และตกค้างอยู่ในท่อหรือทางระบายน้ำ ทำให้การระบายน้ำไม่สะดวก นอกจากนี้ยังมีผงซักฟอกซึ่งมีสารที่เรียกว่า ดีเทอร์เจนผสมอยู่ สารนี้เป็นสารประกอบของฟอสเฟต เมื่อซักผ้าแล้วเทน้ำทิ้ง น้ำจะไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง ดีเทอร์เจนจะไม่สลายตัว จึงเป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์น้ำ แต่สารนี้เป็นประโยชน์ต่อวัชพืชน้ำ เช่น ทำให้ผักตบชวาแพร่ขยายได้เร็ว

2. **เชื้อจุลินทรีย์ทำให้เกิดโรค** ความสกปรกทั้งหลายมักจะเป็นที่อาศัยของเชื้อจุลินทรีย์ ที่ทำให้เกิดโรคระบาดได้ง่าย โดยเฉพาะโรคติดเชื้อ เช่น โรคทางเดินอาหาร โรคผิวหนัง เป็นต้น

3. **สารเคมีที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม** เนื่องจากไม่มีการกำจัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่ง ดังนั้นน้ำที่ระบายลงสู่แม่น้ำลำคลองจะมีสารอนินทรีย์ปะปนออกมามาก เช่น สารปรอท แพลงก์ตอนดูดซึมสารปรอทนั้นไว้ในตัว เมื่อปลากินแพลงก์ตอนปรอทจะเข้าไปสะสมอยู่ในตัวปลา และถ่ายทอดไปตามโซ่อาหารจนกระทั่งถึงคน

4. **วัตถุมีพิษที่ใช้ในการเกษตร** การใช้สารเคมีในการเกษตร ทั้งปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง ยาปราบวัชพืช ก่อให้เกิดผลเสียต่อแหล่งน้ำ เมื่อน้ำในแหล่งน้ำถูกนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคแล้ว สารพิษจะสะสมในร่างกายได้ นานเข้าจะเป็นอันตราย

5. **สารอื่น ๆ** เช่น สารพิษที่ได้จากการทำเหมืองแร่ หากเหมืองแร่ที่ปล่อยน้ำเสียลงตามแม่น้ำลำคลอง ผู้คนใช้น้ำในแม่น้ำใต้เหมืองจะได้รับอันตรายจากโลหะบางอย่าง เช่น แมงกานีส ซึ่งมีอันตรายต่อระบบทางเดินอาหาร ประสาทส่วนกลางและไต สารหนู (Arsenic) ซึ่งจะมีอันตรายต่อ ระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินหายใจ ประสาทส่วนกลาง ผิวหนัง และเลือด นอกจากนี้ยังมีคราบน้ำมันจากแหล่งต่าง ๆ เช่น เรือบรรทุก น้ำมัน โรงงาน เป็นต้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและนกน้ำ เป็นต้น

มลพิษในดิน

ดินจะได้รับสารพิษในการประกอบกิจกรรมด้านต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การเกษตรกรรม การใช้เครื่องจักร การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ปัญหาสารพิษในดินที่สำคัญมีดังนี้

1. สารเคมีจากการเกษตร ยาปราบศัตรูพืช ยาฆ่าราา มีเกษตรกรนำไปใช้ จะมีการสะสมอยู่ในดิน การใส่ปุ๋ยเคมี ถ้าใส่อย่างถูกต้องจะได้ผลดีมาก แต่ถ้าไม่ถูกต้องจะทำให้ดินเสื่อมโทรม ให้ผลผลิตต่ำ และดินเสียในที่สุด สำหรับยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช และยาฆ่าราา เป็นวัตถุมีพิษที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และพืชโดยตรง บางชนิดมีอายุการสลายตัวนานถึง 20 ปี วัตถุมีพิษเหล่านี้ เมื่อตกค้างในดินอาจเข้าไปสะสมในพืชและสัตว์ แล้วคนรับประทานเข้าไปจะได้รับพิษเหล่านั้น

วัตถุมีพิษจะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้หลายทาง เช่น ระบบหายใจ สัมผัสเข้าทางผิวหนัง เข้าทางระบบทางเดินอาหารโดยการรับประทาน

2. สารพิษที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักตั้งอยู่บริเวณริมน้ำ บริเวณที่มีเกษตรกรรม และแหล่งชุมชน น้ำเสียและวัสดุของเสียทั้งหลายมักจะถูกถ่ายลงสู่บริเวณใกล้เคียง จึงมีผลทำให้ดินมีส่วนได้รับสารพิษแปดเปื้อนเข้าไปด้วย เช่น สารตะกั่ว สารปรอท แมงกานีส ฯลฯ ที่ตำบลบางครุ อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทร-ปราการ มีผู้ตายเพราะได้รับสารตะกั่วเกินขนาด เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวมีโรงงานทำแบตเตอรี่ตั้งอยู่ และได้นำเอาแบตเตอรี่เก่าไปถมถนน ทำให้ประชาชนต้องเดินผ่านและสัมผัสสารตะกั่วเป็นเวลานาน นอกจากนี้ตะกั่วจะละลายสู่ดิน ปนเปื้อนในน้ำและเข้าสู่พืชผักแล้วย้อนเข้ามาปะปนในอาหารของคน

3. กากที่เหลือจากการผลิตพลังงานปรมาณู ประเทศไทยยังไม่ประสบปัญหานี้ แต่ในประเทศอื่น ๆ เช่น สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียต มีการผลิตพลังงานนิวเคลียร์จำนวนมาก กำลังประสบปัญหาการปนเปื้อนในดิน และไม่รู้จะทำลายลงได้อย่างไร โดยไม่ให้เป็นผลกระทบต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์

4. การทิ้งขยะมูลฝอยลงบนดิน ตัวอย่างเช่น การทิ้งขยะตามเมืองต่าง ๆ ลงบนดิน ทำให้เกิดโรคและสารที่เป็นพิษขึ้นในดิน สารเหล่านี้ยังไปปะปนกับน้ำผิวดินและน้ำบาดาล และแพร่กระจาย ทำให้เกิดโรคระบาดขึ้นได้ง่ายถ้าประชาชนใช้น้ำนั้น

5. สิ่งที่ทำให้เกิดมลพิษในดินจากแหล่งอื่น ๆ การจราจรก็สามารถทำให้เกิดปัญหาดินเสียได้เช่นกัน มีการสำรวจวิเคราะห์พบว่าผิวดินบริเวณใกล้ถนนจะมีสารตะกั่วปนอยู่ในปริมาณสูงกว่าผิวดินที่อยู่ห่างออกไป แสดงว่าสารตะกั่วจากท่อไอเสียรถยนต์ได้เข้าไปสะสมในดิน

ได้มากเช่นกัน นอกจากนี้น้ำมันจากแหล่งต่าง ๆ เช่น อู่ซ่อมรถยนต์ จากปั๊มน้ำมัน บ่อน้ำมัน การทิ้งน้ำมันไว้บนดินโดยตั้งใจหรืออุบัติเหตุก็ตาม ย่อมเป็นการทำลายสิ่งมีชีวิตบนดินด้วย

มลพิษทางเสียง (Noise pollution)

มลพิษทางเสียง หรือเสียงเป็นพิษ หมายถึง เสียงที่ไม่พึงปรารถนา และเกินขีดความสามารถของโสตประสาทที่จะรับได้ และเนื่องจากปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของตัวการที่ทำให้เกิดเสียงเป็นพิษมีมากขึ้น เช่น โรงงานอุตสาหกรรม เครื่องจักร เครื่องยนต์ต่าง ๆ เช่น รถยนต์ มอเตอร์ไซด์ เครื่องบิน สิ่งก่อสร้าง เสียงจากแหล่งชุมชน อู่ซ่อมรถ แหล่งบันเทิง เช่น ดิสโกเธค ระดับเสียงที่เป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์ ได้แก่ เสียงที่มีความดังเกิน 85 เดซิเบล อันตรายจากเสียง คือ ทำให้หูอื้อ หูตึง หูหนวก เพราะเสียงที่ดังมากเกินควรและได้รับในเวลานานสามารถทำลายเยื่อประสาและเซลล์ประสาท พิษของเสียงยังทำให้เกิดความหงุดหงิด ไม่สบายใจ นอนไม่หลับ ขาดสมาธิในการทำงานหรืออ่านหนังสือ ทำให้ทำงานได้ไม่เต็มที่ตามที่ตนเองจะสามารถทำได้ และอาจทำให้เกิดความตึงเครียด เกิดโรคแผลในกระเพาะอาหาร เกิดอาการอ่อนเพลีย ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน และเป็นโรคประสาทได้ง่าย

สารพิษในอาหาร (Food Contamination)

อาหารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตมนุษย์ มนุษย์ต้องสัมผัสอาหารไปตลอดชีวิต คุณภาพและปริมาณอาหารมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับจำนวนประชากรเป็นอย่างมาก การผลิตอาหารต้องเพิ่มขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากร ด้วยแรงผลักดันนี้ทำให้มนุษย์คิดค้นวิธีการและใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการผลิตอาหารเพิ่มขึ้น การใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ นี้ ทำให้มีสารเคมีต่าง ๆ ปะปนมากับอาหารที่มนุษย์เราบริโภค สารเคมีที่ปะปนในอาหารพอสรุปได้ดังนี้

1. สารเจือปนในอาหาร เพื่อให้อาหารมีรูปร่าง ลักษณะ สี รส กลิ่น ตามต้องการ และเพื่อถนอมอาหารไว้นาน ๆ จึงมีการผสมสารบางชนิดในอาหาร ได้แก่ สารกันหืน สารกันบูด ซึ่งบางชนิดมีอันตรายต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังมีสารแต่งกลิ่น แต่งรส เช่น น้ำส้มสายชู ชัณฑสกร ผงชูรส บางคนอาจเกิดอาการแพ้เมื่อรับประทานผงชูรส เช่น เกิดอาการชา ร้อนตามปาก หน้า ต้นคอ และหลัง แต่สารเหล่านี้เมื่อทดลองกับสัตว์แล้วพบว่าทำให้เกิดโรคมะเร็งในสัตว์ได้ นอกจากนั้นบางแห่งใช้สีย้อมผ้ามาผสมอาหาร ทำให้เกิดปัญหาอย่างมากเพราะอาจทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ นอกจากนั้นยังพบว่า สีย้อมผ้ามีโลหะ ตะกั่ว

ปรอท สารหนู ปนอยู่ด้วย

2. สารเคมีที่ใช้ในการเกษตร สารเคมีประเภทยาปฏิชีวนะ ยาปราบศัตรูพืช ถูกนำมาใช้กันมาก ทำให้มีสารพิษตกค้างในอาหาร เช่น พืช ผัก ผลไม้ และสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปลา และ ไข่ พบว่ามียาฆ่าแมลงปนอยู่ในปริมาณสูง และมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี

3. โลหะหนักในอาหาร การปนเปื้อนของโลหะเป็นพิษในอาหาร เช่น ปรอท ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม เป็นต้น อาจเกิดจากกระบวนการผลิตและภาชนะบรรจุ เช่น ภาชนะบรรจุอาหารบางชนิดที่เคยใส่สารพิษมาก่อนถูกนำมาใช้ใส่อาหาร นอกจากนี้ โลหะหนักยังเข้าไปอยู่ในอาหารโปรตีนบางชนิด เช่น สัตว์น้ำ อาหารทะเลและอื่น ๆ ซึ่งโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำจะถ่ายทอดไปสู่สัตว์น้ำ เมื่อคนนำมารับประทานก็จะได้รับพิษของโลหะเหล่านั้นด้วย

บทที่ 3

โรคภัยไข้เจ็บ

3.1 บทนำ

มนุษย์ย่อมต้องเผชิญกับโรคภัยไข้เจ็บอยู่เสมอ ทั้งโรคติดเชื้อ โรคไร้เชื้อ ในระบบนิเวศที่มนุษย์อาศัยอยู่ล้วนมีปัจจัยที่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ตัวมนุษย์เอง สิ่งแวดล้อม รวมทั้งสิ่งที่ทำให้เกิดโรค สิ่งที่ทำให้เกิดโรคและเกี่ยวข้องกับชีววิทยามากที่สุดได้แก่ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรีย ไวรัส ริคเคทเซีย ปรสิต ส่วนสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น คน พืช อาจเป็นแหล่งโรคที่สามารถแพร่เชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายได้ ปัจจุบันสภาพแวดล้อมความเป็นอยู่ของมนุษย์เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้แนวโน้มการเกิดโรคไร้เชื้อมีมากขึ้น เช่น โรคเนื้องอก โรคแพ้อากาศ โรคทางเดินหายใจ โรคทางจิต ส่วนโรคติดเชื้อจะพบโรคชนิดใหม่ที่เป็นอันตรายอย่างมาก คือ โรคเอดส์

3.2 ความหมายของโรคภัยไข้เจ็บ

คำว่า "โรค" ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน แปลว่า "ความป่วย" หรือ "ความเจ็บป่วย" ซึ่งตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า DISEASE มาจาก DIS + EASE แปลตรงตัวว่า "ความไม่สบาย"

ทางการแพทย์ โรค หมายถึง ภาวะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง หรือขัดขวางการปฏิบัติหน้าที่ตามปกติของส่วนใดส่วนหนึ่ง อวัยวะใดอวัยวะหนึ่ง หรือระบบใดระบบหนึ่ง (อาจจะรวมทั้งสองหรือสามอย่างก็ได้) ของร่างกายจนปรากฏอาการแสดงซึ่งมีลักษณะเฉพาะโดยไม่คำนึงถึงว่าจะทราบสาเหตุหรือพยาธิสภาพ ตลอดจนผลสุดท้ายหรือไม่ก็ตาม เช่น ลำไส้ใหญ่เป็นแผลและบีบตัวมากกว่าปกติ เกิดอาการปวดเบ่ง ถ่ายอุจจาระมีมูกและมีเลือดปนออกมาด้วย เรียกว่า โรคบิด เป็นต้น

โรคอาจหมายถึง ความเจ็บป่วยอันเกิดจากสิ่งที่ทำให้เกิดโรคกระทำต่ออวัยวะของร่างกาย ในช่วงเวลาหนึ่งแล้วก่อให้เกิดความผิดปกติขึ้นในร่างกาย เรียกว่าอาการ อาการนี้อาจปรากฏอยู่ระยะหนึ่งแล้วหาย หรือกลับเป็นซ้ำขึ้นมาอีก หรือแสดงอาการอยู่ตลอดไป และอาจมีผลทำให้อวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งร่างกายเกิดความพิการทุพพลภาพ หรือตายได้

อาการ เกิดจากปฏิกิริยาต่อต้านของร่างกายต่อสิ่งที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งอาจปรากฏอาการแสดงให้เห็น เช่น เป็นไข้ อ่อนเพลีย อุจจาระร่วง อาเจียน และอื่น ๆ หรืออาจไม่ปรากฏอาการแสดงออกมาให้เห็น เนื่องจากร่างกายมีกำลังต้านทานต่อสิ่งที่ทำให้เกิดโรค หรือกำจัดสิ่งที่ทำให้เกิดโรคออกไปได้

"ภัย" แปลว่า สิ่งที่น่ากลัวหรืออันตราย ซึ่งหมายถึง เหตุที่ทำให้ถึงแก่การแตกดับหรือพังทลายฉิบหายไป เมื่อนำมาใช้กับเรื่องราวทางสาธารณสุขจึงหมายถึง เหตุที่ทำให้มนุษย์ตายอย่างรวดเร็ว และส่วนมากจะมีการแตกหักหรือฉีกขาดของร่างกาย หรืออวัยวะบางส่วน ได้แก่ อุบัติเหตุจากรถยนต์ ถูกพิษจากสารเคมี แก๊สรั่วแล้วลุกไหม้ เพลิงไหม้ เป็นต้น

ความเจ็บป่วยที่มีสาเหตุมาจากเชื้อโรคหรือสิ่งที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งผู้ป่วยพยายามที่จะใช้กลไกต่าง ๆ ในร่างกายต่อสู้กับเชื้อโรค จึงทำให้อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้นกว่าปกติ ซึ่งเรียกว่า "เป็นไข้" กรณีบางส่วนของร่างกายอาจเกิดการแตกหักหรือฉีกขาดขึ้น กลไกต่าง ๆ ในร่างกายจะทำให้ร่างกาย "เป็นไข้" ขึ้นได้โดยมิใช่จากเชื้อโรค อย่างไรก็ตามโรคไร้เชื้อบางโรค ผู้ป่วยจะไม่มีอาการไข้ เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคทางจิตเวช เป็นต้น

อาการสำคัญของคนที่ถูกภัยที่ยังไม่ตาย และมีความรู้สึกตัวอยู่คือ "เจ็บ" ซึ่งเป็นความรู้สึกอันเกิดจากปลายประสาทสัมผัสบางชนิด ถูกกระตุ้นอย่างรุนแรงจนเกินความทนทานตามปกติของร่างกายได้ ในบางครั้งผู้ป่วยอาจจะบอกความรู้สึก "เจ็บ" ออกมา เป็น "ปวด" หรือ "แสบ" ก็ได้ แล้วแต่อวัยวะที่เกิดพยาธิสภาพ ความรู้สึกเหล่านี้อาจเกิดร่วมกับอาการ "เป็นไข้" ที่มีสาเหตุมาจากบางส่วนของร่างกายแตกหักหรือฉีกขาด ในทำนองเดียวกันร่างกายที่เป็นโรคอาจมีความรู้สึก "เจ็บ" ร่วมด้วย หรือบางโรคอาการเจ็บอาจเป็นอาการนำก็ได้ เช่น มีความรู้สึก "เจ็บ" หรือ ปวดท้อง ก่อนมีอาการอุจจาระร่วงในโรคอาหารเป็นพิษ เป็นต้น

โรคและภัยมิได้มีผลต่อผู้ป่วยเฉพาะทางด้านร่างกายเท่านั้น ยังมีผลต่อสุขภาพจิตเป็นอย่างมากด้วย เพราะอาการและความรู้สึกเจ็บปวดเนื่องจากโรคและภัยก่อให้เกิดความไม่สบาย

ใจ และความวิตกกังวลว่าจะหายเป็นปกติหรือไม่ จะหายเมื่อใด จะกลับเป็นอีกหรือไม่ จะกลายเป็นโรคอื่นหรือไม่ จะมีความพิการหรือเสียโฉม ตามมาหรือไม่ จะมีโรคแทรกอะไรบ้างหรือไม่ และสามารถกลับไปอยู่ในสังคมได้ดังเดิมหรือไม่ ทั้งหมดนี้ล้วนแต่เป็นปัญหาที่ทำให้สุขภาพจิตของผู้ป่วยเสื่อมลงทั้งสิ้น ในทำนองเดียวกัน โรคทางจิตเวชบางอย่างก็จะทำให้สุขภาพทางกายเสื่อมโทรมลง เช่น โรคจิตแบบหดหู่ ผู้ป่วยไม่สนใจดูแลตัวเอง ไม่กินอาหารเท่าที่ควร ทำให้สุขภาพเสื่อมลงได้

ดังนั้น แทนที่จะใช้คำว่า โรคและภัย จึงนิยมใช้กันโดยทั่วไปให้คล้องจองกันว่า "โรคภัยไข้เจ็บ"

3.3 ประเภทของโรคภัยไข้เจ็บ

สิ่งที่ทำให้เกิดโรคอย่างเดียวกัน อาจทำให้เกิดอาการของโรคแตกต่างกันได้ และอาการของโรคอย่างเดียวกันอาจมีสาเหตุจากสิ่งที่ทำให้เกิดโรคต่างชนิดกัน โรคบางชนิดเกิดจากสาเหตุหลายอย่างสลับซับซ้อน ดังนั้นจึงได้มีการจัดกลุ่มของโรคเพื่อสะดวกในการศึกษา และเป็นประโยชน์ด้านวิชาการ โดยทั่วไปมีการแบ่งได้หลายวิธี เช่น

1) การแบ่งกลุ่มโรคโดยอาศัยสาเหตุ สิ่งที่ทำให้เกิดโรคเป็นต้นเหตุของการเกิดโรค แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1.1) โรคไร้เชื้อ (Noninfectious diseases) มีสาเหตุมาจาก สิ่งไม่มีชีวิตกระทำต่อร่างกายแล้วทำให้เกิดโรค เช่น สารเคมี ความร้อน แสง เสียง สารอาหาร ฯลฯ ตัวอย่างของโรคไร้เชื้อได้แก่ โรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง โรคนิ่ว โรคถุงลมโป่งพอง แผลในกระเพาะอาหาร โรคพิษสุราเรื้อรัง ขาดสารอาหาร แปรปรวนทางจิต อุบัติเหตุ และโรคพันธุกรรม เป็นต้น โรคไร้เชื้อนี้ไม่สามารถติดต่อจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่งได้ แต่โรคทางพันธุกรรมสามารถถ่ายทอดไปสู่ลูกหลานได้

1.2) โรคติดเชื้อ (Infectious diseases) มีสาเหตุมาจากสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งเรียกว่า "เชื้อโรค" ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส ริคเคทเซีย ปรสิต และเชื้อรา โรคที่เกิดจากเชื้อโรค เช่น เอดส์ กามโรค วัณโรค ไข้มาลาเรีย ไข้หวัด หิด เหา กลาก เกลื้อน ฯลฯ เชื้อโรคของโรคติดเชื้อสามารถติดต่อไปยังคนหรือสัตว์ได้

2) การแบ่งกลุ่มของโรคโดยอาศัยระยะเวลาการเกิดโรค หลังจากสิ่งที่ทำให้เกิดโรคเข้าสู่ร่างกาย จะมีอาการของโรคในทันทีหรือค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ

2.1) โรคที่เกิดขึ้นโดยเฉียบพลัน (Acute diseases) โรคจำพวกนี้เมื่อร่างกายได้รับสิ่งที่ทำให้เกิดโรคก็จะล้มเจ็บและมีอาการต่าง ๆ รุนแรงหรือผันแปรไปโดยรวดเร็ว อาจร้ายแรงเป็นที่น่าวิตก ตัวอย่างโรคที่เกิดขึ้นโดยเฉียบพลัน ได้แก่ อหิวาตกโรค กาฬโรค ฯลฯ โรคที่ไม่ร้ายแรง เป็นเร็ว และหายเร็ว ได้แก่ ไข้หวัดธรรมดา ไข้หวัดใหญ่

2.2) โรคเรื้อรัง (Chronic diseases) โรคจำพวกนี้ มักจะเป็นอย่างช้า ๆ และนาน อาการมีทั้งไม่รุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิต เช่น ซิฟิลิส วัณโรค คุดทะราด มะเร็ง เบาหวาน เอดส์ โรคพิษสุราเรื้อรัง ฯลฯ โรคบางชนิดอาจมีลักษณะเฉียบพลันก่อนแล้วกลับกลายเป็นโรคเรื้อรังได้ เช่น โรคหนองใน ไข้มาลาเรีย เป็นต้น

3) การแบ่งกลุ่มของโรคตามลักษณะอาการ มนุษย์เราประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ กายและจิต ดังนั้นจึงได้แบ่งกลุ่มของโรคออกเป็น 2 กลุ่ม คือ โรคทางกาย (Physical diseases) และโรคทางจิต (Mental diseases) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1) โรคทางกาย คือ การเจ็บป่วยทางร่างกาย ร่างกายไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ อันมีผลมาจากเกิดโรคติดเชื้อ โรคไร้เชื้อหรือภาวะของจิตใจที่ทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น

- ระบบผิวหนัง โรคที่พบได้แก่ กลาก เกลื้อน หัด เริม งูสวัด ลมพิษ ผื่นแพ้ แผลพุพอง ฯลฯ

- ระบบโครงกระดูก โรคที่พบได้แก่ กระดูกผุ กระดูกอ่อน (Ricket) กระดูกอักเสบ (Osteomyelitis) วัณโรคกระดูก ฯลฯ

- ระบบทางเดินอาหาร โรคที่พบได้แก่ กระเพาะอาหารอักเสบ แผลในกระเพาะอาหาร อหิวาตกโรค โรคบิด ตับอักเสบ ลำไส้อุดตัน ไส้ติ่งอักเสบ ไส้เลื่อน ริดสีดวงทวาร มะเร็งหลอดอาหาร มะเร็งลำไส้ มะเร็งตับ ฯลฯ

- ระบบประสาทและสมอง โรคที่พบได้แก่ ไขสันหลังอักเสบ ไข้สมองอักเสบ เยื่อสมองอักเสบ เนื้องอกในสมอง ฯลฯ

- ระบบการไหลเวียนโลหิตและน้ำเหลือง โรคที่พบได้แก่ ภาวะหัวใจล้มเหลว โรคหัวใจขาดเลือด กล้ามเนื้อหัวใจตาย เกล็ดเลือดต่ำ ความดันโลหิตสูง โลหิตจาง ธาลัสซีเมีย ฮีโมฟีเลีย ภาวะเลือดเป็นกรด ต่อมน้ำเหลืองอักเสบ มะเร็งเม็ดเลือดขาว มะเร็งต่อมน้ำเหลือง ฯลฯ

- ระบบกล้ามเนื้อและข้อต่อ โรคที่พบได้แก่ โรคเก๊าท์ (Gout) รูมาติซึม (Rheumatism) ข้อเสื่อม ข้ออักเสบเฉียบพลัน ไข้รูมาติค (Rheumatic fever) โรคปวดข้อรูมาตอยด์ (Rheumatoid arthritis) ฯลฯ

- ระบบสืบพันธุ์และทางเดินปัสสาวะ โรคที่พบ ได้แก่ อัณฑะอักเสบ ช่องคลอดอักเสบ กรวยไตอักเสบ เนื้อไตอักเสบ ภาวะไตล้มเหลว กระเพาะปัสสาวะอักเสบ นิ่วมะเร็งกระเพาะปัสสาวะ มะเร็งปากมดลูก มะเร็งมดลูก ฯลฯ

- ระบบต่อมไร้ท่อ โรคที่พบได้แก่ โรคเบาหวาน โรคคอพอก แคระ (Dwarfism) ไจแกนติซึม (Gigantism) ฯลฯ

- ระบบตา หู จมูก โรคที่พบได้แก่ สายตาผิดปกติ ตาบอด ตาบอดสี ต้อหิน หูหนวก โพรงจมูกอักเสบ ฯลฯ

3.2) โรคทางจิต คือความเจ็บป่วยทางจิตใจของคน ทำให้คนนั้นไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ หรือมีพฤติกรรมที่แปลกไปจากปกติ เช่น สภาพอารมณ์และจิตใจที่ปรับตัวให้เหมาะสมไม่ได้ จนเป็นความวิตกกังวลเรียกว่า โรคประสาท (Neurosis) ความแปรปรวนทางจิตใจอย่างรุนแรงไม่สามารถจะรับความรู้สึกที่เป็นจริงได้ พฤติกรรมที่แสดงออกก็คาดการณ์ไม่ได้ มีความรู้สึกรุนแรงถึงขั้นที่เรียกว่า โรคจิต (Psychosis) หรือวิกลจริต (Insane) ผู้ป่วยด้วยโรคทางจิตนี้จะต้องได้รับการรักษาจากจิตแพทย์ กุมารจิตแพทย์ นักจิตวิทยาคลินิก นักจิตวิทยาการแพทย์ หรือพวกที่ได้ศึกษาและมีประสบการณ์ในโรคประเภทนี้โดยเฉพาะ ความแปรปรวนทางจิตใจ อารมณ์ ความรู้สึกนึกคิด ตลอดจนพฤติกรรมของคนที่ผิดปกติ พอจะจัดเป็นกลุ่มตามที่จิตแพทย์ส่วนมากยอมรับกันดังต่อไปนี้

- โรคจิตหรือวิกลจริต มีหลายชนิด เช่น โรคจิตเภท ผู้ป่วยจะมีความคิดและความเข้าใจสิ่งแวดล้อมผิดไปจากคนธรรมดา อาจมีการกระทำแปลก ๆ แต่งตัวแปลก ๆ พูดคนเดียว หัวเราะคนเดียว บางครั้งพูดไม่รู้เรื่อง บางคนมีประสาทหลอนและหลงผิดร่วมด้วย

- โรคประสาท เป็นความแปรปรวนทางจิตใจชนิดอ่อน ซึ่งเกิดขึ้นเพราะผู้ป่วยไม่สามารถ ปรับสภาพอารมณ์ของตนเองให้เหมาะสมได้ ผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีอาการวิตกกังวล หงุดหงิด โมโหง่าย นอนไม่หลับ ว้าเหว่ ตกใจง่าย เบื่อง่าย ย้ำคิด ย้ำทำ เป็นต้น

- โรคไซโคโซมาติค หมายถึงพวกที่เป็นโรคทางกายที่มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากอารมณ์หรือจิตใจ เช่น โรคแผลในกระเพาะอาหาร โรคหอบหืด โรคความดันโลหิตสูงบางชนิด เป็นต้น

- กลุ่มที่มีบุคลิกภาพผิดปกติ มีอยู่หลายประเภท รวมทั้งผู้ที่มีความผิดปกติทางเพศ เช่น รักร่วมเพศ และบุคคลที่เป็นภัยต่อสังคม คือ พวกอันธพาล เป็นต้น

- กลุ่มติดยาเสพติดให้โทษ และติดสุรา รวมทั้งโรคพิษสุราเรื้อรัง

- กลุ่มที่มีสติปัญญาต่ำกว่าธรรมดา ที่เรียกว่าปัญญาอ่อน

- กลุ่มที่มีอาการทางจิตหรือความประพฤติผิดปกติเนื่องมาจากพยาธิสภาพของเนื้อสมอง เช่น เนื้องอกในสมอง โรคติดเชื้อบางชนิด รวมทั้งในรายที่สมองถูกกระทบกระเทือนอย่างรุนแรง เช่น ถูกรถชน ถูกตีศีรษะ แล้วมีอาการทางจิตหรืออารมณ์เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

- กลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาทางอารมณ์และจิตใจ ซึ่งได้แก่ อาการซึมเศร้า เบื่อหน่าย นอนไม่หลับ ความจำเสื่อม ขี้บ่น ใจน้อย เป็นต้น

- กลุ่มเด็กและวัยรุ่นที่มีความตื่นเต้นกระวนกระวายมากเกินไปก่อความวุ่นวาย การแยกตัวออก ฯลฯ

- กลุ่มที่มีปัญหา โดยแสดงพฤติกรรมผิดแปลกออกมาในรูปต่าง ๆ เช่น ปัญหาชีวิตการสมรส ปัญหาสังคม ปัญหาในอาชีพการทำงาน ฯลฯ

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าการแบ่งกลุ่มโรคมีอยู่หลายแบบ องค์การอนามัยโลกได้เล็งเห็นความสำคัญในเรื่องการเรียกชื่อโรค และภัยเหล่านี้ จึงได้กำหนดให้มีการเรียกชื่อโรคและภัยเป็นแบบเดียวกันทั่วโลก เพื่อให้ทุกประเทศสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ แต่ก็ยังไม่ได้แบบอย่างที่ดี จึงมีการปรับปรุงแก้ไขตลอดมา จากการประชุมครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2436 จนถึงครั้งที่ 9 เมื่อ พ.ศ. 2518 ได้จัดกลุ่มโรคเป็นหมวดหมู่ ตามระบบของร่างกายและตามสาเหตุของการเกิดโรค เรียกว่าการแบ่งกลุ่มโรคตามแบบสากล (International Classification Diseases หรือ I.C.D.) ซึ่งแบ่งโรคเป็น 17 กลุ่ม คือ

1) โรคติดเชื้อและปรสิต (Infectious and Parasitic diseases)
2) เนื้องอก (Neoplasms)
3) โรคภูมิแพ้ ระบบต่อมไร้ท่อ เมแทบอลิกและโรคทางโภชนาการ (Allergic, Endocrine system, Metabolic, and Nutritional diseases)
4) โรคเลือดและอวัยวะสร้างเลือด (Diseases of the blood and blood forming - organs)
5) ภาวะแปรปรวนทางจิต (Mental, Psychoneurotic and Personality disorders)
6) โรคระบบประสาทและสัมผัส (Diseases of the nervous system and Sense organs)
7) โรคระบบไหลเวียนเลือด (Diseases of the circulatory system)
8) โรคระบบหายใจ (Diseases of the respiratory system)
9) โรคระบบย่อยอาหาร (Diseases of the digestive system)
10) โรคระบบอวัยวะสืบพันธุ์ร่วมปัสสาวะ (Diseases of the gento-urinary system)
11) ภาวะแทรกในการตั้งครรภ์ การคลอด และการอยู่ไฟ (Deliveries and Complications of pregnancy, childbirth and pueperium)
12) โรคผิวหนังและเนื้อใต้ผิวหนัง (Diseases of the skin and cellular tissue)

13) โรคกระดูกและอวัยวะเคลื่อนไหว (Diseases of bones and organs of movement)

14) รูปวิปริตแต่กำเนิด (Congenital malformations)

15) ภาวะบางอย่างเกิดในระยะใกล้คลอด (Certain diseases of early infancy)

16) อาการแสดงและภาวะที่ไม่กำหนดชัดแจ้ง (Symtom, senility, and ill defined conditions)

17) อุบัติเหตุการเป็นพิษและพลวเหตุ (Accidents, Poisoning and Violence)

3.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดโรค

ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อ การเกิดโรคและการกระจายของโรค ประกอบด้วย ก) มนุษย์หรือโฮสท์ (Host) ซึ่งเป็นสิ่งที่รับและแพร่ตัวเชื้อโรคเข้าไปในสิ่งแวดล้อมในทางวิทยาการระบาด โฮสท์ได้แก่มนุษย์ แต่ในวิทยาการระบาดของสัตว์ โฮสท์ได้แก่สัตว์ต่าง ๆ สำหรับในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเฉพาะมนุษย์เท่านั้น ข) สิ่งแวดล้อม และ ค) สิ่งที่ทำให้เกิดโรค (Agent) มนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่างก็มีองค์ประกอบในตัวเองที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโรค ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

<u>องค์ประกอบของมนุษย์ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโรค</u> องค์ประกอบทั้งหมดมี 8 ประการ ดังนี้

1) อายุ เช่นในวัยทารกระบบภูมิคุ้มกันยังพัฒนาไม่ดีพอ และในวัยชราระบบภูมิคุ้มกันเริ่มเสื่อมสลายลง วัยดังกล่าวจึงมีความไวในการติดโรคสูง

2) เพศ โรคเรื้อรังส่วนใหญ่จะพบในเพศหญิง เช่น โรคต่อมไธรอยด์เป็นพิษ โรคถุงน้ำดีอักเสบ โรคเบาหวาน นิ่วในท่อน้ำดี โรคอ้วน โรคข้ออักเสบ โรคจิต-ประสาท เป็นต้น ส่วนโรคที่พบอัตราป่วยในเพศชายสูงกว่าเพศหญิงได้แก่ โรคไส้เลื่อน โรคกระเพาะอาหาร อุบัติเหตุ โรคมะเร็งในระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น

3) กรรมพันธุ์และเชื้อชาติ โรคบางชนิดสามารถถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์ ได้แก่ โรคเบาหวาน โรคคนเผือก โรคธาลัสซีเมีย เป็นต้น โรคโลหิตจางบางชนิดพบว่า เป็นมากในชนผิวดำมากกว่าชนผิวขาว

4) องค์ประกอบทางสรีรวิทยา องค์ประกอบทางสรีรวิทยา มีส่วนสัมพันธ์กับการเกิดโรคได้ ถ้าหากไม่มีการป้องกันหรือระมัดระวังดีพอ เช่น ภาวะความเครียดทางอารมณ์ (Stress) และความเหนื่อยล้า อาจเป็นสาเหตุช่วยทำให้เป็นโรคจิตหรือโรคประสาทได้ วัยรุ่นมีการเปลี่ยนแปลงทางฮอร์โมนทำให้เกิดสิวและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางอารมณ์ได้ ผู้ที่ตั้งครรภ์หัวใจและตับทำงานมากกว่าปกติ ผู้ที่เป็นโรคหัวใจอยู่เดิมอาจมีอาการของหัวใจวายได้ การให้ยาที่ต้องเผาผลาญหรือขับถ่ายทางตับควรต้องระวัง เช่น ยาเตตราซัยคริน (Tetracycline)

5) องค์ประกอบด้านจิตใจ (Psychical or Psychological factors) ความวิปริตหรือความแปรปรวนทางจิตหรืออารมณ์ ทำให้บุคลิกภาพเปลี่ยนแปลงไป มีแต่ความวิตกกังวล ความซึมเศร้า ความคับแค้นใจ เป็นต้น เป็นบ่อเกิดแห่งโรคต่าง ๆ เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคหืด โรคแผลในกระเพาะอาหาร เป็นต้น

6) องค์ประกอบด้านพฤติกรรม พฤติกรรมของมนุษย์มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดโรค เช่น การชอบสูบบุหรี่ มีโอกาสเกิดโรคถุงลมโป่งพอง โรคมะเร็งปอด โรคกระเพาะอาหาร โรคหลอดลมอักเสบ การชอบเที่ยวสำส่อนมีโอกาสเป็นโรคโกโนเรีย โรคซิฟิลิส โรคเอดส์ เป็นต้น การดื่มเหล้ามีโอกาสเป็นโรคพิษสุราเรื้อรัง โรคตับแข็ง

7) การเคยมีภูมิคุ้มกันของโรคมาก่อน (Prior immunological experience) เมื่อโฮสท์มีภูมิคุ้มกันโรคมาก่อน เมื่อได้รับเชื้อเข้าไป โอกาสเป็นโรคก็น้อยลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของภูมิคุ้มกันของโรคแต่ละชนิด เช่น ภูมิคุ้มกันของหัดมีประสิทธิภาพมากกว่า 90 % และอยู่นานตลอดชีวิต ขณะที่ภูมิคุ้มกันโรคอหิวาต์ต่ำกว่า 60 % มีระยะเวลานาน 6 เดือนเท่านั้น

8) การเคยเป็นโรคหรือได้รับการรักษาโรคนั้นมาก่อน (Prior medical experience) การที่โฮสท์ป่วยเป็นโรคใดโรคหนึ่งหรือได้รับการรักษามาก่อน อาจช่วยสนับสนุนให้มีโอกาสเป็นโรคอื่นมากขึ้น เช่น ผู้ป่วยโรคมะเร็งของเม็ดโลหิตมีโอกาสเป็นโรคติดเชื้อมากขึ้น ผู้ป่วยโรคเบาหวานมีโอกาสเป็นวัณโรคมากกว่าคนปกติ นอกจากนี้มีโอกาสติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะและในช่องคลอด เป็นต้น

องค์ประกอบของสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโรค

องค์ประกอบของสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโรค ประกอบด้วยสิ่งแวดล้อมขณะทารกอยู่ในครรภ์ และสิ่งแวดล้อมหลังคลอด

1) สิ่งแวดล้อมของทารกขณะอยู่ในครรภ์ สิ่งแวดล้อมของทารกในครรภ์ประกอบด้วย น้ำคร่ำ (Amniotic fluid) และรก (Pacenta) น้ำคร่ำมีหน้าที่รักษาระดับอุณหภูมิของทารก เป็นอาหารของทารกขณะตั้งครรภ์อ่อน ๆ และเป็นกันชนป้องกันการกระทบกระเทือนหรืออันตรายจากภายนอก รกช่วยผลิตฮอร์โมนและเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการตั้งครรภ์ และทำหน้าที่เป็นอวัยวะแลกเปลี่ยนสารต่าง ๆ ระหว่างมารดาและทารก

ในระยะสามเดือนแรกของการตั้งครรภ์ทารกจะอยู่ในภาวะเสี่ยงมากที่สุด เมื่อมีสิ่งกระตุ้นที่ไม่เหมาะสมจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในครรภ์ อาจทำให้ทารกในครรภ์มีความผิดปกติได้ เช่น มารดาที่กินยากล่อมประสาท Thalidomide จะทำให้ทารกมีความพิการของแขนขาได้ มารดาที่เป็นโรคหัดเยอรมันจะทำให้ทารกมีความพิการทางตาและหูได้ แม่ที่เป็นโรคเบาหวานจะทำให้ทารกตัวโตผิดปกติ ฉะนั้นในขณะตั้งครรภ์มารดาจึงต้องหลีกเลี่ยงองค์ประกอบที่ไม่เหมาะสมต่าง ๆ เช่น ยากล่อมประสาท รังสีต่าง ๆ ความเครียด โรคหัดเยอรมัน เป็นต้น

2) สิ่งแวดล้อมหลังคลอด

2.1) สภาพการสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม

การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม หมายถึงการจัดสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวมนุษย์ขึ้นเหมาะสมกับการดำรงชีวิต มีความเป็นอยู่อย่างเป็นสุข เพื่อส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรค เช่นการสร้างส้วม การจัดหาน้ำสะอาดให้แก่ประชาชน การกำจัดของเสียสิ่งปฏิกูล แมลงนำโรค การจัดสิ่งแวดล้อม อากาศ แสง เสียง ที่ดี เป็นต้น

โรคที่เกิดจากการสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมไม่ดี เช่น โรคท้องร่วง โรคบิด ไข้ไทฟอยด์ โรคอหิวาต์ นอกจากนั้นยังรวมถึง โรคระบบหายใจ โรคผิวหนัง โรคภูมิแพ้ โรคตาอักเสบ ที่เกิดจากมลพิษต่าง ๆ

2.2) ลักษณะภูมิศาสตร์และฤดูกาล

การกระจายของโรคมีส่วนสัมพันธ์กับลักษณะทางภูมิศาสตร์ในเขตร้อน เขตอบอุ่น และเขตหนาว หรือลักษณะธรรมชาติของพื้นที่ต่าง ๆ เช่น โรคพยาธิไส้เดือนกลมใน

ประเทศไทย ภาคใต้พบ 70.5 % ของผู้ป่วยโรคนี้ทั้งประเทศ เนื่องจากความชื้นและอุณหภูมิพอเหมาะที่เซลล์ในไข่จะเจริญเป็นตัวอ่อน

ฤดูกาลมีส่วนทำให้เกิดการแพร่กระจายของโรคติดเชื้อได้ เช่น โฮสท์หรือมนุษย์มีโอกาสได้รับเชื้อไข้เลือดออกมากในฤดูฝน เพราะยุงลายจะเพิ่มจำนวนมากขึ้นในต้นฤดูฝน

2.3) ความแออัดของครอบครัวและชุมชน

ในชุมชนหรือครอบครัวหนึ่ง ๆ สมาชิกในครอบครัวไม่ควรมีพื้นที่ในการหลับนอนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคือ 4 ตารางเมตรต่อคน จึงจะถือว่าไม่มีความแออัด หากมีโรคติดต่อเกิดขึ้นในบริเวณที่ผู้คนอยู่อาศัยกันอย่างแออัด ย่อมเกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคได้ง่ายขึ้น โรคที่ติดต่อกันได้ง่ายในกรณีนี้ เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ โรคผิวหนังและโรคพยาธิต่าง ๆ

2.4) สภาพการทำงาน

สภาพการทำงานจะขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมในการทำงานว่าเหมาะสมถูกสุขลักษณะมากน้อยเพียงใด มีอุปกรณ์ในการทำงาน เครื่องมือ เครื่องป้องกันอันตราย มีแสงสว่าง อุณหภูมิ การถ่ายเทอากาศถูกต้อง ไม่มีเสียงดังเกินไป หรือมีของเสียจากโรงงานมากเกินไป เช่น เขม่า ควัน ไอระเหย ฝุ่น เป็นต้น หากสิ่งแวดล้อมในการทำงานไม่เหมาะสมจะมีผลต่อการเกิดโรคได้ เช่น เสียงที่ดังเกินไปจะทำให้คนงานหูตึงหรือหูหนวกได้ หากไม่มีเครื่องป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรหรือสารเคมีบางชนิดอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้

<u>สิ่งที่ทำให้เกิดโรค</u>

สิ่งที่ทำให้เกิดโรค หมายถึงปัจจัยหรือต้นเหตุที่ทำให้เกิดโรค อาจเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตก็ได้ บางชนิดสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า บางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แบ่งออกเป็น 4 พวกใหญ่ ๆ คือ

1) สิ่งที่ทำให้เกิดโรคทางชีวภาพ

หมายถึงสิ่งมีชีวิตที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคในร่างกายมนุษย์ ทั้งที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ได้แก่

1.1) แบคทีเรีย (Bacteria) แบคทีเรียเป็นจุลชีพขนาดเล็ก เซลล์เดียว มีลักษณะต่าง ๆ กัน แบ่งตามรูปร่าง ได้แก่ รูปร่างกลม เรียกว่า คอคคัส (Coccus) รูปแท่งตรงเรียกว่า บาซิลลัส (Bacillus) รูปโค้งเรียกว่า วิบริโอ (Vibrio) รูปเกลียว เช่น สไปโรคีต (Spirochete) อาจอยู่เรียงกันเป็นกลุ่ม (Clusters) เป็นสายโซ่หรือต่อเป็นแท่งก็ได้ บางชนิดเจริญได้ดีในที่มีออกซิเจนสูง บางชนิดเจริญได้ดีในที่มีออกซิเจนต่ำ

ตัวอย่างแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคติดเชื้อบางชนิด เช่น

หนองใน (Gonorrhea)	เกิดจาก	Neisseria gonorrhoeae
ไข้ตำแดง (Scarlet fever)	เกิดจาก	Scarlatina anginosa
ปอดบวม (Pneumonia)	เกิดจาก	Diplococcus pneumoniae
ฝีฝักบัว (Carbuncle)	เกิดจาก	Staphylococcus sp.
เยื่อหุ้มสมองอักเสบ (Meningitis)	เกิดจาก	Neisseria meningitidis
คอตีบ (Diphtheria)	เกิดจาก	Corynebacterium diphtheriae
ไทฟอยด์ (Typhoid fever)	เกิดจาก	Salmonella typhosa
กาฬโรค (Bubonic plague)	เกิดจาก	Pastiurella pestis
บาดทะยัก (Tetanus)	เกิดจาก	Clostridium tetani
วัณโรค (Tuberculosis)	เกิดจาก	Mycobacterium tuberculosis
แอนแทร็กซ์ (Anthrax)	เกิดจาก	Bacillus anthracis
ไอกรน (Whooping cough)	เกิดจาก	Haemophilus pertussis
พิษอาหารกระป๋อง (Botulism)	เกิดจาก	Clostridium botulinum
โรคเรื้อน (Leprosy)	เกิดจาก	Mycobacterium leprae
ซิฟิลิส (Syphilis)	เกิดจาก	Treponema pallidum
อหิวาตกโรค (Cholera)	เกิดจาก	Vibrio cholerae

1.2) ไวรัส (Virus) ไวรัสเป็นจุลชีพที่เล็กที่สุด มีขนาดระหว่าง 17-300 มิลลิไมครอน (mμ) ทนต่อความเย็นถึง -70° ซ. ทนต่อยาฆ่าเชื้อและยาปฏิชีวนะต่าง ๆ ทำลายได้โดยความร้อน เช่น

- เฮอร์ปีส์ไวรัส (Herpesvirus) ทำให้เกิดโรคเริม งูสวัด
- ออธอมิกโซไวรัส (Orthomyxovirus) ทำให้เกิดโรคไข้หวัดใหญ่
- ฮิวแมน อิมมูโนเดฟฟิเซียนซี ไวรัส (Human immunodeficiency virus - HIV) ทำให้เกิดโรคเอดส์

1.3) ริคเคทเซีย (Rickettsia) เป็นจุลชีพที่มีขนาดอยู่ระหว่างเชื้อแบคทีเรียและเชื้อไวรัส หรือมีขนาดใหญ่กว่า 200 มิลิไมครอน (mμ) ไม่สามารถผ่านกระดาษกรองแบคทีเรียธรรมดาได้ การดำรงชีพอาศัยเซลล์ที่มีชีวิตหรืออาศัยเอมบริโอของไก่ (ไข่ที่กำลังฟัก) โรคที่เกิดจากจุลชีพชนิดนี้ เช่น ไข้รากสาดใหญ่

1.4) ปรสิต (Parasite) หมายถึงสิ่งมีชีวิต อาจเป็นชนิดเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ที่มีขนาดใหญ่กว่าที่กล่าวมาแล้วก็ได้ ที่ต้องอาศัยอยู่ภายนอกหรือภายในสัตว์ที่มีชีวิตอีกตัวหนึ่ง หรืออาศัยอยู่ในโฮสท์ ปรสิตที่สำคัญได้แก่

- โปรโตซัว (Protozoa) เป็นสัตว์เซลล์เดียวขนาด 2-100 ไมครอน (μ) เคลื่อนไหวโดยใช้หนวดหรือขน หรือขาเทียม (Pseudopod) ชนิดที่ทำให้เกิดโรคในคน ได้แก่ เชื้อบิดอะมีบา เชื้อไข้มาลาเรีย

- หนอนพยาธิ (Helminths) หนอนพยาธิที่ทำให้เกิดโรคในคน เช่น พยาธิใบไม้ในตับ พยาธิตัวกลม พยาธิเส้นด้าย พยาธิปากขอ พยาธิตัวตืด เป็นต้น

- สัตว์ขาข้อ (Arthopods) ได้แก่แมลงและสัตว์ที่มีลักษณะคล้ายแมลงบางชนิด ทำหน้าที่ในการแพร่โรค เช่น ยุงก้นปล่องยอมให้เชื้อไข้จับสั่นอาศัยอยู่ในลำตัวของมัน แมลงวันเป็นพาหะของเชื้อไข้ไทฟอยด์ ตัวหิดทำให้เกิดโรคหิด เป็นต้น

- เชื้อรา (Fungi) เป็นจุลชีพที่ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ มีผนังเซลล์ค่อนข้างหนา เจริญเติบโตโดยการแตกแยกแขนงสายใย (Filaments) ออกไป เรียกว่า มัยซีเลียม (Mycelium) เชื้อราจะทำให้เกิดโรคผิวหนัง ซึ่งพบประมาณ 20 % ของโรคผิวหนังทั้งหมด

2) สิ่งที่ทำให้เกิดโรคทางเคมี

หมายถึงสารเคมีต่าง ๆ ที่อาจเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ หรือทำให้เกิดโรคได้ เช่น ฝุ่น แก๊ส ไอระเหย ของเหลว เป็นต้น

3) สิ่งที่ทำให้เกิดโรคทางกายภาพ

หมายถึงสิ่งต่าง ๆ ทางด้านกายภาพที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคได้ เช่น ความร้อน แสง เสียง รังสีต่าง ๆ

4) สิ่งที่ทำให้เกิดโรคเนื่องจากการขาดสารที่จำเป็นต่อสุขภาพ

ปัจจัยหรือสารอาหารบางอย่างที่จำเป็นสำหรับร่างกาย ถ้าขาดสารเหล่านั้นจะทำให้เกิดโรคได้ เช่น การขาดวิตามินบี 1 ทำให้เป็นโรคเหน็บชา การขาดวิตามินบี 2 ทำให้เป็นโรคปากนกกระจอก ขาดธาตุเหล็กทำให้เป็นโรคโลหิตจาง เป็นต้น

3.5 แหล่งโรค

แหล่งโรค (Sources) หมายรวมถึง แหล่งต่าง ๆ ของโรคก่อนที่จะเข้าสู่ร่างกาย ได้แก่ แหล่งเก็บโรค (Reservoir) พาหะของโรค (Carrier) สัตว์พาหะ (Vectors) หรือสิ่งนำโรค (Vehicle) ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะอธิบายได้ดังนี้

แหล่งเก็บโรคหรือรังเก็บโรค หมายถึง ที่สำหรับสิ่งที่ทำให้เกิดโรคอาศัยอยู่ เป็นที่สะสมเพิ่มจำนวน ขยายพันธุ์ และพร้อมที่จะถ่ายทอดไปยังบุคคลที่ไวต่อการรับเชื้อได้ ได้แก่ คน สัตว์ พืช ดิน น้ำ อินทรีย์วัตถุ เป็นต้น

พาหะของโรค หมายถึง ผู้คนที่สามารถถ่ายทอดเชื้อไปยังบุคคลอื่นที่มีสุขภาพดีให้ป่วยเป็นโรคได้ โดยที่ผู้นั้นไม่แสดงอาการป่วยของโรคปรากฏให้เห็น แต่สามารถตรวจพบเชื้อโรคระยะใดระยะหนึ่งในอุจจาระ ปัสสาวะ เสมหะ เลือด ฯลฯ ได้

สัตว์พาหะ หมายถึงสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น สัตว์ขาข้อ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแมลงที่สามารถนำเชื้อโรคจากผู้ป่วย ถ่ายทอดให้กับผู้อื่นโดยการกัดหรือสัมผัสได้

สิ่งนำโรค หมายถึง น้ำ นม อาหาร ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ (Biological products) เช่น พลาสมา (Plasma) รวมทั้งภาชนะ เครื่องใช้ ที่สามารถนำโรคจากแหล่งโรคไปยังคนได้

3.5.1 แหล่งโรคจากมนุษย์

คนเป็นแหล่งโรคที่สามารถแพร่หรือถ่ายทอดเชื้อโรคไปยังบุคคลอื่นได้ดี เพราะคนเป็นแหล่งเก็บโรค และอยู่รวมกันเป็นสังคม มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกัน จึงมีโอกาสติดเชื้อระหว่างกันได้ง่าย ผู้ที่สามารถแพร่เชื้อโรคไปยังบุคคลอื่นได้ดีนั้น อาจแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มบุคคลที่เป็นโรคและมีอาการป่วยอย่างรุนแรง อาการของโรคแสดงออกอย่างชัดแจ้ง ผู้ป่วยจะต้องนอนอยู่กับที่ เชื้อโรคมีโอกาสติดไปยังบุคคลที่อยู่ใกล้ชิดได้

2) กลุ่มบุคคลที่เป็นโรคและมีอาการไม่แจ้งชัด (Subclinical) คือผู้ที่เป็นโรคและมีอาการป่วยไม่รุนแรง จนผู้ป่วยไม่สนใจจะรักษา จะไปไหนมาไหนและประกอบอาชีพได้ตามปกติ จึงมีโอกาสแพร่หรือถ่ายทอดเชื้อไปยังบุคคลอื่นได้ เช่น ไข้หัดที่เกิดขึ้นในตัวเด็กเกิดผื่นขึ้นตามตัว ผู้ปกครองเข้าใจว่าเป็นลมพิษ เพราะเด็กจะแสดงอาการน้อยมาก ดังนั้นเด็กที่ป่วยจึงมีโอกาสแพร่เชื้อโรคหัดแก่เด็กอื่นในโรงเรียนได้

3) กลุ่มบุคคลที่เป็นพาหะของโรค บุคคลกลุ่มนี้สามารถไปไหนมาไหนได้ และมีโอกาสแพร่เชื้อโรคได้เช่นเดียวกับกลุ่มผู้ติดเชื้อที่มีอาการไม่แจ้งชัด จำแนกออกเป็น 3 กลุ่มย่อย ดังนี้

- กลุ่มบุคคลที่มีสุขภาพดี (Healthy carriers) เป็นบุคคลที่มีสุขภาพดี ดังเช่นบุคคลทั่วไปแต่มีเชื้อโรคอยู่ในร่างกาย
- กลุ่มบุคคลในระยะฟักตัวของการป่วย (Incubationary carriers) เป็นบุคคลที่ได้รับเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายแล้ว เชื้อโรคอยู่ในระยะฟักตัวอาการยังไม่ปรากฏก็สามารถแพร่เชื้อไปยังผู้อื่นได้
- กลุ่มบุคคลในระยะพักฟื้นจากอาการป่วย (Convalescent carriers) บุคคลในกลุ่มนี้แม้ว่าได้รับการรักษาจนอาการทุเลา หรือหมดอาการแล้วก็ตาม บางครั้งเชื้อโรคยังมีอยู่ในร่างกายและถ่ายทอดไปยังผู้อื่นได้

ตาราง 3.1 แสดงโรคที่คนเป็นพาหะของโรคได้ในระยะต่าง ๆ

ชื่อโรค	สุขภาพดี (Healthy)	ระยะฟักตัว (Incubationary)	ระยะพักฟื้น (Convalescent)
คอตีบ	✓	✓	✓
บิด (แบคทีเรีย)	✓	✓	✓
โปลิโอ	✓	✓	✓
ปอดบวม (ไวรัส)	✓	✓	✓
หนอนพยาธิไส้เดือน	✓	-	✓

ตาราง 3.1 (ต่อ)

ชื่อโรค	สุขภาพดี (Healthy)	ระยะฟักตัว (Incubationary)	ระยะพักฟื้น (Convalescent)
ไอกรน	-	✓	✓
ไข้รากสาดน้อย	-	✓	✓
ตับอักเสบ	-	✓	✓
ไข้หวัดใหญ่	-	✓	✓
วัณโรค	-	✓	✓
ริดสีดวงตา	-	✓	✓
หัด	-	✓	-
หัดเยอรมัน	-	✓	-
คางทูม	-	✓	-
กาฬโรค	-	✓	-
ฝีดาษ	-	✓	-
โรคเรื้อน	-	-	✓
มาลาเรีย	-	-	✓
กลาก เกลื้อน	-	-	✓
คุดทะราด	-	-	✓
หนองใน	-	-	✓

3.5.2 แหล่งโรคจากสัตว์

มนุษย์และสัตว์มีความสัมพันธ์กันโดยธรรมชาติ สัตว์ถูกคนนำมาเลี้ยงไว้เพื่อใช้งาน เป็นอาหาร ตลอดจนเลี้ยงไว้เป็นเพื่อน หรือเพื่อความเพลิดเพลิน ความใกล้ชิดดังกล่าวนี้ทำให้โรคที่เกิดกับสัตว์มักติดต่อมาถึงคนได้ ซึ่งเรียกโรคนี้ว่า โรคสัตว์ติดคน (Zoonosis) ซึ่งมีอยู่หลายโรค เช่น แอนแทร็กซ (Anthrax) วัณโรคในวัว (Bovie tuberculosis) กาฬโรค (Plague) โรคพิษสุนัขบ้า (Rabies) โรคหนอนพยาธิต่าง ๆ (Helminths) เป็นต้น

สัตว์ป่าหรือสัตว์ที่ชอบหากินอยู่ใกล้ที่พักอาศัยของคน เช่น นก หนู มักเป็นแหล่งเก็บโรคตามธรรมชาติที่เชื้อโรคหมุนเวียนอยู่ได้โดยไม่สูญไปจากโลก

สัตว์ขาข้อ เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง รูปร่างสองข้าง ซ้ายขวาเหมือนกัน ส่วนกลางหรือลำตัวเป็นปล้อง ๆ มีขาต่อกับลำตัว มีระบบประสาท ระบบไหลเวียนโลหิต ระบบย่อยอาหาร และระบบขับถ่าย สัตว์ขาข้อที่เป็นแหล่งโรคส่วนมากได้แก่ แมลง ซึ่งมักจะเป็นตัวแพร่หรือถ่ายทอดเชื้อโรค (Transmission) หรือเป็นพาหะนำโรค เช่น แมลงวัน ยุง เป็นตัวก่อให้เกิดโรคเอง เช่น ตัวหิด เป็นตัวให้เชื้อโรคหรือหนอนพยาธิบางชนิดมาอาศัยอยู่ เช่น ในตัวหมัดจะเป็นที่อาศัยของหนอนพยาธิตืดแคระ

3.5.3 แหล่งโรคจากพืช

สาเหตุการเกิดโรคของคนเนื่องจากพืช ส่วนใหญ่มาจากการกินพืชซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- พืชอาจปนเปื้อนกับสิ่งสกปรก (Contaminate) เช่น เชื้ออหิวาตกโรค เชื้อโรคบิด ไข่หนอนพยาธิ สารเคมี เป็นต้น
- พืชอาจเป็นโฮสท์กลางให้กับโรคบางชนิด เช่น กระจับ สายบัว และพืชน้ำที่เป็นโฮสท์กลางของหนอนพยาธิใบไม้ในลำไส้
- พืชบางชนิดมีสารที่ก่อให้เกิดโรค เช่น หน่อไม้ ใบชะพลู ผักขม ผักกระโดน ผักบุ้งป่า ยอดมันสำปะหลัง ฯลฯ มีสารพวกออกซาเลต (Oxalate) ซึ่งเข้าใจว่าอาจเป็นสาเหตุของโรคนิ่วได้ นอกจากนั้นสารชนิดนี้ยังขัดขวางไม่ให้กระเพาะและลำไส้ดูดซึมเอาแคลเซียมจากอาหาร เป็นเหตุให้ร่างกายขาดแคลเซียมได้ ผักเสี้ยน ผักกระโดน ผักเสม็ด ผักปูย่า ใบฟักทอง ใบสะระแหน่ และใบชา มีสารโพลีฟีโนลิค (Polyphenolic compounds) เช่น กรดแคฟฟีอิค (Caffeic acid) กรดซินนามิค (Cinnamic acid) และกรดแทนนิค (Tannic acid) ซึ่งสามารถทำลายวิตามินบีหนึ่งในร่างกายได้ ทำให้ผู้ที่บริโภคผักเหล่านี้มาก ๆ เกิดอาการขาดวิตามินบีหนึ่ง มีอาการชาตามที่ต่าง ๆ ของร่างกาย

นอกจากการบริโภคพืชที่ทำให้เกิดโรคแล้ว การสัมผัส ใบ ดอก ผล ลำต้น กิ่ง ก้าน และขน ที่มีสารเคมีจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองหรือเกิดปฏิกิริยาภูมิแพ้ขึ้น การสูดดมละอองเกสรดอกไม้ ปุยฝ้าย หรือชิ้นส่วนของพืช อาจทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ โรคปอดแข็ง เป็นต้น

3.5.4 แหล่งโรคจากสิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อมในชีวิตประจำวันของแต่ละคนมีอิทธิพลที่อาจทำให้เกิดโรค อาจแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

1) สิ่งแวดล้อมทั่วไปหรือสิ่งแวดล้อมชุมชน (General or Community environment)

สิ่งแวดล้อมในชุมชนอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเจ็บป่วยหรืออาจเกิดโรคได้ เช่นในท้องที่ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงบ่อย มีความชื้นมาก ฝนตกชุก ทำให้เหมาะแก่การแพร่เชื้อบางชนิด เช่น ไข้หวัด ปอดบวม หากร่างกายทนต่อภาวะเหล่านั้นไม่ได้ก็อาจเกิดการเจ็บป่วยขึ้น ในชุมชนที่มีการจัดการสุขาภิบาลไม่ดี ชุมชนนั้นก็จะเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของสัตว์นำโรค มีการกระจายของเชื้อโรคได้ดี ชุมชนที่อาศัยอยู่กันอย่างหนาแน่น แก่งแย่งกันทำมาหากิน การจราจรคับคั่ง เสียงอึกทึกครึกโครม จะมีมลพิษมากมายซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพทั้งทางกายและใจของบุคคลในชุมชนนั้น

2) สิ่งแวดล้อมในสถานที่ทำงาน (Working or workplace environment)

สิ่งแวดล้อมในการทำงานของคนเรานั้น จะแตกต่างกันไปขึ้นกับลักษณะงานที่ทำ ซึ่งอาจทำให้ผู้ทำงานเกิดโรคต่าง ๆ ขึ้นได้ทั้งโรคติดเชื้อ และโรคไร้เชื้อ เช่น อาจได้รับอาหาร น้ำ ที่ไม่สะอาด สถานที่ทำงานสกปรก การทำงานบางอย่างอาจเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย เช่น การลื่นหกล้ม การตกจากที่สูง ถูกของมีคมบาด สัมผัสสารเคมี ไฟไหม้ เป็นต้น นอกจากนั้นยังอาจได้รับอันตรายจาก ความร้อน เสียงดัง แสงสว่างไม่พอ ฝุ่นผง ความเครียดจากการทำงานที่เป็นผลต่อสุขภาพจิต เป็นต้น

3) สิ่งแวดล้อมในบ้าน (Home environment)

สภาพแวดล้อมในบ้านที่ไม่ดี อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายแก่ผู้อาศัยเป็นอย่างมาก เช่น บ้านเล็กและคับแคบเกินไป อากาศถ่ายเทไม่สะดวก การจัดสุขาภิบาลภายในบ้านไม่ดี น้ำ อาหาร ไม่สะอาด ไม่มีระบบกำจัดของเสียหรือขยะที่ดี มีแหล่งเพาะเชื้อโรค เป็นที่อาศัยของสัตว์นำโรค หรือตั้งอยู่บริเวณชุมชนแออัด เป็นต้น

4) สิ่งแวดล้อมของสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ (Recreational environment)

สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เช่น บ้าน สวนสาธารณะ สนามกีฬา โรงภาพยนต์ ดิสโกเทค สระว่ายน้ำ ร้านอาหาร ฯลฯ อาจเป็นแหล่งแพร่กระจายโรคได้ทั้งสิ้น หากการจัดการสุขาภิบาลไม่ดีพอ เช่น สระว่ายน้ำ อาจเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคไข้รากสาดน้อย บิด วัณโรค หิด กลาก โรคเท้าเปื่อย กามโรค เป็นต้น

3.6 การป้องกันโรค

3.6.1 การป้องกันโรคที่เกี่ยวกับมนุษย์มีหลักทั่วไปดังนี้

1) การส่งเสริมสุขภาพ (Health promotion) เพื่อเสริมสร้างให้ร่างกายมีความสมบูรณ์ทั้งทางกาย จิตใจ และสังคม เช่น การโภชนาการ การสุขศึกษา การอนามัยแม่และเด็ก การวางแผนครอบครัว

2) การคุ้มกันเฉพาะ (Specific protection) เป็นการป้องกันสาเหตุของโรคโดยตรงในชุมชน เช่น การสร้างภูมิคุ้มกันโรคที่ได้จากวัคซีน เพื่อเพิ่มภูมิคุ้มกันโรคของแต่ละคนในชุมชนให้สามารถต่อสู้กับสาเหตุของโรคโดยเฉพาะได้ และการให้ยาป้องกัน เป็นต้น

3.6.2 การป้องกันโรคที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยการควบคุมสิ่งแวดล้อม (Environmental control) ต่าง ๆ เช่น การจัดหาน้ำสะอาด การกำจัดขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล การกำจัดสัตว์นำโรค เป็นต้น

3.6.3 การป้องกันโรคที่เกี่ยวกับสิ่งที่ทำให้เกิดโรคโดยวิธี

1) การวินิจฉัยแต่แรกเริ่มและรีบรักษาทันที (Early diagnosis and prompt treatment) เมื่อผู้ป่วยมีอาการของโรค ควรได้รับการตรวจร่างกายและตรวจทางห้องปฏิบัติการอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เพื่อทำการรักษาได้ทันท่วงที ทำให้ผู้ป่วยหายเร็วขึ้นและลดระยะเวลาการแพร่เชื้อของผู้ป่วย

2) การตรวจพาหะของโรคและให้การรักษา (Detection and treatment of carriers) ผู้ป่วยที่หายจากโรคแล้ว บางคนอาจยังปล่อยเชื้อออกจากร่างกาย ทำให้

แพร่กระจายไปสู่คนอื่นได้ เช่น ผู้ป่วยโรคไทฟอยด์ หรือท้องร่วงบางประเภทจะต้องได้รับการตรวจเชื้อในอุจจาระต่อเพื่อให้แน่ใจว่าไม่ได้เป็นพาหะของโรค

3) ควบคุมแหล่งแพร่เชื้อของโรค (Control potential sources of pathogen) โดยวิธีต่าง ๆ เช่น การแยกผู้ป่วยโรคติดต่อ กักกันผู้สัมผัสโรคติดต่ออันตราย ฆ่าเชื้อในเสมหะ อาเจียน สิ่งปฏิกูลต่าง ๆ โดยใช้ยาฆ่าเชื้อ แหล่งน้ำที่ตรวจพบว่าเป็นแหล่งแพร่เชื้อควรใส่ผงคลอรีนค้างคืนหลังสูบออกให้น้ำใหม่ซึมเข้ามา เป็นต้น

3.7 โรคน่ารู้

สิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้เปลี่ยนแปลงไปในทางที่เสื่อมลงตามกาลเวลา ทำให้มนุษย์มีพฤติกรรมที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคมาก และสิ่งที่ทำให้เกิดโรคย่อมแพร่กระจายได้ดีขึ้น จะเห็นว่ามีโรคที่น่ากลัวและจำนวนผู้ป่วยมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังจะกล่าวพอเป็นตัวอย่างในที่นี้ คือ โรคเอดส์ โรคเบาหวาน ไข้หวัด โรคแพ้อากาศ และโรคเนื้องอก ซึ่งคนทั่วไปควรรู้และเข้าใจดังรายละเอียดดังนี้

3.7.1 โรคเอดส์ (AIDS)

AIDS ย่อมาจากคำในภาษาอังกฤษว่า Acquired Immune Deficiency Syndrome (แอคไควอิมมูนเดฟฟิเซียนซีซินโดรม) คือ กลุ่มอาการที่เกิดจากระบบภูมิคุ้มกันหรือกลไกต่อต้านเชื้อโรคของร่างกายบกพร่องหรือลดต่ำลง ทำให้ติดเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ง่าย แม้กระทั่งเชื้อที่พบทั่วไปในธรรมชาติ และไม่ทำอันตรายต่อคนปกติก็จะเป็นอันตรายสำหรับผู้ติดเชื้อเอดส์ โรคติดเชื้อหรือโรคแทรกจะเกิดขึ้นในสี่ระบบคือ ระบบประสาทได้แก่ สมองอักเสบหรือเยื่อหุ้มสมองอักเสบ ระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ ปอดอักเสบ ปอดบวม ระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ ท้องเดินเรื้อรัง น้ำหนักลด และระบบหลอดเลือด ได้แก่ เส้นเลือดโป่งพองและเป็นมะเร็งของหลอดเลือด เลือดออกไม่หยุด นอกจากนั้นยังอาจพบอาการของมะเร็งผิวหนังบางชนิดด้วย ความเจ็บป่วยเหล่านี้อาจรุนแรงจนถึงแก่ความตายได้

ความเป็นมาและการค้นพบโรคเอดส์

ประมาณเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2524 ศูนย์ควบคุมโรคติดต่อ Center for diseases control (C.D.C.) เมืองแอตแลนตา รัฐจอร์เจีย สหรัฐอเมริกา ได้รับรายงานจากแพทย์ในนครลอสแองเจลลีส ถึงผู้ป่วยชายรักร่วมเพศที่แข็งแรงดี 5 ราย เกิดล้มป่วย

ลงด้วยอาการปอดบวม ติดเชื้อพยาธิ Pneumocystis Carinii ที่มักชอบฉวยโอกาสรุกล้ำคนไข้ที่ขาดความต้านทาน แค่ 5 รายนี้ปกติไม่มีโรคใด ๆ แข็งแรงดี จึงเป็นเรื่องแปลก ในระยะเวลาไล่เลี่ยกันก็มีชายรักร่วมเพศ หรือเกย์อีกหลายสิบรายที่ล้มป่วยลง ด้วยเชื้อฉวยโอกาสอย่างอื่น บางรายมีมะเร็งหลอดเลือดร่วมด้วย เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นที่มหานครนิวยอร์คและลอสแองเจลลีส หลังจากนั้นก็มีผู้ป่วยเพิ่มเป็น 14,000 ราย และเสียชีวิตลงถึง 50 %

ผู้ป่วยทั้งหมดมีลักษณะเหมือนกันอยู่อย่างหนึ่งคือ มีไวรัสชนิดหนึ่ง ทราบภายหลังว่าเป็น เรโทรไวรัส (Retrovirus) อยู่ในร่างกาย ไวรัสนี้สามารถทำลายเซลล์น้ำเหลืองที่เรียกว่า Lymphocytes ของมนุษย์ซึ่งมีไว้ต่อต้านเชื้อโรคต่าง ๆ ที่รุกรานเข้าไปในร่างกาย เซลล์ที่เรโทรไวรัสชอบทำลายมากที่สุดคือ T-helper lymphocytes ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีประสิทธิภาพต่อต้านเชื้อโรคได้ดีที่สุด ไวรัสจะทำลายเซลล์เหล่านี้ลงจนเกือบสูญหายไปจากกระแสเลือดจนหมด ทำให้ภูมิต้านทานของบุคคลนั้นสูญหายไป ส่งผลให้มีการติดเชื้อชนิดอื่น ๆ มากมายพร้อมกัน

ปรากฏการณ์ดังกล่าวไม่เคยพบมาก่อนในประวัติศาสตร์การแพทย์ C.D.C. จึงได้ขนานนามโรคนี้ว่า "Acquired Immune Deficiency Syndrome" หรือเรียกย่อ ๆ ว่า AIDS (เอดส์) การค้นคว้าได้ดำเนินมาเรื่อย ๆ จนมีแพทย์วิจัย 3 ท่าน ท่านแรกคือ Luc Montagnier แห่งสถาบันปัสตุระในปารีส ประเทศฝรั่งเศส สามารถแยกเชื้อเรโทรไวรัสชนิดหนึ่งได้จากต่อมน้ำเหลืองที่โตขึ้น ในผู้ป่วยโรคเอดส์ระยะเริ่มแรก ท่านให้ชื่อไวรัสนี้ว่า Lymphadenopathy Associated Virus (LAV) ต่อมานักวิจัยอีก 2 ท่าน คือ Dr. Essex แห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด รัฐแมสซาจูเซ็ท และ Dr. Gallo แห่งสถาบันมะเร็งแห่งชาติ เมือง Bethesda รัฐแมรีแลนด์ สหรัฐอเมริกา พบว่าผู้ป่วยโรคเอดส์นั้น มักมีร่องรอยของเชื้อไวรัสชนิดหนึ่งที่เรียกว่า HTLV-III ย่อมาจาก Human-T-Lymphotorphic Virus-III ที่ให้ชื่อนี้เพราะเป็น ไรโทรไวรัสที่มีอำนาจทำลายเซลล์น้ำเหลืองตัวสำคัญคือ T-helper Lymphocytes ดังที่กล่าวข้างต้น แต่ต้องมีเลข III ไว้เนื่องจากยังมีเรโทรไวรัส อีก 2 ตัว คือ HTLV-I และ HTLV-II ซึ่งมีอำนาจขยายพันธุ์ พอกพูน จำนวนเซลล์อ่อนของ Lymphocytes เหล่านั้นจนเป็นเซลล์มะเร็งเม็ดโลหิตขาว (Leukemia & Lymphoma)

ปัจจุบันเป็นที่แน่ชัดแล้วว่า HTLV-III และ LAV เป็นเรโทรไวรัสตัวเดียวกัน และต่อมามีการพบผู้ป่วยโรคเอดส์ในแอฟริกากลางมากขึ้น ผู้เชี่ยวชาญหลายท่านเชื่อว่า แท้จริงแล้วโรคนี้เกิดขึ้นในแอฟริกากลางก่อนโดยมนุษย์ติดเชื้อมาจากลิงเขียว ปัจจุบันเรียกไวรัสที่เป็นสาเหตุ

แห่งโรคนี้ เป็นไวรัส ฮิวแมน อิมมูโนเดฟฟิเซียนซี ไวรัส (Human Immunodeficiency virus-HIV)

สถานการณ์โรคเอดส์ในประเทศไทย

จนถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2533 กองระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข ได้รับรายงานผู้ป่วยโรคเอดส์ 69 ราย ผู้มีอาการสัมพันธ์กับเอดส์ 200 ราย และผู้ติดเชื้อเอดส์โดยไม่มีอาการ 23,279 ราย

การติดต่อ

เอดส์ติดต่อกันได้หลายทาง แต่ทางติดต่อที่สำคัญและพบบ่อย ๆ ได้แก่

- การร่วมเพศกับผู้ติดเชื้อโรคเอดส์
- การใช้เข็มฉีดยาร่วมกัน
- การรับเลือดจากผู้ป่วยโรคเอดส์
- การจูบด้วยปากถ้ามีแผลในช่องปาก

การติดต่อทางสังคมในชีวิตประจำวัน จะไม่ก่อให้เกิดการติดเชื้อโรคเอดส์ เช่น การจับมือ การสัมผัสกอดรัด การจับต้องของใช้ผู้ติดเชื้อ หรือการใช้สิ่งของร่วมกัน เช่น การใช้ห้องน้ำ ห้องส้วมร่วมกัน การใช้โทรศัพท์ หรือว่ายน้ำในสระเดียวกัน เป็นต้น นอกจากนี้ยังไม่ติดต่อโดยทางแมลงต่าง ๆ เช่น ยุง แมลงวัน เป็นต้น

กลุ่มบุคคลที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคเอดส์ ได้แก่

- ผู้ค้าประเวณีทั้งชายและหญิง
- ผู้ติดยาเสพติดชนิดฉีดเข้าเส้น
- ผู้ชอบเที่ยวสำส่อนทางเพศ
- สามีหรือภรรยาของผู้ติดยาเสพติดชนิดฉีดเข้าเส้น หรือสามีภรรยาของผู้ชอบเที่ยวสำส่อนทางเพศ

อาการ

อาการของเอดส์ อาจแบ่งเป็น 3 แบบคือ

แบบที่ 1 หลังจากได้รับเชื้อไวรัสโรคเอดส์ แล้วอาจจะไม่ปรากฏอาการใด ๆ แต่แพทย์มีวิธีตรวจว่าได้รับเชื้อนี้อยู่ในร่างกาย

แบบที่ 2 จะปรากฏอาการ

- ต่อมน้ำเหลืองที่คอ รักแร้ และที่อื่น ๆ โตเป็นเวลานาน
- น้ำหนักตัวลดโดยหาสาเหตุไม่ได้
- ท้องเดินบ่อย ๆ และเรื้อรัง
- อาจมีอาการไอคล้ายเป็นหวัด
- มีฝ้าขาว ๆ บนลิ้นและในลำคอ

ในระยะนี้แพทย์จะตรวจพบมีเชื้อไวรัสโรค์เอดส์อยู่ในร่างกายผู้ป่วยด้วย

แบบที่ 3 เป็นระยะที่โรคเอดส์แสดงอาการเต็มที่ จะมีอาการต่าง ๆ ร่วมกันดังนี้

- ต่อมน้ำเหลืองทั่วไปโต
- มีอาการของปอดบวม เช่น ไอ หายใจหอบถี่
- มีอาการทางสมอง เช่น ชัก อัมพาต
- มีอาการอ่อนเพลีย น้ำหนักลดมากโดยไม่ทราบสาเหตุ
- ท้องเดินเรื้อรัง
- มีอาการไข้เรื้อรัง
- อาจมีอาการเป็นผื่นจ้ำ ๆ คล้ายห้อเลือดตามร่างกาย

การรักษา

ไม่มีการรักษาเฉพาะ ให้การรักษาตามอาการ โดยเฉพาะการรักษาโรคติดเชื้อฉวยโอกาส ปัจจุบันมีการวิจัยต่าง ๆ เพื่อนำยาใหม่ ๆ มารักษา แต่ผลการรักษายังไม่ได้รับการรับรอง เช่น เอแซททีี (AZT)

การป้องกัน

- อย่าร่วมเพศกับผู้ป่วยหรือสงสัยว่าเป็นโรคเอดส์
- พยายามอย่าเปลี่ยนคู่นอนในหมู่รักร่วมเพศ ควรสวมถุงยางอนามัย
- ผู้ป่วยโรคเอดส์ ห้ามบริจาคเลือด
- อย่าใช้เข็มฉีดยาร่วมกัน โดยเฉพาะผู้ติดยาเสพติด
- พยายามหลีกเลี่ยงการร่วมเพศกับชาวต่างประเทศที่เป็นโรคเอดส์หรือสงสัยเป็นเอดส์

วิธีฆ่าเชื้อเอดส์

- ต้มสิ่งของเครื่องใช้ในน้ำเดือด 100° ซ. เป็นเวลา 5 นาที
- แช่เสื้อผ้าในน้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรด์ หรือน้ำยาฟอกผ้าขาว หรือไฮเตอร์ คลอรอกซ์นาน 10 นาที
- เช็คภาชนะต่าง ๆ ด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อ เช่น แอลกอฮอล์ 70 % ไลซอล 0.5 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.3 % เป็นต้น

สถานที่ตรวจโรคเอดส์

เอดส์เป็นโรคที่ต้องแจ้งความ หากสงสัยว่าผู้ใดจะป่วยเป็นโรคนี้ ให้พาหรือแนะนำให้ไปตรวจโรคได้ที่

กองกามโรค กรมควบคุมโรคติดต่อ กระทรวงสาธารณสุข, สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด, ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์, และโรงพยาบาลของรัฐทุกแห่ง

3.7.2 โรคเบาหวาน

เบาหวานเป็นโรคต่อมไร้ท่อชนิดหนึ่ง เกิดจากการที่ร่างกายขาดฮอร์โมนอินซูลิน หรือสร้างฮอร์โมนอินซูลินได้ไม่เพียงพอ ทำให้มีน้ำตาลออกมาในปัสสาวะและมีน้ำตาลในเลือดสูง ฮอร์โมนอินซูลินผลิตจากตับอ่อน ซึ่งทำหน้าที่ควบคุม (ลด) ระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งได้จากการกินอาหารพวกแป้ง หรือ ของหวาน โดยการเปลี่ยนให้น้ำตาลนั้นเป็นพลังงานให้ร่างกายนำไปใช้ได้

อาการ

ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนเพลีย กินจุแต่ผอมลง กระหายน้ำ ปัสสาวะบ่อยและมาก มีมดขึ้นปัสสาวะ คันตามผิวหนังและอวัยวะสืบพันธุ์ ตามัว เป็นฝีฝักบัว เป็นฝีหรือเป็นแผลบ่อยๆ รักษาหายยาก ปวดแสบปวดร้อนตามปลายมือและปลายเท้า หมดความรู้สึกทางเพศ

วิธีปฏิบัติของผู้ป่วยโรคเบาหวาน

1) ควบคุมอาหาร ต้องจำกัดอาหารจำพวกแป้ง ข้าว ไขมัน ขนมหวานทุกชนิด และผลไม้ที่มีรสหวานจัด เช่น ทุเรียน มะม่วงสุก ลำใย ฯลฯ โดยรับประทานให้น้อยลง ควรงด น้ำหวาน น้ำอัดลม สุรา เบียร์ และของมึนเมาอื่น ๆ เพิ่มอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ถั่วต่าง ๆ ผักและผลไม้ให้มากขึ้น

2) การออกกำลังกาย เป็นสิ่งสำคัญมากเพราะช่วยให้ร่างกายได้ใช้น้ำตาลมากขึ้น เป็นการลดน้ำตาลในเลือดได้ทางหนึ่ง ทำได้หลายวิธีตามความเหมาะสม เช่น วิ่ง กายบริหาร ซึ่งควรปฏิบัติเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอทุกวันหลังการรับประทานอาหาร

3) การดูแลรักษาเท้า สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานถ้ามีแผลถลอกเพียงเล็กน้อย อาจลุกลามใหญ่โต เน่าไปทั้งตัว จนต้องถูกตัดขาเพื่อรักษาชีวิตไว้ ดังนั้นต้องดูแลรักษาเท้าเป็นพิเศษ โดยล้างเท้าให้สะอาดด้วยน้ำและสบู่ทุกวัน เช็ดให้แห้งโดยเฉพาะบริเวณซอกเท้า อย่าถูแรง หมั่นตรวจหาความผิดปกติของเท้า แล้วปรึกษาแพทย์และต้องบริหารกล้ามเนื้อขาและเท้าโดยสม่ำเสมอ เพื่อให้เลือดไหลเวียนได้ดี

4) การกินยาหรือฉีดยาตามแพทย์สั่ง ห้ามเพิ่มหรือลดขนาดยาเอง ควรมาตรวจตามแพทย์นัดทุกครั้ง ถ้ายาหมดหรือมีอาการผิดปกติต้องมาให้แพทย์ตรวจทันที

5) รู้จักช่วยตัวเองเมื่อมีปัญหา

เมื่อเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ ซึ่งมีอาการหิว ใจสั่น มือสั่น เพลีย มึนงง เวียนศีรษะ ง่วงนอน ชีด เหงื่อออกมาก หงุดหงิด เดินเซะซะ ตาพร่ามัว อาจชัก หรือไม่รู้สึกตัว ต้องแก้ไขโดยรีบดื่มน้ำหวาน อมน้ำตาลหรือท๊อฟฟี่ทันที และควรมีบัตรผู้ป่วยเบาหวานติดตัวไว้เสมอ เพื่อว่าผู้พบเห็นจะได้ช่วยเหลือได้ถูกต้อง

เมื่อเกิดอาการไม่สบาย เช่น เป็นไข้หวัด ท้องเสีย คลื่นไส้ อาเจียน ฯลฯ ร่างกายจะมีน้ำตาลสูงกว่าปกติ ห้ามหยุดกินยาหรือฉีดยาของโรคเบาหวานเองโดยเด็ดขาด

เมื่อเกิดมีแผล โดยเฉพาะที่เท้า ควรล้างบาดแผลด้วยน้ำและสบู่ แล้วใช้ผ้าสะอาดปิดแผลไว้—ห้ามใช้ยาทิงเจอร์ไอโอดีน หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใส่แผล

เมื่อเกิดอาการคัน พยายามอย่าเกา เพราะอาจเกิดแผลลุกลาม ควรหมั่นรักษาความสะอาดของร่างกาย ตัดเล็บมือให้สั้น

เมื่อเกิดปัญหาเหล่านี้ และรักษาด้วยตนเอง 2-3 วันแล้ว อาการไม่ทุเลา ลงต้องรีบไปพบแพทย์โดยเร็วที่สุด

3.7.3 ไข้หวัด

ไข้หวัดเป็นโรคที่ระบาดได้ง่าย พบได้ตลอดปี เกิดจากเชื้อไวรัสหลายชนิด ปัจจุบันยังไม่มียากินที่จะทำลายเชื้อไวรัสกลุ่มนี้ได้

อาการ

อาจมีไข้ต่ำ หรือสูงก็ได้ เจ็บคอ ไอแห้ง ๆ หรือมีเสมหะ แน่นจมูก น้ำมูกไหล อ่อนเพลีย ปวดเมื่อยตามแขนขา

อาการในเด็กหรือคนสูงอายุ อาจรุนแรงมากขึ้น โรคนี้จะหายได้เองภายใน 3-7 วัน ถ้าไม่มีโรคแทรกซ้อน

การติดต่อ

ติดต่อโดยการสัมผัสกับเสมหะ น้ำมูก น้ำลายที่ออกมาจากผู้ป่วย เนื่องจากใช้ของร่วมกันหรือสูดดมเอาเชื้อเข้าไปในทางเดินหายใจ ในสังคมที่อยู่กันแออัดหรืออยู่รวมกันหลาย ๆ คน โรคนี้จะแพร่กระจายได้ง่าย

การปฏิบัติขณะเป็นไข้หวัด

1) ไม่ต้องกินยาปฏิชีวนะ เพราะยังไม่มียาขนานใดที่ทำลายเชื้อไวรัสกลุ่มนี้ได้ ยาปฏิชีวนะกลับจะมีผลร้ายต่อผู้ป่วยเอง

2) การกินยาลดไข้ แก้ปวด ต้องกินหลังอาหาร และต้องระมัดระวังโดยเฉพาะผู้ป่วยเคยเป็นแผลในกระเพาะอาหาร หรือในเด็กที่ป่วยเป็นไข้เลือดออก การกินยาแอสไพริน อาจทำให้ตกเลือดในทางเดินอาหารได้

3) ให้นอนหลับพักผ่อนมาก ๆ

4) งดดื่มสุราและงดสูบบุหรี่

5) ควรอยู่ในที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก มีแสงแดดเข้าถึงพอควร

6) เวลาไอ จาม ควรปิดปาก ปิดจมูก ใช้กระดาษทิชชู ดูดซับหรือเช็ด เสมหะ น้ำมูก น้ำลาย—แล้วทิ้งในถังขยะที่ปิดมิดชิด—และล้างมือให้สะอาดทุกครั้ง

7) ไม่ควรใช้ของร่วมกับผู้อื่น

8) เมื่อเด็กป่วยเป็นไข้หวัด ควรให้พักรักษาตัวที่บ้าน เพื่อป้องกันการแพร่เชื้อให้กับเด็กอื่น ๆ ที่โรงเรียน

9) อย่าอยู่ในที่เย็นจัดหรือหนาว สวมเสื้อผ้าให้อบอุ่นพอสมควร

การป้องกัน

รักษาสุขภาพให้แข็งแรงอยู่เสมอโดยนอนหลับพักผ่อนให้เพียงพอ พยายามอยู่ห่างจากผู้ที่เป็นไข้หวัด ระวังการใช้ของร่วมกัน และอย่าให้มีอาการ ไอ จาม หรือหายใจรดหน้ากัน

3.7.4 โรคแพ้อากาศ

โรคแพ้อากาศเป็นคำที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง และเป็นที่รู้จักกันดีโดยทั่วไป ถึงแม้ว่าเป็นคำที่ใช้ได้ไม่ถูกต้องนัก แต่ก็ยังไม่มีใครสามารถหาคำที่เข้าใจง่าย มาใช้แทนคำว่าแพ้อากาศได้เลย โรคนี้อาจแบ่งเป็น 2 ประเภทตามสาเหตุ คือ

1) โรคที่เกิดจากการแพ้สารบางอย่างในอากาศ โดยที่เราไม่สามารถมองเห็นสารเหล่านั้นได้ เช่น เชื้อรา ฝุ่นละออง เกสรดอกไม้ เป็นต้น

2) โรคที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงความชื้นหรืออุณหภูมิของอากาศโดยตรง

โรคแพ้อากาศในที่นี้จะกล่าวเฉพาะที่เกิดขึ้นกับจมูก และโพรงของจมูกเท่านั้น ไม่รวมถึงโรคหืดซึ่งเกิดจากการแพ้ได้เช่นเดียวกัน

อาการ

ผู้ป่วยมักมีอาการตลอดปี ความรุนแรงของอาการจะไม่เท่ากันทุกคน บางคนมีอาการมาก บางคนมีอาการน้อย สังเกตได้ง่าย เช่น เป็นหวัดตลอดปี โดยมีน้ำมูกใส ๆ ไหลจากจมูกและมักจะเป็นตอนเช้า ตอนเย็น หรือเมื่ออยู่ในที่มีอากาศเย็น เช่นห้องปรับอากาศ หรืออาจมีอาการแน่นจมูกข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างร่วมด้วย คนที่จาม 2-3 ครั้งติดกันและบ่อย ๆ โดยมีอาการคันจมูก คันตา น้ำมูกไหลและอาการหายไปในครึ่งชั่วโมง ถือว่าเป็นลักษณะจำเพาะของผู้ป่วยโรคแพ้อากาศ นอกจากนั้นอาจพบอาการอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงประการเดียวก็ได้ เช่น มีเสมหะตลอดเวลา เจ็บคอบ่อย ๆ แต่เจ็บไม่มาก คันจมูกอยู่เรื่อย ๆ

ข้อแนะนำ

ไม่ควรซื้อยากินเอง เพราะยาแก้หวัดในท้องตลาดส่วนมากมีส่วนผสมของยาลดไข้ แก้ปวด ยากระตุ้นหัวใจ และอาจมียาบางอย่างผสมอยู่ด้วย การกินยาเหล่านี้นาน ๆ จะมีผลเสียต่อร่างกาย เช่น ยาแก้หวัดพวกแอสไพริน หรือ ประเภทไดไพริน สามารถทำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหาร และเกิดความผิดปกติกับเม็ดเลือดขาวได้

การรักษา

การรักษาให้หายขาดนั้นทำได้ยาก ผู้ป่วยต้องพกยาติดตัวเสมอ และรับประทานติดต่อกันเป็นปี ๆ โดยแพทย์จะนัดมาดูอาการและจ่ายยาให้รับประทานเป็นระยะ ๆ แม้ว่าโรคนี้จะหายขาดได้ยาก แต่ถ้ามาพบแพทย์ตามนัดและปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์แล้ว คนไข้จะสบายดี ไม่มีอาการที่น่ารำคาญอีกต่อไป

3.7.5 โรคเนื้องอก

เนื้องอกคือก้อน ตุ่ม ไต ที่ปรากฏนี้อย่างผิดปกติภายใน หรือบริเวณผิวหนังของร่างกาย โดยอยู่เหนือการควบคุมและไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) เนื้องอกชนิดธรรมดา พวกนี้จะเจริญเติบโตช้า เป็นอยู่เฉพาะที่ ไม่แพร่กระจายไปยังส่วนอื่นของร่างกาย เมื่อนำออกไปแล้วมักไม่เป็นอีก เช่น ก้อนซิสต์ (Cyst) ก้อนไขมัน (Lipoma) เนื้องอกของมดลูก (Myoma) เนื้องอกในจมูก เนื้องอกของรังไข่ เป็นต้น เนื้องอกชนิดนี้อาจทำให้เกิดผลร้ายต่อร่างกายได้ในกรณีต่อไปนี้ คือ

- เกิดที่อวัยวะที่มีเนื้อที่จำกัด ทำให้เกิดการกดดันต่อเนื้อเยื่อปกติเป็นอย่างมาก เช่น เนื้อเยื่อในสมอง
- เกิดความผิดปกติแทรกซ้อน เช่น ก้อนเนื้องอกของรังไข่ชนิดมีก้านเกิดการบิดตัวทำให้เจ็บปวด การเน่าตายของก้อนเนื้องอก มีเลือดออกหรือมีการติดเชื้อเกิดขึ้น
- เกิดที่อวัยวะสร้างฮอร์โมน เช่น ที่ต่อมใต้สมอง ทำให้มีการสร้างฮอร์โมนกระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกายมากขึ้นจนกลายเป็นคนยักษ์
- เนื้องอกชนิดธรรมดาบางอย่างอาจกลายเป็นมะเร็งได้ เช่น ไฝปาน เป็นต้น

2) เนื้องอกชนิดร้าย โดยทั่วไปเรียกว่า "มะเร็ง" (Cancer) เนื้องอกนี้จะเจริญเติบโตเร็ว ทำให้เป็นก้อนหรือแผล มะเร็งขนาดใหญ่อาจจะอยู่เป็นก้อน เช่น

มะเร็งของเต้านม มะเร็งปอด หรือกระจายไปทั่วระบบ เช่น มะเร็งเม็ดเลือดขาวที่กระจายไปทั่วระบบการไหลเวียนของเลือด เซลล์มะเร็งสามารถแพร่กระจายไปทั่วร่างกายเกิดเป็นมะเร็งก้อนใหม่ที่อวัยวะอื่น ๆ ได้

การเกิดมะเร็ง

ปัจจุบันเชื่อว่า เซลล์ที่จะกลายเป็นเซลล์มะเร็งต้องมียีน (Gene) ที่จะกลายเป็นมะเร็งอยู่ในเซลล์นั้น เรียกว่า ออองโคจีน (Oncogene) ปกติร่างกายจะสร้างกลไกกดออง-โคจีนไว้ แต่ถ้าได้รับสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) หรือเหตุอื่นซึ่งทำให้กลไกที่กดออองโคจีนเสียไป ก็จะทำให้เซลล์นั้นกลายเป็นเซลล์มะเร็งได้ ซึ่งจะแบ่งตัวอย่างไม่หยุดยั้ง โดยไม่ยอมอยู่ภายใต้การควบคุมของร่างกาย ปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดมะเร็งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. ปัจจัยภายในร่างกาย ได้แก่

- ระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย โดยปกติเซลล์มะเร็งสร้างแอนติเจนชนิดหนึ่งขึ้นมา และร่างกายจะสร้างสารต่อต้านขึ้นเพื่อทำลายเซลล์มะเร็ง ถ้าร่างกายไม่สามารถค้นพบแอนติเจนหรือพบแล้วแต่สร้างสารต่อต้านไม่ได้ ก็จะเกิดมะเร็งได้
- เชื้อชาติ ชนทุกชาติเป็นมะเร็งได้เหมือนกัน แต่มะเร็งบางชนิดจะพบมากเฉพาะบางเชื้อชาติ เช่น ชาวญี่ปุ่นเป็นมะเร็งกระเพาะอาหารมาก ชาวจีนเป็นมะเร็งโพรงหลังจมูกหรือมะเร็งหลอดอาหารมากเนื่องจากกินอาหารดื่มน้ำชาร้อน ๆ เป็นต้น
- เพศ มีความสัมพันธ์กับมะเร็งบางชนิด เช่น มะเร็งกล่องเสียง มะเร็งปอด มะเร็งตับ พบมากในผู้ชาย แต่มะเร็งช่องปาก มะเร็งผิวหนัง พบมากในผู้หญิง
- อายุ มะเร็งบางชนิด เช่น มะเร็งของลูกตา และมะเร็งของไต พบในเด็กเท่านั้น
- กรรมพันธุ์ มะเร็งของมดลูก มะเร็งเต้านม และมะเร็งลูกตาในเด็ก เป็นต้น มีโอกาสเป็นใน พี่ น้อง หรือ ลูกหลาน ของผู้ป่วยได้
- ความผิดปกติของร่างกาย เช่น ไฝ ปานดำ มีโอกาสกลายเป็นมะเร็งผิวหนังได้

ข. ปัจจัยภายนอกร่างกาย ได้แก่

สารกายภาพต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการระคายเคืองเรื้อรัง เช่น ฟันปลอม ฟันเก ทำให้เกิดมะเร็งเยื่อบุช่องปาก มะเร็งเหงือกและเพดานปาก ก้อนนิ่วทำให้เกิดมะเร็งกระเพาะปัสสาวะ การดื่มสุราโดยไม่ทำให้เจืออาจบ่อย ๆ ทำให้เกิดมะเร็งบริเวณช่าง

กล่องเสียง การกระทบกระแทก การฉีกขาดของปากมดลูกบ่อย ๆ ทำให้เกิดมะเร็งปากมดลูกได้ง่าย

- สารเคมี สารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็งเท่าที่ทราบมี ประมาณ 450 ชนิด เช่น สารพวกน้ำมันดิน ไฮโดรคาร์บอน บางส่วนของควันไอเสียรถยนต์ สารเคมีในหมากยาฉุน ควันบุหรี่ สีย้อมผ้า เช่น สีอะนีลีน สีอะโซ ซึ่งทำให้เกิดมะเร็งในกระเพาะปัสสาวะและมะเร็งทางเดินน้ำดีได้ สารหนูทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ง่าย อาหารที่เป็นเนื้อสัตว์หมักรมควัน หรือที่ใส่ดินประสิวและดีดีที จะทำให้เกิดมะเร็งตับและมะเร็งกระเพาะอาหารได้
- ฮอร์โมนเอสโตรเจน และโปรเจสเตอโรนมีความสัมพันธ์กับมะเร็งเต้านม และแอนโดรเจนมีความสัมพันธ์กับมะเร็ง ต่อมลูกหมาก
- ไวรัส มีไวรัสหลายชนิด ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง บางชนิดมีความสัมพันธ์กับมะเร็งปากมดลูก มะเร็งเม็ดเลือดขาวบางชนิด
- สารพิษ เช่น อะฟลาท็อกซินจากเชื้อราชื่อ แอสเพอร์จิลลัส ฟลาวัส (Aspergillus flaus) ทำให้เกิดมะเร็งตับได้โดยตรง
- พยาธิบางชนิด เช่น พยาธิใบไม้ในตับ มีความสัมพันธ์กับมะเร็งท่อน้ำดีในตับด้วย
- ภาวะขาดอาหาร โรคตับแข็งซึ่งเกิดจากการขาดอาหารโปรตีนจะกลายเป็นมะเร็งตับได้ง่าย

การแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง

- เติบโตแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อปกติโดยรอบ
- เซลล์มะเร็งหลุดจากก้อนมะเร็งเข้าไปในกระแสโลหิตแล้วไปเจริญในอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด ตับ กระดูก สมอง เป็นต้น
- หลุดเข้าไปในหลอดน้ำเหลือง แล้วไปเจริญในต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง ซึ่งอาจจะออกจากต่อมน้ำเหลืองเข้ากระแสโลหิตได้อีก
- เมื่อหลุดไปแล้วจะไปฝังตัวเจริญที่ส่วนอื่น ๆ ของร่างกายใกล้เคียงกัน เช่น ตามผิวเยื่อต่าง ๆ เช่น มะเร็งของรังไข่หลุดไปเกิดเป็นก้อนมะเร็งที่เยื่อบุช่องท้อง เป็นต้น

ระยะความรุนแรง

ด้านการรักษาแบ่งความรุนแรงของโรคตามลักษณะการลุกลามได้ ระยะ คือ

ระยะที่ 1 มะเร็งอยู่เฉพาะในบริเวณที่เริ่มเป็น
ระยะที่ 2 ลุกลามไปอยู่เฉพาะในเนื้อเยื่อข้างเคียง
ระยะที่ 3 ลุกลามไปถึงต่อมน้ำเหลืองใกล้เคียง
ระยะที่ 4 แพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่น

อาการ แบ่งเป็นกลุ่มได้แก่

1) อาการเฉพาะที่ แล้วแต่จะเป็นที่อวัยวะใด อาจเป็นก้อน ตุ่ม แผล ระยะแรกไม่เจ็บปวด ต่อมาเมื่อลุกลามไปถึงกระดูก หรือเส้นประสาทจึงจะปวดอย่างรุนแรง

2) การโตของต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง

3) อาการทั่วไป เช่น เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย ซูบซีด เป็นไข้เรื้อรัง

4) อาการจะขึ้นกับการกระจายของมะเร็งไปเกิดใหม่ที่อวัยวะใด เช่น ที่ปอด ทำให้เกิดการไอ หอบ น้ำท่วมปอด เป็นต้น

การป้องกันและรักษา

การป้องกันโดยการหลีกเลี่ยงปัจจัยที่สนับสนุนให้เกิดมะเร็ง

การรักษามะเร็งบางชนิดสามารถรักษาให้หายขาดได้ ถ้าผู้ป่วยมารับการรักษาในระยะเริ่มต้น ข้อแนะนำการสังเกตตัวเองว่าอาจจะเป็นมะเร็งในระยะเริ่มแรก ถ้ามีอาการดังนี้

- การเป็นแผลเรื้อรังเกิน 2 อาทิตย์ แล้วไม่หาย
- การมีตุ่ม ไต ก้อนแข็งใต้ผิวหนัง โดยเฉพาะเต้านม ช่องท้อง หรือมีต่อมน้ำเหลืองโตผิดปกติ โดยเฉพาะบริเวณคอ รักแร้ หรือ ขาหนีบ
- การไอเรื้อรัง หรือมีเสียงแหบแห้งอยู่นาน
- อาการผิดปกติเกี่ยวกับการกลืน การถ่ายอุจจาระ เช่น กลืนอาหารลำบาก ท้องอืด ท้องผูกสลับอุจจาระร่วง ถ่ายเป็นมูกเลือดนาน ๆ
- การขยายใหญ่ของหูด ปาน ไฝ อย่างผิดปกติ

- การมีน้ำเหลือง เลือดหรือสิ่งผิดปกติอื่น ๆ ออกมาจากทวารต่าง ๆ ของร่างกาย
- การผิดปกติของประจำเดือนในสตรี เช่น มีประจำเดือนกะปริดกะปรอย อย่างผิดปกติ

ถ้ามีอาการดังกล่าวข้างต้นนี้ ให้รีบไปปรึกษาแพทย์ทันที ถ้าเป็นมะเร็งในระยะเริ่มแรก โอกาสจะรักษาให้หายขาดได้ยิ่งมากขึ้น

บทที่ 4

ประโยชน์ของจุลินทรีย์

4.1 บทนำ

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก แต่มีอิทธิพลอย่างมากต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์ คนส่วนใหญ่รู้จักจุลินทรีย์ในนามของ เชื้อโรค เช่น เชื้ออหิวาห์ตกโรค เชื้อไวรัส โรคเอดส์ เชื้อวัณโรค เป็นต้น ในความเป็นจริงแล้ว ในระบบนิเวศธรรมชาติยังมีจุลินทรีย์อีกหลายชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดโทษหรือเกิดโรคแต่อย่างใด แต่กลับให้ประโยชน์แก่มวลมนุษย์อย่างมากมายทั้งทางตรงและทางอ้อม บางชนิดมนุษย์สามารถเพาะเลี้ยงเพื่อให้มีปริมาณมากและใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง บางชนิดให้ประโยชน์ทางการแพทย์ บางชนิดให้ประโยชน์ในด้านการแปรรูปอาหารที่รับประทานกันในชีวิตประจำวันก็มีอยู่จำนวนไม่น้อย แม้กระทั่งด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จุลินทรีย์ยังช่วยบำบัดน้ำเสียให้ดีขึ้นได้ จะเห็นว่าประโยชน์ของจุลินทรีย์มีมาก เนื้อหาในบทนี้ครอบคลุมถึงการใช้จุลินทรีย์ให้เกิดประโยชน์ด้านต่าง ๆ รวมทั้งกล่าวถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่ให้ประโยชน์เหล่านั้นด้วย

4.2 ความหมายและความสำคัญของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ (Microbe) หมายถึงสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้องใช้ กล้องจุลทรรศน์ ได้แก่ ไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ (อาจจัดสาหร่ายขนาดเล็กเป็นจุลินทรีย์ด้วย) จุลินทรีย์ทั้งหลายมีขนาด รูปร่าง ลักษณะ องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติด้านต่าง ๆ แตกต่างกันไป

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า จุลินทรีย์ทำให้เกิดโรคแก่คนและสัตว์ ทำให้อาหารบูดเน่า และทำลายสิ่งของเครื่องใช้บางอย่าง แท้จริงแล้ว จุลินทรีย์มีมากมายหลายชนิด บางชนิดทำให้เกิดโทษ มีหลายชนิดที่ให้ประโยชน์ต่อมนุษย์ ประโยชน์ที่ได้รับจากจุลินทรีย์มีหลายด้าน เช่น ด้านอุตสาหกรรม ด้านการผลิตอาหาร ด้านการแพทย์และสาธารณสุข ด้านการเกษตร ด้านการลดมลพิษ ด้านการผลิตพลังงานทดแทน เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์

ในระบบนิเวศอีกด้วย

อาหารและของใช้ต่าง ๆ ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจหลายประเภท เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งต้องอาศัยจุลินทรีย์ เช่น การผลิตยาปฏิชีวนะ การผลิตวัคซีน อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ได้แก่ สุรา เบียร์ ไวน์ นมเปรี้ยว การผลิตกรดอะมิโน ผงชูรส กรดอินทรีย์ วิตามิน เอนไซม์ และสารเคมีอื่น ๆ อีกที่พึ่งกระบวนการทางจุลชีววิทยา

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามคิดค้น ดัดแปลง ผสมผสานคุณสมบัติดีเด่นที่มีอยู่ในจีน (Gene) ของจุลินทรีย์ต่างเผ่าพันธุ์เข้าด้วยกัน ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่มีคุณภาพสูงอันจะมีประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมอย่างกว้างขวาง

4.3 การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์

ประโยชน์ของจุลินทรีย์มีหลายประการ พอจะแบ่งประโยชน์ที่สำคัญต่อมนุษย์ได้ 5 ด้าน ดังนี้

4.3.1 ด้านอุตสาหกรรม

ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้จุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตเพื่อเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบออกมาเป็นผลผลิตที่สามารถสนองความต้องการของสังคมได้ในจำนวนมาก ๆ เช่น อุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ อุตสาหกรรมการผลิตโปรตีน อุตสาหกรรมการผลิตเอนไซม์ การผลิตกรดเพื่ออุตสาหกรรม เป็นต้น

- <u>อุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์</u> เช่นการผลิตเบียร์ วิสกี้ ไวน์ ในกระบวนการผลิตอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์เป็นสำคัญ ถ้าใช้สารตั้งต้นเป็นแป้ง ก็อาศัยเอนไซม์จากรา เช่น <u>Rhizopus oryzae</u> <u>Aspergillus oryzae</u> และ <u>Amylomyces oryzae</u> (<u>Chlamydomucor oryzae</u>) ซึ่งให้เอนไซม์ อะไมเลส (Amylaze) ออกมาทำหน้าที่เปลี่ยนสารประเภทแป้งให้เป็นน้ำตาล จากนั้นจึงใช้ยีสต์ คือ <u>Saccharomyces cerevisiae</u> ทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ หรือใช้สารตั้งต้นที่มีน้ำตาลเพียงพอแล้ว เช่น การผลิตไวน์จากน้ำผลไม้ต่าง ๆ จะใช้ยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้เลย

- อุตสาหกรรมการผลิตโปรตีน เนื่องจากบางแห่งที่ประสบภาวะขาดแคลนอาหารโปรตีน โดยเฉพาะโปรตีนจากเนื้อสัตว์ หรือบางแห่งขาดโปรตีนที่ใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์ ซึ่งอาจจะมีราคาแพงเพราะต้นทุนการผลิตสูง จากปัญหาเหล่านี้นักวิทยาศาสตร์ จึงพยายามปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์ให้มีคุณภาพดีขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตโปรตีนในปริมาณมาก แต่เนื่องจากพืชและสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนเหล่านี้เจริญเติบโตช้า นักวิทยาศาสตร์จึงหันมาสนใจแหล่งโปรตีนชนิดใหม่ โดยคำนึงถึงคุณสมบัติที่ว่านอกจากให้โปรตีนจำนวนมากแล้ว ยังต้องเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วด้วย นั่นคือ การใช้โปรตีนจากเซลล์ของจุลินทรีย์มาทดแทน แต่เท่าที่เป็นอยู่ยังคงใช้โปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เรียกว่า ซิงเกิลเซลล์โปรตีน (Single cell protein : SCP) เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์หรือใช้เป็นอาหารเสริมในอาหารสัตว์เท่านั้น ยังไม่นิยมใช้เป็นอาหารของมนุษย์ได้โดยตรง และถ้าจะใช้เป็นอาหารได้ก็ต้องผ่านการทดสอบอย่างดีจนเชื่อแน่ว่าปราศจากสารที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกาย แต่ในอดีตพบว่าเยอรมันได้นำยีสต์มาเป็นอาหารเสริมโปรตีนให้กับทหารบริเวณแนวรบต่าง ๆ ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 และ 2

หลักในการผลิต SCP คือ ใช้วัตถุดิบที่มีราคาต่ำ เช่นของเสียบางชนิดจากโรงงาน เช่น กากแป้ง กากน้ำตาล น้ำผลไม้ ซึ่งของเหลือทิ้งเหล่านี้ยังคงมีสารอาหารพอเพียงสำหรับใช้เพาะเลี้ยงจุลินทรีย์บางชนิดได้ โดยนำเชื้อจุลินทรีย์ไปเพาะเลี้ยงในวัตถุดิบดังกล่าว เมื่อได้เซลล์ของจุลินทรีย์จำนวนมากแล้ว จึงทำให้เหลือแต่เซลล์จุลินทรีย์ล้วน ๆ ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูง รวมทั้งมีวิตามินปนด้วยแล้วนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป วิธีนี้ ได้ประโยชน์ในการลดปัญหามลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม และเป็นการนำทรัพยากรมาใช้อย่างคุ้มค่าอีกด้วย

จุลินทรีย์ที่นิยมนำมาผลิตโปรตีนมากที่สุด คือ ยีสต์ รองลงไปได้แก่ สาหร่าย และแบคทีเรีย เป็นต้น ยีสต์ ที่ใช้มีหลายชนิด แต่ที่นิยมมากคือ โทรูลอพซิส ยูทิลิส (Torulopsis utilis) เป็นยีสต์ที่เจริญได้รวดเร็วมากให้ผลผลิตสูง ใช้เนื้อที่ในการเพาะเลี้ยงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการผลิตโปรตีนจากพืช และสัตว์ เช่น ในพื้นที่ 1/4 เอเคอร์ (1 เอเคอร์เทียบเท่าประมาณ 4,000 ตารางเมตร) สามารถผลิตโปรตีนได้ประมาณปีละ 1,000 ตัน อาหารที่ใช้เลี้ยงยีสต์ทุก ๆ 100 ปอนด์ ได้ยีสต์แห้งเพิ่มขึ้นถึง 65 ปอนด์ ยีสต์ทุก ๆ 100 ปอนด์ ในอาหารสุกร ทำให้ได้เนื้อสุกรเพิ่มขึ้น 6 ปอนด์ วัตถุดิบที่ใช้เลี้ยงยีสต์ นอกเหนือจากที่กล่าวไว้แล้ว ได้แก่ มันสำปะหลัง สารไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน เมทานอล เอทานอล กรดแอซีติก เซลลูโลส เอ็น-พาราฟิน สารเหลือใช้ เช่น น้ำมะพร้าว น้ำสับปะรด ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เลี้ยงยีสต์ชนิด Saccharomyces sp. Candida sp. และเชื้อราชนิด Fusarium sp. Phizhpus sp. Mucor sp. เป็นต้น สำหรับกากน้ำตาลนั้นเหมาะสำหรับใช้

เลี้ยงแบคทีเรีย

จุลินทรีย์ชนิดอื่นนอกเหนือที่กล่าวมาและใช้ในการผลิตโปรตีนได้ เช่น
ยีสต์ ได้แก่

Candida utilis
Saccharomyces cerevisiae
Candida tropicalis
Candida lipolytica
Hansenula anomala
Endomycopsis sp.
Debaryomyces sp.

เชื้อราได้แก่

Fusarium sp.
Aspergillus niger
Aspergillus oryzae

แบคทีเรีย ได้แก่

Acinetobacter sp.
Bacillus megatcium
Aerobacter serogenes
Corynebacterium manihot

สาหร่ายบางชนิด เช่น สาหร่ายเกลียวทอง สามารถเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง และใช้เป็นอาหารเลี้ยงกุ้งได้

- การผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถสร้างเอนไซม์ที่มีประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น

เอนไซม์อะไมเลส (Amylaze) ได้จาก Aspergillus sp. Bacillus subtilis เอนไซม์ชนิดนี้ใช้ในการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลในอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ ขนมปัง การย่อยแป้ง ยาช่วยย่อยอาหาร การซักรีด อุตสาหกรรมเส้นใย และสิ่งทอ

เอนไซม์อินเวอร์เทส (Invertase) ได้จาก Saccharomyces cerevisiae เอนไซม์ชนิดนี้ใช้ในการผลิตน้ำผึ้งเทียม และใช้ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลในการผลิตนมเนย

เอนไซม์ แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (Alcohol dehydrogenase) ได้จาก Rhizopus oryzae เอนไซม์ชนิดนี้ใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์

เอนไซม์แลกเตส (Lactase) ได้จาก Saccharomyces fragillis เอนไซม์ชนิดนี้ใช้ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลแลกโตส (Lactose) ในอาหารแช่แข็ง

เอนไซม์ไลเปส (Lipase) ได้จาก Aspergillus niger ใช้ในการสร้างกลิ่น รส ในการผลิตเนย

เอนไซม์เปกติเนส (Pegtinase) ได้จาก Aspergillus niger ช่วยทำให้ไวน์และน้ำผลไม้ใส

เอนไซม์เพนนิซิลินเนส (Penicillinase) ได้จาก Bacillus subtilis ใช้เป็นสารที่ใช้วินิจฉัยโรค

เอนไซม์โปรตีส (Protease) จาก Aspergillus oryzae และ Bacillus subtilis ใช้ในการกำจัดเชื้อในเบียร์ ช่วยย่อยเนื้อ และใช้เป็นยาช่วยย่อยอาหาร

- การผลิตกรดเพื่ออุตสาหกรรม มีกรดหลายชนิดที่มีความสำคัญต่อมนุษย์ และสามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์ เช่น กรดอะมิโนต่าง ๆ ที่ใช้เป็นอาหารเสริมของคนและสัตว์ กรดอิตาโคนิก (Itaconic) ผลิตจาก Aspergillus terreus ใช้ในการเคลือบกระดาษ โดยผสมกับ อะครีลิกเรซิน (Acrylic resin) 5 % ทำให้ตัวอักษรติดชัดเจนขึ้น ใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในพลาสติกประมาณ 20 %

4.3.2 ด้านการผลิตอาหาร

การผลิตอาหารบางประเภทต้องอาศัยจุลินทรีย์ ช่วยในการแปรรูปหรือทำให้เกิดรสชาดที่แปลกออกไปหรือมีรสอร่อยชวนรับประทาน รวมทั้งสามารถเก็บถนอมอาหารไว้รับประทานเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ ได้

- การผลิตอาหารเบเกอรี่ เช่น ขนมปัง เค็ก ซึ่งต้องอาศัย ยีสต์ ช่วยในการทำให้ขนมฟูขึ้น กล่าวคือเมื่อเกิดปฏิกิริยาการหมัก ยีสต์จะผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออก

มาทำให้เกิดฟองอากาศอยู่ในเนื้อขนม ทำให้ขนมฟูขึ้นด้วยฟองแก๊สดังกล่าว

- ผลิตภัณฑ์นมเนย เช่น การผลิตเนย นมเปรี้ยว ต้องอาศัยจุลินทรีย์ ช่วยทำให้เกิดกรด เพื่อให้กลิ่นและรสดีขึ้น เช่น Streptococus lactis ทำให้เกิดกรดแลกติก Perlicillum roqueforti และ P. camembert ใช้ในการบ่มเนย รา Mucer rasmussen ให้เอนไซม์ที่ย่อยหางนม (Skim milk) ได้ แบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ที่ให้กรด กลิ่น และรส ในผลิตภัณฑ์นมชนิดต่าง ๆ ได้เช่น Lactobacillus bulgaricus L. lactis L. acidophilus และ Streptococus thermopils ใช้ในการผลิต สวิสชีส (Swiss cheese) บัตเตอร์มิลค์ (Butter milk) นมเปรี้ยว (Yoghurt) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่รู้จักกันดีในเมืองไทยคือ ยาคูลท์ ใช้จุลินทรีย์ Lactobacillus bulgaricus ในกระบวนการผลิต

- ผลิตภัณฑ์อาหารหมัก ได้แก่ เต้าเจี้ยว เต้าหู้ ซีอิ้ว น้ำปลา น้ำส้ม ได้จากการหมักวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ กับจุลินทรีย์บางชนิด ทำให้ได้ผลผลิตที่มีรสและกลิ่นน่ารับประทาน เช่น ในการผลิตซีอิ้ว ใช้รา Aspergillus oryzae Aspergillus soyael และใช้ยีสต์ Saccharomyces rouxii ในการหมักข้าวจ้าว ข้าวเหนียว และถั่วเหลือง การผลิตเต้าเจี้ยว ใช้ Aspergillus oryzae และ Aspergillus niger หมักกับถั่วเหลือง การผลิตเต้าหู้ ใช้ Actinomucor elegans หมักกับถั่วเหลือง การผลิตน้ำส้ม ใช้แบคทีเรีย Acetobacter aceti ในการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดน้ำส้ม

- อาหารหมักพื้นบ้าน เช่น แหนม ปลาส้ม ผักดอง อาศัยเชื้อแบคทีเรียจากธรรมชาติ ซึ่งทำปฏิกิริยากับวัตถุดิบแล้วได้กรด จึงทำให้อาหารมีรสเปรี้ยว และเก็บไว้ได้นาน แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ผลิตกรดแลกติก (Lactic acid bacteria) ได้แก่ Lactobacillus plantarum L. brevis Pediococcus cerevisiae Leudono stoc sp. Streptococcus sp. สำหรับการผลิตข้าวหมาก อาศัยเชื้อผสม ซึ่งประกอบด้วยเชื้อรา Rhizopus oryzae Aspergillus oryzae Chlamydomucor oryzae และยีสต์ในการหมัก นอกจากนั้นเชื้อผสมนี้ยังอยู่ในรูปลูกแป้งเหล้าเพื่อใช้ผลิตกระแช่ สาโท เป็นต้น

จุลินทรีย์ที่ใช้ประกอบอาหารโดยตรง ได้แก่ สาหร่าย เช่น สาหร่ายสีแดงซึ่งรู้จักกันโดยทั่วไปว่า "จีฉ่าย" ชาวจีน ญี่ปุ่น มาเลเซีย และไทย นิยมนำมาทำแกงจืด ชาวไทยภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้นำสาหร่ายสีเขียว (Spirogyra) หรือที่เรียกว่า

"เทาน้ำ" มาประกอบอาหารมาเป็นเวลาช้านานแล้ว เรียกอาหารชนิดนี้ว่า "ยำเทา" หรือ "ยำเตา"

4.3.3 ด้านการแพทย์และสาธารณสุข

มีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถผลิตสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตหรือฆ่าจุลินทรีย์บางชนิดได้ สารดังกล่าวคือยาปฏิชีวนะ (Antibiotics) ซึ่งนับว่ามีประโยชน์มาก เพราะสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้ ยาดังกล่าวมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น ยาเพนนิซิลิน (Penicillin) ได้จากรา Penicilium chrysogenum ยาสเตร็ปโตมัยซิน (Streptomycin) ได้จากเชื้อ Streptomyces griseus ยาแอกติโนมัยซิน (Actinomycin) ได้จากเชื้อ Actinomyces sp. เป็นต้น

นอกจากยาปฏิชีวนะแล้วจุลินทรีย์ยังมีส่วนทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อีก เช่น วัคซีนป้องกันโรคที่เกิดจากไวรัส ฮอร์โมนอินซูลิน ฮอร์โมนช่วยในการเจริญเติบโต น้ำตาลจากข้าวโพดที่ปราศจากสารที่ทำให้เกิดโรคเบาหวาน วิตามินบีที่ได้จากยีสต์ เป็นต้น

จุลินทรีย์บางชนิดสามารถทำลายลูกน้ำของยุงลายและยุงก้นปล่องได้ โดยเข้าไปเกาะกระเพาะอาหารของลูกน้ำก่อนเป็นตัวยุง และปล่อยสารพิษออกมาทำลายชีวิตลูกน้ำนั้น

4.3.4 ด้านการเกษตร

จุลินทรีย์นับว่ามีประโยชน์ต่อการเกษตรเป็นอย่างมาก นับตั้งแต่ แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาเปลี่ยนเป็นเกลือไนเตรต แล้วพืชสามารถนำไปใช้สร้างโปรตีนได้ เช่น แบคทีเรียในปมรากถั่ว ได้แก่ Rhizobium sp. Nitrosomonas sp. ปัจจุบันมีการผลิตเชื้อ Rhizobium sp. สำเร็จรูปจำหน่ายให้เกษตรกรเพื่อนำไปปรับปรุงดิน หรือคลุกกับเมล็ดพืชก่อนปลูก เป็นการช่วยให้พืชเจริญเติบโตดีและเพิ่มผลผลิต แบคทีเรียที่ช่วยเพิ่มธาตุอาหารบางชนิดที่สำคัญต่อพืชลงในดินได้แก่ Clostridium sp. ช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจนในดิน Cellulomonas sp. ช่วยเพิ่มธาตุคาร์บอนในดิน และ Thiobacillus thiooxidan ช่วยเพิ่มธาตุกำมะถันในดิน

จุลินทรีย์บางชนิดช่วยย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรให้ผุพังเร็วขึ้นนับเป็นการลดระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยหมักให้สั้นลง

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาพบว่าในรากพืช เช่น ต้นสนและพืชเศรษฐกิจบางชนิดมีเชื้อรา ประเภท Mycorhiza ที่เจริญเติบโตร่วมกันอยู่ในราก ซึ่งมีผลดีหลายประการต่อพืชนั้น เช่น ช่วยทำให้การลำเลียงน้ำและอาหารจากดินไปสู่ลำต้นดีขึ้น ช่วยป้องกันการรบกวนหรืออันตราย จากจุลินทรีย์ หรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

มนุษย์สามารถใช้จุลินทรีย์บางชนิดกำจัดสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นที่เป็นศัตรูพืชได้ เช่น ใช้ Bacillus thuringensis ทำลายแมลงที่รบกวนไม้ผล และไม้ป่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้ อินเสกไวรัส (Insec virus) ควบคุมแมลงที่กัดกินต้นฝ้าย (Cotton bollworm) และตัว หนอนที่กัดกินใบยาสูบ (Tobacco bud worm) เป็นต้น

4.3.5 ด้านการลดมลพิษ

จุลินทรีย์มีบทบาทต่อการลดมลพิษ กล่าวคือ ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย จากชุมชน อาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล ฯลฯ บางระบบ ต้อง อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์หรือสารประกอบอนินทรีย์ ที่มีพิษให้กลายเป็น สารไม่มีพิษ และช่วยลดค่า บีโอดี (BOD: Biochemical oxygen demand) ในน้ำลงด้วย เช่น ในระบบเลี้ยงตะกอน (Activated sludge process) ส่วนใหญ่ใช้แบคทีเรียที่สร้าง อาหารเองไม่ได้ (Heterotrophic bacteria) ได้แก่ Sphaerotilus natans Pseudomonas sp. Nitrosomonas sp. Achromobacter sp. Flavobacterium sp. Coliform sp. อาจใช้เชื้อรา เช่น Cladosporium sp. Cephalosporium sp. Pericillium sp. Trichosporon sp. Geotrichum sp.

4.3.6 ด้านการผลิตพลังงานทดแทน

การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายชีวมวล หรือสารอินทรีย์ที่ได้จากพืชหรือสัตว์ เช่น เศษพืช หญ้าแห้ง มูลสัตว์ เพื่อผลิตเป็น แก๊สชีวภาพ (Biogas) และนำไปเผาไหม้ เป็นเชื้อเพลิง ให้พลังงานความร้อนทดแทนพลังงานจากน้ำมัน หรือแก๊สธรรมชาติได้ จุลินทรีย์ที่ ใช้ในการหมัก เป็นชนิดที่อาศัยอยู่ในกระเพาะของสัตว์ ในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพนั้น ก่อน ที่จะได้แก๊สหลักหรือแก๊สมีเทน ต้องอาศัยแบคทีเรีย 3 ประเภท คือ

- แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็กลง (ตาราง 5.2)
- แบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์หรือแอลกอฮอล์ในบ่อหมักแก๊สชีวภาพ (ตาราง 5.3)

- แบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนในบ่อหมักแก๊สชีวภาพ (ตาราง 5.4, 5.5)

สำหรับรายละเอียดของกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพโปรดดูในบทที่ 5 เรื่องการผลิตแก๊สชีวภาพ

บทที่ 5

พลังงานจากชีวมวล

5.1 บทนำ

สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในชีวภาคนั้นรวมเรียกว่า ชีวมวล ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ต่าง ๆ พืชเป็นชีวมวลที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ มาก เนื่องจากพืชสามารถผลิตอาหารเองได้ โดยตรึงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ และพลังงานจะเปลี่ยนรูปหมุนเวียนกันอยู่ในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมบนโลกในรูปของสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของพืชและสัตว์ มนุษย์ทุกคนเกิดมาต้องอาศัยพลังงาน และเมื่อความต้องการพลังงานของมนุษย์เพิ่มมากขึ้น ทำให้แหล่งพลังงานที่ไม่สามารถเกิดทดแทนได้ เช่น ปิโตรเลียม ถ่านหิน หินน้ำมัน นับวันจะร่อยหรอลงไปทุกขณะ เป็นเหตุผลักดันให้มนุษย์พยายามคิดค้นวิธีการนำพลังงานรูปอื่นขึ้นมาใช้แทน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานจากลม เป็นต้น พลังงานที่น่าสนใจและหาได้ไม่ยากนัก เป็นพลังงานที่มนุษย์พึ่งพาจากระบบนิเวศ ซึ่งอาศัยสิ่งมีชีวิตที่อยู่รอบตัว เช่น พืชหรือสัตว์มาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยผ่านกระบวนการทางเคมี หรือทางชีว-เคมีที่มีจุลินทรีย์เป็นตัวช่วย ทำให้ได้พลังงานและสารที่ให้พลังงาน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ สนองความต้องการของมนุษย์ได้ เรียกว่าพลังงานจากชีวมวล ดังจะกล่าวรายละเอียดที่สำคัญในหัวข้อความหมาย ความสำคัญและแหล่งกำเนิด กระบวนการผลิตไปตามลำดับ

5.2 ความหมาย ความสำคัญ และแหล่งกำเนิดของพลังงานจากชีวมวล

5.2.1 ความหมายของพลังงานจากชีวมวล

ชีวมวล หรือมวลชีวภาพ(Biomass) หมายถึงสิ่งที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตหรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต หรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ ชีวมวลนับว่าจำเป็นต่อมนุษย์มาก เพราะสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเช่น ข้าว อ้อย ผัก ผลไม้ ใช้เป็นยารักษาโรคได้แก่ สมุนไพร ใช้ปลูกสร้างที่อยู่อาศัย ได้แก่ ไม้ ใช้เป็นเครื่องนุ่งห่ม เช่น ฝ้าย ปาน ไหม และยังใช้เป็นพลังงานอีกด้วย ได้แก่ พลังงานจากชีวมวล

พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงความร้อนทางเคมี หรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยอาศัยจุลินทรีย์

5.2.2 ความสำคัญของพลังงานจากชีวมวล

จากปัญหาความร่อยหรอของทรัพยากรประเภทใช้แล้วหมดไป (Nonrenewable resources) เช่น น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ และถ่านหิน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้กันมากที่สุดของพลังงานทั้งหมด ประกอบกับการเกิดวิกฤตการณ์พลังงานทำให้มนุษย์พยายามหาทางประหยัดการใช้พลังงาน และพัฒนาพลังงานรูปอื่นขึ้นมาทดแทน โดยเฉพาะประเภทที่ไม่มีวันหมดสิ้นไปหรือเรียกว่าพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากแหล่งน้ำ พลังงานลม และ พลังงานจากชีวมวล เป็นต้น

ชีวมวลสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้หลายรูปแบบ เช่น นำไม้มาทำฟืนหรือเผาถ่าน นำมาผลิตแก๊สชีวมวลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ นำมูลสัตว์มาหมัก หรือ ย่อยสลายโดยอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดจากจุลินทรีย์เปลี่ยนให้เป็นแก๊สชีวภาพ ใช้ในการหุงต้ม เดินเครื่องยนต์ หรือผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานชีวมวลเป็นพลังงานที่หาได้ในประเทศ โดยเฉพาะประเทศเกษตรกรรม หรือประเทศที่กำลังพัฒนา ในเขตชนบทที่ประชาชนมีรายได้น้อย ไม่มีกำลังซื้อน้ำมัน หรือไฟฟ้า พลังงานส่วนใหญ่จึงหามาได้โดยไม่เสียเงิน เช่น ออกไปตัดไม้ในป่ามาทำฟืนหรือถ่าน ดังนั้นพลังงานชีวมวลจึงมีประโยชน์ในแง่การเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในท้องถิ่น นำมาใช้โดยไม่ต้องขนส่งเป็นระยะทางไกล และเหมาะอย่างยิ่งสำหรับประเทศที่มีแหล่งทรัพยากรอย่างอื่นน้อยแต่เป็นประเทศกสิกรรม เช่นประเทศไทย ทำให้ประหยัดเงินตราที่จะต้องซื้อพลังงานเข้าประเทศปีละมาก ๆ

อย่างไรก็ตามการนำชีวมวลมาผลิตพลังงานยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น บางชนิดใช้ได้ทั้งเป็นอาหารและพลังงาน ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง ถ้าจะนำมาใช้เป็นพลังงานต้องไม่ทำให้อาหารขาดแคลนโดยอาจใช้ส่วนที่เหลือหรือปลูกพืชเหล่านี้ให้มากขึ้น การนำไม้ในป่ามาเป็นเชื้อเพลิง หรือผลิตพลังงานย่อมทำให้ไม้หมดไป เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ จึงควรปลูกไม้โตเร็ว เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานโดยตรงเพื่อลดปัญหาการทำลายป่าลง

5.2.3 แหล่งกำเนิดของพลังงานจากชีวมวล

เป็นที่ทราบกันแล้วว่าชีวมวลได้มาจากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ พืชจัดว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยนำเอาคาร์บอนไดออกไซด์ และ

น้ำมาสร้างเป็นสารประกอบอินทรีย์ (แป้ง + น้ำตาล) และออกซิเจน มีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารประกอบอินทรีย์ที่สร้างขึ้น พืชจะใช้ในการดำรงชีวิตบางส่วน ที่เหลือจะเก็บสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ด เช่น มันสำปะหลังเก็บสะสมแป้งไว้ในราก อ้อยสะสมน้ำตาลไว้ในลำต้น เป็นต้น ดังนั้นถ้านำอินทรียสารที่พืชสะสมไว้มาทำให้แตกตัวออกก็จะได้พลังงานมาใช้ต่อไป แหล่งพลังงานที่ได้จากพืชที่สำคัญมีทั้งพืชบก และ พืชน้ำ มีดังนี้

- พืชบก ได้แก่ ไม้ยืนต้น มีทั้งไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน เช่น ไม้โกงกาง ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ยางพารา ไม้แสม พืชล้มลุก เช่น ฟางข้าว หญ้า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืช เช่น น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันเมล็ดละหุ่ง น้ำมันสน น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ เป็นต้น วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ขี้เลื่อย เศษไม้ ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือกและซังข้าวโพด เปลือกผลไม้ ชานอ้อย กากน้ำตาล น้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น

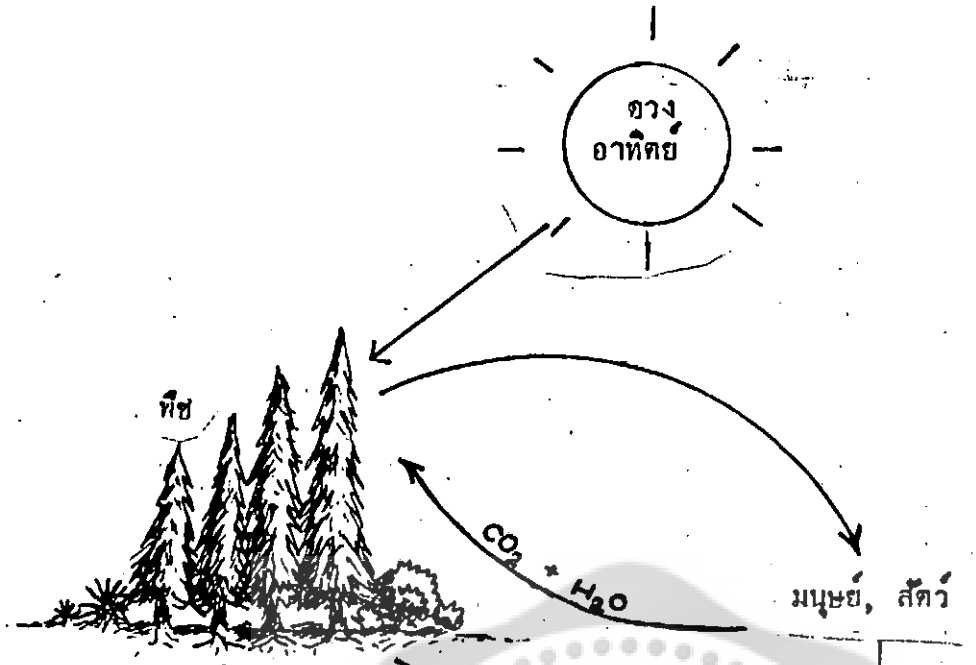
- พืชน้ำ ได้แก่ ผักตบชวา จอกแหน สับเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผสมกับมูลสัตว์ หมักทำแก๊สชีวภาพ

ส่วนการสร้างชีวมวลของสัตว์นั้น สัตว์มิได้สร้างขึ้นได้โดยตรง เพียงแต่สัตว์กินพืชเป็นอาหารและได้รับการถ่ายทอดพลังงานจากพืชไปตามข่ายใยอาหาร (Food web) สัตว์จะนำสารอินทรีย์จากพืชไปใช้ประโยชน์ ส่วนกากที่เหลือซึ่งสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ก็จะถูกขับถ่ายออกมาเป็นมูล ในการเผาผลาญอาหารของสัตว์นั้นมีการปลดปล่อย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมากับกระบวนการหายใจด้วยซึ่งพืชสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ หากสัตว์ตายลงก็จะเน่าเปื่อยผสมกับซากพืชและมูลสัตว์ กลายเป็นปุ๋ยให้พืชนำกลับไปใช้ได้อีก ดังวงจรของการสร้างชีวมวล (ภาพ 5.1) จะเห็นได้ว่าชีวมวลสามารถหมุนเวียนอยู่ได้ โดยไม่มีวันหมดไป ถ้าองค์ประกอบต่าง ๆ ในวงจรคงอยู่ จึงกล่าวได้ว่าพลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานหมุนเวียน

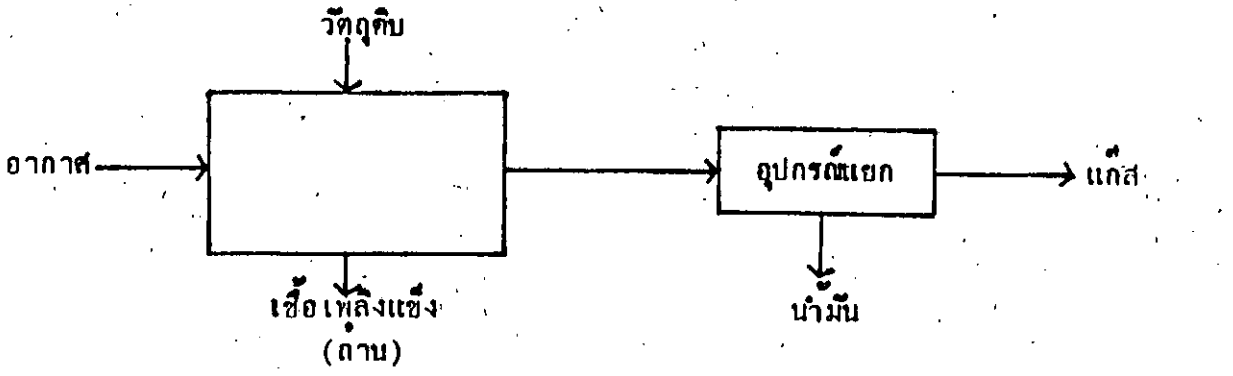
พลังงานชีวมวลที่มนุษย์ได้จากสัตว์ ได้แก่ มูลของสัตว์ชนิดต่าง ๆ เช่น โค กระบือ สุกร เป็ด และไก่ เป็นต้น ซึ่งอาจนำไปตากแห้งแล้วนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง หรือนำมูลสดไปหมักทำแก๊สชีวภาพก็ได้

5.3 การผลิตพลังงานจากชีวมวลที่สำคัญ

เราสามารถผลิตพลังงานจากชีวมวลได้หลายแบบขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณของชีวมวลและรูปของพลังงานที่ต้องใช้ กระบวนการเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงานมีอยู่ 2 แบบใหญ่ ๆ คือ กระบวนการใช้ความร้อน และกระบวนการทางชีวเคมี



ภาพ5.1วงจรการสร้างชีวมวล



ภาพ5.2กระบวนการไพโรไลซิส

5.3.1 กระบวนการใช้ความร้อน ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1) การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) ชีวมวลจะถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์โดยการรวมตัวกับออกซิเจน สารอินทรีย์ในชีวมวลเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และได้พลังงานความร้อนออกมาด้วย วิธีนี้ใช้กันมาตั้งแต่โบราณและยังใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะในชนบทโดยการใช้ไม้ฟืนในการหุงต้ม นอกจากนั้นยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบ่มใบยาสูบ การผลิตไม้อัด และกระดาษ เป็นต้น ไม้ฟืนอาจเป็นไม้จากป่าธรรมชาติหรือป่าที่ปลูกขึ้น หรือของเหลือทิ้งจากโรงเลื่อยหรือจากอุตสาหกรรมป่าไม้ แต่การใช้ไม้ป่าธรรมชาติก่อให้เกิดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการปลูกไม้โตเร็วเพื่อใช้เป็นพลังงานได้ในระยะเวลา 3-5 ปี เช่น กระถินยักษ์ กระถินณรงค์ สนทะเล ยูคาลิปตัส และสะเดานา เป็นต้น สำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา ไม้ฟืนนับว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ถูกที่สุด

2) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) ไพโรไลซิสเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปของชีวมวลโดยใช้ความร้อน โดยกระทำในที่ที่มีปริมาณออกซิเจนจำกัดและมีอุณหภูมิสูง สามารถเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบให้เป็นเชื้อเพลิงในรูปแก๊ส ของเหลว และของแข็ง ซึ่งเป็น กระบวนการทางเคมี ปฏิกิริยาของกระบวนการนี้เกิดขึ้นโดยความร้อนทำให้สารประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) สลายตัวไปอยู่ในสภาพของถ่านและน้ำมัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแล้วจะเกิดต่อเนื่องกันไปความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอาจได้จากการเผาวัตถุดิบส่วนหนึ่ง ปริมาณและคุณภาพของแก๊ส น้ำมัน และถ่านที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของเตา คุณสมบัติของวัตถุดิบ ความชื้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วถ้าให้อากาศเข้ามากจะทำให้อุณหภูมิของกระบวนการสูง สัดส่วนของแก๊สที่ได้จะสูง ถ้าอากาศเข้าน้อยอุณหภูมิของกระบวนการจะต่ำ ทำให้ได้น้ำมันและถ่านมากขึ้น ดังแสดงในภาพ 5.2

ตัวอย่างของกระบวนการไพโรไลซิสคือ การเผาไม้ 1 ตัน ได้ถ่านประมาณ 300-350 กิโลกรัม ขึ้นกับประสิทธิภาพของเตาเผาถ่านและวิธีการที่ใช้ นอกจากถ่านที่เป็นเชื้อเพลิงแข็งแล้วยังได้ผลิตภัณฑ์ในรูปอื่นคือ ของเหลวได้แก่ เมทานอล อะซีโตน และกรดน้ำส้ม ส่วนแก๊สได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน แม้ว่าทั้งของเหลวและแก๊สมีประโยชน์ที่จะนำมาใช้ แต่วิธีการเก็บยังยุ่งยากจึงมักจะถูกทิ้งไป

เตาเผาถ่านไม้ในประเทศไทยมีอยู่ 3 แบบ คือ

- เตาแบบกองสุม เป็นเตาเผาถ่านที่สร้างขึ้นง่ายที่สุด โดยตัดไม้เป็นท่อนแล้วนำมา

วางเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ สลับความยาวกัน เมื่อกองสูงประมาณ 1 เมตร นำกิ่งไม้มาสุมทับแล้วใช้ดินปิดด้านบนตรงกลางระดับพื้นทำช่องไว้สำหรับจุดไฟเผา

การเผาแบบนี้ได้ถ่านที่มีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีการสูญเสียเนื้อถ่านมาก ทั้งนี้เพราะการปิดดินด้วยวิธีนี้ อากาศเข้าไปถึงไม้ได้มาก ทำให้เกิดการลุกไหม้มากเกินควร

- เตาแบบหลุม ทำได้โดยขุดหลุมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดขึ้นกับปริมาณของไม้ที่จะเผา นำฟืนลงวางนอนเรียงตามความยาวของหลุม เมื่อเต็มแล้วนำเศษกิ่งไม้มาปิดทับด้านบน กลบด้วยดินที่ขุดขึ้นมาจนปิดทั่วปากหลุมแล้วจุดไฟเผาไม้ฟืนเชื้อ ทางช่องที่เตรียมไว้ด้านหน้าและก้นหลุม เมื่อไฟลุกทั่วเตาแล้วนำกิ่งไม้มาทับฟืนเชื้อแล้วกลบด้วยดินประมาณ 1 อาทิตย์ จึงรื้อดินที่ทับด้านบนออก นำถ่านในหลุมออกมาได้

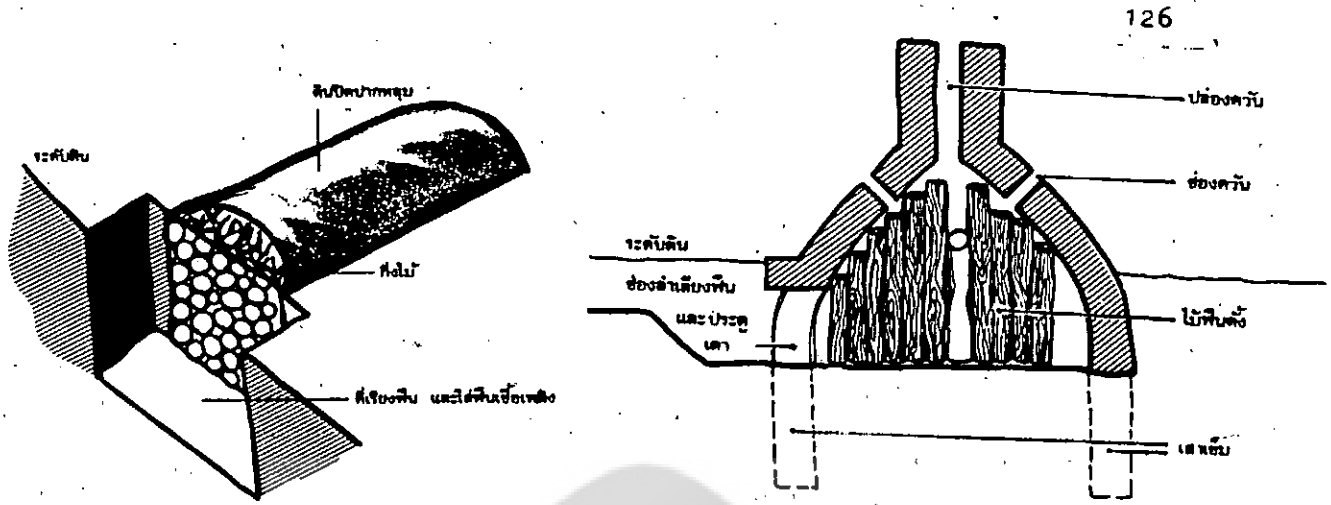
เตาเผาแบบนี้สูญเสียถ่านน้อยกว่าแบบแรก เพราะอากาศเข้าไปในหลุมได้น้อย แต่ถ้าการเรียงฟืนไม่ดีจะทำให้ไม้ถูกเผาเป็นถ่านไม่ทั่วถึง เพราะอากาศหมุนเวียนภายในหลุมได้ไม่สะดวก นอกจากนี้ต้องใช้ฟืนเชื้อด้านหน้าของหลุมค่อนข้างมาก

- เตาแบบก่ออิฐหรือเตาจอมปลวก ขุดดินเป็นหลุมกลม ลึกประมาณ 1 เมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ฐานประมาณ 2.5-3.0 เมตร ก่อเตาอิฐส่วนเหนือระดับพื้นดินเป็นรูปครึ่งวงกลม มีช่องควันสูงจากพื้นดินประมาณ 0.5 เมตร สี่ช่อง ยอดเตาทำช่องใส่ปล่องระบายควัน เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.1 เมตร ไม้ที่จะนำมาเผาถ่านให้ตัดเป็นท่อนยาวประมาณ 1 เมตร แล้วนำมาเรียงในแนวตั้งให้เต็มเตา จากนั้นก่ออิฐปิดหน้าเตาให้เหลือช่องสำหรับใส่ฟืนเชื้อที่ระดับฐานเตา เผาประมาณ 5 วัน จึงปิดช่องควันทั้งสี่ช่องและช่องฟืนเชื้อ หลังจากนั้นอีกประมาณ 5 วัน จึงเปิดเตานำถ่านออกมาได้

เตาแบบนี้สามารถเผาถ่านได้คุณภาพดีกว่าสองแบบแรก มีการสูญเสียเนื้อถ่านน้อยกว่า แต่ต้องลงทุนมากกว่า

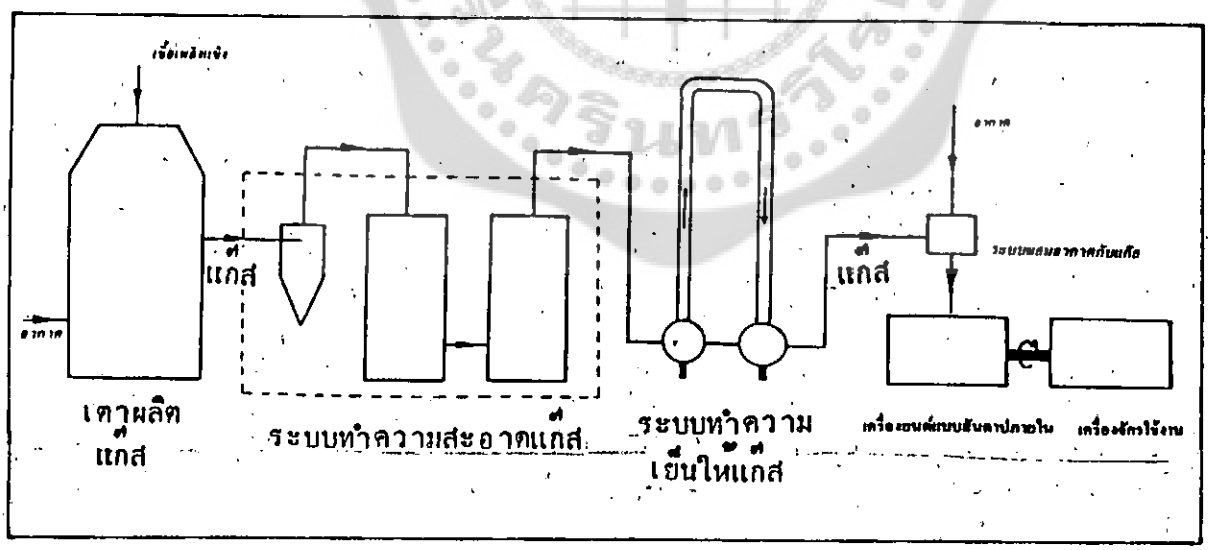
(โปรดดูภาพ 5.3 เตาแบบหลุมและเตาแบบก่ออิฐ)

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเตาเผาถ่านอาจใช้อิฐ ซีเมนต์ หรือโลหะ เช่นประเทศในทวีปแอฟริกาหลายประเทศใช้เตาที่สร้างด้วยเหล็กและยกไปใช้ตามที่ต่าง ๆ ได้ ข้อเสียของเตาประเภทนี้คือ มีราคาค่อนข้างแพง และอายุการใช้งานสั้น เนื่องจากเกิดการผุกร่อนง่าย



โครงสร้างเตาเผาถ่านแบบหลุม *โครงสร้างเตาแบบก่ออิฐหรือเตาจอมปลวก*

ภาพ 5.3 เตาแบบหลุม และเตาแบบก่ออิฐ
(สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย. 2531. หน้า 253,254.)



ภาพ 5.4 ระบบแก๊สซิฟิเคชัน
(ประกาศเกียรติคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นักสิทธ์ คูวัฒนาชัย. 2526. หน้า 293.)

ในประเทศที่กำลังพัฒนาจะนำผลผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสมาใช้เพียงแค่ถ่านเท่านั้น ถ่านที่มีคุณภาพดีต้องจุดไฟติดง่าย ไม่แตกง่าย และให้ความร้อนเป็นเวลานาน เช่น ถ่านไม้สน ไม้ยูคาลิปตัสติดไฟง่าย ส่วนถ่านไม้เนื้อแข็ง เช่น กระถินแรงค์ติดไฟอยู่ได้นาน ไม้ 1 ตัน เมื่อนำไปเผาถ่านจะให้ถ่านประมาณ 300 กิโลกรัม โดยมีการสูญเสียพลังงานไปประมาณ 2.6 ล้านกิโลแคลอรี แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นไม้ฟืนกับถ่าน ถ่านจะมีข้อได้เปรียบอยู่หลายอย่าง เช่น ถ่านให้ความร้อนสูงกว่าไม้มาก กล่าวคือถ่านและไม้อย่างละ 1 ตัน ให้ค่าความร้อนเท่ากับ 7.1 และ 4.7 ล้านกิโลแคลอรีตามลำดับ ทำให้การขนส่งถ่านไปใช้ยังที่ห่างไกลจากแหล่งผลิตดีกว่าการขนส่งไม้ นอกจากนี้การใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงไม่มีควันเป็นที่รบกวนผู้ใช้

3) แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) แก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเช่น ถ่าน ไม้ และแกลบ ไปเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสภาพแก๊ส เรียกว่า แก๊สชีวมวล (Producer gas)

ในการเผาถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสนั้น ถึงแม้จะมีแก๊สเกิดขึ้นด้วยก็ตาม แต่ปริมาณแก๊สที่ได้น้อยมาก การผลิตแก๊สชีวมวล ทำได้โดยการเผาชีวมวลในเตาที่มีปริมาณอากาศจำกัด และที่อุณหภูมิสูงกว่า 900 °ซ. จะได้แก๊สที่มีค่าความร้อนสูง เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือใช้ในกระบวนการให้ความร้อนต่างๆ ได้

การเกิดแก๊สชีวมวลในเตาผลิตแก๊ส (Gasifier) เป็นกระบวนการทางเคมี การสันดาป จะเกิดขึ้นระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนกับออกซิเจนในอากาศจะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ

ในบริเวณเผาไหม้ (Combustion zone) จะเกิดปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนดังนี้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad (1)$$

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O \qquad (2)$$

ถ้าให้คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำไหลผ่านถ่านที่กำลังลุกไหม้อยู่ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะทำปฏิกิริยาได้คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในบริเวณรีดักชัน (Reduction zone) ดังนี้

$$C + CO_2 \longrightarrow 2CO \quad (3)$$

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2 \quad (4)$$

(3) และ (4) เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน(Endothermic) ซึ่งทำให้อุณหภูมิในบริเวณรีดักชันลดลงขณะเกิดปฏิกิริยา

นอกจากปฏิกิริยา (3) และ (4) แล้ว ปฏิกิริยาดังต่อไปนี้อาจเกิดขึ้นได้ในบริเวณรีดักชัน

$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4 \quad (5)$$

$$CO + 3H_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O \quad (6)$$

$$C + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 2H_2 \quad (7)$$

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \quad (8)$$

ส่วนผสมของแก๊สชีวมวล

ส่วนผสมของแก๊สโดยทั่วไปแสดงไว้ในตาราง 5.1

ตาราง 5.1 ส่วนผสมของแก๊สชีวมวล

องค์ประกอบ	ส่วนผสมของแก๊สจากถ่าน (%)	ส่วนผสมของแก๊สจากไม้ (%)
CO_2	3.0	9.5 - 9.7
C_xH_y	0.1	0 - 0.3
O_2	1.3	0.64 - 1.4
CO	28.7	20.5 - 22.2
H_2	3.8	12.3 - 15.0
CH_4	0.2	2.4 - 3.4
N_2	62.9	50.0 - 53.8

ที่มา : Kjellstrom B. Producer Gas 1980. Local electricity generation from wood and aqricultural residues. FV-80-0035/01,IFS Publication refered in Coovattanachai N. Chongchareon W. and Kooptarnond C. 1981. p. 5.

แก๊สที่ลุกไหม้ได้ในแก๊สชีวมวลคือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน โดยมีค่าความร้อนประมาณ 4.11-5.55 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งตามหลักการควรทำให้มีแก๊สเหล่านี้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สนี้ขึ้นอยู่กับการที่คาร์อนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้มากแค่ไหน ขึ้นกับอุณหภูมิ ความเร็วระหว่างแก๊สกับถ่านและพื้นที่ที่แก๊สสัมผัสกับถ่าน ถ้าต้องการให้คาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมด (ได้ CO = 34.5%) อุณหภูมิในบริเวณรีดักชันจะต้องสูงเกิน 1,100 ° ซ.

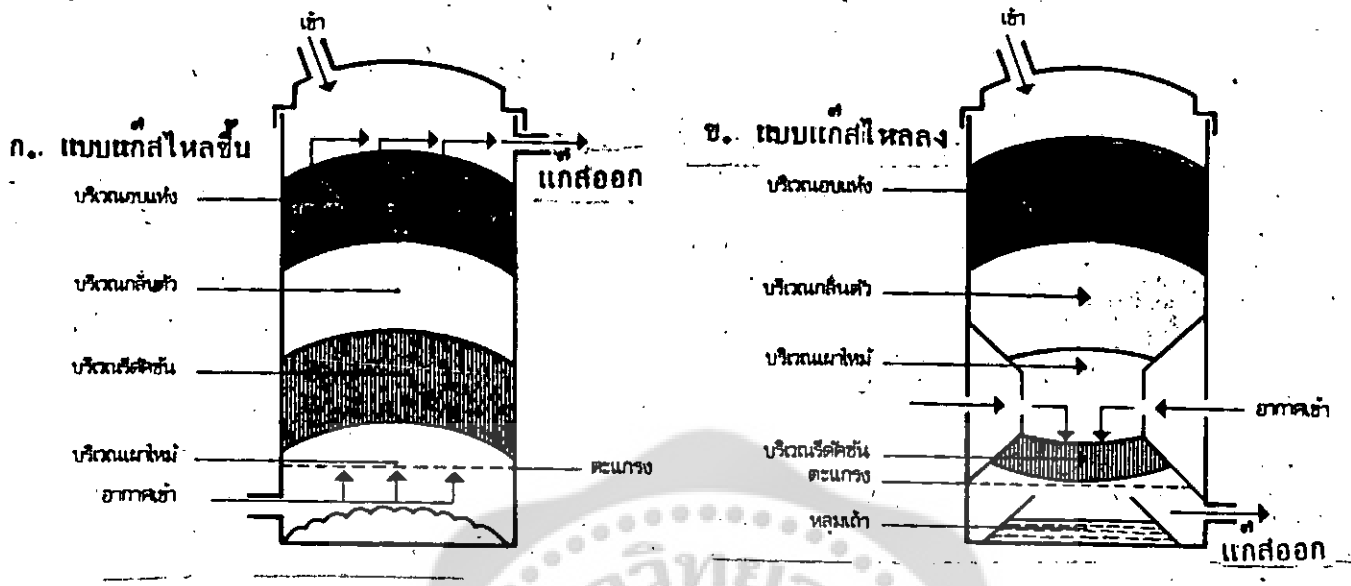
ถ้าเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นถ่าน ปฏิกิริยา (3) จะเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญเพียงปฏิกิริยาเดียว ซึ่งจะได้แก๊สส่วนใหญ่คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ แต่หากมีไอน้ำผสมอยู่ด้วย ก็จะมีไฮโดรเจนและมีเทนเกิดตามปฏิกิริยา (4), (5), (6), (7) และ (8) ปฏิกิริยา (4) มีความสำคัญมากเช่นกันเพราะทำให้ไฮโดรเจนในแก๊สมีมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้แก๊สมีค่าความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำการฉีดน้ำเข้าไปในเตาผลิตแก๊สเพื่อช่วยให้เกิดไฮโดรเจนมากขึ้น แต่ถ้าน้ำมีมากเกินไปไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนตามปฏิกิริยา (8) ซึ่งทำให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงได้

สำหรับเชื้อเพลิงสดเช่นไม้หรือชีวมวลอื่น ๆ ไม่จำเป็นต้องฉีดน้ำเพราะมีน้ำผสมมากพออยู่แล้ว

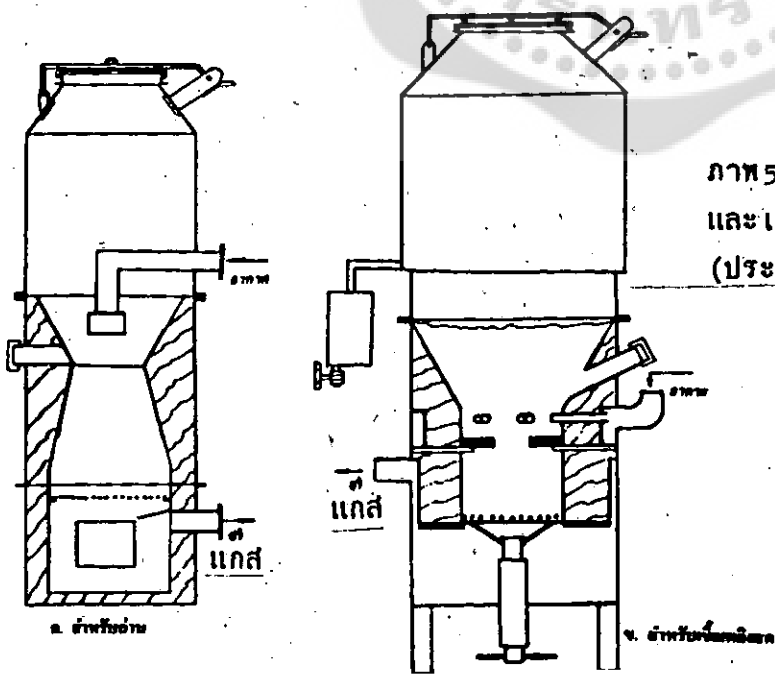
ระบบแก๊สชีวมวล ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ เตาผลิตแก๊ส ระบบทำความสะอาดแก๊สระบบทำความเย็นให้แก๊ส ระบบผสมอากาศกับแก๊ส เครื่องยนต์แบบสันดาปภายในและเครื่องจักรใช้งาน (ดังภาพ 5.4)

- เตาผลิตแก๊ส ทำหน้าที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้อยู่ในสภาพแก๊ส แบ่งออกเป็น 3 แบบ โดยอาศัยการแบ่งตามทิศทางแก๊สไหลผ่านเข้าไปในเตา ได้แก่ แบบแก๊สไหลขึ้น (Up-draught) แบบแก๊สไหลลง (Down-draught) และแบบครอสดรัฟท์ (Cross-draught) (ภาพ 5.5)

เตาประเภท Down-draught มีความเหมาะสมมากที่สุดในการผลิตแก๊ส เพื่อใช้ในเครื่องยนต์แบบสันดาปภายใน เพราะสามารถผลิตแก๊สได้สะอาดกว่าเตาแบบอื่น ๆ และยังเหมาะสำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นไม้ และชีวมวลที่ไม่ใช่ถ่านอื่น ๆ อีก



ภาพ 5.5 เตาแบบแก๊สไหลขึ้น และเตาแบบแก๊สไหลลง
(สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย. 2531. หน้า 255.)



ภาพ5.6 เตาผลิตแก๊สที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง
และเตาผลิตแก๊สที่ใช้กับเชื้อเพลิงสด
(ประกาศเกียรติคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์
ทร. นักสิทธ์ คูวัฒนาชัย.
2526. หน้า 294.)

เตาแบบ Up-draught ส่วนมากใช้ในการผลิตแก๊สเพื่อใช้ในกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่ต้องการแก๊สที่สะอาดเหมือนในกรณีรถยนต์ เตาแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาแบบอื่น และมีศักยภาพสูงมากในการที่จะเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงแข็งเป็นแก๊สเพื่อนำไปใช้

เตาแบบ Cross draught มีข้อดีหลายอย่างเมื่อใช้ในการผลิตพลังงานกลหรือพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือ ผลิตแก๊สได้อย่างรวดเร็วทำให้เดินเครื่องยนต์ได้ในเวลาเพียงประมาณ 5 นาที จึงเหมาะสมที่จะใช้ในรถยนต์ นอกจากนั้นยังใช้กับเชื้อเพลิงขนาดเล็กมากได้ด้วย ข้อเสียของเตาแบบนี้คือ ปลายท่อสำหรับอากาศเข้าเพื่อการเผาไหม้ (Nozzle) ชำรุดได้ง่าย และแก๊สที่ได้มีปริมาณฝุ่นและสิ่งสกปรกมากกว่าแก๊สที่ได้จากเตาแบบ Down draught เป็นที่นิยมใช้ในรถยนต์และรถแทรกเตอร์เพราะสามารถผลิตแก๊สได้เร็วกว่าเตาแบบอื่น

เตาผลิตแก๊สอาจสร้างขึ้นให้เหมาะกับวัตถุดิบที่จะใช้เช่น ภาพ 5.6 ก. เป็นเตาผลิตแก๊สที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง ภาพ 5.6 ข. เป็นเตาผลิตแก๊สที่ใช้กับเชื้อเพลิงสดเช่น ไม้ฟืน กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด เตาผลิต แก๊สที่ใช้กับเชื้อเพลิงสดมีลักษณะยุ่งยากกว่าเตาที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง เพราะต้องให้แก๊สไหลผ่านบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงมากพอที่จะเผายางให้สลายตัวไปหมดก่อนออกจากเตาไปสู่เครื่องยนต์

เชื้อเพลิงที่จะใช้ในการผลิตแก๊สชีวมวล

ในท้องที่ที่จะส่งเสริมให้มีการใช้เทคโนโลยีแก๊สชีวมวลควรมีวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สอยู่อย่างเพียงพอวัตถุดิบที่ใช้เช่น ถ่าน ไม้ฟืน กะลามะพร้าว ซังข้าวโพด แกลบ เป็นต้น ถ่านหรือไม้ฟืนที่ใส่ในเตาควรมีขนาดประมาณ 20-100 มิลลิเมตรเพื่อมิให้เล็กจนทำให้เกิดการสูญเสียความดันในเตามากหรือใหญ่จนแก๊สไหลเร็วเกินไป จนมีเวลาทำปฏิกิริยาน้อย

- <u>ระบบทำความสะอาดแก๊ส</u> โดยทั่วไปแก๊สจากเตาผลิตแก๊สจะมีผง (Particle) ขี้เถ้า (Fly ash) เขม่า (Soot) ไอน้ำ และยาง (Tars) ติดมาด้วย ก่อนที่จะใช้แก๊สในเครื่องยนต์จึงต้องลดปริมาณของสิ่งสกปรกเหล่านี้ลงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในกรณีที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊ส สิ่งสกปรกในแก๊สที่สำคัญจะมีอย่างเดียวคือ ผง ส่วนไอน้ำมีน้อยมากด้วย ดังนั้นระบบทำความสะอาดแก๊สอาจติดตั้งขั้นแบบง่าย ๆ ซึ่งประกอบด้วยหม้อกรองแบบหมุน และหม้อกรองแบบใช้ผ้าก็พอเพียงสำหรับเตาแบบ Down draught

เมื่อใช้เชื้อเพลิงสดในการผลิตแก๊ส นอกจากฝุ่น เขม่า ขี้เถ้า และไอน้ำเป็นจำนวนมากแล้ว ยางไม้อาจติดมากับแก๊สด้วย แม้ว่าจะกำจัดยางไม้ได้หมดก่อนที่แก๊สจะออกจากเตา แต่การกรองแก๊สจะยุ่งยากและซับซ้อนมาก เพราะปริมาณผง ขี้เถ้า เขม่า และไอน้ำในแก๊สมีมากกว่าในกรณีของแก๊สจากถ่านมาก นอกจากนี้ ฝุ่น และเขม่ามีขนาดเล็กมากทำให้กรองได้ยาก และเกิดปัญหาการควบแน่นของไอน้ำในหม้อกรอง

- ระบบทำความเย็นให้แก๊ส แก๊สเมื่อออกจากเตาจะมีอุณหภูมิสูงถึง 300-400° ซ. จึงควรทำให้เย็นลงเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของแก๊สก่อนเข้าเครื่องยนต์ ระบบทำความเย็นให้แก๊สเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนธรรมดาซึ่งอาจใช้อากาศ หรือน้ำเป็นตัวระบายความร้อน

- ระบบผสมอากาศกับแก๊ส แก๊สจะต้องผสมกับอากาศในสัดส่วนที่ถูกต้องจึงจะเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบให้ปรับสัดส่วนดังกล่าวได้

- เครื่องยนต์แบบสันดาปภายใน เครื่องยนต์แบบสันดาปภายในในที่นี้คือ เครื่องยนต์แก๊สโซลีน (เครื่องยนต์เบนซิน) ซึ่งสามารถใช้แก๊สชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงได้ 100% และเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งต้องใช้น้ำมันดีเซลผสมด้วยอย่างน้อยประมาณ 10%

- เครื่องจักรใช้งาน เครื่องจักรใช้งาน อาจเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำ และเครื่องสีข้าว หรือเครื่องจักรกลการเกษตรอื่น ๆ ก็ได้

5.3.2 กระบวนการทางชีวเคมี

กระบวนการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเป็นพลังงานโดยปฏิกิริยาชีวเคมี ซึ่งเป็นปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ (ชีวมวล) โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์มีเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลาย โดยเอนไซม์จะช่วยเร่งปฏิกิริยาทำให้สารอินทรีย์แตกตัวได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติ ไม่เหมือนกับกระบวนการใช้ความร้อน จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงาน ได้แก่ แบคทีเรีย และยีสต์

ในที่นี้จะกล่าวถึงพลังงานที่ได้จากกระบวนการทางชีวเคมี 2 ชนิด ได้แก่ การผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas) และการผลิตแอลกอฮอล์

1) การผลิตแก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ (Biogas) หมายถึง แก๊สที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic condition) ทำให้เกิดผลผลิตในรูปของแก๊สผสมประกอบด้วย แก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณ 54-70% แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 27-45% เป็นส่วนใหญ่ นอกนั้นเป็นแก๊สอื่น ๆ ที่เจือปนอยู่เล็กน้อย เช่น ไฮโดรเจน

(H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) ออกซิเจน(O_2) และไนโตรเจน(N_2) เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่คงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้นคุณสมบัติของแก๊สที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จึงขึ้นอยู่กับแก๊สมีเทน แก๊สชีวภาพจุดไฟติดในบรรยากาศที่อุณหภูมิและความดันปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร จะให้ความร้อนเทียบเท่าถ่านไม้ชั้นดี 0.74 กิโลกรัม แก๊สชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ ซึ่งมีผู้สังเกตพบมาเป็นเวลานานแล้ว จากคำบอกเล่าอยู่เสมอว่าบริเวณหนองน้ำ หรือที่ลุ่มชื้นแฉะที่มีการทับถมของต้นไม้ใบหญ้า มักจะมีฟองแก๊สปุดขึ้นมา ถ้าผู้คนที่เดินผ่านไปมาทิ้งก้นบุหรี่ หรือไม้ขีดไฟลงไปจะมีไฟลุกขึ้น ปรากฏการณ์ตามธรรมชาติเหล่านี้มนุษย์จึงได้ดัดแปลงมาใช้ประโยชน์ กล่าวคือแทนที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาในที่โล่ง ก็มีการสร้างถังหมักขึ้นเพื่อให้สามารถควบคุมสภาวะต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับที่จุลินทรีย์จะทำงานได้ และการทำถังปิดมิดชิดทำให้เก็บแก๊สที่เกิดขึ้นและนำไปใช้ได้

แก๊สมีเทนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญนั้นเป็นตัวการทำให้แก๊สชีวภาพ มีคุณค่าในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง มีเทนเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีรูปธรรมดาที่สุดในจำพวกไฮโดรคาร์บอนทั้งหลาย ละลายน้ำได้ยากมากไม่ว่องไวในสภาพไร้ออกซิเจน ดังนั้นจึงเป็นแก๊สที่ไม่มีพิษและแยกตัวออกจากสภาวะไร้ออกซิเจนในบ่อหมักได้ ติดไฟได้โดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จากการทดสอบพบว่า ถ้าส่วนผสมระหว่างมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าประมาณ 50 ต่อ 50 แก๊สผสมหรือแก๊สชีวภาพนี้จะติดไฟได้ แก๊สที่ได้จากการหมักมูลวัวจะมีส่วนผสมของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 65% ต่อ 35% ซึ่งในส่วนผสมนี้เมื่อนำมาติดไฟจะได้ค่าความร้อนประมาณ 5,800 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นถ้าสามารถเพิ่มปริมาณมีเทนในแก๊สชีวภาพในสูงขึ้นค่าความร้อนของแก๊สจะสูงขึ้นด้วย แก๊สผสมนี้สามารถนำไปใช้ได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกก่อน

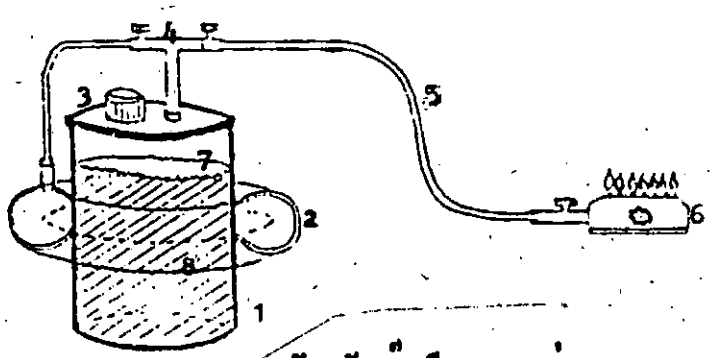
ชีวมวลที่นำมาผลิตแก๊สชีวภาพ นอกจากจะเป็นพวกมูลสัตว์แล้วยังมีชีวมวลอื่นๆ อีกหลายชนิดเช่น เศษพืชผัก เศษหญ้า และผักตบชวา เป็นต้น ปัจจุบันพบว่าของเสียหรือของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารหลาย ๆ ประเภทได้ถูกนำมาใช้ผลิตแก๊ส เช่น เปลือกและแกนสับปะรดจากโรงงานสับปะรดกระป๋อง น้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุรา น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง เศษเนื้อและเลือดจากโรงงานทำปลากระป๋อง การใช้ของเสียเหล่านี้นอกจากจะได้พลังงานไปใช้ในโรงงานแล้วยังเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดของเสียและช่วยลดมลพิษอีกทางหนึ่งด้วย

- **ชนิดของบ่อหมักแก๊สชีวภาพ**

บ่อหมักแก๊สชีวภาพเป็นบ่อปิดที่ใช้หมักชีวมวลที่สามารถถูกทำให้ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ชีวมวลที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่ มูลสัตว์ต่าง ๆ เช่น มูลโค มูลกระบือ มูลสุกร อุจจาระ และมูลไก่ เป็นต้น มูลเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สมีเทนและกากที่เหลือจากการหมักสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ กระบวนการหมักที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการไร้ออกซิเจน บ่อหมักสามารถแบ่งออกตามลักษณะการเติมมูลได้เป็น 2 แบบ คือ

1. <u>บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบเติมมูลเพียงครั้งเดียว (Batch-type)</u> แบบนี้เติมวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักเพียงครั้งเดียว บ่อหมักจะผลิตแก๊สได้ระยะหนึ่งก็จะหยุดผลิต จากนั้นก็จะนำกาก-หมักจากบ่อไปใช้เป็นปุ๋ยได้ แล้วจึงเติมมูลหรือวัตถุดิบใหม่

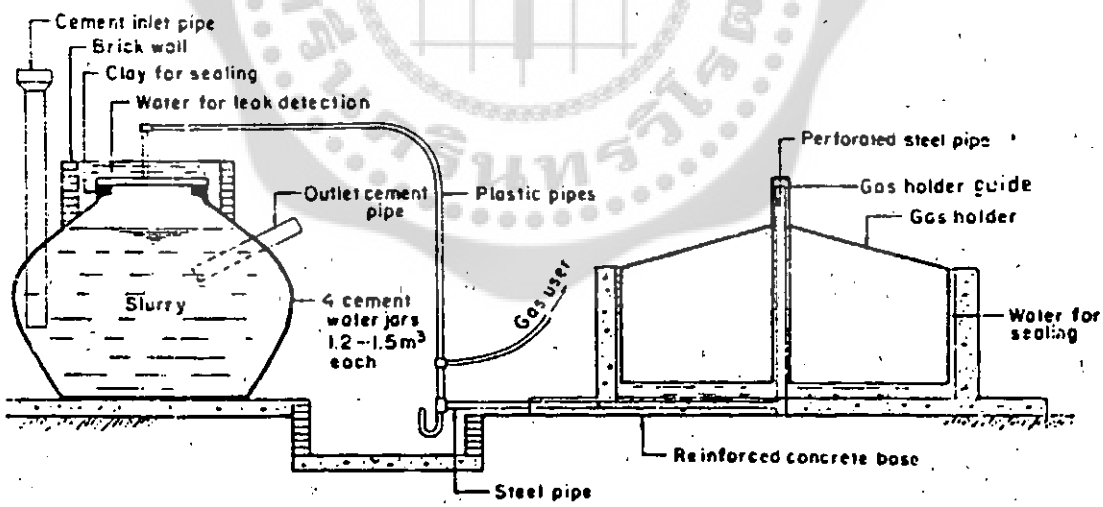
ตัวอย่างบ่อหมักแบบเติมมูลเพียงครั้งเดียว เช่น บ่อหมักอย่างง่าย ซึ่งออกแบบโดยนักเรียนมัธยมสหรัฐ ชื่อ L.J. Romesberg (วารสาร Popular Science, Dec. 1975.) แบบใช้วัสดุทั้งแล้วเช่นถังหมัก ใช้ถังน้ำมันขนาด 35 แกลลอน ซึ่งหาได้ตามปั๊มน้ำมัน นำมาดัดแปลงดังภาพ 5.7 ส่วนบนมีช่องพร้อมจุกเกลียวสำหรับเติมมูลสัตว์และน้ำ ฝาบนเจาะเป็นช่องต่อกับท่อน้ำประปาและสายยางสำหรับเป็นท่อนำแก๊สส่วนหนึ่งของท่อนำแก๊สจะต่อไปยังเตาแก๊สธรรมดา หรือเตาบุนเสน ซึ่งได้รับการดัดแปลงเล็กน้อย อีกด้านหนึ่งของท่อนำแก๊ส จะต่อไปยังยางในรถยนต์บรรทุกขนาดใหญ่ เมื่อแก๊สถูกผลิตออกมามากขึ้น มันจะไปดันยางในรถยนต์ให้พองโตขึ้น ยางในรถยนต์จึงเป็นภาชนะเก็บแก๊สและเป็นเครื่องชี้ระดับแก๊สไปในตัว ข้อควรระวังก่อนใช้แก๊สควรปล่อยให้แก๊สไหลผ่านท่อทิ้งออกสัก 2-3 วัน เพื่อไล่อากาศออก มิฉะนั้นอากาศซึ่งเหลือยังอยู่ในถังหมักหรือท่อยาง เมื่อรวมตัวกับแก๊สมีเทนอาจเกิดการระเบิดรุนแรงได้เมื่อติดไฟ อนึ่ง ในการเติมมูลสัตว์ครั้งแรก อาจจะต้องเติมมูลสัตว์ผสมเศษหญ้าและน้ำ ซึ่งหมักไว้ต่างหากก่อนแล้วลงไปด้วย เพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น และในช่วงเวลาพอควร(ประมาณ 1 เดือน) อาจต้องเทกาก ซึ่งเหลือจากการหมักออกทิ้งใช้เป็นปุ๋ยได้เป็นครั้งคราว ผู้ทดลองออกแบบได้ให้ข้อมูลว่า จากการเติมมูลวัว 1 ตัว ผสมกับน้ำ 10-12 แกลลอนเป็นประจำจะได้แก๊สมีเทน 12 ลบ.ฟุตต่อวัน มากพอสำหรับงานหุงต้มเล็กๆ แบบดังกล่าวยังไม่ได้เป็นแบบที่สมบูรณ์ ยังมีปัญหาที่จะต้องทำการวิจัยอีกมาก เช่นการหมักแก๊สจะได้ผลดีที่อุณหภูมิ 95 °F ดังนั้นจะมีวิธีควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้สม่ำเสมอตลอดวันตลอดคืนได้อย่างไร? จะมีวิธีผลิตแก๊สต่อเนื่องกันไปโดยไม่ต้องหยุดพักเพื่อเทกากทิ้งทิ้งได้อย่างไร ? ถ้าจะเพิ่มปริมาณการผลิตแก๊สให้มากขึ้นจะต้องดัดแปลงแบบอย่างไรบ้าง ? แม่บ้านบางรายอาจไม่ชอบกลิ่นของแก๊สจะขจัดกลิ่นได้หรือไม่ ? การควบคุมความดันของแก๊สในท่อนำแก๊สให้สูงต่ำ สม่ำเสมอได้หรือไม่ ? จะคำนวณหาประสิทธิภาพโดยง่าย ๆ ได้เช่นไร ? และยังมีคำถามอื่น ๆ อีกมาก ที่ยังรอผู้สนใจทำการวิจัยประยุกต์ลักษณะนี้



ถังหมักแก๊สมีเทนแบบง่าย

1 ถังน้ำมัน 2 ยางในรถยนต์ขนาดใหญ่ 3 ช่องเติมมูลสัตว์พร้อมจุกเกลียว
4 ท่อประปาพร้อมก๊อกปิด-เปิด 5 ท่อยาง 6 เตาแก๊สดัดแปลงแล้ว
7 แก๊ส 8 มูลสัตว์/น้ำ ผู้ออกแบบ: L.J. ROMESBERG

ภาพ5.7 บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบเติมมูลเพียงครั้งเดียว
(ชัยวิทย์ ศิลาวัชนาไนย. 2520. หน้า 48.)



Jar digester with separate gas holder (Thailand)

ภาพ 5.8 บ่อหมักแก๊สชีวภาพชนิดที่มีที่เก็บแก๊สแยกจากบ่อหมัก
(United Nations . 1984. p. 31.)

2. <u>บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบเติมมูลต่อเนื่อง (Continuous-type)</u> ระบบการหมักแบบนี้เป็นแบบต่อเนื่องมีแก๊สเกิดขึ้นตลอดเวลา มูลหรือวัตถุดิบจะถูกเติมลงบ่อทุกวันทางท่อเติมมูล และกากหมักถูกถ่ายออกเองทางท่อระบายกากเป็นระยะ ๆ โดยไม่ทำให้การหมักหยุดชะงัก สภาพในบ่อจะถูกปรับให้เหมาะสมที่สุด ได้แก๊สใช้ตลอดไปตราบเท่าที่ยังเติมวัตถุดิบลงไป ส่วนกากหมักที่เกิดขึ้นจะไหลออกจากบ่อหมักเองโดยไม่ต้องโกยหรือตักออก บ่อหมักประเภทนี้ยังมีการดัดแปลงเป็นลักษณะต่าง ๆ ตามความเหมาะสมกับการใช้งานได้ ได้แก่บ่อหมักแก๊สชีวภาพชนิดที่มีที่เก็บแก๊สแยกจากบ่อหมัก (Separate gas holder) บ่อหมักแก๊สชีวภาพชนิดที่มีที่เก็บแก๊สลอยอยู่ในบ่อหมัก (Floating gas holder) และบ่อหมักแก๊สชีวภาพชนิดที่แก๊สอยู่ในบ่อหมัก (Combined digester/gas holder) (ดูภาพ 5.8, 5.9, 5.10)

บ่อหมักแก๊สชีวภาพชนิดที่มีที่เก็บแก๊สแยกจากบ่อหมัก (ดูภาพ 5.8) ระบบนี้ใช้ถังหมัก 2-4 ถังต่อเข้ากับที่เก็บแก๊ส เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และปัจจุบันมีการส่งเสริมให้นำมาใช้ในชนบทเพราะมีราคาถูกกว่า เช่น ในประเทศไทย และจีน

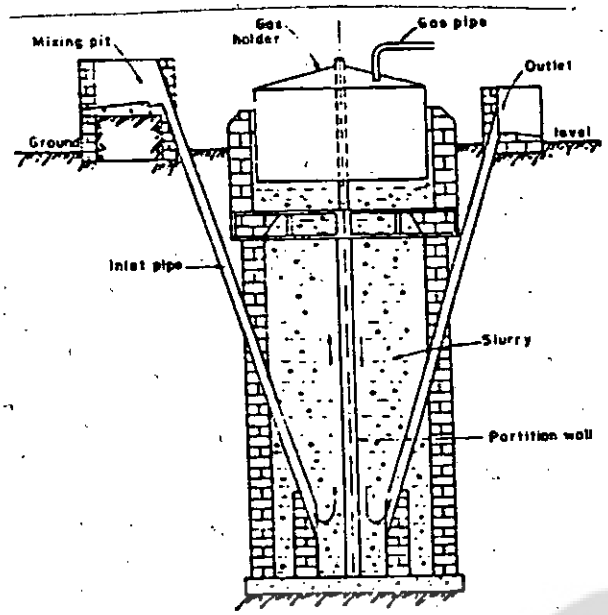
ภาชนะที่ใช้หมักเป็นโอ่งซีเมนต์ขนาดใหญ่ ที่เก็บแก๊สมีลักษณะเป็นฝาครอบทรงกลมหรือเหลี่ยมทำด้วยแผ่นเหล็กอาบรังสี ไฟเบอร์กลาสหรือเฟร์โรซีเมนต์ก็ได้ ขนาดประหยัดควรสร้างให้มีความจุเพียง 60% ของปริมาณ แก๊สที่ต้องการใช้ในแต่ละวันสำหรับกรณีใช้ในการหุงต้ม แต่หากใช้ในการให้แสงสว่างหรือเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ ควรสร้างให้มีความจุ 100%

มูลสัตว์หรือสิ่งปฏิกูลที่ใช้ควรมีมากพออย่างน้อยวันละ 1 ปีบ (20 ลิตร) สำหรับครอบครัว 2-3 คน ต้องเป็นท้องถิ่นที่ไม่ขาดแคลนน้ำเพราะต้องใช้น้ำประมาณวันละ 20 ลิตร

ขนาดบ่อที่เหมาะสมกับปริมาณแก๊สชีวภาพที่ต้องการใช้ประจำวันอาจคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้ (ออกแบบโดยการพลังงานแห่งชาติ)

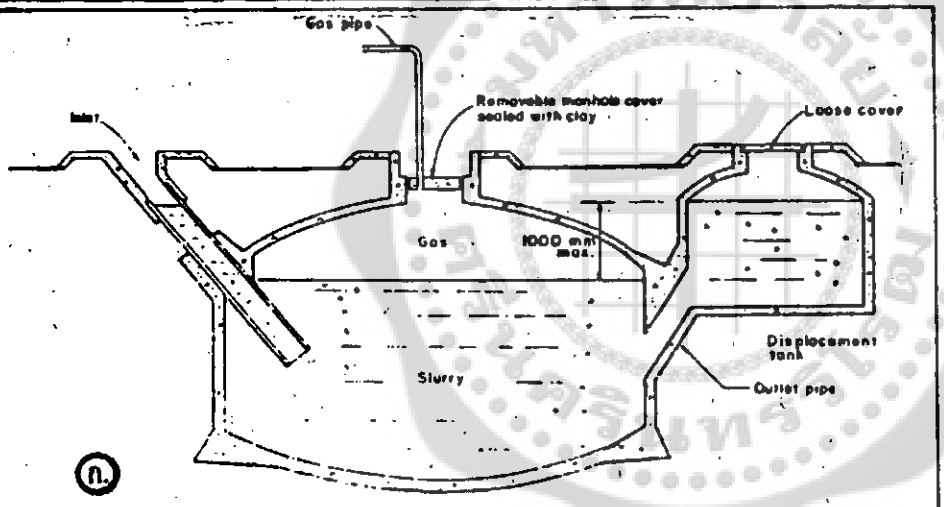
จำนวนคน X 200 ลิตร	=	ปริมาณแก๊สที่ต้องการต่อวัน
ปริมาณแก๊ส X 2	=	ปริมาตรบ่อหมักผลิตแก๊สที่ต้องสร้าง
ปริมาตรบ่อหมัก X 1/60	=	จำนวนลิตรของมูลสัตว์ที่ต้องใช้ในการเติมบ่อหมักทุกวัน โดยต้องผสมกับน้ำในอัตราส่วนเท่า ๆ กัน (1:1)
ระยะเวลาหมัก	=	30 วัน

บ่อหมักแก๊สชีวภาพชนิดที่มีที่เก็บแก๊สลอยอยู่ในบ่อหมัก (ดูภาพ 5.9) ระบบนี้อาจถูกสร้างในรูปแบบต่าง ๆ หลายแบบ แต่ที่จะกล่าวเป็นตัวอย่างนี้เป็นแบบที่ได้รับการส่งเสริมจากกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ตัวบ่อเป็นรูปทรงกระบอกขุดลงดินในแนวดิ่งลึกประมาณ 2.5-3.0 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5-2.0 เมตร ผนังบ่อก่อด้วยอิฐ หรือหิน หรือคอนกรีต

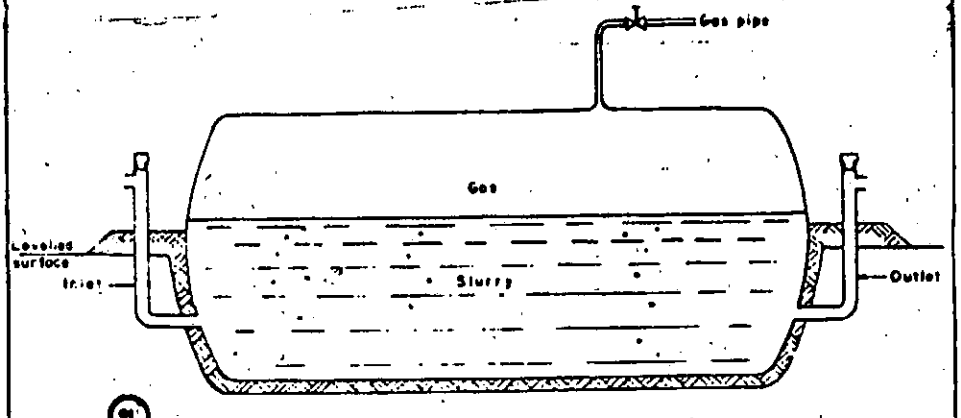


Common circular digester with floating gas holder and no water seal (India)

ภาพ5.9บ่อหมักแก๊สชีวภาพชนิดที่มีที่เก็บแก๊สลอยอยู่ในบ่อหมัก
(United Nations. 1984. p. 26.)



Common circular fixed-dome digester (China)
(FIXED DOME COMBINED DIGESTER/GAS HOLDER)



Flexible bag type combined digester/gas holder

ภาพ5.10 บ่อหมักแก๊สชีวภาพชนิดที่แก๊สอยู่ในบ่อหมัก
ก. บ่อที่ก่อด้วยอิฐฝังอยู่ใต้ดิน
ข. บ่อที่ทำด้วยพลาสติกฝังในดินครึ่งหนึ่ง
(United Nations. 1984. p. 27, 28.)

เสริมเหล็กหรือไม้ไผ่หนาประมาณ 3-4 นิ้ว กันบ่อเทคอนกรีต เพื่อป้องกันการไหลซึมของน้ำ มีท่อเติมมูลสัตว์เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว เป็นท่อซีเมนต์ฝังเอียงลึกลงไปที่ก้นบ่อ มีท่อมูลล้นเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว อยู่ต่ำกว่าขอบบ่อประมาณ 8-12 นิ้ว มีถังเก็บแก๊สรูปทรงกระบอกครอบอยู่บนถังหมัก ซึ่งเมื่อเก็บแก๊สได้เต็ม ถังจะลอยขึ้น เนื่องจากมีเทนอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊สจึงไม่มีความดัน ชาวบ้านจึงใช้น้ำหนักถ่วงบนถังเก็บแก๊สซึ่งเท่ากับเป็นการอัดแก๊สไปในตัวก่อนนำไปใช้ การเติมมูลสัตว์ครั้งแรกต้องนำมูลมาเจือจางด้วยน้ำโดยใช้น้ำประมาณ 1-2 เท่า เทมูลที่เจือจางแล้วให้เต็มแล้วใช้ไม้กวนให้เข้ากัน จากนั้นนำถังเก็บแก๊สคว่ำลงในบ่อหมัก ปิดวาล์วท่อนำแก๊สคอยสังเกตระดับของถังเก็บแก๊สว่ามีแก๊สเกิดขึ้นหรือยัง ปกติจะเริ่มมีแก๊สเมื่อหมักได้ประมาณ 15 วัน แก๊สที่ได้ควรเปิดทิ้งสัก 2 ครั้งยังไม่ควรนำไปใช้ เพราะยังมีออกซิเจนผสมอยู่อาจเกิดอันตรายขึ้นได้ หลังจากหมักประมาณ 30 วัน จะสังเกตเห็นว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นเริ่มลดน้อยลง ให้เริ่มเติมมูลสัตว์เข้าบ่อหมักทุก ๆ วัน วันละ 1 ปีบโดยเจือจางด้วยน้ำประมาณ 1-2 ปีบ มูลที่เทลงไปใหม่จะดันให้มูลเก่าไหลล้นออกมาทางท่อมูลล้น มูลเก่านี้เมื่อผึ่งแดดให้แห้งสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้

การทำงานของระบบนี้เป็นแบบต่อเนื่อง จะเห็นว่าถ้าเติมมูลทุกวันระบบจะทำงานในสถานะคงที่และมีแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นตลอดเวลา ถังหมักที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีลักษณะแข็งแรงมีการผสมกันของมูลเป็นอย่างดี มูลที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นมูลโค กระบือ ซึ่งจะให้แก๊ส 0.3-0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวันต่อปริมาตรของบ่อหมัก 1 ลูกบาศก์เมตร ส่วนมูลสุกรจะให้ 0.4-0.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวันต่อปริมาตรของบ่อหมัก 1 ลูกบาศก์เมตร

ข้อดีของบ่อหมักชนิดนี้คือ

- ถังเก็บแก๊สสามารถยกออกได้ง่ายเพื่อตักฟองหรือสิ่งที่ไม่ต้องการด้านบนของมูลที่หมักออกได้,
- ค่าความดันของแก๊สคงที่
- สามารถหมุนถังเก็บแก๊สได้เพื่อกวนมูลให้ผสมกัน โดยที่กวนมูลติดตั้งอยู่ในถังเก็บแก๊ส

ข้อเสียได้แก่

- ถังเก็บแก๊สมักเป็นโลหะ ซึ่งมีราคาแพงถึง 35-40% ของราคาทั้งระบบ
- ใช้ต้นทุนสูง
- ผิวด้านนอกของถังเก็บแก๊สมักเป็นสนิมทำให้การเลื่อนขึ้นลงของถังฝืดและติดขัด จึงควรทำความสะอาดผิวด้วยกระดาษทรายแล้วทาด้วยอีพอกซี
- ท่อแก๊สที่ต่อออกจากถังเก็บแก๊สเป็นส่วนที่ชำรุดบ่อย เพราะได้รับความร้อนและรังสีจากแสงแดด และท่อบิดงอเมื่อหมุนถังเก็บแก๊สขณะผสมมูล

บ่อหมักแก๊สชีวภาพชนิดที่แก๊สอยู่ในบ่อหมัก บ่อหมักชนิดนี้ใช้ปริมาตรภายในบ่อเท่ากับปริมาณแก๊สรวมกับปริมาณมูลสัตว์ ตัวบ่อเป็นรูปคล้ายโดม โดยฝังอยู่ในดินซึ่งขุดหลุมเป็นรูปวงกลม ผนังอยู่ในแนวดิ่ง ก้นบ่อโรยด้วยก้อนกรวดอัดแน่นแล้วเทด้วยคอนกรีต ผนังก่อด้วยอิฐให้สูงขึ้นและก่อให้โค้งเข้าหาศูนย์กลางจนเป็นรูปโดมเหลือช่องว่างเป็นรูกลมไว้ตรงกลางบ่อ เพื่อปิดจุกและเสียบด้วยท่อแก๊ส ยาแนวด้วยดินเหนียว แล้วเทน้ำลงบนฝาปิดเพื่อตรวจสอบแก๊สรั่ว ท่อเติมมูลมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 ซม. ทำด้วยซีเมนต์วางทำมุมเข้าหาศูนย์กลางบ่อ ท่อมูลล้นควรทำมุมกับผนังบ่อเช่นกัน และต่อลงกึ่งกลางผนังบ่อโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 ซม. (ภาพ 5.10 ก.)

วัตถุดิบที่ใช้ในการหมักอาจเป็นเศษพืช มูลสัตว์ หรืออุจจาระ แก๊สที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยตามที่รายงานจากประเทศจีนคือ 0.15-0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ต่อปริมาตรของบ่อหมัก 1 ลูกบาศก์เมตรแต่ในภูมิภาคเขตร้อนอื่น ๆ จะได้สูงกว่า คือ 0.3-0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวันต่อปริมาตรของบ่อหมัก 1 ลูกบาศก์เมตร

บ่อหมักแก๊สแบบนี้ในประเทศจีนใช้เศษพืช มูลสุกร มูลโค มูลกระบือและอุจจาระ บ่อหมักขนาด (6, 8, 10 และ 12 ลูกบาศก์เมตร) เหมาะสำหรับครอบครัวที่มีสมาชิก 3-7 คน (โดยมีอัตราการใช้แก๊ส 0.2-0.3 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อวัน)

ข้อดีของบ่อหมักระบบนี้คือ

- ไม่ต้องใช้แผ่นโลหะในการก่อสร้าง
- การทำงานเป็นได้ทั้งระบบเติมมูลครั้งเดียวหรือแบบต่อเนื่อง สามารถเติมมูลสัตว์หรือเศษพืชได้เรื่อย ๆ
- ราคารวมทั้งหมดต่ำกว่าบ่อหมักชนิดที่ที่มีที่เก็บแก๊สลอยอยู่ในบ่อหมัก
- มีเศษพืชมากจึงทำให้ใช้ทำปุ๋ยได้มาก
- บ่อหมักและที่เก็บแก๊สถูกฝังอยู่ใต้ดินซึ่งเป็นฉนวนป้องกันความเย็นจากบริเวณที่มีภูมิอากาศหนาวได้ และไม่เปลืองเนื้อที่ในการทำบ่อหมัก

ข้อเสียได้แก่

- ไม่มีโอกาสกวนมูลในบ่อหมัก เพราะถูกจำกัดในบ่อที่มิดชิด
- ต้องถ่ายมูลออกอย่างน้อยปีละ 2-3 ครั้ง
- นอกจากในประเทศจีนแล้วบ่อหมักประเภทนี้ยังไม่นิยมใช้เนื่องจากขาดประสบการณ์ในการก่อสร้าง
- ไม่เหมาะกับบริเวณที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ตื้น

บ่อหมักแก๊สชนิดนี้ยังสามารถสร้างขึ้นโดยใช้พลาสติกและฝังลงไปในดินครึ่งหนึ่ง แต่ยังมีข้อเสียอยู่มากเช่น พลาสติกไม่ทนความร้อนและรังสีจากดวงอาทิตย์ พลาสติกอาจฉีกขาดจากของมีคมที่มแทงได้ง่าย และอาจเกิดระเบิดขึ้นได้ (ดูภาพ 5.10 ข.)

- **กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อหมักแก๊สชีวภาพ**

แบคทีเรียที่เป็นตัวการสำคัญในการทำให้เกิดแก๊สมีเทนเรียกว่า มีเทนแบคทีเรีย (Methanogenic bacteria) โดยปกติแบคทีเรียพวกนี้ไม่สามารถย่อยสลายชีวมวล ซึ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ๆ และมีโครงสร้างซับซ้อนได้โดยตรง ดังนั้นสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียพวกอื่นก่อนเพื่อให้ได้สารที่มีเทนแบคทีเรียสามารถย่อยและผลิตแก๊สชีวภาพได้ดังนั้นกระบวนการเกิดแก๊สชีวภาพ จึงประกอบด้วยขั้นตอนการย่อยสลาย 3 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพ 5.11

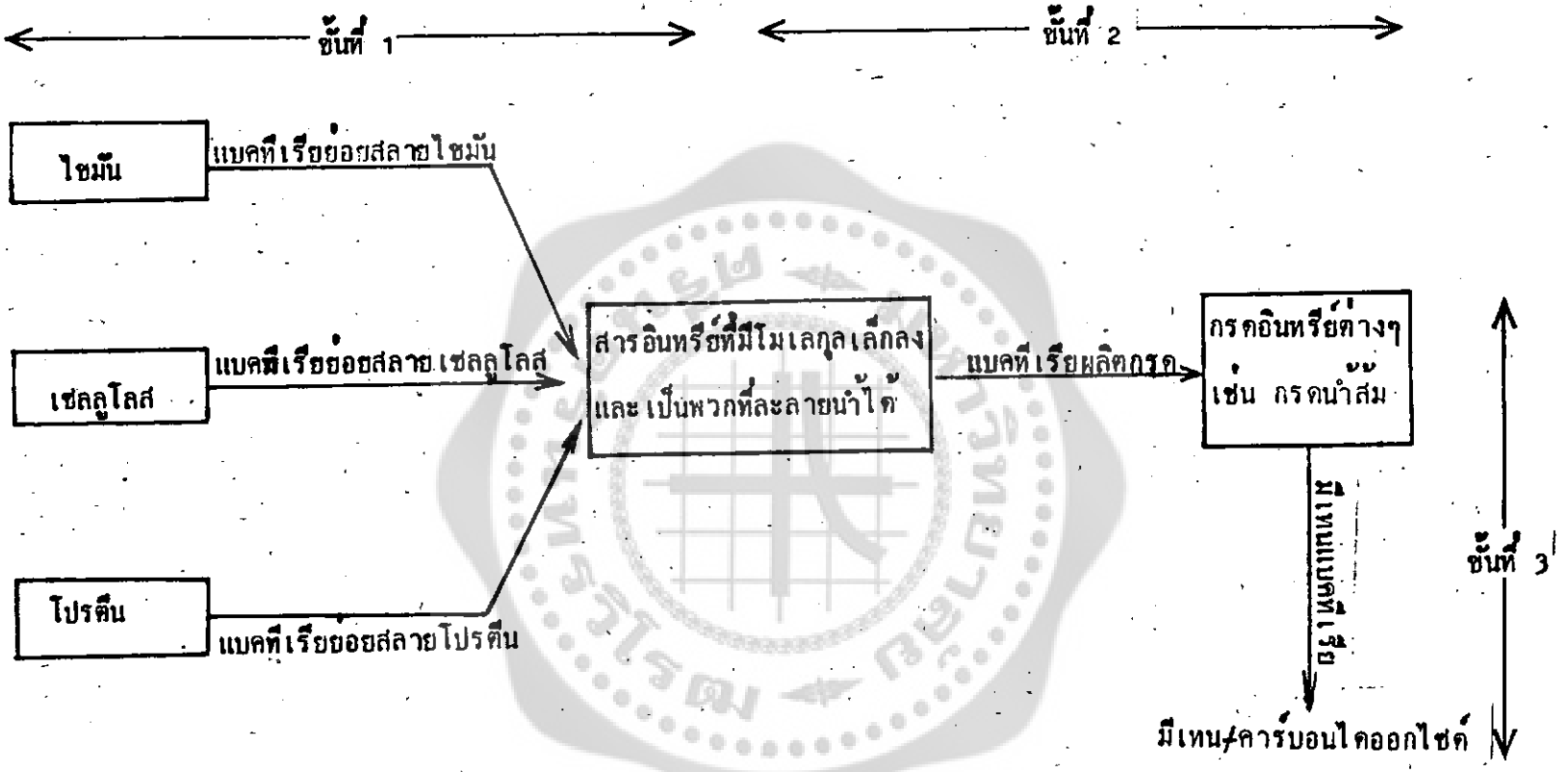
ทั้งสามขั้นตอนมีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

ขั้นที่ 1 สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น ไขมัน เซลลูโลส โปรตีน ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง ซึ่งได้แก่กลีเซอรอล กลูโคส และกรดอะมิโน โดยแบคทีเรียย่อยสลายไขมัน (Fat-decomposing organism) แบคทีเรียย่อยสลายเซลลูโลส (Cellulose-decomposing organism) และแบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน (Protein-decomposing organism) ตามลำดับ

ในขั้นนี้แบคทีเรียทั้งหลายจะปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อกระตุ้นให้เกิด กระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ ชนิดและปริมาณแบคทีเรียในบ่อหมักจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ในบ่อหมัก

ขั้นที่ 2 แบคทีเรียผลิตกรด (Acid bacteria) ย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่ละลายในน้ำซึ่งได้จากกระบวนการขั้นที่ 1ให้เป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดน้ำส้ม (Acetic acid) และไฮโดรเจน

ขั้นที่ 3 แบคทีเรียผลิตแก๊สมีเทน (Methanogenic bacteria) ย่อยสลายกรดแอซีติก ไฮโดรเจน กรดฟอร์มิก และคาร์บอนไดออกไซด์ ให้กลายเป็นแก๊สมีเทนและคาร์บอน-ไดออกไซด์



ภาพ5.11 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้ได้แก๊สชีวภาพ

ปฏิกิริยาในขั้นที่ 3 มี 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกเป็นการเปลี่ยนกรดน้ำส้มให้เป็นแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแก๊สมีเทนส่วนใหญ่ในบ่อหมักเกิดจากปฏิกิริยานี้ วิธีที่สองเป็นการลดออกซิเจนในคาร์บอนไดออกไซด์โดย**กระบวนการรีดักชัน(Reduction)** เพื่อเปลี่ยนให้เป็นแก๊สมีเทน โดยใช้ไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียอื่น ผลสุดท้ายจะได้แก๊สและคาร์บอนไดออกไซด์

สารอินทรีย์ประเภทโมเลกุลใหญ่ เช่น เซลลูโลส กึ่งเซลลูโลส แป้งหรือคาร์โบไฮเดรต ฯลฯ ต่างก็เป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญของการผลิตแก๊สชีวภาพ ไขมัน และโปรตีนสามารถนำมาหมักเพื่อให้เกิดแก๊สได้ ส่วนลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบของไม้เนื้อแข็ง ไม่เหมาะสมกับการหมัก เพราะแบคทีเรียทำการย่อยสลายลงได้ยาก ภายใต้สภาพไร้อากาศสารอินทรีย์ประเภทโมเลกุลใหญ่ ถูกไฮโดรไลซิสให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส จากนั้นเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเฮกโซส ไดรโอส กรดโปรปิออนิก และไฮโดรเจนตามลำดับ กรดโปรปิออนิกเปลี่ยนไปเป็นกรดแอซีติก (กรดน้ำส้ม) และคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน นอกจากนั้นจะมีกรดอื่นๆ อีก แต่กรดแอซีติกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สมีเทนได้ง่ายกว่าถึงสองในสามของมีเทนที่ได้ทั้งหมด

กรดน้ำส้มที่เกิดขึ้นถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทน ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

Glucose —> Hexose —> Triose —> Propionic acid —> Acetic acid+CO_2+H_2
↓
Methane gas

แต่ละโมเลกุลของกลูโคสทำให้เกิดแก๊สมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างละสามโมเลกุล ดังสมการต่อไปนี้

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3COCOOH+2H_2$$
$$2CH_3COCOOH+2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH+2CO_2+2H_2$$
$$2CH_3COOH \longrightarrow 2CH_4+2CO_2$$
$$CO_2+4H_2 \longrightarrow CH_4+H_2O$$

หากรวมสมการของปฏิกิริยาทั้งหมด จะเป็น

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3CH_4+3CO_2+70 \text{ กิโลแคลอรี}$$

(ในปฏิกิริยาจะได้พลังงานออกมา 70 กิโลแคลอรี)

กรณีที่วัตถุดิบเป็นพวกไขมัน ไขมันถูกย่อยสลายในขั้นแรกโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส ไปเป็นกลีเซอรอล และกรดไขมัน และในที่สุดถูกย่อยสลายให้เป็นกรดแอซีติกและแก๊สมีเทน ดังตัวอย่างการทดลองที่ใช้ไขมันพวกสเตียเรท (Stearate) ดังสมการต่อไปนี้

$$4C_{57}H_{110}O_6+106H_2O+47CO_2 \longrightarrow 112CH_3COOH+51CH_4$$

สำหรับโปรตีนถูกไฮโดรไลซิสให้เป็นเปปไตท์ และกรดอะมิโนซึ่งแบคทีเรียสามารถย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็กลงได้ เช่น กรดไขมัน H_2S แอมีน (Amines) ฟีนอล (Phenols) แอมโมเนียม (Ammonium) เป็นต้น กรดไขมันและแอมีนสามารถเปลี่ยนไปเป็นมีเทนได้ ดังสมการ

$$\text{Proteins} \longrightarrow \text{Ameno acids} \xrightarrow{NH_3S \text{ etc.}} \text{Acetic acid} \longrightarrow CH_4$$

- แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายและการสร้างแก๊สมีเทน

สภาพในบ่อหมักเป็นสภาพที่ไร้ออกซิเจน ดังนั้นจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องจึงเป็นพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobes) ซึ่งอาจพบทั้งแบคทีเรีย รา และโปรโตซัว แต่ที่มีบทบาทมากที่สุดคือ แบคทีเรีย

ในบ่อหมักมีแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนอยู่ 2 ประเภทคือ ประเภทแรก เป็นพวกที่ทนอยู่ได้ แม้ว่าจะมีปริมาณออกซิเจนอยู่บ้างในปริมาณเล็กน้อย เรียกว่า แฟคคัลเททีฟแอน-แอโรบ (Facultative anaerobes) แต่อีกประเภทหนึ่งไม่สามารถทนอยู่ได้ในที่ที่มีออกซิเจน แม้จะมีจำนวนเล็กน้อยก็ตาม เรียกว่า ออบลิเกตแอนแอโรบ (Obligate anaerobes) แบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนจะเป็นประเภทหลัง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การศึกษาแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนทำได้ยากมาก ซึ่งต้องใช้เครื่องมือพิเศษที่เรียกว่า แอนแอโรบิกซิสเต็ม (Anaerobic system) สำหรับการแยกเชื้อการเพาะเชื้อ ภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน

แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการหมักแก๊สชีวภาพมีหลายชนิด แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ แบคทีเรียที่ไม่ได้ผลิตแก๊สมีเทนและแบคทีเรียที่ผลิตแก๊สมีเทน แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้ทำงานต่อเนื่องกัน หากขาดกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งจะทำให้กระบวนการหมักไม่ได้ผล

1. กลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ได้ผลิตแก๊สมีเทน

แบคทีเรียกลุ่มนี้มีหลายชนิด แบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ ได้แก่ พวกที่ย่อยสลายชีวมวลโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็ก และพวกที่สร้างกรดอินทรีย์ ทั้งสองพวกพบอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ

1) แบคทีเรียที่ย่อยสลายชีวมวลที่มีโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็กลง โดยที่วัตถุดิบโมเลกุลใหญ่เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน จะถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาล กรดอะมิโนหรือกลีเซอรอลกับกรดไขมันตามลำดับ โดยแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ที่ตรวจพบในบ่อหมัก (ตาราง 5.2) นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียที่ใช้ซัลเฟต (Sulfate reducer) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนไนเตรทให้กลายเป็นแก๊สไนโตรเจน (Denitrifying bacteria) และแบคทีเรียพวกโคลีฟอร์ม เช่น Escherichia coli แต่มีจำนวนไม่มากนัก ในขั้นตอนการย่อยสลายนี้อาจมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจนหรือแก๊สไนโตรเจนเกิดขึ้นได้อีก

ตาราง 5.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็ก

การเปลี่ยนสารโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็ก	กลุ่มของแบคทีเรียที่ย่อยสลาย	ตัวอย่างแบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง
โปรตีน ——→ กรดอะมิโน	แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน (Proteolytic bacteria)	Clostridium pertococcus Bacillus sp. Bifidobacterium sp. Staphylococcus sp.
ไขมัน ——→ กลีเซอรอล + กรดไขมัน	แบคทีเรียที่ย่อยไขมัน (Lipolytic bacteria)	Pseudomonas sp. Micrococcus sp. Streptomytoces sp.
คาร์โบไฮเดรต		
เซลลูโลส ——→ น้ำตาล	แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส (Cellulolytic bacteria)	Corymebacterium sp. Lactobacillus sp. Actinomycetes sp. Bifidobacterium sp.
แป้ง ——→ น้ำตาล	แบคทีเรียที่ย่อยแป้ง (Amylolytic bacteria)	Clostridium butyricum Micrococcus sp. Bacillus sp.

ที่มา: ปิ่น-ฉวี เวชชานุเคราะห์. 2523. หน้า 13.

2) แบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์หรือแอลกอฮอล์ เป็นพวกที่ใช้สารโมเลกุลที่เกิดจากการย่อยสลายขั้นที่ 1 แล้ว โดยแบคทีเรียพวกนี้เปลี่ยนสารดังกล่าวให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ ดังแสดงในตาราง 5.3

เนื่องจากกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีหลายชนิด แต่กรดที่เหมาะสำหรับการสร้างแก๊สมีเทนคือกรดน้ำส้ม หรือกรดแอซีติก (Acetic acid) ดังนั้นการคัดพันธุ์จุลินทรีย์ หรือทำสภาพภายในบ่อหมักที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดน้ำส้มได้ ก็จะเป็นการช่วยทำให้การสร้างแก๊สมีเทนดีขึ้นด้วย

2. กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตแก๊สมีเทน

แบคทีเรียที่สามารถสร้างแก๊สมีเทนได้ (Methane producing bacteria) จะใช้กรดแอซีติก หรือคาร์บอนไดออกไซด์กับแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกสำหรับการสร้างแก๊สมีเทนแบคทีเรียพวกนี้ไม่ต้องการออกซิเจน และมีการเจริญเติบโตช้ามากเมื่อเทียบกับแบคทีเรียชนิดอื่น การศึกษา การแยกเชื้อ การเพาะเชื้อ ก็ทำได้ยาก มีอยู่หลายชนิดด้วยกันแบ่งได้ตามรูปร่างดังนี้

ก. พวกที่มีรูปร่างเป็นแท่ง (Rod-shaped) ได้แก่ Methanobacterium spp.

ข. พวกที่มีรูปร่างกลม (Spherical-shaped) ได้แก่ Methanococcus spp. และ Methanosarina spp.

ค. พวกที่มีรูปร่างเกลียวกว้าง (Spirillum) ได้แก่ Methanospirillum spp.

แบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนที่พบในถังหมักแก๊สชีวภาพ และกรดหรือสารที่ใช้สร้าง ดังในตาราง 5.4

มีเทนแบคทีเรียทั้งหมดที่พบจัดอยู่ใน 3 ออเดอร์ 9 แฟมมิลี 7 จีนัส และ 13 สปีชีส์ ดังในตาราง 5.5 ภาพตัวอย่างของมีเทนแบคทีเรียบางชนิดอยู่ในภาพ 5.12 ปริมาณของมีเทนแบคทีเรียในบ่อหมักแก๊สตามที่เคยมีรายงานไว้คือ 10^{7}-10^{9} /ml

- ปริมาณและส่วนผสมของแก๊สชีวภาพ

การจะบอกปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อสัตว์ชนิดต่าง ๆ หนึ่งตัวนั้นทำได้ยาก ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสัตว์ สภาพการได้รับอาหารและปริมาณที่สัตว์นั้นถ่ายออกมาและปริมาณมูลที่นำมาหมัก แต่อย่างไรก็ตาม มีผู้พยายามคำนวณออกมาได้ดังตาราง 5.6

ตาราง 5.3 แบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์หรือแอลกอฮอล์ในบ่อหมักแก๊สชีวภาพ

แบคทีเรีย	พีเอช	อุณหภูมิ (°ซ.)	กรดหรือสารที่สร้างขึ้น
Bacillus cereus	5.2	25-35	Acetic, lactic
B. Knelfelkampi	5.2-8.0	25-35	Acetic, lactic
B. megaterium	5.2-7.5	28-35	Acetic, lactic
Bacteriodes succinogenes	5.2-7.5	25-35	Acetic, succinic
Clostridium carnofeetidium	5.0-8.5	25-37	Formic, acetic, lactic, ethanol, CO_2
C. cellobinharus	5.0-8.5	36-38	
C. dissolvens	5.0-8.5	35-51	Formic, acetic, lactic, succinic
C. thermocellulaseum	5.0-8.5	55-65	Formic, acetic, lactic, succinic, ethanol
Pseudomonas formicans	-	33-42	Formic, acetic, lactic, succinic, ethanol
Ruminococcus flavefaciens	-	33-38	Formic, acetic, succinic

ที่มา: ปิ่น-ฉวี เวชชานุเคราะห์. 2523. หน้า 14.

ตาราง 5.4 แบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนที่พบในถังหมักแก๊สชีวภาพ

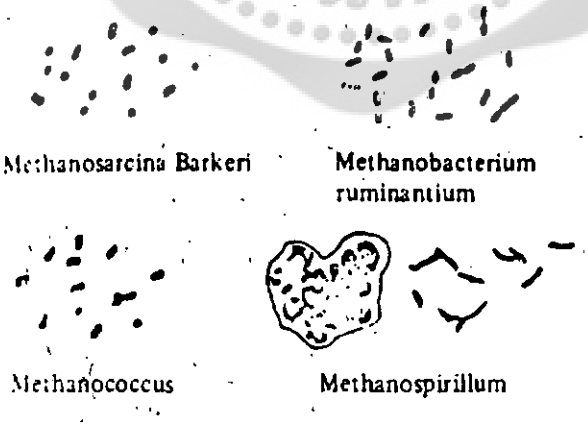
แบคทีเรีย	พีเอช	อุณหภูมิ (° ซ.)	กรดหรือสารที่ใช้สร้าง
Methanobacterium omelianskii	6.5-8.0	37-40	CO_2, H_2, ethanol, primary and secondary alcohols
Mbact. proprionicum			Proprionate
Mbact. formicus			H_2, CO_2 formate
Mbact. sohngenii			Acetate, butyrate
Mbact. suboxydans			Butyrate, valorate, caproata
Mbact. ruminantium			H_2, formate
Mbact. sochngenii			Acetate, formate
Methannococcus vannielli	1.4-9.0		Formate, H_2
Mc. mazei		30-37	Acetate, butyrate
Methanosarcina methanica		35-37	Acetate, butyrate
MS. Barkerii	7.0	30	CO_2, H_2, acetate, methanol

ที่มา : ปิ่น-ฉวี เวชชานุเคราะห์. 2523. หน้า 15.

ตาราง5.5 การจำแนกแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทน

Order	*Family*	*Genus*	*Species*
Methanobacteriates	Methanobacteriaceae	Methanobacterium	M. formicicum M. bryantii M. thermoautotrophicum
		Methanobrevibacter	M. ruminantium M. arboriphilus M. smithii
Methanococcates	Methanococcaceae	Methanococcus	M. rannielii M. voltae
Methanomicrobiates	Methanomicrobiaceae	Methanogenium	M. caraci M. marisnigri
		Methanospirillum	M. hungatei
		Methanomicrobium	M. mobile
	Methanosarcinaceae	Methanosarcina	M. barkeri

ที่มา: United Nations. 1984. p. 21.



ภาพ 5.12 รูปร่างลักษณะของแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทน
(United Nations. 1984. p. 21.)

ตาราง 5.6 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักมูลสัตว์ต่าง ๆ ต่อสัตว์ชนิดนั้น 1 ชีวิตใน 1 วัน

แหล่งมูล	ปริมาณมูลเป็นกิโลกรัมต่อวัน	ปริมาณแก๊สที่เกิดเป็นลิตร/กิโลกรัมของมูล	ปริมาณแก๊สเป็นลิตรต่อสัตว์ใน 1 วัน
มูลวัว	10	37	371
อุจจาระ	0.4	71	29
มูลสุกร(น้ำหนักตัว 45 ก.ก.)	2.25	80	180
มูลไก่(น้ำหนักตัว 2 ก.ก.)	0.18	63	11

ที่มา : ปิ่น-ฉวี เวชชานุเคราะห์. 2523. หน้า 16.

ส่วนผสมหรือองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพแปรเปลี่ยนไปตามวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก โดยเฉลี่ยแล้วพบว่าถ้าใช้มูลวัวหมักจะได้แก๊สที่มีมีเทนเป็นองค์ประกอบ 55% แต่ถ้าใช้อุจจาระอาจได้แก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นเป็น 65% ปริมาณแก๊สผสมในแก๊สชีวภาพซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการใช้วัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ในการหมัก แสดงไว้ในตาราง 5.7

ตาราง 5.7 ค่าเฉลี่ยของแก๊สที่ผสมในแก๊สชีวภาพจากการหมักมูลสัตว์

องค์ประกอบ	ส่วนผสม (%)
CH_4	55 - 65
CO_2	36 - 45
N_2	0 - 3
H_2	0 - 1
O_2	0 - 1
H_2S	0 - 1

ที่มา : ปิ่น-ฉวี เวชชานุเคราะห์. 2523. หน้า 17.

- **ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสร้างแก๊สชีวภาพ**

ปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพมีหลายประการ เช่น อุณหภูมิ การเติมวัตถุดิบ ปริมาณของแข็งในวัตถุดิบ ระยะเวลาการเกิดแก๊ส สภาพความเป็นกรด-ด่างในบ่อหมัก ปริมาณอาหารของแบคทีเรีย และปริมาณสารพิษในวัตถุดิบ เป็นต้น ซึ่งจะกล่าวอย่างย่อ ๆ ดังนี้

1. **อุณหภูมิ** แก๊สมีเทนจะเกิดในอัตราสูงสุดเมื่ออุณหภูมิในถังหมักประมาณ 35 °ซ. เมื่ออุณหภูมิลดลงการผลิตแก๊สจะลดลงด้วย และถ้าต่ำกว่า 15 °ซ. จะพบว่ามีแก๊สเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้นในฤดูหนาวในเขตที่มีอุณหภูมิต่ำ แก๊สอาจลดลงมากกว่าครึ่งของแก๊สที่เกิดขึ้นในหน้าร้อนได้ ปัญหานี้จะแก้ไขได้โดยการอุ่นบ่อหมัก อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมีอยู่ 2 ช่วงคือ ช่วงระหว่าง 30 °- 40 °ซ. และช่วงระหว่าง 50 °- 60 °ซ. การย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้แก๊สมีเทน ในช่วงอุณหภูมิสูงปฏิกิริยาจะเกิดเร็วและได้แก๊สมากกว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิต่ำ การหมักแก๊สชีวภาพที่ทำกันในครัวเรือนโดยเฉพาะในประเทศไทย การหมักในช่วง 30 °- 40 °ซ. ให้ผลดีอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไป เพราะต้องลงทุนเพิ่มมากขึ้นแต่ผลผลิตที่ได้ไม่คุ้มค่า แต่ถ้าหมักในระดับอุตสาหกรรมควรให้มีอุณหภูมิ 50 °- 60 °ซ. ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและอาจจะคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจมากขึ้นอีกด้วย

2. **การเติมวัตถุดิบ** ปริมาณวัตถุดิบหรือมูลสัตว์ที่เติมลงในบ่อหมักคิดน้ำหนักเป็นกิโลกรัมต่อปริมาตรของบ่อหมักหนึ่งลูกบาศก์เมตรต่อวัน เช่น การเติมมูลวัวในประเทศอินเดียใช้ปริมาณ 2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จึงเหมาะสมสำหรับแก๊สที่เกิดขึ้นและยังพบว่าถ้าอัตราการเติมมูลเพิ่มขึ้นระยะเวลาการเกิดแก๊สจะเร็วขึ้น

3. **ปริมาณของแข็งในวัตถุดิบ** ปกติมักใช้ปริมาณของแข็งที่สามารถถูกย่อยสลายได้เข้มข้นประมาณ 7-9% หรือของแข็งดังกล่าว 7-9 ส่วน ในส่วนผสมทั้งหมด 100 ส่วน จึงจะจัดว่าดีที่สุดถ้าปริมาณของแข็งที่สลายตัวไม่เจือจางกว่านี้หรือเข้มข้นมากกว่านี้ อาจส่งผลให้กระบวนการหมักเกิดช้าลง

4. **ระยะเวลาการเกิดแก๊ส** เป็นระยะเวลาที่ของแข็งสลายตัวในกระบวนการหมักและเกิดแก๊สมีเทนขึ้น ถ้าอุณหภูมิในถังหมักอยู่ในช่วง 35 °ซ. และมีการกวน เพื่อทำให้เกิดการคลุกเคล้าระหว่างวัตถุดิบ และจุลินทรีย์ให้ได้สัมผัสกันดีขึ้น อาจทำให้ระยะเวลาการเกิดแก๊สเร็วขึ้น เช่น ถ้าใช้เป็นมูลวัวอาจต่ำกว่า 50 วัน ถ้าใช้อุจจาระจะต่ำกว่า 30 วัน แต่ถ้าระยะเวลาการเกิดแก๊สสั้นมากเกินไป จะเกิดผลเสีย เช่น ปริมาณแก๊สชีวภาพเกิดน้อยและไม่มีคุณภาพ เนื่องจากปริมาณมีเทนต่ำ และกากหมักจะใช้ทำปุ๋ยไม่ได้ เพราะการย่อยสลายเกิดไม่สมบูรณ์มีกลิ่นเหม็นเป็นแหล่งเพาะโรคชักนำให้แมลงวันมาตอมมาก

5. **ความเป็นกรด-ด่างภายในบ่อหมัก** แก๊สชีวภาพเกิดได้ดีเมื่อค่าความเป็นกรดด่างหรือ pH ของวัตถุดิบที่ใช้หมักอยู่ระหว่าง 7-8 ถ้าเติมมูลสัตว์ หรือวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักมากเกินไป จะทำให้แบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์เจริญได้ดีกว่าแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทน ทำให้ pH ในบ่อหมักลดต่ำลงหรือเป็นกรดมากขึ้น ยิ่งผลให้แบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนทนไม่ได้ ดังนั้นปริมาณแก๊สจะลดลง หรือถ้าเป็นกรดมาก ๆ ก็อาจจะไม่มีแก๊สมีเทนเลยก็ได้ บ่อหมักจะหยุดการผลิตแก๊สชีวภาพ ในทางปฏิบัติเติมปูนขาวลงไปเพื่อปรับสภาพในบ่อหมักให้มีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น

6. **ปริมาณอาหารของแบคทีเรีย** อาหารของแบคทีเรียประกอบด้วย ธาตุต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คาร์บอน แคลเซียม และอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น ฮอร์โมน บางชนิดเป็นที่น่าสังเกตว่า ถ้าในบ่อหมักมีปริมาณอาหารมากเพียงพอ จะทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วมากการเติมกากน้ำตาลลงไปจะทำให้การเกิดแก๊สดีขึ้น ถ้ายิ่งเติมปัสสาวะลงไปจะเป็นตัวกระตุ้นในการสร้างแก๊สได้ดีที่สุด แต่การเติมปุ๋ยวิทยาศาสตร์ไม่ช่วยทำให้เกิดแก๊สได้ดีแต่อย่างใด

7. **ปริมาณสารพิษในบ่อหมัก** ถ้ามีปริมาณสารพิษในบ่อหมักสูง จะมีผลต่อการหมัก เพราะทำให้แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องชะงักการเจริญเติบโตหรือตายได้ แหล่งสารพิษอาจมาจากการใช้น้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือ มูลของสัตว์ที่ได้รับยาหรือสารบางชนิดที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย

- **การใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพ**

การใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติหลายอย่าง เช่น แหล่งที่จะใช้ประโยชน์จากแก๊สต้องอยู่ใกล้กับบ่อหมัก เพราะการอัดแก๊สชีวภาพใส่ถังหรือส่งไปตามท่อไกลๆ ด้วยความดันสูงทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงเป็นอุปสรรคในการที่จะผลิตแก๊สชีวภาพปริมาณมากเพื่อที่จะส่งแก๊สไปตามระบบเส้นท่อ จึงทำให้ใช้ได้เฉพาะภายในครัวเรือนชนบท เช่น ใช้ในการหุงต้มอาหาร ในบางประเทศเช่น อินเดีย ไต้หวัน จีน อินโดนีเซีย เป็นต้น ได้พยายามพัฒนาเทคโนโลยีในการนำแก๊สชีวภาพไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น การใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องจักรต่าง ๆ ได้แก่เครื่องสูบน้ำ ตู้เย็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และในประเทศจีนมีการทดลองใช้แก๊สชีวภาพผสมน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในรถยนต์ เป็นต้น ในขณะนี้การผลิตแก๊สชีวภาพได้ขยายวงกว้างมากขึ้นโดยเฉพาะในการกำจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และในฟาร์มปศุสัตว์ เพราะนอกจากจะเป็นการกำจัดของเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากแล้วยังได้พลังงานกลับไปใช้ในฟาร์ม หรือโรงงานอีกด้วยเช่นเป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำในโรงงานชักรีด โรงงานทำสบู่ขนาดเล็ก เป็นต้น

นอกจากการใช้แก๊สชีวภาพโดยตรงแล้วยังพบว่าประโยชน์หรือข้อดีของการใช้แก๊สชนิดนี้คือเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดปราศจากควันและไม่ก่อให้เกิดโรค กากหมักยังนำมาทำปุ๋ยได้เป็นอย่างดีและมีคุณภาพมากกว่าปุ๋ยหมักที่ทำกันทั่วไป เพราะมีปริมาณธาตุไนโตรเจนสูงกว่า มีสารฮิวมัสสูง

กว่า ทำให้ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น อากาศถ่ายเทสะดวกกว่า และสามารถจับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ได้ดี จึงเป็นการป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารพืชที่เกิดจากการชะล้างเมื่อฝนตกหนัก ไม่มีเมล็ดวัชพืชอยู่ในกากหมักเลย จึงไม่จำเป็นต้องใช้ยาปราบวัชพืช แปลงเพาะปลูกที่ได้รับกากหมักจะให้ผลผลิตสูงขึ้นกว่าปกติประมาณ 25-33% ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ใช้ในการเพาะปลูก ประโยชน์ทางอ้อมจากการสร้างบ่อหมักแก๊สคือ กำจัดแมลงและยุงได้ เป็นการกำจัดแหล่งเพาะเชื้อโรค และกำจัดมูลสัตว์ต่างๆ รวมทั้งอุจจาระด้วย

2) การผลิตแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์มีอยู่ 2 ประเภทคือ เมทิลแอลกอฮอล์(เมทานอล) มีสูตรทางเคมีคือ CH_3OH ซึ่งใช้จุดไฟ ได้จากการกลั่นไม้ และเอทิลแอลกอฮอล์(เอทานอล) มีสูตรทางเคมีคือ C_2H_5OH ซึ่งมีอยู่ในเครื่องดื่มมึนเมา การผลิตแอลกอฮอล์ประเภทหลังนี้ทำได้โดยการหมักพืชและน้ำผลไม้ เช่น น้ำตาลสด น้ำมะพร้าว ถ้าตั้งทิ้งไว้โดยไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ มักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีกลิ่นคล้ายเหล้าเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่มียีสต์อยู่ และยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์

การหมักแอลกอฮอล์ทำกันมาตั้งแต่โบราณเพื่อใช้เป็นเครื่องดื่ม เราสามารถหมักไวน์ผลไม้ไว้ดื่มเองในครอบครัว เมื่อคั้นน้ำผลไม้หรือน้ำตาลจากอ้อยและต้นตาลมาทิ้งไว้ก็จะเกิดการหมักเป็นแอลกอฮอล์ได้เองตามธรรมชาติ นอกจากนั้นการผลิตเบียร์จากข้าวมอล์ทหรือข้าวบาเลย์ก็อาศัยการหมักทำให้เกิดแอลกอฮอล์เช่นกัน

เนื่องจากวิกฤตการณ์น้ำมัน ทำให้หลายประเทศที่มีผลิตผลทางการเกษตรเหลือเฟือ นำผลผลิตเหล่านี้มาเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์เพื่อนำไปใช้เป็นพลังงาน โดยการผสมกับแก๊ส-โซลีน (น้ำมันเบนซิน) ใช้กับรถยนต์ ตัวอย่างเช่น บราซิลเป็นประเทศหนึ่งที่มีการส่งเสริมโครง-การนี้อย่างกว้างขวางโดยมีการผลิตแอลกอฮอล์ทั้งจากอ้อย มันสำปะหลัง และกากน้ำตาล (Mollasses)

- วัตถุดิบและกระบวนการหมักแอลกอฮอล์

การหมักแอลกอฮอล์ทางอุตสาหกรรมไม่ได้ง่ายเหมือนอย่างที่ทำกันเพียงเล็กน้อยเพื่อรับประทานในครัวเรือน โรงงานต่าง ๆ ต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิต โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตต้องมีน้ำตาลหรือแป้งไม่น้อยกว่า 10% ถ้าต่ำกว่าจะไม่คุ้มค่าการลงทุน นอกจากนี้วัตถุดิบต้องมีมากพอสำหรับการดำเนินงานได้ตลอดปี

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์มี 2 ประเภท ได้แก่

1. วัสดุทางการเกษตร พวกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ เช่น มันสำปะหลัง ข้าว โพด ข้าว หรือพวกที่มีน้ำตาลเช่น อ้อย กากน้ำตาล น้ำตาลจากน้ำตาลมะพร้าว เป็นต้น

2. วัสดุเซลลูโลส เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ ฟางข้าว เปลือกผลไม้ ชานอ้อย ซังข้าวโพด แกลบ เป็นต้น

การหมักแอลกอฮอล์ที่ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบ จะใช้เชื้อราบางชนิดที่ปล่อยเอนไซม์ อะไมเลส (Amylaze) ออกมาย่อยสลายแป้งให้เป็นน้ำตาลได้แก่ รา Aspergillus oryzae, Rhizopus oryzae และ Amylomyces oryzae (Chlamydomucor oryzae) ส่วนการย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลก็ใช้เอนไซม์เซลลูเลสหรือใช้กรดหรือใช้รา Trichoderma viride เมื่อได้น้ำตาลจากการย่อยสลายของเชื้อราแล้วจึงนำน้ำตาลไปหมักด้วยยีสต์ ได้แก่ Saccharomyces cerevisiae เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการอย่างง่ายได้ดังนี้

$$\text{เซลลูโลสหรือแป้ง} \xrightarrow{\text{รา}} \text{น้ำตาล}$$

$$\text{น้ำตาล} \xrightarrow{\text{ยีสต์}} \text{แอลกอฮอล์}$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าถ้ามีวัตถุดิบที่เป็นน้ำตาลเช่นน้ำอ้อย ยีสต์ จะเปลี่ยนเป็นเอทิล-แอลกอฮอล์ได้ทันที

โดยปกติแล้วการหมักน้ำตาลจะได้เป็นแอลกอฮอล์ประมาณครึ่งหนึ่ง ส่วนที่เหลือจะเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{ยีสต์}} 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

ตัวอย่างเช่น น้ำตาล 1 กิโลกรัมใช้หมักแอลกอฮอล์ได้ 0.647 ลิตรในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติจะได้ประมาณ 0.52-0.55 ลิตร

สำหรับการย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลนั้นเคยมีผู้ทดลองแล้ว พบว่า เศษกระดาษ 1 ตัน สามารถหมักให้เป็นกลูโคสได้ 1/2 ตัน แล้วหมักต่อให้เป็นเอทานอลได้ 68 แกลลอน (308.96 ลิตร) และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินพบว่าเมื่อเผาแอลกอฮอล์ 1.7 ลิตร จะให้

พลังงานเท่ากับการเผาน้ำมันเบนซิน 1 ลิตร หรือแอลกอฮอล์ให้พลังงาน 60% ของเบนซินโดยน้ำหนักหรือปริมาตรที่เท่ากัน

ปริมาณแอลกอฮอล์ที่หมักได้จากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ โดยเฉลี่ยจะได้ดังตาราง 5.8

ตาราง 5.8 ปริมาณแอลกอฮอล์ที่หมักได้จากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ

วัตถุดิบ	ผลผลิต (ตัน/เฮกตาร์*)	น้ำตาลในผลผลิต (%)	แอลกอฮอล์ (ลิตร/ตัน)	ผลผลิตรวมแอลกอฮอล์ (ลิตร/เฮกตาร์/ปี)
น้ำตาล	–	50	250	–
อ้อย	40 - 50	14	70	2,240 - 2,800
มันสำปะหลัง	15 - 30	30	155	1,510 - 3,500
ข้าวฟ่างหวาน	30	14	70	1,680
ธัญพืช	1.4	75	375	260
น้ำตาลจาก	–	–	83	21,000
น้ำตาลมะพร้าว	–	–	83	5,000

* 1 เฮกตาร์ = 10,000 ม.^{2} = 6.25 ไร่

ที่มา : วิทยาศาสตร์, คณะ, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2531. หน้า 91.

จากตาราง 5.8 จะเห็นว่าอ้อยและมันสำปะหลังเหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ทางอุตสาหกรรม ข้าวฟ่างหวานก็เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูง ส่วนน้ำตาลจากและน้ำตาลมะพร้าวคงทำได้ยากเพราะต้นทุนการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสูงต้องใช้แรงงานมาก

- การนำแอลกอฮอล์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน

โดยปฏิกิริยาชีวเคมี ยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยให้แอลกอฮอล์สูงเพียง 10-14% ซึ่งยังไม่เหมาะที่จะใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินซึ่งต้องการแอลกอฮอล์ที่บริสุทธิ์สูงกว่า 95% จึงต้องนำแอลกอฮอล์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการกลั่นที่อุณหภูมิ 78° ซ. เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ถึง 95-99% เพื่อป้องกันเครื่องยนต์กระตุก

การนำเอทิลแอลกอฮอล์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้รับความสนใจอย่างมาก โดยการนำเอทิลแอลกอฮอล์ผสมกับแก๊สโซลีนในสัดส่วน 10:90 หรือ 20:80 เรียกว่าแก๊สโซฮอล์ (Gasohol = gasoline+alcohol) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงชนิดนี้ นอกจากที่กล่าวมาแล้วคือ อากาศเป็นพิษน้อยลงผลผลิตทางการเกษตรมีราคาดีขึ้น ประหยัดเงินตราที่ต้องซื้อน้ำมันจากต่างประเทศ เป็นต้น ส่วนข้อเสียที่จะพบได้แก่ แก๊สโซฮอล์จะทำปฏิกิริยากับยาง หรือพลาสติกบางชนิดและสึกรถ การดูดน้ำของส่วนผสมของแก๊สโซฮอล์จะทำให้เกิดการแยกชั้นของแอลกอฮอล์ เบนซิน น้ำ น้ำและแอลกอฮอล์ถ้าหากเผาไหม้ไม่หมดหรือเมื่อเครื่องยนต์เย็นเกินไปจะไหลลงก้นถังน้ำมัน ทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพลงจะทำให้ถังน้ำมันและเครื่องยนต์เสียหาย และที่สำคัญต้นทุนการผลิตแอลกอฮอล์ยังสูงอยู่ ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงกรรมวิธีและเทคนิคการผลิตให้ลดต่ำลง

5.4. พลังงานชีวมวลจากแหล่งอื่น

5.4.1 น้ำมันเชื้อเพลิงจากพืช

ความพยายามในการค้นหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนน้ำมันเช่น การใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ แก๊สชีวภาพ เป็นต้น นับได้ว่าได้ผลดีตามสมควร แต่มีแหล่งน้ำมันอีกแหล่งหนึ่งที่ได้มีการพยายามนำมาใช้ประโยชน์ได้แก่ น้ำมันจากเมล็ดพืช

สืบเนื่องจากการทดลองใช้ แก๊สชีวภาพมาทดลองเติมเครื่องยนต์ร่วมกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ผลปรากฏว่าเครื่องยนต์เดินได้ดีและประหยัดน้ำมันอีกด้วย จึงมีการทดลองนำน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ มารวมกับแก๊สชีวภาพแล้วเติมลงในเครื่องยนต์ก็พบว่าเครื่องยนต์เดินได้ แต่ประสบปัญหามียางเหนียวจากน้ำมันพืชติดลูกสูบและส่วนอื่นของเครื่องยนต์

อย่างไรก็ตามผลการค้นคว้าพบว่ามีพืชอยู่ชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันออกไปภาคกลางเรียกว่า ต้นสบู่ดำ (Physic nut หรือ Purging nut) เป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกากลาง มีผู้นำเข้ามาในประเทศไทยนานกว่า 200 ปีในปลายสมัยกรุงศรีอยุธยาเพื่อนำเมล็ดไปบีบอัดเอาน้ำมันสำหรับทำสบู่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Jatropha curcas linn. อยู่ในตระกูล Euphorbiaceae สามารถให้น้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดที่นำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี เครื่องยนต์เดินปกติสม่ำเสมออัตราเร่งและการสิ้นเปลืองใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว แต่อาจต้องปรับปรุงเครื่องยนต์ เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในระยะยาวจึงควรขยายพันธุ์ต้นสบู่ดำให้มีปริมาณเพียงพอกับความต้องการ และถ้าผลการทดลองมีความเป็นไปได้ น้ำมันจากเมล็ดพืชชนิดนี้อาจนำไปทดแทนน้ำมันดีเซลได้บางส่วนด้วย

5.4.2 พลังงานจากขยะมูลฝอย

เศษขยะที่เป็นชีวมวลทั้งหลายนอกจากสามารถนำมาหมักเป็นแก๊สมีเทนเพื่อใช้เดินเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วยังสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงต้มน้ำให้กลายเป็นไอแล้วนำไปหมุนกังหันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ได้มีผู้ทำการวิจัยและคำนวณไว้ว่าขยะ 1 ตัน จะให้ความร้อนประมาณ 1 ล้านบี.ที.ยู ซึ่งเทียบเท่ากับน้ำมันเตา 70 แกลลอนหรือถ่านหิน 800 ปอนด์ โรงงานไฟฟ้าที่ใช้ขยะ 1 ตัน จะเผาน้ำให้กลายเป็นไอคิดเป็นน้ำหนัก 6,500 ปอนด์ ปัญหาในการเผาขยะจะมีควันไฟและแก๊สพิษต่าง ๆ ซึ่งถูกระบายออกทางปล่องไฟของโรงงาน วิธีแก้ปัญหาที่ใช้กันอยู่คือ ลดอุณหภูมิในปล่องไฟให้น้อยลง ในปัจจุบันประเทศตะวันตก เช่น สหรัฐอเมริกามีโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเศษขยะอยู่ตามเมืองใหญ่กันมาก

นอกจากการเผาขยะโดยตรงแล้ว ยังมีวิธีการผลิตน้ำมันจากขยะโดยวิธีการไพโรไลซิส ในกระบวนการนี้ใช้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 1,000°-3,000°ฟ. ซึ่งทำให้สารอินทรีย์สลายตัวโดยไม่ใช้ออกซิเจน แล้วจะได้สารผสมของแก๊สเชื้อเพลิง ของเหลว และกากของแข็ง ซึ่งต่างจากการเผาไหม้ขยะโดยใช้ออกซิเจนซึ่งได้แต่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แก๊สเชื้อเพลิงและน้ำมันเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนี้ สามารถเก็บกักและขนส่ง เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ แต่สำหรับแก๊สที่ได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าแก๊สธรรมชาติ เป็นแก๊สที่สกปรกและให้พลังงานประมาณ 90% ของแก๊สธรรมชาติ ซึ่งเป็นปัญหาและไม่คุ้มทุนในการขนส่งทางเรือไกล ๆ ส่วนน้ำมันที่ได้เรียกว่า การ์บอยล์ (Garboil) ซึ่งไม่สามารถนำไปกลั่นเป็นเบนซินได้ แต่สามารถใช้แทนน้ำมันเตาในโรงผลิตกระแสไฟฟ้า

ตัวอย่างกระบวนการที่ได้รับการค้นคว้าวิจัยโดยบริษัททางการค้าต่าง ๆ มีดังนี้

1. กระบวนการ Garrette (ใช้วิธี Flash pyrolysis)

   เศษอินทรีย์สารปน —เผา 1,000° F, ไม่ใช้ O_2→ ได้น้ำมันเชื้อเพลิงความหนืดสูง

2. กระบวนการ Monsanto

   เศษขยะปน —เผา 1,400° F, ใช้ O_2 เล็กน้อย→ ได้แก๊ส, ถ่าน ประสิทธิภาพ 54%

3. กระบวนการ Union Carbine

   เศษขยะ(ไม่ต้องปน) —เผา 3,000° F, ใช้ O_2 ในบางตอน→ ได้แก๊ส ประสิทธิภาพ 64%

4. กระบวนการ Torrax

เศษขยะ ——— เผา 2,000° C ———→ ได้แก๊ส ประสิทธิภาพ 65%

5. กระบวนการ Pyrotex

เศษขยะ ——— ความร้อน ———→ ได้แก๊ส, ถ่าน, น้ำมัน ประสิทธิภาพ 39%

5.4.3 แก๊สไฮโดรเจนจากสาหร่าย

ไฮโดรเจนเป็นแก๊สที่จุดไฟติดซึ่งมีผู้ค้นพบตั้งแต่ปี ค.ศ. 1500 เศษ จากการละลายโลหะชนิดหนึ่งในกรด ปัจจุบันไฮโดรเจนเหลวเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีในการขับดันจรวดสู่อวกาศ และใช้ในห้องปฏิบัติการบางชนิดนอกจากนั้นยังใช้สำหรับให้ความอบอุ่นในอาคารบ้านเรือน การผลิตกระแสไฟฟ้าและกระบวนการอุตสาหกรรมการผลิตไขมัน น้ำมัน เนยเทียม และสบู่ การผลิตปุ๋ย การสังเคราะห์สารเคมีสำหรับการผลิตไนลอนพลาสติก และแก้ว เป็นต้น การใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานได้โดยไม่มีปัญหามลพิษตามมาเหมือนแหล่งพลังงานอื่น ๆ และการจัดเก็บและขนส่งก็สะดวก ดังนั้นจึงเป็นแหล่งที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่ง

กระบวนการผลิตไฮโดรเจนมีอยู่ 4 วิธีใหญ่ ๆ คือการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า การแยกน้ำด้วยปฏิกิริยาเทอร์โมเคมี การแยกน้ำด้วยแสง และการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีหลังนี้เท่านั้น

ในธรรมชาติสาหร่ายสีเขียวบางชนิดสามารถผลิตไฮโดรเจนได้โดยอาศัยน้ำกับแสงแดด ซึ่งได้ชื่อว่ากระบวนการไบโอโฟโตไลซิส (Biophotolysis) เชื่อกันว่ากระบวนการนี้ให้ประสิทธิภาพสูงถึง 10% การใช้สาหร่ายไม่ต้องลงทุนมากนัก ซึ่งคาดว่าใช้เนื้อที่เพียง 2-3 ตารางเมตรภายในบริเวณบ้านก็จะได้ไฮโดรเจนพอเพียงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุปกรณ์ต่าง ๆ ในครอบครัว สำหรับอนาคตข้างหน้าได้

บทที่ 6

การอนุรักษ์ ฟื้นฟู และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

6.1 บทนำ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทุกคน ย่อมประสบปัญหาต่าง ๆ มากมาย ทั้งทางด้านร่างกาย จิตใจและสังคม มนุษย์ต้องเผชิญกับโรคภัยไข้เจ็บอันเนื่องมาจากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะทวีความรุนแรงขึ้นทุกขณะ ทั้งปัญหามลพิษ และปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติและทรัพยากรธรรมชาติเสื่อมโทรม จากแนวคิดที่ว่า สรรพสิ่งทั้งหลายในชีวภาคย่อมมีความสัมพันธ์กันตามบทบาทและหน้าที่ของตนในระบบนิเวศนั้น ซึ่งสามารถรักษาสภาพสมดุลตามธรรมชาติและคงความสัมพันธ์ดังกล่าวไว้อย่างมั่นคง โดยปราศจากปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้น แต่ในความเป็นจริงมนุษย์มักเป็นต้นเหตุแห่งปัญหา โดยมีส่วนทำให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวแตกสลาย ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนประชากรมนุษย์มีมากเกินความสามารถในการรองรับของระบบนิเวศ ประกอบกับพฤติกรรมของมนุษย์ที่ทำลายล้างสภาพแวดล้อม เป็นเหตุให้ธรรมชาติเสียความสมดุล จึงประสบกับปัญหาดังกล่าว ปัญหาสิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์เอง คือ โรคภัยไข้เจ็บที่ตามมาทั้งสุขภาพกายและจิตใจ จนทำให้เกิดการสูญเสียในเชิงเศรษฐกิจจำนวนมาก ในฐานะที่มนุษย์เป็นต้นเหตุที่สำคัญในการก่อให้เกิดปัญหา ดังนั้นทุกคนควรตระหนักถึงสภาพปัญหาและทำความเข้าใจสภาพปัญหาให้มากขึ้น และร่วมมือกันป้องกันแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมกันอย่างจริงจัง โดยอาศัยแนวทางตามหลักการอนุรักษ์ฟื้นฟู และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ดีในที่นี้ ได้เสนอแนวทางการปฏิบัติได้ 4 ระดับ ได้แก่ ระดับบุคคล ระดับท้องถิ่นหรือชุมชน ระดับประเทศ และระดับโลก หากทุกฝ่ายเริ่มต้นปฏิบัติตามแนวทางดังกล่าวตั้งแต่บัดนี้และตลอดไป ก็เป็นที่เชื่อแน่ว่าโลกของเราคงจะดำรงอยู่ต่อไปได้อย่างยั่งยืนนาน

6.2 ความหมายของการอนุรักษ์

การอนุรักษ์ หมายถึง การเก็บรักษา สงวน ซ่อมแซม ปรับปรุง และใช้ประโยชน์ตามความต้องการอย่างมีเหตุผลต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเอื้ออำนวยให้เกิดคุณภาพสูงสุดในการ

สนองความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างถาวรต่อไป จากความหมายนี้จะเห็นว่าการใช้ทรัพยากรธรรม-ชาติทั้งหลาย เช่น แร่ธาตุ พลังงาน ต้นไม้ กุ้ง ปลา ฯลฯ ต้องให้เกิดประโยชน์ต่อมนุษย์และใช้อย่างฉลาด คือ ใช้ให้พอเพียงต่อความต้องการ ไม่มาก หรือน้อยเกินไป ทั้งนี้จะได้นำเอาทรัพยากรธรรมชาติที่เหลือมาใช้ในโอกาสต่อไป นอกจากนั้นต้องใช้อย่างระมัดระวัง ไม่ให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

ในสมัยก่อนนั้นการอนุรักษ์เป็นการสงวนกับการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างไม่ให้สูญเสีย แต่ปัจจุบันครอบคลุมถึงการฟื้นฟูและการเพิ่มพูนทรัพยากรธรรมชาติให้มีมากพอเพียงเพื่อให้มีใช้ตลอดไป ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า ในยุคแรก ๆ ทรัพยากรธรรมชาติยังมีใช้เหลือเฟืออีกทั้งประชากรยังมีจำนวนน้อย ต่อมามีการใช้อย่างฟุ่มเฟือยและผิดหลักวิชาการ เพราะประชากรมีมากขึ้น ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติบางประเภทลดน้อยลง จึงน่าจะมีการฟื้นฟูและหาทางเพิ่มให้มีมากเสียก่อนแล้วจึงค่อยนำไปใช้ และถ้ามีทรัพยากรธรรมชาติอยู่แล้วต้องหาทางทำให้มีใช้ตลอดไป

6.3 หลักการอนุรักษ์

การที่จะให้บรรลุเป้าหมายให้มีทรัพยากรธรรมชาติใช้ตลอดไป มีหลักการอนุรักษ์ 3 ประการ คือ

1. ต้องใช้อย่างฉลาด การใช้ทรัพยากรแต่ละอย่างต้องพิจารณาให้รอบคอบถึงผลดีผลเสีย ความขาดแคลนหรือความหายากในอนาคต อีกทั้งพิจารณาหลักเศรษฐศาสตร์ถึงต้นทุนและผลตอบแทนอย่างถี่ถ้วน

2. ประหยัด (เก็บ รักษา สงวน) ของที่หายาก หมายถึง ทรัพยากรใดที่มีน้อยหรือหายาก ควรที่จะเก็บรักษาไว้มิให้สูญไป บางครั้งถ้ามีของบางชนิดที่พอจะใช้ได้ ต้องใช้อย่างประหยัด

3. หาวิธีฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่ไม่ดีหรือเสื่อมโทรมให้ดีขึ้น (ซ่อมแซม ปรับปรุง) กล่าวคือ ทรัพยากรใดก็ตามมีสภาพล่อแหลมต่อการสูญเปล่า หรือจะหมดไป ถ้าดำเนินการไม่ถูกต้องตามหลักวิชา ควรหาทางปรับปรุงให้อยู่ในลักษณะที่ดีขึ้น

แนวทางที่จะบรรลุเป้าหมายตามหลักการอนุรักษ์ทั้ง 3 ประการที่กล่าวมาคือ

1. งดการใช้ที่ไม่จำเป็นหรือที่มีแนวโน้มที่จะเกิดความสูญเปล่า เพราะถ้าลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็นลงแล้วเท่ากับเป็นการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติที่มีให้มีใช้ตลอดไป เช่น การปิดไฟฟ้าหลังจากใช้งานเสร็จแล้ว

2. ดูแลรักษาทรัพยากรธรรมชาติที่หายากหรือมีน้อยให้อยู่ในสภาวะที่มากพอเสียก่อนจึงจะใช้ทรัพยากรธรรมชาตินั้น ๆ ได้ หรือถ้าทรัพยากรธรรมชาตินั้นกำลังจะสูญพันธุ์หรือหมดไปจากโลกนี้ จำเป็นจะต้องสงวนไว้อย่าให้สูญสลายไป เช่น การสงวนรักษาพันธุ์สัตว์ป่า การยกเลิกสัมปทานป่าไม้ เป็นต้น

3. ผู้ใช้ทรัพยากรธรรมชาติทั้งหลายควรตระหนักอยู่เสมอว่า ทรัพยากรธรรมชาติแต่ละอย่างมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันยากที่จะแยกจากกันได้ ถ้ามีการกระทำใด ๆ ต่อทรัพยากรธรรมชาติอย่างหนึ่งจะมีผลกระทบกระเทือนต่อทรัพยากรธรรมชาติอีกอย่างหนึ่ง เป็นปัญหาลูกโซ่เสมอ ทั้งนี้ผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจเป็นทางตรงหรือทางอ้อมก็ได้ ดังนั้นการที่จะใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างใดอย่างหนึ่งต้องพิจารณาผลกระทบที่จะเกิดต่อทรัพยากรธรรมชาติอื่นอย่างรอบคอบ เช่น การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ ย่อมทำให้แหล่งน้ำนั้นเน่าเสีย สิ่งมีชีวิตในน้ำตายและสูญพันธุ์ เป็นต้น

4. การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรของพื้นที่แต่ละแห่งควรต้องทำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจุบันประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงต้องมีการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ให้มากขึ้น เพราะถ้ามีอาหารพอเพียงต่อความต้องการของประชากร ปัญหาสังคมด้านอื่น ๆ จะลดลง

5. ต้องพยายามอำนวยให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้มีพืชและสัตว์เจริญเติบโตตลอดไปชั่วกาลนาน โดยสิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อการป้องกันภัยธรรมชาติ ทั้งด้านความแห้งแล้งและอุทกภัย รวมทั้งมลพิษต่าง ๆ

จากความหมายและหลักการของการอนุรักษ์ที่กล่าวมาจะเห็นว่า การใช้ทรัพยากรธรรมชาติจำเป็นจะต้องมีการจัดการและวางแผนเพื่อให้แนวทางที่จะบรรลุเป้าหมายตามหลักการอนุรักษ์ดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวางแผนเป็นสิ่งที่มีกระบวนการหรือขั้นตอนการดำเนินงานอย่างมีระบบและสามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติ หรือเรียกว่าการจัดการและการบริหารทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชาชนต้องเข้าใจสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบ

ตัว และสนใจต่อการดำเนินการทั้งทางด้านการบริหารและการปฏิบัติต่อทรัพยากรเหล่านั้นเป็นอย่างดี ตลอดจนเข้าใจว่าการใช้ทรัพยากรธรรมชาติต้องหลีกเลี่ยงการสูญเสีย และการทำลายมากที่สุด

6.4 แนวความคิดในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

1. การจัดการทรัพยากรธรรมชาติต้องคำนึงถึงทรัพยากรทุกอย่างไปพร้อม ๆ กัน ไม่ควรแยกพิจารณาเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เพราะทรัพยากรธรรมชาติทุกอย่างมีส่วนเกี่ยวข้องสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างใกล้ชิด เช่น ดินให้อาหารแก่ต้นไม้ ป่าไม้ให้ความชุ่มชื้นแก่ดิน และเป็นที่อาศัยของสัตว์ป่า สัตว์ป่าช่วยเพิ่มปุ๋ยแก่ดิน และปุ๋ยมีประโยชน์ต่อต้นไม้ เป็นต้น

2. ในการวางแผนเพื่อจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างชาญฉลาดนั้น ต้องไม่แยกมนุษย์ออกจากสิ่งแวดล้อมทางสังคม หรือวัฒนธรรม หรือสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ เพราะวัฒนธรรมและสังคมมนุษย์ได้พัฒนาตัวเองไปพร้อมกับการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติของสังคมนั้น การจัดการทรัพยากรธรรมชาติใด ๆ ต้องคำนึงถึงวัฒนธรรมความเป็นอยู่ของประชากรในบริเวณนั้นด้วยว่าเป็นอย่างไร เราควรอนุรักษ์วัฒนธรรมพื้นบ้านของประชากรเอาไว้หรือไม่ หรือการพัฒนาใด ๆ ไม่ควรพัฒนาในแง่ที่ไปขัดแย้งกับวัฒนธรรมอันดีงามของประชากรในท้องถิ่นนั้น ๆ เช่น การสร้างถนนไม่ควรตัดผ่านบริเวณที่ประชาชนนับถือศรัทธา หรือโบราณสถานทางประวัติศาสตร์ หรือสร้างเขื่อนต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชากร พื้นที่เพาะปลูกที่ต้องสูญเสีย สิ่งแวดล้อมธรรมชาติ เช่นป่าไม้ต้องสูญเสีย

3. การอนุรักษ์ถือว่าเป็นหนทางแห่งการดำเนินชีวิตของมนุษย์โดยแท้ เพราะการอนุรักษ์เป็นรากฐานแห่งการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และวัฒนธรรม เพื่อความอยู่-รอดของสังคมมนุษย์นั่นเอง เช่น ถ้าทรัพยากรธรรมชาติของประเทศใดร่อยหรอหรือมีสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมย่อมเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และวัฒนธรรม

4. โครงการพัฒนาใด ๆ จะไม่ประสบผลสำเร็จอย่างสมบูรณ์ นอกจากผู้บริหารโครงการจะตระหนักถึงความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและจัดการอย่างชาญ-ฉลาด เกิดผลดีทุก ๆ ทางต่อสังคมมนุษย์

5. การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเกี่ยวข้องกับทุกคนไม่ว่าจะอาศัยอยู่ในเมืองหรือชนบท

6. ความมั่นคั่งอุดมสมบูรณ์ของประเทศขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติและขึ้นอยู่กับทรัพยากรมนุษย์ซึ่งเป็นผู้ใช้ทรัพยากรของประเทศนั้น

7. อัตราการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในปัจจุบันของประเทศมหาอำนาจทางอุตสาหกรรมอยู่ในระดับฟุ่มเฟือยเกินกว่าที่จะนำมาเป็นมาตรฐานใช้กับประชากรทั่วโลกได้ ดังนั้นควรมีการร่วมมือกันป้องกันการกอบโกยทรัพยากรธรรมชาติจากประเทศที่กำลังพัฒนาเช่นประเทศไทยไปใช้อย่างฟุ่มเฟือยในประเทศที่พัฒนาแล้ว

8. การทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยเหตุใดก็ตาม เท่ากับเป็นการทำลายมรดกของมนุษยชาตินั่นเอง

9. มนุษย์สามารถนำเอาวิทยาการต่าง ๆ มาช่วยเหลือบรรเทาหรือปรับปรุงกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเพื่อประโยชน์ของมนุษย์เอง แต่มนุษย์ไม่สามารถสร้างทรัพยากรธรรมชาติขึ้นมาเหมือนเดิมได้

10. การอนุรักษ์นอกจากจะทำเพื่อกินดีอยู่ดีของมนุษย์แล้ว ยังจำเป็นต้องอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อความอุดมสมบูรณ์ เป็นผลดีทางจิตใจด้วย เช่น การอนุรักษ์ธรรมชาติที่สวยงาม การอนุรักษ์สัตว์ป่า และสถานที่พักผ่อนหย่อนใจต่าง ๆ เป็นต้น

11. มนุษย์ต้องยอมรับว่า การทำลายทรัพยากรธรรมชาติเกิดขึ้นทุกหนทุกแห่งที่มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาตินั้น ๆ จึงไม่ควรมองผลดีที่จะเกิดขึ้นแต่เพียงอย่างเดียว ควรตระหนักถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันเสมอ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจที่ถูกต้องต่อการจัดใช้ทรัพยากรธรรมชาตินั้น ๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีผลเสียน้อยที่สุดในระยะยาว

12. ประชากรโลกเพิ่มมากขึ้นทุกวัน แต่ทรัพยากรธรรมชาติกลับลดน้อยลงทุกที ไม่มีใครทราบได้ว่าการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในขั้นปลายเป็นเช่นไร อนาคตเป็นสิ่งมืดมน ถ้าทุกคนไม่เริ่มต้นอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมกันตั้งแต่บัดนี้

6.5 แนวทางในการอนุรักษ์ ฟื้นฟู ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม

การอนุรักษ์ ฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งที่ทุกฝ่ายต้องร่วมมือกันปฏิบัติอย่างจริงจัง ซึ่งในที่นี้จะเสนอแนวทางในการดำเนินการในระดับต่าง ๆ ได้แก่ ระดับบุคคล ระดับท้องถิ่น ระดับประเทศ และระดับโลก ว่าควรจะดำเนินการอย่างไร โดยเน้นวิธีการที่สามารถปฏิบัติได้ง่าย ในการดำเนินการนั้นทุกระดับต้องกระทำพร้อม ๆ กันเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามหลักการอนุรักษ์เป็นสำคัญ

6.5.1 ระดับบุคคล

ประชากรทุกคนเป็นส่วนประกอบของสังคมและสิ่งแวดล้อมและสามารถเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นหรือเลวลงได้ พฤติกรรมของประชากรจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ ดังนั้นเพื่อให้มีทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในแหล่งที่แต่ละบุคคลอาศัยอยู่ดำรงอยู่ได้ และเกิดผลกระทบน้อยที่สุด ทุกคนควรปฏิบัติตามแนวทางดังต่อไปนี้

1) ปฏิบัติตนให้เป็นตัวอย่างแก่คนอื่น โดยการไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม รักษาความสะอาด และความสวยงามของธรรมชาติ เช่น ไม่ทิ้งขยะมูลฝอย เศษกระดาษ ตั๋วรถเมล์ ในที่สาธารณะ ให้ทิ้งลงในที่รองรับ จัดบ้านเรือนที่อยู่อาศัยให้สะอาดเป็นระเบียบเรียบร้อย ปลูกต้นไม้บริเวณบ้าน สถานศึกษา ที่ทำงาน เป็นต้น

2) ร่วมเสนอความคิดเห็นต่อโครงการพัฒนาใด ๆ ในอันที่จะมีผลกระทบในทางลบต่อสิ่งแวดล้อม

3) ศึกษาเรื่องสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติ ให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งในขณะอยู่ในวัยเรียน บางปัญหาอาจต้องอาศัยความรู้วิชาการหลายด้าน ดังนั้นหากรอบรู้ในวิชาการด้านอื่นนอกเหนือจากวิชาการสาขาที่ตนเองศึกษาอยู่ จะทำให้มองปัญหาได้ชัดเจน และนำไปสู่การแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ดี

4) ใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างประหยัด ได้แก่

- การลดการใช้สิ่งอำนวยความสะดวก (Reduce) เช่น ลดการใช้น้ำ ไฟฟ้า โทรศัพท์ ลงโดยใช้เท่าที่จำเป็น
- การนำวัสดุสิ่งของที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีก (Reuse) เช่น นำขวดหรือภาชนะอาหารที่ใช้แล้วมาทำความสะอาด แล้วนำมาบรรจุน้ำดื่ม หรือทำที่ใส่ต้นไม้
- การนำเศษวัสดุที่ใช้แล้วจำหน่ายไปเพื่อนำไปหลอมละลาย และผลิตสิ่งของกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เช่น การขายเศษกระดาษ เศษเหล็ก พลาสติก ให้แก่

แหล่งรับซื้อของเก่าเพื่อนำไปส่งโรงงาน ผลิตเป็นสินค้าชนิดใหม่ กลับมาให้เราใช้ใหม่

- การนำทรัพยากรที่หาง่ายกว่า ราคาถูกกว่า มาใช้ทดแทนสิ่งของที่หาได้ยากและราคาแพง (Replace) เช่น การใช้ไม้อัดแทนไม้เนื้อแข็ง ใช้หลอดไปฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดชนิดมีไส้ เป็นต้น

5) สนใจสังเกตและศึกษาความเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั้งระดับท้องถิ่น ประเทศ และโลก เช่น ภูมิอากาศของโลกร้อนขึ้น ปริมาณแก๊สโอโซนในบรรยากาศลดลง

6) ไม่ละเมิดกฎหมายต่าง ๆ โดยเฉพาะกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

7) ปรับวิถีทางการดำเนินชีวิตใหม่ เช่น มีลูกไม่เกิน 2 คน มีส่วนร่วมในกิจกรรมฟื้นฟูธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมที่เสื่อมโทรม

8) อบรมสั่งสอนลูกหลานให้มีจิตสำนึกในการอนุรักษ์และรักทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รู้หลักการอนุรักษ์

6.5.2 ระดับท้องถิ่น

มนุษย์ย่อมอยู่ร่วมกันเป็นสังคม เป็นหมู่คณะ เป็นกลุ่มหรือชุมชน ในแต่ละชุมชนของมนุษย์นั้นมีสมาชิกซึ่งประกอบกิจกรรมร่วมกัน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของกลุ่ม ดังนั้นในระดับชุมชนอาจจัดให้มีกิจกรรมในการอนุรักษ์ ฟื้นฟู ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมในชุมชนได้ ดังแนวทางที่เสนอดังต่อไปนี้

1) สมาชิกในชุมชนร่วมมือกันอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในชุมชน เช่น รู้จักใช้ทรัพยากรอย่างประหยัด บูรณะปรับปรุงธรรมชาติโบราณสถาน โบราณวัตถุให้มีสภาพดีขึ้น รู้จักนำของเก่าหรือของเหลือทิ้งมาซ่อมแซมหรือนำมาใช้ประโยชน์ จัดตั้งชมรมอนุรักษ์หากพบผู้ละเมิดกฎหมายควรแจ้งให้เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทราบเพื่อดำเนินคดี ออกกฎระเบียบในการใช้แหล่งน้ำ การใช้ป่าในชุมชน เช่น ห้ามทิ้งขยะมูลฝอยลงในแหล่งน้ำ ห้ามตัดไม้ ห้ามล่าสัตว์ป่าของชุมชน หากฝ่าฝืนถูกปรับ

2) สมาชิกในชุมชนร่วมมือกัน พัฒนาสิ่งแวดล้อมให้น่าอยู่ ร่มรื่น เช่น การปลูกต้นไม้ กำจัดขยะมูลฝอย ขุดลอกคูคลอง สร้างส้วมสาธารณะ ร่วมมือกันปลูกป่า จัดประกวดหมู่บ้านสิ่งแวดล้อมดี เป็นต้น

3) คณะกรรมการชุมชนจัดให้สมาชิกได้มีการฝึกอบรม ดูงาน ประชุมสัมมนา บรรยาย หรืออภิปราย เรื่องทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หรืออาจเชิญผู้รู้ นักวิชาการ หรือผู้เชี่ยวชาญด้านนั้นมาเป็นวิทยากร

4) จัดให้มีการประชาสัมพันธ์ ความรู้ ข่าวสาร เรื่องการอนุรักษ์ และฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แก่สมาชิกในชุมชน เช่น มีการกระจายเสียงตามสาย มีแผ่นพับ ใบปลิว ตลอดจนบุคคลระดับผู้นำชุมชนหรือคณะกรรมการชุมชนออกพบปะเยี่ยมเยือนสมาชิกในชุมชนเพื่อเผยแพร่ความรู้ แลกเปลี่ยนทัศนคติในเรื่องการอนุรักษ์

5) จัดตั้งหมู่บ้านอนุรักษ์ โดยให้สมาชิกในชุมชนมีส่วนร่วมในโครงการรักษาและพัฒนา ป่าไม้ สัตว์ป่า แหล่งน้ำ สถานที่ท่องเที่ยว ในชุมชนของตนเอง และจัดระบบการเกษตรแบบผสมผสาน

6) ช่วยกันปลูกฝังจริยธรรมทางสิ่งแวดล้อมให้แก่เยาวชนในชุมชน เพราะเยาวชนเป็นกำลังสำคัญในการระวังรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ให้เป็นมรดกที่มีค่ายิ่งและยังเป็นประโยชน์สืบเนื่องต่อไปยังคนรุ่นหลัง

7) สร้างค่านิยมวัฒนธรรมให้สมาชิกเห็นความสำคัญของการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม อย่างแท้จริง และปฏิบัติตามได้หรือเห็นความสำคัญที่จะต้องรีบลงมือป้องกันแก้ไข เช่น "สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ชีวิตเป็นภัย" "ทรัพยากรธรรมชาติอันมีค่าโปรดช่วยกันรักษาไว้"

8) จัดทำโครงการรักษาความสะอาดบ้านเรือนและบริเวณถนน หน้าบ้านใครให้ผู้นั้นเป็นผู้ดูแลรักษา ต้นไม้ปลูกอยู่หน้าบ้านใครให้ผู้นั้นเป็นดูแลบำรุงรักษาใส่ปุ๋ย รดน้ำ

9) สมาคม องค์การ อาสาสมัคร หรือหน่วยงาน ตั้งอยู่ที่ใด ถ้ารับภาระดูแลสวนสาธารณะหรือต้นไม้บริเวณใกล้เคียงบริเวณที่ตั้งนั้นได้ นับเป็นตัวอย่างที่ดี

10) ชุมชนควรร่วมรณรงค์ ไม่ให้ทิ้งขยะในถนน ตรอก ซอย ท่อระบายน้ำ คูคลอง และจะไม่ปล่อยให้มีขยะในชุมชน ชี้ให้เห็นว่าถ้าประชาชนในชุมชนทุกคน ร้านค้า ร้านอาหาร ให้ความร่วมมือเรื่องการทิ้งขยะ กำจัดขยะ จะประหยัดงบประมาณรายจ่ายในการจัดเก็บและด้านอื่นลงมาก และสามารถนำงบประมาณไปพัฒนาด้านอื่นได้อีกมาก

11) สมาชิกชุมชน องค์การ สามารถประสานงานกับสื่อมวลชนในการเผยแพร่ความรู้แก่ประชาชน ในการสะท้อนปัญหาของประชาชน เช่น ปัญหาการปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำลำคลอง แพร่ภาพตามลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อปลุกสำนึกของประชากรในท้องถิ่นที่ไม่ถูกต้องและหน่วยงานของรัฐให้ใช้มาตรการดำเนินการแก้ไข

12) องค์กรในท้องถิ่นทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงานระหว่างหน่วยงานของรัฐและประชาชนโดยนำข่าวสาร นโยบายรัฐบาล ไปสู่ประชาชนในท้องถิ่นให้ทราบและถือปฏิบัติขณะเดียวกันสามารถนำข้อเท็จจริง ปัญหา ความรู้สึก ความต้องการของประชาชนในท้องถิ่นเสนอหน่วยงานของรัฐให้ทราบเพื่อพิจารณา ดำเนินการแก้ไขต่อไป

13) องค์กร สมาคม กลุ่มต่าง ๆ ในท้องถิ่นกระตุ้นให้ประชาชน ร่วมมือร่วมใจ ร่วมวางแผนปฏิบัติงานในโครงการต่าง ๆ โดยยึดหลักการจัดกิจกรรมในโครงการ ในลักษณะ "ช่วยตัวเอง พึ่งตัวเอง" ใช้ทรัพยากรในท้องถิ่น หรือชุมชนช่วยชุมชนด้วยกันเอง

14) ในท้องถิ่นควรจัดงาน วันหรือสัปดาห์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์ และพัฒนาสิ่งแวดล้อม เพื่อให้โอกาสหรือเชิญชวนประชากรในท้องถิ่นร่วมเฉลิมฉลอง เช่น วันสิ่งแวดล้อมโลก วันปลูกต้นไม้แห่งชาติ และวันสำคัญต่าง ๆ กระตุ้น โรงเรียน สถานศึกษาต่าง ๆ เพื่อให้นักเรียน นักศึกษา เข้ามาร่วมกิจกรรม เช่น ตั้งชมรม จัดกลุ่มอาสาสมัครพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งเรื่องเหล่านี้พระภิกษุสงฆ์หรือผู้นำท้องถิ่นที่มีโอกาสเกี่ยวข้องในกิจกรรมเหล่านั้น สามารถสอดแทรกแนวคิด คำสอนเกี่ยวกับการอนุรักษ์ และให้คำชี้แจงต่อประชาชนได้เป็นอย่างดี

6.5.3 ระดับประเทศ

แนวทางการอนุรักษ์ ฟื้นฟู ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ระดับประเทศนั้นต้องดำเนินการควบคู่ไปกับการปฏิบัติตัวเองของประชากร ทั้งในระดับบุคคล และระดับท้องถิ่นด้วย แนวทางระดับประเทศ ส่วนใหญ่เป็นแนวทางระดับนโยบายของประเทศที่เริ่มต้นตั้งแต่ระดับรัฐบาลเป็นผู้กำหนดแล้ว ถ่ายทอดไปสู่ระดับท้องถิ่น และระดับบุคคลให้ถือเป็นแนวทางปฏิบัติ ในที่นี้แบ่งเป็น ด้านประชากร ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านกฎหมาย ด้านการศึกษาและประชาสัมพันธ์ และด้านเศรษฐกิจการเมืองและสังคม

ด้านประชากร

ในการวางแนวนโยบาย หรือมาตรการ การอนุรักษ์ฟื้นฟู ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้านประชากร ควรเน้น การควบคุมจำนวนประชากร และการส่งเสริมคุณภาพของประชากรเป็นสำคัญ

1) การควบคุมจำนวนประชากร ทรัพยากรถูกใช้มากขึ้นเพราะจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นเร็วเกินไป เช่น ประชากรของประเทศไทย พ.ศ. 2453 มีประมาณ 8 ล้านคน จนถึงปี พ.ศ. 2531 มีประชากรประมาณ 54 ล้านคน เพิ่มขึ้นเกือบ 7 เท่า ในระยะเวลาเพียง 78 ปี เพราะฉะนั้นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ การทำลายสิ่งแวดล้อม จึงมีมากขึ้นอย่างน่าวิตก เพราะการเพิ่มประชากรมีลักษณะการเพิ่มแบบเรขาคณิต แต่การเพิ่มทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดใหม่ได้เป็นแบบเลขคณิต ทรัพยากรธรรมชาติบางอย่างกลับร่อยหรอเพราะเกิดไม่ทันกับความต้องการของประชากร อีกทั้งปริมาณของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมย่อมเพิ่มทวีขึ้นไปตามจำนวนประชากร การที่ประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มประชากรสูง จะทำให้ดุลยภาพระหว่างประชากรและ

ทรัพยากรธรรมชาติเสียไป ย่อมส่งผลกระทบนานาประการแก่ประชากร รัฐบาลไทยจึงมีนโยบายสนับสนุนการวางแผนตรอบครัว เพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ อันเกิดจากการเพิ่มประชากรอย่างสูง ซึ่งจะเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ

ด้วยความพยายามที่จะลดอัตราเพิ่มประชากร โดยความร่วมมือระหว่างกระทรวงสาธารณสุข กระทรวงศึกษาธิการ หน่วยงานเอกชน เช่น สมาคมวางแผนครอบครัวชุมชน ทำให้สามารถลดอัตราเพิ่มประชากรจากร้อยละ 3.2 ต่อปี ลงมาเหลือ 1.2 ในปี พ.ศ. 2530 อย่างไรก็ตาม เราต้องลดอัตราเพิ่มของประชากรลงอีก

เพื่อให้การลดอัตราเพิ่มประชากรมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และเพื่อส่งเสริมคุณภาพของประชากร รัฐบาลจึงให้มีการสอนวิชาประชากรศึกษา ทั้งในระบบโรงเรียนและนอกระบบโรงเรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้รับความรู้ทางประชากรให้เกิดความคิด ความรับผิดชอบ ความสามารถในการตัดสินใจเกี่ยวกับชีวิตของตน เช่น การแต่งงานได้ถูกต้อง รวมทั้งสามารถแก้ไขปรับตัว และปฏิบัติตนให้มีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติเพื่อความกินดีอยู่ดีของตน ครอบครัว สังคม และประเทศชาติ

2) การส่งเสริมคุณภาพประชากร การส่งเสริมคุณภาพประชากรให้สูงขึ้นทำได้หลายทาง แต่ที่สำคัญ คือ การให้การศึกษา แบบแผนการศึกษาที่ถ่ายทอดกันมาจนถึงคนรุ่นเรานี้ยังมีข้อบกพร่องอยู่ คือ ไม่สามารถสร้างสรรค์พฤติกรรมมนุษย์ให้กลมกลืนกับธรรมชาติที่แวดล้อมได้ ตรงกันข้ามกับกลายเป็นเครื่องส่งเสริมให้มนุษย์ชิงดีชิงเด่น แข่งขันกันบริโภคทรัพยากรอย่างไม่มีที่สิ้นสุด โดยไม่คำนึงว่าทรัพยากรธรรมชาติและคุณภาพสิ่งแวดล้อมจะเสื่อมโทรมลงเพียงใด

ดังจะสังเกตได้ว่าเด็กเล็ก ๆ จะสนใจธรรมชาติที่แวดล้อมตนเองเป็นอย่างมาก แต่ความสนใจเช่นนั้นจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเด็กเริ่มเข้าโรงเรียน เพราะเขาถูกจำกัดให้เรียนเฉพาะเรื่องราวที่จัดขึ้นไว้เป็นวิชาแล้วเท่านั้น เพื่อแก้ปัญหาและสภาพที่ทำให้ผู้เรียนห่างเหินจากสิ่งแวดล้อมดังกล่าว จึงจำเป็นต้องปรับเนื้อหาและกระบวนการเรียนการสอนให้ผู้เรียนมีโอกาสทำความเข้าใจกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า ปัญหาสิ่งแวดล้อมมีผลมาจากเจตคติ ความเชื่อ แบบแผน การดำเนินชีวิต และพฤติกรรมของมนุษย์นั่นเอง เจตคติเป็นส่วนสำคัญในอันที่จะ

ส่งผลให้เกิดปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เจตคติของคนในชุมชนจะเป็นเครื่องตัดสินและเลือกว่าทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของเขาจะมีปริมาณและคุณภาพแค่ไหน อย่างไรดังนั้นสาระสำคัญยิ่งในการแก้ไขปัญหา ส่วนหนึ่งอยู่ที่การเปลี่ยนแปลงเจตคติไม่ใช่การใช้เทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว บทบาทของการศึกษาต่อปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจึงอยู่ที่การเปลี่ยนแปลงเจตคติและพฤติกรรมที่ไม่พึงปรารถนาไปสู่การมีพฤติกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมอันจะมีผลต่อการอยู่รอดของมนุษยชาติ

ดังนั้นจึงมีการปฏิรูประบบการศึกษาขึ้นใหม่โดยมีสาระสำคัญดังนี้

- เพื่อให้เยาวชนทุกคนได้รับการศึกษาในรูปที่ก่อให้เกิดความสัมพันธ์อันใหม่ระหว่างครูและนักเรียน โรงเรียนกับชุมชน ระบบบการศึกษากับสังคม อันจะเป็นหนทางในการแก้ปัญหาในระยะยาว

- การศึกษาในรูปใหม่หรือสิ่งแวดล้อมศึกษานี้ ต้องสัมพันธ์กับหลักเกณฑ์ทางเศรษฐกิจระหว่างประเทศอันใหม่ ทุกประเทศจึงจำเป็นต้องมีการวางโครงการสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อความรู้ ทักษะ ค่านิยม และเจตคติใหม่ ซึ่งจะนำไปสู่การมีคุณภาพสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตที่ดีกว่าสำหรับทุกคนทั้งในปัจจุบันและอนาคต

- ควรจะจัดสิ่งแวดล้อมศึกษาขึ้นสำหรับบุคคลทุกวัย ทุกระดับ ทั้งในและนอกระบบการศึกษา โดยให้สื่อมวลชนได้มีส่วนร่วมรับผิดชอบในการส่งเสริมกระบวนการศึกษาให้มากขึ้น

- สิ่งแวดล้อมศึกษาเป็นกระบวนการตลอดชีพ และสามารถเตรียมบุคคลให้มีชีวิตอยู่อย่างเข้าใจในปัญหาใหญ่ ๆ ของโลกที่เป็นอยู่ มีทักษะและคุณสมบัติที่จำเป็นในการปรับปรุงชีวิต และป้องกันสิ่งแวดล้อมอย่างมีจรรยาบรรณ

- ให้ใช้วิธีการแก้ปัญหาทั้งระบบ โดยมีการผสมผสานความรู้ประเภทต่าง ๆ เข้าด้วยกันทำให้มองภาพรวมของสิ่งแวดล้อม สามารถมองเห็นความจริงว่าในระหว่างสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น มีความสัมพันธ์กันอย่างลึกซึ้ง และการกระทำในปัจจุบันก็จะส่งผลไปถึงอนาคต รวมทั้งการต้องพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันในระหว่างประเทศต่าง ๆ และความจำเป็นในการก่อให้เกิดความสามัคคีระหว่างมวลมนุษยชาติด้วย

- สิ่งแวดล้อมศึกษาต้องมุ่งไปที่ชุมชนเป็นสำคัญ รวมทั้งกระบวนการแก้ปัญหา การส่งเสริมความคิดริเริ่ม ความรู้สึกรับผิดชอบ และการยอมรับของบุคคลเพื่อสร้างสิ่งที่ดีกว่า

ด้านสิ่งแวดล้อม

ในด้านสิ่งแวดล้อมนั้นในที่นี้ได้เสนอแนวทางที่เน้นนโยบายการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ ซึ่งจะครอบคลุมถึงการจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับกว้างซึ่งบุคคลหรือองค์กรที่เกี่ยวข้อง

สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการจัดทำแผนงานและโครงการหรือกิจกรรมย่อย ๆ ได้ ดังนี้

1) รักษาและดำเนินการตามกฎหมายที่มีอยู่แล้วอย่างเคร่งครัด เพื่อป้องกันสาเหตุหรือผลเสียหายของปัญหาสิ่งแวดล้อม กฎหมายดังกล่าวได้แก่ กฎหมายแม่บทเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อม กฎหมายควบคุมการใช้ที่ดิน กฎหมายควบคุมน้ำเสีย กฎหมายควบคุมอากาศเสีย และเสียงรบกวน พ.ร.บ. การจราจร พ.ร.บ. การผังเมือง ฯลฯ เป็นต้น

2) สนับสนุนให้ประชาชนและองค์กรเอกชนต่าง ๆ มีส่วนร่วมในความพยายามที่จะส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

3) วางนโยบายและแผนการพัฒนาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เพื่อเสนอเป็นแนวทางบริหารสิ่งแวดล้อมของรัฐ

4) ประสานนโยบายและงานด้านสิ่งแวดล้อมของหน่วยราชการ โดยมีความมุ่งหมายให้งานต่าง ๆ มีความสอดคล้องและเป็นประโยชน์ซึ่งกันและกัน ในด้านข้อมูลวิชาการและอยู่ในกรอบของนโยบายและแผนการพัฒนาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

5) กำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมตามขั้นตอน คือ

- มาตรฐานชั่วคราวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องน้ำ อากาศ และเสียง เพื่อเป็นบรรทัดฐานในการพิสูจน์ สภาพแวดล้อมว่าอยู่ในชั้นที่เป็นพิษเป็นภัยหรือไม่เพียงใด และเพื่อเป็นพื้นฐานของการดำเนินการต่อไป

- กำหนดมาตรฐานสิ่งแวดล้อมส่วนรวมที่สอดคล้องกับสภาวะทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ให้เป็นบรรทัดฐานในการควบคุมและพิสูจน์สภาวะแวดล้อมเพื่อที่หน่วยปฏิบัติต่าง ๆ จะได้ใช้เป็นมาตรฐานอันหนึ่งอันเดียวกัน

6) พิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากโครงการต่าง ๆ ทั้งส่วนราชการและเอกชน เพื่อเปรียบเทียบผลได้ผลเสียของโครงการ โดยคิดจากค่าของความกระทบกระเทือนทางสังคม ซึ่งรวมถึงผลเสียหายต่อสภาพแวดล้อมเพื่อหาทางปรับปรุงวิธีการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรือระงับโครงการที่จะเป็นผลเสียหายร้ายแรง

ด้านกฎหมาย

กฎหมายเป็นสิ่งจำเป็นของสังคม สังคมประกอบด้วยคนจำนวนมาก ซึ่งมีความแตกต่างกันในทุก ๆ ทาง ไม่ว่าจะเป็นระดับการศึกษา สถานภาพทางเศรษฐกิจ ค่านิยม ระเบียบวินัย ดังนั้นสังคมจึงประกอบไปด้วยคนดีและคนชั่ว สิ่งที่จะบรรเทาการกระทำชั่วของคนชั่วลงได้ คือ กฎหมาย ประกอบกับผู้รักษากฎหมายต้องทำหน้าที่อย่างเคร่งครัด ดังนั้นคนที่พยายามทำผิดกฎหมาย เช่น ตัดไม้ทำลายป่า ปล่อยของเสียจากโรงงานลงสู่แม่น้ำลำคลอง ถ้า

ถูกจับและถูกลงโทษตามความเหมาะสมก็จะเข็ดหลาบไป คนที่ทำลายสิ่งแวดล้อมก็จะลดลงไป อย่างไรก็ตามการใช้กฎหมายเพียงประการเดียวไม่พอเพียงที่จะทำให้รักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้คงอยู่อย่างถาวรได้ เพราะมีข้อจำกัดบางประการ เช่น เจ้าหน้าที่ผู้รักษากฎหมายอาจดูแลไม่ทั่วถึง ผู้ทำผิดกฎหมายอาจขาดความเข้าใจในหลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เห็นแก่ประโยชน์ส่วนตนมากกว่าส่วนรวม ดังนั้นจึงต้องอาศัยความร่วมมือจากประชาชนช่วยสอดส่องดูแลแทนเจ้าหน้าที่และใช้แนวทางอื่นประกอบด้วย เช่น การส่งเสริมคุณภาพประชากรเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในประโยชน์ของการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

แนวทางดำเนินการด้านกฎหมาย ได้แก่

1) ผู้มีหน้าที่เกี่ยวกับการออกกฎหมายควรศึกษาทบทวนกฎหมายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความเจริญทางเศรษฐกิจและสังคมตลอดจนขอบเขตอำนาจหน้าที่ของผู้ปฏิบัติตามกฎหมายดังกล่าว หากมีข้อบกพร่องหรือข้อขัดแย้งที่จะเป็นอุปสรรคในการปฏิบัติให้บังเกิดผลก็จัดการแก้ไขปรับปรุงให้เหมาะสมกับสถานการณ์และข้อเท็จจริง เพื่อกฎหมายดังกล่าวมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2) ออกกฎหมายสิ่งแวดล้อมเฉพาะเรื่องขึ้นใหม่ ในกรณีที่มีความจำเป็นที่จะต้องรวบรวมตัวบทกฎหมายที่กระจัดกระจายอยู่ในกฎหมายหลาย ๆ ฉบับ และไม่มีผู้ถืออำนาจและปฏิบัติตามกฎหมายให้มีประสิทธิภาพอย่างแท้จริง เช่น กฎหมายคุณภาพน้ำ กฎหมายคุณภาพอากาศ กฎหมายควบคุมการใช้ที่ดินนอกเขตเมือง เป็นต้น

3) ส่งเสริมการศึกษาและจัดตั้งสถาบันการวิจัยและการค้นคว้าด้านกฎหมายสิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมอยู่หลายฉบับและที่ตราเป็นพระราชบัญญัติประกาศกระทรวง พอจะสรุปเป็นด้านต่าง ๆ ได้ดังนี้ กฎหมายแม่บทเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อม กฎหมายควบคุมการใช้ที่ดิน กฎหมายควบคุมน้ำเสีย กฎหมายควบบคุมอากาศเสียและเสียงรบกวน กฎหมายควบคุมการจัดการของเสียและกากสารพิษ กฎหมายเกี่ยวกับเหตุเดือดร้อนรำคาญ กฎหมายเกี่ยวกับการอนุรักษ์ธรรมชาติ กฎหมายเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติ กฎหมายเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ กฎหมายเกี่ยวกับอาชีวอนามัยและสุขภาพเป็นต้น

ด้านการศึกษาและประชาสัมพันธ์

เพื่อให้เกิดความเข้าใจอันดีระหว่างภาครัฐบาลและเอกชน เพื่อให้ประชากรในชาติมีความเจริญก้าวหน้าก้าวทันโลก ทันเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งก่อให้เกิดผลดีต่อการพัฒนาประเทศ และการพัฒนาคุณภาพทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงควรจัดให้มีการเร่งรัด การจัดการศึกษาและการประชาสัมพันธ์ เพื่อกระตุ้นให้ประชากรเกิดความเข้าใจและตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม และผลเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทำลายสิ่งแวดล้อมโดย

1) ให้มีหลักสูตรวิชาสิ่งแวดล้อมในทุกระดับการศึกษา นับตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับ รวมทั้งการเผยแพร่โดยทางสื่อมวลชน การประชุม อบรม และการสัมมนา

2) ให้มีการฝึกอบรมด้านวิชาการสิ่งแวดล้อมในหน่วยราชการต่าง ๆ เพื่อนำไปพิจารณาวางแผนและปฏิบัติงาน

3) ทำการรณรงค์ให้กิจกรรมต่าง ๆ ในอันที่จะส่งเสริมและสร้างสรรคุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ร่วมกันจัดทำการประชาสัมพันธ์ เพื่อปลูกจิตสำนึกแก่ประชากร โดยอาศัยศิลปินนักวิชาการ การโฆษณาตามสื่อมวลชนทุกรูปแบบอย่างมีประสิทธิภาพ

4) สร้างค่านิยมแก่ประชากร เช่น ส่งเสริมให้มีการปลูก และบำรุงรักษาต้นไม้ สร้างค่านิยมประหยัด โดยอาศัยแกนนำในการปฏิบัติ เช่น ลูกเสือชาวบ้าน ศิลปิน นักวิชาการ สื่อมวลชน ลูกเสือ เนตรนารี เป็นต้น

ด้านการเมือง เศรษฐกิจ และสังคม

ประชากรทุกคนมีส่วนเกี่ยวข้องกับสภาพเศรษฐกิจ การเมืองและสังคม ในการดำเนินชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก เพื่อให้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้รับการอนุรักษ์ฟื้นฟู ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงควรมีแนวทางดังต่อไปนี้

1) นักการเมืองมีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติของประเทศ พรรคการเมืองต่าง ๆ ควรมีส่วนร่วมในกิจกรรมด้านนี้ให้มากขึ้น เช่น ควรมีนโยบายเกี่ยวกับเรื่องนี้ให้ชัดเจน และอาจใช้เรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นประเด็นสำคัญในการหาเสียงเลือกตั้ง และกำหนดเป็นนโยบายสำคัญของพรรค

2) ปรับปรุงระบบบริหาร และจัดการทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ป่าไม้ ที่ดิน แหล่งน้ำ เป็นต้น และสนับสนุนให้มีการอนุรักษ์ฟื้นฟูทรัพยากร ดังกล่าว

3) เร่งรัดให้ผลิตบุคลากร และวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติออกมารับใช้สังคมและพัฒนาประเทศชาติ

4) เร่งพัฒนาความกินดีอยู่ดีของประชากรและมีการกระจายรายได้

5) ให้มีการลงทุนจากต่างประเทศในการป้องกันมลพิษ

6) ใช้อำนาจบริหารทำการกำกับและสั่งการด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ เช่น การยกเลิกสัมปทานป่าไม้

7) ใช้นโยบายการเงินการคลังของประเทศในการสนับสนุนงบประมาณแก่โครงการ แผนงานที่มีความเร่งด่วยและจำเป็นทางด้านสิ่งแวดล้อมให้มากขึ้น

6.5.4 ระดับโลก

แนวทางการดำเนินการอนุรักษ์ฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในระดับโลกนั้นมุ่งให้ประเทศต่าง ๆ ควรให้ความร่วมมือกันปฏิบัติเพื่อให้โลกนี้คงอยู่ได้ตลอดไปในระยะเวลาอันยาวนานตามตัวอย่างมาตรการที่ควรใช้ปฏิบัติร่วมกันดังนี้

1) ร่วมกันประหยัดพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ ตลอดจนแสวงหาพลังงานทดแทนขึ้นมาใช้มากขึ้น

2) มีการปลูกป่าให้มากยิ่งขึ้น ลดการทำลายและเผาป่า

3) สร้างแรงจูงใจเพื่อการคมนาคมที่ประหยัดพลังงานและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

4) ทำการค้นคว้าวิจัยในระดับนานาชาติ หรือระหว่างชาติ เกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมโลก

5) ร่วมกันจัดประชุมสัมมนาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติในระดับนานาชาติ เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมโลก

6) ยกเลิกการใช้สาร CFC_s และลดการใช้วัตถุที่ทำให้เกิดสารนี้ เช่น โฟม สเปรย์ต่าง ๆ ที่มีสารดังกล่าว

7) ประเทศที่เจริญแล้วควรให้ความช่วยเหลือด้านเทคโนโลยี แก่ประเทศที่ยากจน เพื่อให้มีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น เป็นการช่วยลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติลง

8) ร่วมมือกันลดอัตราการเพิ่มประชากรโลกให้ต่ำลง

บรรณานุกรม

กรองทิพย์ ศรีตะปัญญะ. สุขภาพอนามัย: ผลกระทบจากสภาวะแวดล้อม. จุลสารสภาวะแวดล้อม 2530; ปีที่ 6, ฉบับที่ 4: 23-29.

กิตติ ประทุมแก้ว. รายงานการศึกษาเรื่องการบุกรุกป่าสงวนแห่งชาติศึกษาเฉพาะกรณีป่าแควระบม-สียัด อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา, 2523.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, สำนักงาน. ความรู้เรื่องสิ่งแวดล้อม. [มปท.], [มปป.].

————. นโยบายและมาตรการการพัฒนาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สำนักงานเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, 2524.

จุลินทรีย์ขุมทรัพย์ใหม่ของนักธุรกิจ. คลังสมอง 2528; ฉบับที่ 43: 76-80.

เฉลิมชัย ชัยกิตติภรณ์. เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องปัญหามลพิษ สารเคมีที่มีผลกระทบต่อชีวิตและสุขภาพมนุษย์. ในการสัมมนาวิชาการเรื่อง สิ่งแวดล้อม: มิตรสนิทและศัตรูถาวรของมนุษย์. นครปฐม 11 ตุลาคม 2533.

ชัยวัฒน์ ปัญจพงษ์, ณรงค์ เทียนส่ง. ประชากรศาสตร์และประชากรศึกษา. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, 2521.

ชัยวิทย์ ศิลาวัชนาไนย. พลังงานจากชีวมวล. วารสารวิทยาศาสตร์ 2520; ปีที่ 31, เล่มที่ 3: 41-50.

ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เอเชียเพรส จำกัด, 2531.

ทวี ทองสว่าง และทัศนีย์ ทองสว่าง. การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2523.

นักสิทธ์ ดูวัฒนาชัย. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อนาคตของการใช้แก๊สชีวมวลเป็นพลังงานทดแทน. อุตสาหกรรมสาร 2527; ปีที่ 27, ฉบับที่ 9: 33-48.

นาท ตัณฑวิรุฬห์, พูลทรัพย์ สมุทรสาคร. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและการบริหารทรัพยากร. กรุงเทพฯ: บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, 2528.

นิตยาวดี พรหมอยู่. ความรู้เรื่องโรคเอดส์ มหันตภัยแห่งศตวรรษที่ 20. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2530.

บัญญัติ สุขศรีงาม. จุลินทรีย์เป็นแหล่งผลิตโปรตีนได้หรือไม่?. วารสารสุขภาพ 2526; ปีที่ 11, ฉบับที่ 4: 25-27.

บุญชนะ กลั่นคำสอน และธงชัย จารุพัฒน์. สถานการณ์ป่าไม้ของประเทศไทยในช่วงเวลา 21 ปี. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการป่าไม้ประจำปี 2526 กรมป่าไม้.

ประกาศเกียรติคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นักสิทธ์ คูวัฒนาชัย นักวิจัยและนักประดิษฐ์คิดค้นประจำปี 2525. วารสารสงขลานครินทร์ 2526; ปีที่ 5, ฉบับที่ 3: 289-294.

ประคอง อินทร์จันทร์. การจัดการทรัพยากรป่าไม้. ใน เกษม จันทร์แก้ว. เอกสารคำบรรยายการจัดการรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. คณะกรรมการบัณฑิตศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 3. พ.ศ. 2531.

ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, ประดิษฐ์ ครุวัฒนา, ปทุมพร ฉิมเอนก. กาซาฮอล์: พลังงานจากผลิตผลการเกษตร Gasahol. อาหาร 2522; ปีที่ 11, ฉบับที่ 1: 8-13.

ปราโมทย์ ประสาทกุล. ไม่ควรเป็นคนรกโลก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์, 2524.

ปิ่น-ฉวี เวชชานุเคราะห์. ชีวก๊าซ-พลังงานทดแทนที่น่าสนใจ. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเรื่อง "พลังงาน" เล่ม 3 พลังงานทดแทน. จัดขึ้นเนื่องในวันสถาปนาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 25-26 มีนาคม 2523.

พินิจ รื่นเริง, ณพพร ดำรงศิริ. ชีววิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2518.

ภัสสร ลิมานนท์. จากวันนั้นถึงวันนี้: 20 ปีของนโยบายประชากรไทย. ประชากรศาสตร์ 2533; ปีที่ 6, ฉบับที่ 1: 1-16.

มรกต ตันติเจริญ. พลังงานจากชีวมวล. วารสารคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษาฯ สหประชาชาติ 2529; ปีที่ 18, ฉบับที่ 1: 1-9.

มหิดล, มหาวิทยาลัย. คณะสาธารณสุขศาสตร์. คู่มือโรคเอดส์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เลียงเชียง, 2532.

————. หน่วยพยาบาลด้านป้องกันและส่งเสริมสุขภาพ แผนกพยาบาล โรงพยาบาลศิริราช คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. รู้ไข้รู้ป้องกัน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เอกลักษณ์, [มปป.].

มุกดา สุขสมาน. ชีวิตกับสภาพแวดล้อม ตอนวิวัฒนาการชุมชนประชากรและสังคมของสิ่งมีชีวิต. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2529.

ไมตรี สุทธจิตต์. สารพิษรอบตัวเรา. เชียงใหม่: ดาวคอมพิวกราฟิค, 2531.

เย็นใจ เลาหวณิช. ความเชื่อและค่านิยมกับปัญหาสิ่งแวดล้อม. วารสารประชากรศึกษา 2520; ปีที่ 4, ฉบับที่ 5: 6-21.

โยชิฟูมิ ทาเคดะ, จรูญ ค้อมคำพันธุ์, ระพีพันธุ์ ภาสบุตร. การศึกษาการใช้น้ำมันสบู่ดำ (Jatropha curcas) เดินเครื่องยนต์ดีเซลแทนน้ำมันดีเซลในประเทศไทย. กสิกร 2529; ปีที่ 59, ฉบับที่ 1: 73-79.

เรณู เปี่ยซื่อ. พลังงานเพื่อประกอบอาชีพ. วารสารการศึกษานอกโรงเรียน 2531; ปีที่ 25, ฉบับที่ 143: 50-52.

วิทยาศาสตร์, คณะ. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. พลังงาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์, 2531.

วีระวุฒิ มหามนตรี. จุลินทรีย์กับอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์ 2526; ปีที่ 37, ฉบับที่ 5-6: 343-349.

ส่งศรี กุลปรีชา. ประโยชน์ของจุลินทรีย์. วิทยาศาสตร์ 2522; ปีที่ 33, ฉบับที่ 1: 5-12.

สมชาย เดชะพรหมพันธุ์ และสุรินทร์ มัจฉาชีพ. ทรัพยากรธรรมชาติและการอนุรักษ์. กรุงเทพฯ: แพร่พิทยา, 2532.

สันทัด เสริมศรี. การเสื่อมของสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการเพิ่มประชากร. ประชากรศึกษา 2526; ปีที่ 9, ฉบับที่ 1: 13-19.

สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย. สาขาวิชานิติศาสตร์. เอกสารการสอนชุดวิชากฎหมายสิ่งแวดล้อม. หน่วยที่ 1-7, หน่วยที่ 7-15. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2533.

————. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ. เอกสารการสอนชุดวิชาการบริหารงานความปลอดภัย. หน่วยที่ 1-8. นนทบุรี: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2533.

————. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ. เอกสารการสอนชุดวิชาประชากรกับการสาธารณสุข. หน่วยที่ 1-8. กรุงเทพฯ: สารมวลชน, 2528.

————. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ. เอกสารการสอนชุดวิชาวิทยาการระบาดและการควบคุมโรค. หน่วยที่ 1-7, หน่วยที่ 8-15. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: บริษัทประชาชนจำกัด, 2533.

————. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ. เอกสารการสอนชุดวิชาสถิติและการวิจัยสำหรับวิทยาศาสตร์สุขภาพ. หน่วยที่ 1-8. นนทบุรี: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2532.

————. สาขาวิชาศิลปศาสตร์. เอกสารการสอนชุดวิชาวิทยาศาสตร์กับสังคม Science and society หน่วยที่ 1-4. พิมพ์ครั้งที่ 13. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2531.

สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์. ประชากร ทรัพยากร และสิ่งแวดล้อม. วารสารสังคมศาสตร์ 2528; ปีที่ 22, ฉบับที่ 1: 12-20.

————. ประชากรและสิ่งแวดล้อม. จุลสารสภาวะแวดล้อม 2528; ปีที่ 4, ฉบับที่ 1: 4-7.

สุรพล สุดารา. มลภาวะทางสายตา. วิทยาศาสตร์ 2520; ปีที่ 31, ฉบับที่ 1: 35-40.

สุรีย์ กาญจนวงศ์. การย้ายถิ่นสู่เมือง ปัญหาเริ่มที่ไหน. ประชากรศึกษา 2521; ปีที่ 5, ฉบับที่ 3: 27-37.

อริพินธ์ ภูมิภมร, กมลทิพย์ อุ่นแสงจันทร์. การผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดจากของเสียจากหมู. วิทยาศาสตร์การอาหาร 2528; ปีที่ 16, ฉบับที่ 2: 7-15.

อัจฉรา พันธุ์อำไพ. เทคโนโลยีการพลังงานกับสังคม. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุณพินอักษรกิจ, 2527.

อาทร สุพโปฎก. เอกสารประกอบการบรรยายพิเศษเรื่อง สถานการณ์สิ่งแวดล้อมของไทย. ในการสัมมนาเรื่อง บทบาทขององค์การเอกชนและประชาชนในการพิทักษ์และพัฒนาสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ, 29-30 พฤศจิกายน 2533.

อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. มนุษย์-ระบบนิเวศและสภาพนิเวศในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, 2531.

Chiras D. Environmental science. Action for a sustainable future. 3rd ed. Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing Company, INC, 1991.

Coovattanachai N, Chongchareon W, Kooptarnond C. The feasibility of producer gas in small scale electricity generation. Conference proceeding on Non-conventional energy and applications by Technological Promotion Association (Thai-Japan) and King Mongkuts Institute of Technology Thonburi at Bangkok, November 3-5, 1981.

Ehrlich P, Ehrlich A, and Holdren J. Human ecology. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1973.

Enger E, Kormelink J, Smith B, and Smith R. Environmental science. Dubuque: Wm.C. Brown Company Publishers, 1983.

Frazier W, Westhoff D. Food microbiology data. New Delhi: McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1979.

Frobisher M, Hiasdill R, Crabtree K, and Goodheart C. Fundamentals of microbiology. Philadelphia; W.B. Saunders Company, 1974.

Kaye S. Handbook of emergency toxicology. 5th ed. Springfield: Charles C Thomas Publisher, 1988.

Kumar H. Modern Concepts of ecology. 2nd ed. New Delhi: Vikas Publishing House PVT Ltd., 1981.

Lundberg H. International and national scientist to provide knowledge by interdisciplinary research to reduce the impact of global change. Abstract of the national biological conference of Thailand including Asia and the Pacific regions on global change: effect on tropical forest, agricultural, uban and industrial ecosystems. Bangkok, Thailand October 1990. (11-24).

Meadows D, Randers J, Behrens III W. The limits to growth. n.p.: Universe Books, 1972.

Odum E. Fundamentals of ecology. 3th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1971.

Owen O. Natural resource conservation: an ecology approach. 4th ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1985.

Population Reference Bureau, Inc. 1990 World population data sheet. Washington, D.C., 1990.

Preiest J. Energy for a technological society. 2nd ed. Reading: Addison-Wesley Publishing Company, 1979.

Smith G. (editor). Conservation of natural resources. 4th ed. New York: John Wiley & Son, Inc., 1971.

United Nations. Updated guidebook on biogas development. Energy resources development series No. 27. New York, 1984.

Western D, Pearl M. (editors). Conservation for the twenty-first century. New York: Oxford University Press, 1989.