

สิ่งแวดล้อมเมือง

Urban Environment

โดย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิ่งแวดล้อมเมือง Urban Environment

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล

ราคา

6.99 \$

ISBN

978-616-551-920-5

จัดทำโดย

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 0 2218 6667 โทรสาร 0 2218 6666

 www.env.eng.chula.ac.th / www.eng.chula.ac.th

ผู้พัฒนาสื่อ



โครงการผลิตสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (CUIE Media)

โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 0 2218 3549 - 50, 0 2218 3558

 www.cuprint.chula.ac.th



ประวัติอาจารย์ พุฒิชัยวชาญ



รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี

Wiboonluk Pungrasmi, Ph.D.

Associate Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6673 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : wiboonluk.p@chula.ac.th

การศึกษา

2004, Tokyo, Japan.

Ph.D. in Biotechnology, The University of Tokyo, Japan

1993, Bangkok, Thailand

M.Sc. in Industrial Microbiology, Chulalongkorn University

1990, Bangkok, Thailand

B.Sc. in Microbiology, Chulalongkorn University

งานสอน

Undergraduate courses

- Biology for Environmental Engineering
- Urban Environments

Graduate courses

- Fundamental Biology for Environmental Engineering
- Anaerobic Wastewater Treatment Technology
- Seminar II

ความเชี่ยวชาญ

- Wastewater Biotechnology
- Aerobic and Anaerobic Wastewater Treatment
- Aquaculture Waste treatment and Disposal



รองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธ์ เพ็ชรมนกุล

Pisut Painmanakul, Ph.D.

Associate Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6671; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : PisutP@Chula.ac.th

การศึกษา

2005,	Ph.D. in Environmental Engineering, INSA Toulouse, France
2002,	M.Eng. in Environmental Engineering, INSA Toulouse, France DEA. in Environmental Engineering, INSA Toulouse, France
1999,	B.Eng. in Environmental Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok Thailand

งานสอน

Undergraduate courses

- Physico-Chemical treatment
- Environment for daily life
- Urban Environment
- Treatment of Industrial wastewater

Graduate courses

- Unit processes for Environmental Engineering
- Seminar I
- Mass transfer processes for Environmental Engineering
- Treatment of Wastewater containing with oil and small particles in Environmental Engineering

ความเชี่ยวชาญ

- Oily wastewater treatment / Fine particle separation
- Aeration and Absorption processes
- Physico-chemical process for water and wastewater treatment



รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล

Sirima Panyametheekul, Ph.D., D.I.C.

Associate Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6667 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : Sirima.P@Chula.ac.th

การศึกษา

2001, London, U.K.	Ph.D. and D.I.C. in Environmental Technology, Imperial College, University of London, United Kingdom
1994, Bangkok, Thailand	M.Eng. in Environmental Engineering, Chulalongkorn University
1991, Bangkok, Thailand	B.Sc. in Chemical Technology, Chulalongkorn University

งานสอน

Undergraduate courses

- General water supply engineering
- Unit operation for environmental engineering
- Air quality control and design
- Environmental engineering project

Graduate courses

- Sampling and analysis of air pollutants
- Seminar II
- Industrial waste management

ความเชี่ยวชาญ

- Air quality control and management
- Membrane technology



ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ์

On-anong Larpparisudthi, Ph.D.

Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6667 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : Onanong.L@Chula.ac.th

การศึกษา

2010, Coventry, U.K.

Ph.D. in Chemistry, Coventry University, United Kingdom

2002, Phatumthani, Thailand

M.Eng. in Water and Wastewater Engineering, Asian Institute of Technology (AIT)

2000, Bangkok, Thailand

B.Eng. in Environmental Engineering, Chulalongkorn University

งานสอน

Undergraduate courses

- Noise and Vibration Control

Graduate courses

- Fundamental Engineering for Environmental Engineering
- Doctoral Seminar

ความเชี่ยวชาญ

- Application of ultrasound in Environmental Engineering
- Advanced Oxidation Processes



รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร ชาวกิจเจริญ

Petchporn Chawakitchareon, Ph.D.

Associate Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6667 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : petchporn.c@Chula.ac.th

การศึกษา

1990, ENTPE-LYON1, France	Ph.D. in Environmental Engineering, ENTPE-LYON1, France
1987, INSA-Toulouse, France	D.E.A. in Environmental Engineering, INSA-Toulouse, France
1984, Bangkok, Thailand	M.Sc. in Biochemistry, Mahidol University
1982, Bangkok, Thailand	B.Sc. in Medical Technology, Mahidol University

งานสอน

Undergraduate courses

- Environment and Daily Life
- Urban Environment
- Bio-Start up Laboratory

Graduate courses

- Solid and Hazardous Waste Management
- Advance Sanitary Engineering Laboratory

ความเชี่ยวชาญ

- Hazardous Waste Management
- Applied Biotechnology
- Treatment of Wastewater by Chemical and Biological Methods
- Recycle of Industrial Waste and Agricultural Waste Materials



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เทชะเสน

Sarun Tejasan, Ph.D.

Assistant Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6669 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : sarun.t@chula.ac.th

การศึกษา

2003,	Environmental Engineering Oregon State University
1993,	MS.CE. (Environmental Eng.) Environmental Engineering Cleveland State University
1991,	B.Eng. Environmental Engineering Chulalongkorn University

ความเชี่ยวชาญ

- Building Sanitation
- Biological Wastewater Treatment and Nutrients Removal
- Biotransformation of Hazardous Compounds



รองศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน ลิ้มปียากร

Tawan Limpiyakorn, Ph.D.

Associate Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6667 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : tawan.l@chula.ac.th

การศึกษา

2004, Tokyo, Japan

Ph.D. in Urban Engineering, The University of Tokyo

2001, Pathumthani, Thailand

M.Eng. in Water Engineering, Asian Institute of Technology

1997, Bangkok, Thailand

B.Eng. in Environmental Engineering, Chulalongkorn University

งานสอน

Undergraduate courses

- Environment and daily life
- Urban Environment

Graduate courses

- Biology for Environmental Engineering
- Cleanup of Contaminated Sites by Biological Processes
- Environmental Analysis

ความเชี่ยวชาญ

- Biological wastewater treatment
- Fate and control of micropollutants in environments



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์

Pichaya Rachdwong, Ph.D.

Assistant Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6667 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : Pichaya.R@Chula.ac.th

การศึกษา

1997, Milwaukee, USA

Ph.D. in Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin-Milwaukee

1994, Pittsburgh, USA

M.S. in Civil and Environmental Engineering, University of Pittsburgh

1990, Bangkok, Thailand

B. Eng. in Environmental Engineering, Chulalongkorn University

งานสอน

Undergraduate courses

- Environmental engineering project
- Urban Environment

Graduate courses

- Engineering Practices of Solid Waste
- Solid and Hazardous Waste Management
- Advanced Water Treatment
- Advanced Study II

ความเชี่ยวชาญ

- Solid Waste Management
- Renewable Energy
- Resource Recovery from Wastes



รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเอี๋ยร

Sutha Khaodhiar, Ph.D.

Associate Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6667 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : sutha.k@chula.ac.th

การศึกษา

1997	Ph.D. Environmental Engineering, Oregon State University
1993	M.S. Environmental Engineering, Oregon State University
1990	วศ.บ. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานสอน

Undergraduate courses

- Treatment of Industrial Wastewater

Graduate courses

- Advance Water Treatment
- Seminar I

ความเชี่ยวชาญ

- Water Quality
- Chemical Treatment
- Environmental Impact Assessment



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์

Benjaporn Suwannasilp, Ph.D.

Assistant Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6667 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : benjaporn.bo@chula.ac.th

การศึกษา

2009, California, U.S.A. Ph.D. in Civil and Environmental Engineering, Stanford University, U.S.A.

2005, California, U.S.A. M.S. in Civil and Environmental Engineering, Stanford University, U.S.A.

2002, Bangkok, Thailand B.Eng. in Environmental Engineering, Chulalongkorn University

งานสอน

Undergraduate courses

- Wastewater Engineering and Design

Graduate courses

- Theory and Design of Advanced Wastewater Treatment Processes
- Anaerobic Wastewater Treatment Technology
- Doctoral Seminar

ความเชี่ยวชาญ

- Environmental biotechnology
- Biological treatment processes



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป พาริโน

Chanathip Pharino, Ph.D.

Assistant Professor

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Phone : +66 (0) 2218-6668 ; Fax : +66 (0) 2218-6666

Email : chanathip.p@chula.ac.th

การศึกษา

- | | |
|------|---|
| 2006 | ปริญญาเอก ด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA |
| 2001 | ปริญญาโท ด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, University of Colorado at Boulder, USA |
| 1998 | ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |

ความเชี่ยวชาญ

- นโยบายและการจัดการระบบสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบและผลิตภัณฑ์
- การประเมินก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาคอุตสาหกรรมและชุมชน
- การจัดการขยะชุมชนและของเสียอันตรายอย่างยั่งยืน การประเมินมลพิษอากาศจากภาคพลังงาน
- การพัฒนาระบบอุตสาหกรรมสีเขียว การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่สะอาดสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อม



คำนำ

ปัจจุบันความตื่นตัวของสังคมต่อการมีบทบาทในการรักษาสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนเกิดการส่งเสริม การรณรงค์จัดกิจกรรม โครงการที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมเป็นอันมาก รวมทั้งการเรียนการสอนแทบทุกระดับชั้นก็เพิ่มเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์ด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งในมุมของเทคโนโลยี และ/หรือสังคม จนทำให้กลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน ซึ่งนับเป็นประโยชน์อย่างมาก

อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนการสอนที่เป็นหลักสูตรเฉพาะก็ต้องใช้ระยะเวลาในการทำความเข้าใจ หากสามารถรวบรวมความรู้ ข้อเท็จจริง ข้อมูลที่สังคมตระหนักมาจัดเป็นหมวดหมู่ ในลักษณะที่เข้าใจง่าย ชัดเจน และได้รับการเผยแพร่ในวงกว้าง ก็นับเป็นอีกแนวทางในการส่งเสริมการรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน จึงเป็นที่มาของการจัดทำตำรา “สิ่งแวดล้อมเมือง” โดยคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เล่มนี้ขึ้น

การรวบรวมเรื่องราวในแต่ละบทของ “สิ่งแวดล้อมเมือง” จึงประกอบด้วย ความรู้เบื้องต้น ที่มาของปัญหา ผลกระทบ แนวทางป้องกัน และ/หรือแก้ไข รวมทั้งกรณีศึกษาต่างๆ โดยไม่ละเลยด้านกฎหมาย หรือข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง โดยภาควิชาฯ คาดหวังว่า “สิ่งแวดล้อมเมือง” จะเป็นคู่มือด้านสิ่งแวดล้อม ในมิติของเทคโนโลยีและสังคมให้กับบุคคลทั่วไป นิสิต นักศึกษา หน่วยงานภาครัฐ/ เอกชน ได้อย่างกว้างขวาง



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภู่อะเสริฐ
(หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)



รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล
(บรรณาธิการ)



สารบัญ



บทที่ 1 บทนำและความรู้เรื่องสิ่งแวดล้อมเมือง

รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ลักษณ์ ฟุ้งรัมย์

1. ความหมายของสิ่งแวดล้อม	2
2. ความหมายของนิเวศวิทยาและระบบนิเวศ	2
3. ประเภทของระบบนิเวศ	3
4. ความสมดุลของระบบนิเวศ	5
5. องค์ประกอบของระบบนิเวศ	6
6. ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ	7
7. ประสิทธิภาพการส่งต่อพลังงาน	9
8. การหมุนเวียนของแร่ธาตุในระบบนิเวศ	10
9. อิทธิพลของมนุษย์ต่อความมั่นคงของระบบนิเวศ	17
10. มนุษย์กับสิ่งแวดล้อม	19
11. สาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม	21
12. ผลที่เกิดจากปัญหาสิ่งแวดล้อม	24
13. เมืองและปัจจัยความเป็นเมือง	25
14. ระบบนิเวศของเมือง	27
เอกสารอ้างอิง	29

บทที่ 2 ปัญหามลพิษในเมืองด้านต่างๆ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล

1.	บทนำ (Introduction)	31
2.	กระบวนการพัฒนาของสังคมเมืองกับปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในเมือง	34
3.	สาเหตุของปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม	37
4.	ประเภทของปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมเมือง	39
5.	ปัญหามลพิษอากาศ	43
6.	ปัญหาเสียงดัง	50
7.	ปัญหาขยะชุมชนและของเสียอันตราย	53
8.	ปัญหาน้ำเสีย	58
9.	บทสรุป	63
	เอกสารอ้างอิง	65

บทที่ 3 มลพิษทางอากาศ (Air pollution)

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล

1.	บทนำ	67
2.	ชั้นบรรยากาศของโลก (Atmosphere)	68
3.	ประเภทของมลพิษทางอากาศ	69
4.	ผลกระทบของมลพิษทางอากาศ	72
5.	การตกลงมาของสารที่มีสมบัติเป็นกรด (Acid deposition)	75
6.	หมอกควัน (Smog)	76
7.	ปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก/ภาวะโลกร้อน	77
8.	การบางลงของชั้นโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratospheric ozone depletion)	79
9.	แนวทางแก้ไข	80
	เอกสารอ้างอิง	81

บทที่ 4 ปัญหาเสียงดัง การป้องกัน และการแก้ไข

อ.ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ

1.	บทนำ	83
----	------	----

2. เสียง	83
3. แหล่งกำเนิดเสียง และผลกระทบ	92
4. การป้องกันและการแก้ไข	93
5. บทสรุป	99
เอกสารอ้างอิง	100

บทที่ 5 ปัญหาขยะมูลฝอย การแก้ไข และแนวทางการจัดการปัญหาแบบบูรณาการ

รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญ

1. ความหมายของมูลฝอย	102
2. สภาพทั่วไปของกรุงเทพมหานคร	105
3. วิฤตขยะหลังน้ำท่วม	108
4. การจัดการขยะมูลฝอย	108
5. เทคโนโลยีการกำจัดขยะมูลฝอย	114
6. การจัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสาน	117
7. กรณีศึกษา	123
8. บทสรุป	128
เอกสารอ้างอิง	129

บทที่ 6 การจัดการของเสียอันตราย (Hazardous Waste Management)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน

1. นิยามและความหมายของของเสียอันตราย	132
2. ตัวอย่างของเสียอันตราย	133
3. การป้องกันอันตรายจากของเสียอันตราย	136
4. ตัวอย่างความอันตรายของของเสียอันตรายและแนวทางแก้ไข	137
5. แนวทางการป้องกันภัยจากของเสียอันตราย	147
6. แนวการแก้ไขหรือฟื้นฟูบริเวณที่ปนเปื้อนของเสียอันตราย	149
7. การกำจัดของเสียอันตราย	150
8. การป้องกันของเสียอันตรายในภาคสนาม	155
9. การฟื้นฟูสภาพ (Remediation) ของน้ำและดินที่ปนเปื้อนของเสียอันตราย	156
เอกสารอ้างอิง	162

บทที่ 7 การจัดการน้ำในเมือง (Urban Water Management)

รองศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร

1. แหล่งกำเนิดมลพิษ	164
2. การแบ่งประเภทมลพิษทางน้ำ	164
3. การลดที่แหล่งกำเนิด (Source reduction)	176
4. การจัดการกับแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอนและการจัดการที่ดิน (Non-point source and land management)	176
5. การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment)	176
6. การฟื้นฟูแหล่งน้ำ (Water remediation)	178
เอกสารอ้างอิง	179

บทที่ 8 การพัฒนาของเมืองน่าอยู่ในเชิงวิศวกรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์

1. บทนำ	181
2. คำนิยาม	182
3. เมืองน่าอยู่อย่างยั่งยืน: กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร	191
4. ปัญหาสิ่งแวดล้อมในเมือง	200
5. บทสรุป	221
เอกสารอ้างอิง	223

บทที่ 9 ระบบน้ำประปาสำหรับชุมชนเมือง

รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว

1. บทนำ	225
2. แหล่งน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปา	226
3. กระบวนการผลิตน้ำประปา	237
เอกสารอ้างอิง	250

บทที่ 10 เทคโนโลยีสะอาด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์

1. บทนำ	252
2. เทคโนโลยีสะอาด (Clean technology) คืออะไร?	252
3. การหมุนเวียนทรัพยากร	253
4. ตัวอย่างเทคโนโลยีสะอาดในด้านต่างๆ	254
5. การจัดทำเทคโนโลยีสะอาด	257
6. การนำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ในชีวิตประจำวัน	259
7. บทสรุป	261
เอกสารอ้างอิง	262

บทที่ 11 การจัดการสิ่งแวดล้อม โดยกลไกทางการตลาด กรณีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ชนาธิป พาริโน

1. บทนำ	264
2. สาเหตุและความเป็นมา	264
3. อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	268
4. กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM)	273
5. ตลาดคาร์บอน	281
6. ความก้าวหน้าการดำเนินการในประเทศไทย	283
7. บทสรุป	287
เอกสารอ้างอิง	289

บทที่ 12 การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) และการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงกลยุทธ์ (SEA)

รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว

1. การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA)	291
2. การประเมินสิ่งแวดล้อมเชิงยุทธศาสตร์ (Strategic Environmental Assessment: SEA)	301

3. ประเด็นสิ่งแวดล้อมของการจัดการประเมินสิ่งแวดล้อมเชิงยุทธศาสตร์	303
เอกสารอ้างอิง	307



1

บทนำและความรู้เรื่องสิ่งแวดล้อมเมือง

รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พิรัมย์



1. ความหมายของสิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อม (Environments) คือ ทุกสิ่งทุกอย่างที่อยู่รอบตัวมนุษย์ทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต รวมทั้งที่เป็นรูปธรรม (สามารถจับต้องและมองเห็นได้) และนามธรรม (ตัวอย่างเช่น วัฒนธรรม แบบแผน ประเพณี ความเชื่อ) ที่มีอิทธิพลเกี่ยวโยงถึงกัน เป็นปัจจัยในการเกื้อหนุนซึ่งกันและกัน โดยผลกระทบจากปัจจัยหนึ่ง จะมีส่วนเสริมสร้างหรือทำลายอีกส่วนหนึ่งอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ นั่นคือ สิ่งแวดล้อมเป็นวงจรและวัฏจักร ที่เกี่ยวข้องกันไปทั้งระบบ สิ่งแวดล้อมแบ่งออกเป็นลักษณะกว้างๆ ได้ 2 ส่วน คือ

1. สิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ป่าไม้ ภูเขา ดิน น้ำ อากาศ ทรัพยากร
2. สิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ชุมชนเมือง สิ่งก่อสร้างโบราณสถาน ศิลปกรรม ขนบธรรมเนียม ประเพณี และวัฒนธรรม

2. ความหมายของนิเวศวิทยาและระบบนิเวศ

คำว่า Ecology มาจาก “Oikology” ซึ่งเกิดจากการรวมคำว่า Oikos และ Logos โดย Oikos = Home (บ้าน) หรือ Habitat (แหล่งที่อยู่) ส่วน Logos = Study (การศึกษา) ดังนั้น Ecology หรือนิเวศวิทยา จึงเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่ว่าด้วยการศึกษาสิ่งมีชีวิตในแหล่งอาศัย ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งมีชีวิต และกินความกว้างไปถึงการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อมที่มีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ การศึกษานิเวศของสิ่งมีชีวิตจึงเป็นการศึกษาระบบที่เกิดจากการที่หน่วยทางชีววิทยาในแต่ละระดับเข้ามา มีปฏิสัมพันธ์กับองค์ประกอบต่างๆ ในสภาพแวดล้อมแล้วเกิดการจัดองค์กรที่มีรูปแบบเฉพาะเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันซึ่งประกอบด้วยส่วนย่อยๆ และขณะเดียวกันระบบนั้นจะทำหน้าที่เป็นระบบย่อยของระบบที่ใหญ่กว่า ไม่มีระบบชีวิตใดที่มีความสำคัญเหนือกว่าระบบอื่น แต่ละลำดับขั้นของระบบชีวิตในระบบนิเวศจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับการถ่ายทอดพลังงาน (Energy transfer) การถ่ายทอดสสาร (Material transfer) และการถ่ายทอดข้อมูล (Information transfer) นั่นคือ ระบบนิเวศ (Ecosystem) จึงมีความหมายเกี่ยวกับ “การอยู่ร่วมกัน การมีความสัมพันธ์กันของสิ่งมีชีวิตต่างๆ หรือสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่ไม่มีชีวิตที่เกิดขึ้นบนพื้นที่หนึ่งๆ โดยก่อให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานและการหมุนเวียนธาตุอาหาร มีการรักษาสสมดุลของระบบที่จะทำให้ระบบนั้นดำรงอยู่ได้”

3. ประเภทของระบบนิเวศ

ระบบนิเวศเป็นโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างๆ กับบริเวณแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ดำรงอยู่ ระบบนิเวศนั้นเป็นแนวคิด (Concept) ที่นักนิเวศวิทยาได้นำมาใช้ในการมองโลกและส่วนย่อยๆ ของโลกเพื่อที่จะได้เข้าใจความเป็นไปบนโลกนี้ได้ดีขึ้น ระบบนิเวศหนึ่งๆ นั้นจะประกอบด้วยบริเวณที่สิ่งมีชีวิตดำรงอยู่ และกลุ่มประชากรที่มีชีวิตอยู่ในบริเวณดังกล่าว พืชและโดยเฉพาะสัตว์ต่างๆ ก็ต้องการบริเวณที่อยู่อาศัยที่มีขนาดอย่างน้อยที่สุดที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อการมีชีวิตอยู่รอดตลอดไป ยกตัวอย่างเช่น สระน้ำแห่งหนึ่งเราจะพบสัตว์และพืชนานาชนิด ซึ่งสามารถปรับตัวให้เข้ากับบริเวณแหล่งน้ำที่มันอยู่อาศัย โดยมีจำนวนแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิด สระน้ำนั้นดูเหมือนว่าจะแยกจากบริเวณสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ด้วยขอบสระ แต่ความเป็นจริงแล้วปริมาณน้ำในสระสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยน้ำฝนที่ตกลงมา ในขณะเดียวกันกับที่ระดับผิวน้ำก็จะระเหยไปอยู่ตลอดเวลา โดยน้ำที่ไหลเข้ามาเพิ่มก็จะพัดพาเอาแร่ธาตุและชิ้นส่วนต่างๆ ของพืชที่เน่าเปื่อยเข้ามาในสระ ตัวอ่อนของยุงและลูกกบตัวเล็กๆ ที่อาศัยอยู่ในสระน้ำแต่จะไปเติบโตบนบก นกและแมลงซึ่งมีถิ่นที่อยู่อาศัยนอกสระก็จะมาหาอาหารในสระน้ำ การไหลของสสารและการสูญเสียสสารเช่นนี้จึงทำให้สระน้ำเป็นระบบเปิดระบบหนึ่ง หากมีแร่ธาตุไหลเข้ามาเพิ่มขึ้นก็จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชเพิ่มมากขึ้น เช่น ไฟโตแพลงก์ตอน (Phytoplankton) หรือพืชน้ำที่อยู่กันสระ ปริมาณสัตว์จึงเพิ่มมากขึ้นด้วยเพราะมีอาหารอุดมสมบูรณ์ แต่เมื่อปริมาณสัตว์เพิ่มปริมาณของพืชที่เป็นอาหารก็จะค่อยๆ น้อยลง ทำให้ปริมาณสัตว์ค่อยๆ ลดลงตามไปด้วยเนื่องจากอาหารมีไม่เพียงพอ ดังนั้นสระน้ำจึงมีความสามารถในการที่จะควบคุมตัวของมันเอง (Self regulation) ได้ กล่าวคือ จำนวนและชนิดของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายที่อยู่ในสระน้ำจะมีจำนวนคงที่ซึ่งเราเรียกว่า มีความสมดุล (Equilibrium) สระน้ำนี้จึงเป็นหน่วยหนึ่งของธรรมชาติที่เรียกว่า ระบบนิเวศจึงอาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า ระบบนิเวศระบบหนึ่งๆ นั้นเป็นโครงสร้างที่เปิด และมีความสามารถในการควบคุมตัวของมันเอง ประกอบไปด้วยประชากรต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมที่ไร้ชีวิต ซึ่งระบบนิเวศมีความสัมพันธ์กับบริเวณแวดล้อมโดยมีการแลกเปลี่ยนสสารและพลังงาน มีความสัมพันธ์กับระบบนิเวศอื่นๆ ที่อยู่ใกล้ตัวทั้งชุมชนที่มีชีวิตและสิ่งแวดล้อมที่ไร้ชีวิต ระบบนิเวศหนึ่งๆ จะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป อาจมีขนาดเล็กเท่าบ่อน้ำแห่งหนึ่ง หรือมีขนาดใหญ่ระดับโลก เรียกว่า ชีวาลัยหรือโลกของสิ่งมีชีวิต (Biosphere) ซึ่งเป็นบริเวณที่ห่อหุ้มโลกอยู่ โดยเป็นส่วนหนึ่งของโลกที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ได้และสามารถมีกระบวนการต่างๆ ของชีวิตเกิดขึ้น ได้แก่ บริเวณที่เป็นมหาสมุทร-น้ำจืด (Hydrosphere) ชั้นบรรยากาศ (Atmosphere) และชั้นดิน (Lithosphere) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความเกี่ยวพันกับการดำรงชีวิตของมนุษย์บนโลก (Anthrosphere or Social sphere) ดังรูปที่ 1 เคยมีผู้เปรียบเทียบว่าถ้าให้โลกของเราสูงเท่ากับตึก 8 ชั้น ชีวาลัยจะมีความหนา

เพียงครึ่งซึ้นเท่านั้น ซึ่งแสดงว่าบริเวณที่มีสิ่งมีชีวิตอยู่ได้นั้นบางมาก ทรัพยากรธรรมชาติจึงมีจำกัดเกินกว่าที่เราคาดหมายไว้ มนุษย์เองเป็นเพียงส่วนน้อยนิดของชีวลัยซึ่งยังต้องพึ่งพาอาศัยสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อมในชีวลัยเพื่อความอยู่รอด โดยมนุษย์อาจจะเปลี่ยนหรือทำลายระบบนิเวศระบบใดก็ได้ แต่มนุษย์จะไม่สามารถทำลายชีวลัยได้เพราะเท่ากับเป็นการทำลายตัวเอง ดังนั้นเราจึงควรตระหนักว่าในการพัฒนาใดๆ ของมนุษย์ที่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อเป็นวัตถุดิบนั้น เราจะต้องคำนึงถึงปัญหาการเสียสมดุลทางนิเวศวิทยาด้วย เพื่อไม่ให้เกิดการพัฒนานั้นย้อนกลับมาสร้างปัญหาต่อมนุษย์เองไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม ไม่ว่าจะเป็นปัญหาภาวะมลพิษหรือการขาดแคลนทรัพยากรในอนาคต



รูปที่ 1 องค์ประกอบของชีวลัยหรือโลกของสิ่งมีชีวิต

โดยเราสามารถจำแนกระบบนิเวศออกได้ ดังนี้

1. ระบบนิเวศทางธรรมชาติและกึ่งธรรมชาติ (Natural and Semi-natural ecosystems)
โดยเป็นระบบที่ต้องพึ่งพาแหล่งพลังงานจากดวงอาทิตย์เพื่อที่องค์ประกอบต่างๆ ในระบบนิเวศจะทำงานและดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างสมดุล แบ่งย่อยออกได้เป็น
 - 1.1 ระบบนิเวศแหล่งน้ำ (Aquatic ecosystems) ได้แก่ ระบบนิเวศทางทะเล เช่น มหาสมุทร แนวปะการัง ทะเลสาบน้ำเค็ม หรือระบบนิเวศแม่น้ำ คู คลอง บึง เป็นต้น
 - 1.2 ระบบนิเวศบนบก (Terrestrial ecosystems) ได้แก่ ระบบนิเวศกึ่งบก เช่น ป่าพรุ หรือระบบนิเวศบนบกแท้ เช่น ป่าดิบ ทุ่งหญ้า ทะเลทราย เป็นต้น

2. ระบบนิเวศเกษตรกรรม (Agricultural ecosystems)

เป็นระบบนิเวศที่มนุษย์ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศทางธรรมชาติขึ้นมาใหม่ โดยตัดต้นไม้และถางป่าเพื่อทำเกษตรกรรม ปลูกพืชอาหารที่มนุษย์ต้องการเพื่อให้เพียงพอกับจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมักเป็นการปลูกพืชเพียงชนิดเดียวในพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น ข้าว บาร์เลย์ มอลต์ เป็นต้น

3. ระบบนิเวศเมือง-อุตสาหกรรม (Urban-industrial ecosystems)

เป็นระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นใหม่ ซึ่งต้องพึ่งพาแหล่งพลังงานจากภายนอกเพิ่มเติม นอกเหนือจากดวงอาทิตย์ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ พลังงานนิวเคลียร์ เพื่อให้เพียงพอต่อการคงอยู่ได้และดำรงชีพของมนุษย์

4. ความสมดุลของระบบนิเวศ

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของระบบนิเวศ คือ กลไกในการปรับสถานะตัวเอง (Self regulation) โดยมีรากฐานมาจากความสามารถของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดซึ่งเป็นองค์ประกอบของระบบนิเวศนั้นๆ คือ ผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้ย่อยสลาย ในการทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารผ่านสิ่งมีชีวิต ถ้าระบบนิเวศนั้นได้รับพลังงานอย่างเพียงพอและไม่มีอุปสรรคขัดขวางวัฏจักรของธาตุอาหารแล้ว ก็จะทำให้เกิดสภาวะสมดุล (Equilibrium) ขึ้นมาในระบบนิเวศนั้นๆ โดยมีองค์ประกอบและความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดทำให้แร่ธาตุและสารกับสิ่งแวดล้อมนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งทำให้ระบบนิเวศนั้นมีความคงตัว ทั้งนี้เพราะการผลิตอาหารสมดุลกับการบริโภคภายในระบบนิเวศนั้น การปรับสถานะตัวเองนี้ทำให้การผลิตอาหารและการเพิ่มจำนวนของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในระบบนั้นมีความพอดีกัน กล่าวคือ จำนวนประชากรชนิดใดๆ ในระบบนิเวศจะไม่สามารถเพิ่มจำนวนอย่างไม่มีขอบเขตได้ ถ้าในระบบนิเวศสิ่งมีชีวิตบางชนิดถูกทำลายไปจะทำให้ความสมดุลของระบบนิเวศลดลง เช่น บริเวณทุ่งหิมะและขั้วโลกเป็นระบบนิเวศง่ายและธรรมดาไม่ซับซ้อน เพราะมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ไม่กี่ชนิด พืช ได้แก่ ตะไคร่น้ำ ไลเคน หญ้าชนิดต่างๆ เพียงไม่กี่ชนิดและต้นหลิว พืชเหล่านี้เป็นอาหารของกวาง ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ กวางคาริเบียนกับกวางเรนเดียร์ กวางเป็นอาหารของสุนัขป่าและคน นอกจากนี้ก็มีหนูนาและไก่ป่า ซึ่งเป็นอาหารของสุนัขจิ้งจอกและนกเค้าแมว เพราะฉะนั้นในบริเวณหิมะนี้ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนสิ่งมีชีวิตในระดับหนึ่ง จะมีผลรุนแรงต่อสิ่งมีชีวิตในระดับอื่นๆ ด้วย เพราะมันไม่มีโอกาสเลือกอาหารได้มากนัก สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในนี้จึงเปลี่ยนแปลงเร็ว จนบางชนิดสูญพันธุ์ ดังนั้นระบบนิเวศที่ไม่ซับซ้อนจึงเสียสมดุลได้ง่ายมากเหมือนกับการปลูกพืชชนิดเดียว (Monocropping) เช่น การเกษตรสมัยปัจจุบัน เวลาเกิดโรคระบาดจะทำให้เสียหายอย่างมากและรวดเร็ว นอกจากนี้ยังอาจรวมถึงแม่น้ำที่มีวัชพืชน้ำมากจนมีสัดส่วนไม่เหมาะสมกับการรักษาสมดุลของระบบธรรมชาติและก่อให้เกิดการกีดขวางจราจรทางน้ำ เป็นต้น

5. องค์ประกอบของระบบนิเวศ

ระบบนิเวศทุกๆ ระบบจะมีโครงสร้างที่กำหนดโดยชนิดของสิ่งมีชีวิตเฉพาะอย่างที่อยู่ในระบบนั้นๆ โครงสร้างประกอบด้วยจำนวนและชนิดของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เหล่านี้ และการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิต ถึงแม้ว่าระบบนิเวศบนโลกจะมีความหลากหลาย แต่จะมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน คือ ประกอบไปด้วย ส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนประกอบที่ไม่มีชีวิต (Abiotic component) แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ
 - 1.1 อนินทรีย์สาร (Inorganic matter) เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และออกซิเจน
 - 1.2 อินทรีย์สาร (Organic matter) เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน
 - 1.3 สภาพแวดล้อมทางกายภาพ เช่น แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม และความชื้น
2. ส่วนประกอบที่มีชีวิต (Biotic component) แบ่งออกได้เป็น
 - 2.1 ผู้ผลิต (Producer) คือ พวกที่สามารถนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาสังเคราะห์อาหารได้เอง จากแร่ธาตุและสารที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ได้แก่ พืชสีเขียว แพลงก์ตอนพืช และแบคทีเรียบางชนิด พวกผู้ผลิตนี้มีความสำคัญมาก เพราะเป็นส่วนเริ่มต้นและเชื่อมต่อระหว่างส่วนประกอบที่ไม่มีชีวิตกับส่วนที่มีชีวิตอื่นๆ ในระบบนิเวศ
 - 2.2 ผู้บริโภค (Consumer) คือ พวกที่ได้รับอาหารจากการกินสิ่งมีชีวิตอื่นๆ อีกทอดหนึ่ง ได้แก่ พวกสัตว์ต่างๆ แบ่งได้ตามประเภทอาหารที่บริโภคออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ
 - ผู้บริโภคปฐมภูมิ (Primary consumer) โดยเป็นสิ่งมีชีวิตที่กินพืชเป็นอาหาร เช่น กระท่าย วัว ควาย และปลาที่กินพืชเล็กๆ เป็นต้น
 - ผู้บริโภคทุติยภูมิ (Secondary consumer) เป็นสัตว์ที่ได้รับอาหารจากการกินเนื้อสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร เช่น เสือ สุนัขจิ้งจอก ปลากินเนื้อ ฯลฯ
 - ผู้บริโภคตติยภูมิ (Tertiary consumer) เป็นพวกที่กินทั้งสัตว์ ทั้งพืช และสัตว์กินสัตว์ นอกจากนี้ยังได้แก่สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในระดับขั้นการกินสูงสุด ซึ่งหมายถึงสัตว์ที่ไม่ถูกกินโดยสัตว์อื่นๆ ต่อไป เป็นสัตว์ที่อยู่อันดับสุดท้ายของการถูกกินเป็นอาหาร เช่น มนุษย์
 - 2.3 ผู้ย่อยสลาย (Decomposer) เป็นพวกที่ไม่สามารถปรุงอาหารได้ แต่จะกินอาหารโดยการผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายแร่ธาตุต่างๆ ในส่วนประกอบของซากสิ่งมีชีวิตที่ตายลงให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก แล้วดูดซึมไปใช้เป็นสารอาหารบางส่วน ส่วนที่เหลือจะปลดปล่อยออกสู่ระบบนิเวศ ซึ่งผู้ผลิตจะสามารถเอาไปใช้ต่อไป จึงนับว่าผู้ย่อยสลายเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สารอาหารสามารถหมุนเวียนเป็นวัฏจักรได้

6. ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ

ดวงอาทิตย์นับเป็นแหล่งที่ให้พลังงานกับระบบนิเวศ โดยโลกได้รับพลังงานนี้ในรูปของการแผ่รังสี แต่รังสีทั้งหมดที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์จะผ่านบรรยากาศของโลกลงมาเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงเพียงประมาณร้อยละ 1 เท่านั้น ผู้ผลิตในระบบนิเวศจะเป็นพวกแรกที่สามารถจับพลังงานจากดวงอาทิตย์ไว้ได้ ในกระบวนการสังเคราะห์แสงผู้ผลิตซึ่งเป็นพืชที่มีคลอโรฟิลล์นี้จะเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมี แล้วนำพลังงานเคมีนี้ไปสังเคราะห์สารประกอบที่มีโครงสร้างอย่างง่าย คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ให้เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีพลังงานสูง คือ คาร์โบไฮเดรต ($\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$)

พลังงานที่ผู้ผลิตรับไว้ได้จากดวงอาทิตย์และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอาหารนี้จะมีการถ่ายทอดไปตามลำดับขั้นของการกินอาหารภายในระบบนิเวศ คือ ผู้บริโภคจะได้รับพลังงานจากผู้ผลิตโดยการกินต่อเป็นทอดๆ ในแต่ละลำดับขั้นของการถ่ายทอดพลังงานนี้ พลังงานจะค่อยๆ ลดลงไปในแต่ละลำดับเรื่อยๆ ไปเนื่องจากได้สูญเสียออกไปในรูปความร้อน การรับพลังงานจากดวงอาทิตย์โดยผู้ผลิตเป็นจุดแรกที่มีความสำคัญยิ่งต่อระบบนิเวศนั้น ระบบนิเวศใดรับพลังงานไว้ได้มากย่อมแสดงให้เห็นว่าระบบนิเวศนั้นมีความอุดมสมบูรณ์มาก การเคลื่อนย้ายหรือถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศในรูปอาหารจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภคและจากผู้บริโภคไปสู่ผู้บริโภคอันดับต่อไปเป็นลำดับขั้น มีลักษณะเป็นลูกโซ่อาหารหรือห่วงโซ่อาหาร (Food chain) ดังรูปที่ 2 (ก) ซึ่งในสภาพธรรมชาติจริงๆ แล้ว การกินกันอาจไม่ได้เป็นไปตามลำดับที่แน่นอนเช่นที่กล่าวมา เพราะผู้ล่าชนิดหนึ่งอาจจะล่าเหยื่อที่ได้หลายชนิดและขณะเดียวกันนี้อาจจะตกเป็นเหยื่อของผู้ล่าชนิดอื่นๆ เนื่องจากทุกๆ ลำดับขั้นของการถ่ายทอดจะมีพลังงานสูญเสียไปในรูปความร้อนประมาณร้อยละ 80-90 ดังนั้นลำดับของการกินในลูกโซ่อาหารนี้จึงมีจำนวนจำกัด โดยปกติจะสิ้นสุดในลำดับที่สี่ถึงห้าเท่านั้น ในลูกโซ่อาหารสายใดมีลักษณะสั้นก็จะมีประสิทธิภาพดีเท่านั้นเพราะมีพลังงานรั่วไหลไปจากลูกโซ่ได้น้อย โดยทั่วไปในกลุ่มสิ่งมีชีวิตหนึ่งๆ ห่วงโซ่อาหารไม่ได้ดำเนินไปอย่างอิสระ แต่ละห่วงโซ่อาหารอาจมีความสัมพันธ์กับห่วงโซ่อื่นๆ อีก โดยเป็นความสัมพันธ์ที่สลับซับซ้อน เช่น สิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารหนึ่งอาจเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่งในห่วงโซ่อาหารอื่นก็ได้ เราเรียกลักษณะห่วงโซ่อาหารหลายๆ ห่วงโซ่อาหารที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันอย่างสลับซับซ้อนว่า ข่ายใยอาหาร หรือ สายใยอาหาร (Food web) ดังรูปที่ 2 (ข) สายใยอาหารของกลุ่มสิ่งมีชีวิตใดที่มีความซับซ้อนมากแสดงว่าผู้บริโภคลำดับที่ 2 และลำดับที่ 3 มีทางเลือกในการกินอาหารได้หลายทาง มีผลทำให้กลุ่มสิ่งมีชีวิตนั้นมีความมั่นคงในการดำรงชีวิตมากตามไปด้วย