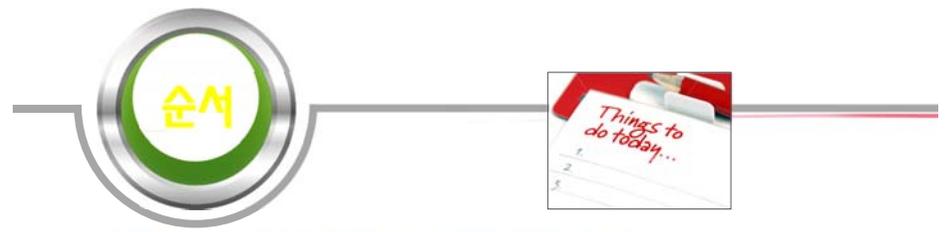




해양환경의 이해

-해양 오염

김종성
(서울대 지구환경과학부)



해양 오염

1. 해양오염의 정의
2. 왜 해양이 오염되는가?
3. 해양오염물질
4. 해양오염의 예방과 통제

해양 오염

1. 해양오염의 정의
2. 왜 해양이 오염되는가?
3. 해양오염 물질
4. 해양오염의 예방과 통제

해양 vs. 환경문제



해양오염의 정의

• 해양오염이란?

Marine pollution means the introduction by **man**, directly or indirectly, of substances or energy to the **marine environment** resulting in **such deleterious effects** as harm to living resources; hazards to human health; hindrance of marine activities including fishing; impairment of the quality for use of seawater; and reduction of amenities.

<GESAMP>

인간에 의해 물질이나 에너지가 직접 혹은 간접적으로 **해양환경에** 유입되어 그 결과로서 생물자원에 대한 손상, 어로활동을 포함한 해양활동의 저해. 해수 이용을 위한 수질의 악화, 쾌적함의 감소 등과 같은 **해로운 영향**이 나타나는 것을 **해양오염**이라 정의한다.

5

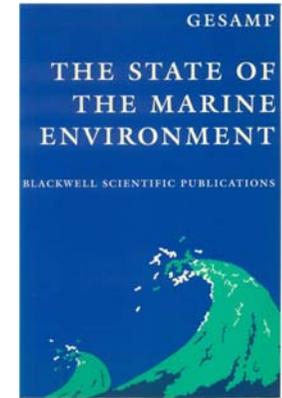
GESAMP의 해양환경보고서

< GESAMP

(= Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution)

◀ 보고서의 목차

1. Human Activities Affecting the Sea
2. **Marine Contaminants**: Levels and distribution
3. Biological Effects
4. **Climate Change** Effects
5. Prevention and Control of Marine Pollution
6. Overview



6

왜 해양환경이 오염되는가?

□ 해양환경에 영향을 미치는 다양한 인간활동, GESAMP(1990):

- ◀ 연안의 개발: 산업 및 여가활동
- ◀ 폐수의 배출: 점오염원(point sources), 비점오염원(non-point sources)
- ◀ 해양투기: 준설토, 하수슬러지, 산업폐기물
- ◀ 고형 플라스틱 물질의 투기: 어구, 플라스틱 용기, 포장재료 등
- ◀ 물 순환계의 조절: 댐 건설, 지하수 개발
- ◀ 육상의 산업활동: 잔류성 농약의 사용, 산림훼손, 관개
- ◀ 유해물질의 해상 운송: 석유, 기타 유해물질
- ◀ 비 생물 해양자원의 개발: 석유와 가스, 광물자원, 해양에너지
- ◀ 해양 생물자원의 개발: 어업활동, 인공양식
- ◀ 기타: 자연재해와 사고; 엘니뇨, 해수면 상승, 유조선 사고 등

7

왜 해양환경이 오염되는가?

□ 현재 즉각적 관심과 대처가 필요한 해양 현황, GESAMP(1990):

- ◀ 연안의 개발과 그에 따른 자연 서식지 파괴:
홍수림(mangroove) 파괴, 산호초 파괴, 갯벌매립
- ◀ 부영양화:
하수배출과 농업유출수에 의한 영양염 유입; 조류 대번식(bloom)과 빈산소 구역
- ◀ 미생물(병원균)에 의한 해산물과 해수욕장 오염:
마비성 패독, 수인성 전염병(콜레라)
- ◀ 플라스틱 쓰레기의 축적:
포장재, 어구
- ◀ 유기독성물질의 점증적 축적 (특히 열대와 아열대 해역):
유기염소계 농약
- ◀ 해안의 타르(tar) 축적:

8

대양의 오염과 연근해 오염

◁ 대양의 오염:

- **오염 현안:** 납, 유기독성물질, 방사성 원소, 기름막, 고형폐기물; 이들이 생태계에 미치는 영향은 아직 무시할만한 정도
- 따라서, 대양은 아직 비교적 깨끗한 상태에 머물러 있다.

◁ 연안 및 주변해의 오염:

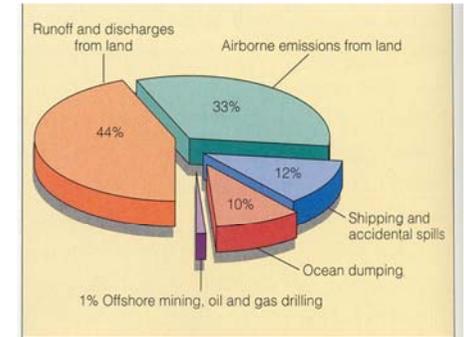
- **환경 특성:** 생물의 생산성이 높고, 인간 생활이 밀집함
- **연안역의 개발:** 서식지를 파괴하여 자연생태계를 소멸시킴
- 연안생태계의 회복 불가능한 파괴와 해양환경의 질적 악화 우려

9

해양 오염물질

◁ 해양오염물질의 유입경로:

- 강에 의한 운반 44%
- 대기에 의한 운반 33%
- 해운수송 12%
- 해양투기 10%
- 해저유전, 등 1%



◁ 해양내의 오염물질 순환:

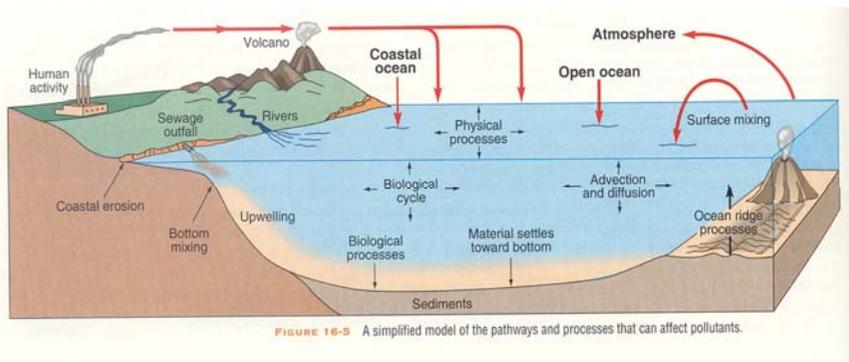
해수 - 퇴적물 - 생물체

Figure 18.1 Sources of marine pollution. (Source: Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of the Marine Environment, *The State of the Marine Environment*, UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 115, Nairobi: U.N. Environment Programme, 1990).

10

해양 오염물질

◁ 오염물질의 이용경로와 해양 내에서의 행동:



11

해양 오염물질의 종류

- ◁ 영양염류: 질산염(NO_3), 인산염(PO_4)
- ◁ 석유: 사고에 의한 유출, 운항 및 사용과정의 유출
- ◁ 지속성유기오염물질: 살충제, PCBs, TBT 등
강한 독성, 환경 지속성, 생물축적과 생물확대
- ◁ 중금속: 수은, 납
- ◁ 방사성 원소: 핵실험, 핵추진 선박, 핵발전소
- ◁ 고형폐기물: 물에 뜨거나 썩지 않는 플라스틱류가 문제
- ◁ 열오염: 해안에 설치된 발전소의 냉각수에 의한 온배수
- ◁ 외래생물종의 유입: 선박의 발라스트 물을 통한 외래 생물종 유입

12

영양염 축적과 부영양화

◁ 영양염: 질산염(NO₃), 인산염(PO₄)

- 해양식물의 광합성에 필요하며, 해양생태계의 유지에 필수적 요소이다.
- 그러나 물속에 너무 많이 존재하면 **부영양화(eutrophication)** 상태가 된다.

◀ 왜 부영양화가 문제인가?

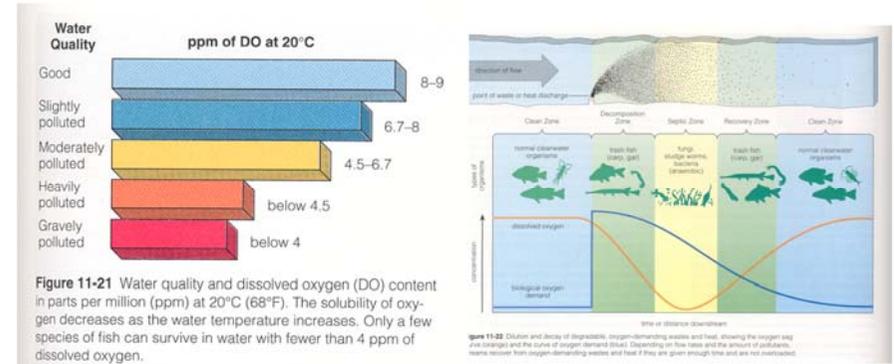
- 영양염이 광합성을 촉진하여 **식물 플랑크톤의 대증식(bloom)**을 초래한다.
- 생물의 양은 늘어나나 종은 감소하여 생태계의 균형이 깨진다.
- 대증식이 일어난 플랑크톤을 생태계 먹이사슬에서 처리할 수 없다.
- 죽어 가라앉은 플랑크톤을 미생물이 분해하며 **용존산소(DO)**를 소모한다.
- 수층이 성층화된 경우, 대기로부터의 산소 공급이 소모되는 양을 보충하지 못하여 저층의 물은 **빈산소(hypoxia)** 상태가 된다.
- **빈산소(DO<2mg/l)** 상태에서는 미생물을 제외하곤 생물이 살지 못한다.
- 과도한 식물플랑크톤의 대증식을 **적조(red tide)**라 부른다.

13

영양염 축적과 부영양화

◁ 용존산소와 수질:

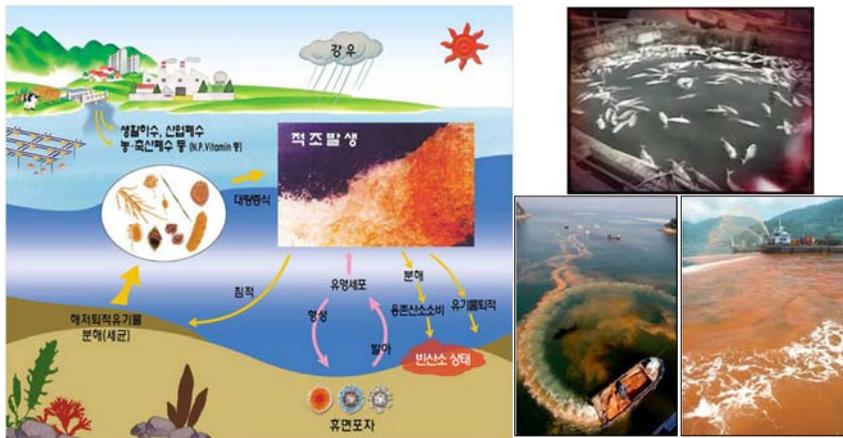
◁ Oxygen sag:



14

부영양화와 적조

◁ 적조는 플랑크톤이 갑자기 빠른 속도로 엄청난 수로 번식하여 바다나 강, 운하, 호수 등의 색깔이 바뀌는 현상을 말함.



15

적조

◁ 적조를 일으키는 생물:

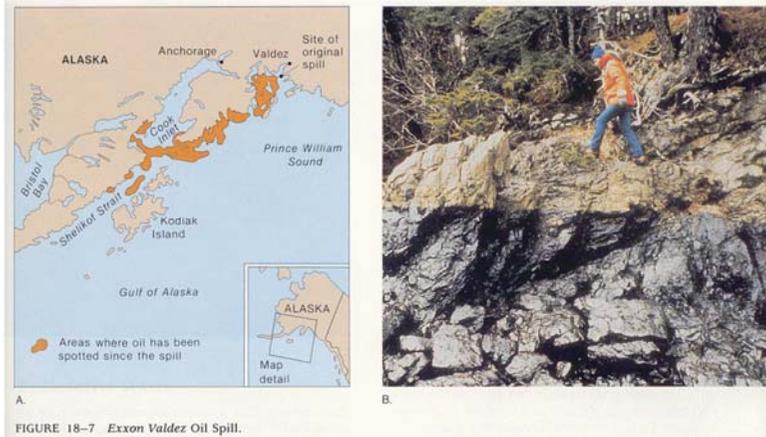


16

석유

◁ 엑슨발데즈(Exxon Valdez)호 사고:

1989년 3월 24일 알래스카 Valdez항 25km 외해에서 좌초; 35,000톤의 원유출; Prince William Sound의 2300 km² 해역을 오염시킴.



석유

◁ 씨프린스호 사고(1995):

1995. 7. 23. 전남 여천시 소리도 앞바다에 좌초. B/C유와 원유 포함 총 5,035톤 유출



석유

◁ 태안(Hebei Spirit) 유류 유출 사고:

2007년 12월 7일 서해안(태안 만리포 북서쪽 10km 지점)에서 유조선 허베이 스피릿호가 삼성중공업의 해상크레인과 충돌 원유 1만 2547kl 유출된 사건.



석유

◁ 태안(Hebei Spirit) 유류 유출 사고:



해양으로 유출된 기름의 거동

- Spreading
- Advective transport
- Evaporation
- Photochemical oxidation
- Solution
- Emulsification
- Tar-lump formation
- Sedimentation
- Microbial degradation

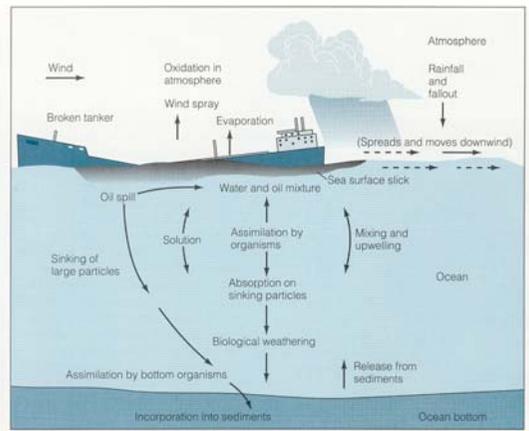


Figure 20.3 Some of the possible pathways that an oil spill may travel.

25

기름오염 사고의 대처

- 사고예방: Navigation, Ship construction, Oil transfer system, Personnel training
- 유출된 기름 확산의 방지: 차단막(booms, oil fence) 설치
- 해면에서 유출된 기름의 물리적 수거: oil skimmer, absorbents
- Dispersants(확산제) 살포
- 소각처리
- Gelling agent
- Sinking
- Biodegradants: bacteria, yeast
- Beach cleaning
- Do nothing

26

기름오염 사고의 대처

지속성유기오염물질

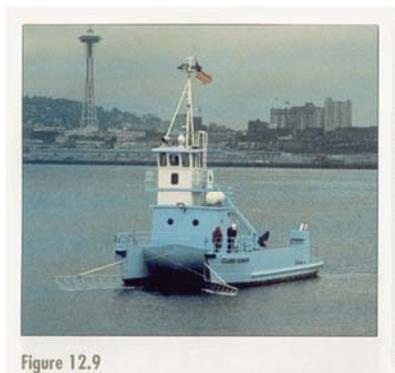


Figure 12.9



Figure 20.4 Cleaning up the March 1989 Exxon Valdez oil spill, Prince William Sound, Alaska.

27

◁ 유기화합물로서,

- (1) 독성이 있고,
- (2) 지속성이 있으며,
- (3) 생물축적 경향을 보이고,
- (4) 장거리 이동과 퇴적을 하고,
- (5) 환경과 인류 건강에 해로운 영향을 미치는 물질군을 지칭함

- POPs는 수용성이 작고 지용성이 큼, 대부분이 인위적 기원임
- 반감기가 길어 유출된 물질은 환경에 누적됨, 전지구적 분포
- 휘발성 비교적 크고 대기를 통해 장거리 이동, 근원지 파악 어려움
- 해양으로의 유입 경로는 주로 대기로부터의 침적과 표면 유출수
- 광역적 및 전지구적 이동은 주로 대기의 순환에 의함
- 휘발-퇴적-재휘발 과정이 연속 진행되어 장거리 이동을 함

28

생물축적 및 생물확대

- ◁ Rachel Carson의 'Silent Spring'
- ◁ DDT의 생물축적과 생물확대

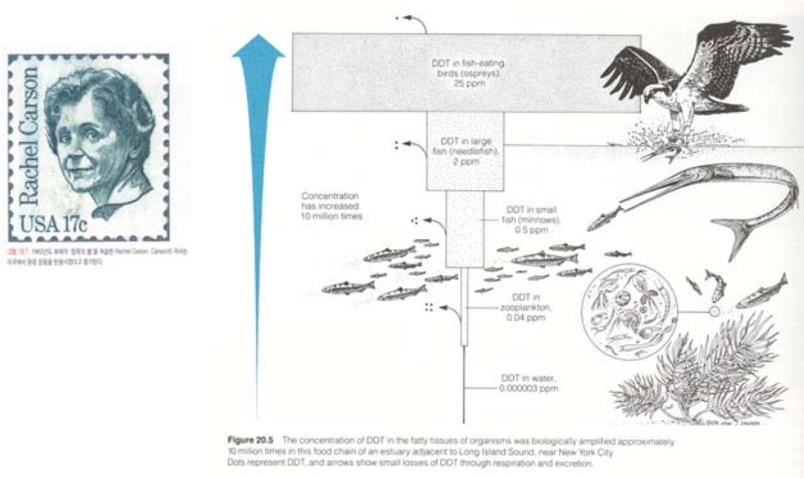


Figure 20.5 The concentration of DDT in the fatty tissues of organisms was biologically amplified approximately 10 million times in this food chain of an estuary adjacent to Long Island Sound, near New York City. Dots represent DDT, and arrows show small losses of DDT through respiration and excretion.

중금속

◁ Trace elements in relation to human life:

- Essential : Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, Zn
- Likely to be essential : Ni, Si, Sn, V
- Contaminants : Al, As, Cd, Hg, Pb
- Others : Sb, Ba, Be, B, Li, Rb, Ag, Sr, Ti

◁ Metal toxicity:

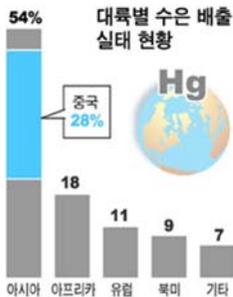
- 필수적인 금속원소들도 만일 자연상태를 크게 초과한 농도로 존재할 때에는 enzyme inhibitors를 형성.
- Ag, Hg, Cu, Cd, Pb 등은 특히 toxic; sulphhydryl group(-SH)과 반응하여 mercaptides(RSM)를 형성함으로써 효소의 작용을 방해한다.
- 관심 우선순위: Hg > As, Cu, Cd, Zn, Cr, Mn > Fe, Ti, Pb

◁ 중금속 오염:

- '미나마타병' (수은중독), '이따이이따이병'(카드뮴)
- 납과 비소 등도 오래 전부터 그 독성이 알려짐
- Worldwatch 연구소의 보고서; 황해, 동지나해 등 중금속 오염 심각

중금속

◁ '미나마타병' (수은중독) :



국민 혈중 중금속 농도

	2005년	2007년	2008년	세계보건기구 (WHO) 기준
납(μg/dL)	2.66	1.72	1.98	10
수은(μg/L)	4.34	3.8	3.0	1~8
망간(μg/dL)	-	1.18	1.06	2

*1dL=100mL, 1μg=100만분의 1g (자료: 국립환경과학원)

방사성 원소

◁ 방사능 오염: 역대 원전사고 등급

- 구 소련 Chernobyl(1986): 7등급
- 일본 후쿠시마 원전(2011): 7등급
- 미국 Three-Mile Island(1979): 5등급



고형폐기물

◁ 고형폐기물 (Solid wastes):

- 매년 해양으로 배출되는 고형폐기물의 양은 약 6백만 톤으로 추산.
- 쓰레기 투기는 대부분의 연안해역에서 금지되어 있다. 따라서 해양의 쓰레기는 외해에서 선박의 선원이나 여행객이 바다로 버린 물질이거나 혹은 육상의 폐기물이 홍수 등에 의해 바다로 쓸려 내려온 것들이다.

- 해양 고형폐기물의 종류

- 플라스틱: 어선기원(어구), 화물선기원(포장재, 원료), 하수기원
 - 유리병
 - 나무 및 종이류
 - 화학폐기물을 함유한 금속 드럼
 - 무기류
- 규제: 「런던뎀핑협약」(LDC), 「선박에 의한 해양오염 방지 협약」
- * '유령어업'(ghost fishing)
- * 병원 폐기물의 위험

37

고형폐기물

◁ 플라스틱 폐기물:



FIGURE 20.17 A deadly necklace. Marine biologists estimate that castoff nets, plastic beverage yokes, and other packing residue kill hundreds of thousands of birds, mammals, and fish each year.



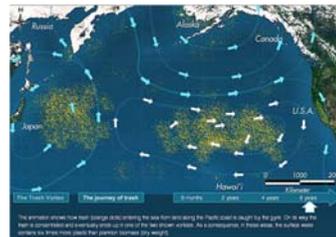
38

고형폐기물

◁ 해양쓰레기 국가별 현황 및 종류



외국산 해양쓰레기의 나라별 비율



39

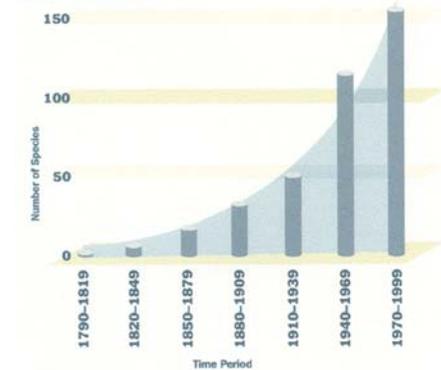
외래 생물종

◁ 외래 생물종 (Exotic species):

- 선박의 **발라스트 물** 등으로 유입
- 토착종의 생태계 균형을 파괴함;
- 미국의 샌프란시스코만의 예

Rate of Invasions

This graph shows the rate of invasions of marine invertebrates and seaweeds based upon the number of new invasions occurring in the U.S. coastal zone from 1790 to 1999. For example, there were 150 new invasions from 1970-1999. The total number of invasions plotted on this graph is 374 species.



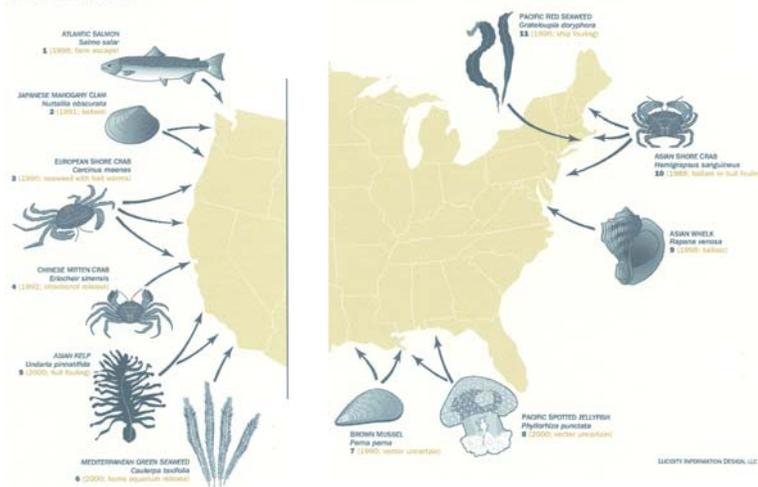
Source: Ruiz et al., 2000.

40

외래 생물종

◁ 미국 연안의 bioinvasions:

Some Recent Bioinvasions in U.S. Coastal Waters



41

해양오염의 예방과 통제

◁ 해양환경의 보전을 위해서는;

- 국가적, 지역적, 범세계적 차원의 조화된 노력이 필요하다

◁ 오염문제의 해결을 위한 구체적 조치의 어려움:

- 기본적 과학지식의 부족
- 기술 수준의 한계
- 경험의 부족
- 가용한 자원의 제약

◁ 해양오염 통제 전략의 기본 원칙적 개념:

- 환경용량(environmental capacity)
- 지속가능한 개발(sustainable development)
- 사전예방주의 원칙(precautionary principle)

42

해양오염의 예방과 통제

◁ 환경용량:

- 자연환경이 스스로 정화하여 생활환경의 질적 수준을 일정하게 유지하고 자원을 재생산할 수 있는 능력을 양으로 환산한 것

◁ 지속가능한 개발(발전):

- 미래세대가 그들의 필요를 충족시킬 수 있는 가능성을 손상시키지 않는 범위에서 현재 세대의 필요를 충족시키는 개발을 일컫는 말

◁ 사전예방주의 원칙:

- 확실한 증거가 존재하지 않더라도 심각한 환경파괴의 위험이 있을 때는 적기에 적극 동참해야 한다는 원칙

43

해양환경 보전-오염방지를 위한 국제적 노력

◁ 환경보호를 위한 국제적 노력:

- 1972년 스톡홀름의 '유엔인간환경회의' (UNCHE); UNEP 출범
- 1987년 유엔 '세계환경개발위원회' (WCED); 「우리 공동의 미래」
- 1992년 리우의 '유엔환경개발회의' (UNCED); Agenda 21
- 2004년 스톡홀름협약 발효, 2007년 국내 POPs 관리법 공포

◁ 해양오염을 방지하고 통제하기 위한 국제적 규약:

- 「유엔해양법」(LOS)
- 「선박에 의한 해양오염 방지협약」(MARPOL 73/78)
- 「런던땀뽕협약」(LC)

◁ 지역해의 환경보호를 위한 협약:

- 북해나 발틱해, 지중해 등 특정한 지역해의 환경보호를 위한 협약
- UNEP의 '지역해 계획'(Regional Seas Programme)
- 황해와 동지나해, 동해 등을 포함하는 지역해 환경보호 협약은 없음; 현재 '북서태평양보전실천계획'(NOWPAP) 추진중

44

유엔해양법 제 12부: 해양환경 보호와 보전

- ◁ 총 9개 절, 46개 조(192조-237조)로 구성됨.
- ◁ 제 1절. 총칙 (제192-196조)
 - 제192조 일반적 의무: **각국은 해양환경을 보호하고 보전할 의무를 진다.**
 - 제194조 해양환경 오염의 방지, 경감 및 통제를 위한 조치
- ◁ 제 2절. 지구적·지역적 협력 (제197-201조)
 - 제198조 급박한 피해나 현실적 피해의 통고
 - 제199조 오염대비 비상계획
- ◁ 제 3절. 기술지원 (제202-203조)
- ◁ 제 4절. 감시와 환경평가 (제204-206조)
- ◁ 제 5절. 해양환경 오염의 방지, 경감, 통제를 위한 국제규칙과 국내입법 (제207-212조)
 - 제207조 육상오염원에 의한 오염
 - 제210조 투기에 의한 오염
 - 제211조 선박에 의한 오염
 - 제212조 대기에 의한 또는 대기를 통한 오염
- ◁ 제 6절. 법령집행 (제213-222조)
- ◁ 제 7절. 보장제도 (제223-233조)
- ◁ 제 8절. 결빙해역 (제234조)
- ◁ 제 9절. 책임 (제235조)
- ◁ 제10절. 주권면제 (제236조)
- ◁ 제11절. 해양환경 보호·보전을 위한 다른 협약상의 의무 (제237조)

45

해양환경 관리의 원칙?

A Wall Poster Seen at EPA*

The ABCs of Waste Disposal

NIMBY...Not In My Back Yard
NIMFYE...Not In My Front Yard Either
PIITBY...Put It In Their Back Yard
NIMEY...Not In My Election Year
NIMTOO...Not In My Term Of Office
LULU...Locally Unavailable Land Use
NOPE...Not On Planet Earth

*Environmental Protection Agency

46

바다를 지키자...



47