수생태계 사고 대응 및 건강성 평가
-어류폐사와 생태독성-

K-water연구원 수자원환경연구소

2024. 06. 05 (수)

Contents

Ⅰ 우리나라 수생태계 관리

Ⅱ 수생태계 건강성 평가

Ⅲ 수생태계 사고-어류 폐사

우리나라 수생태계 관리

수생태계 건강성?

✓ **건강한 하천?**

- 인간의 인위적 영향이 없는 자연형 하천

인간의 활동

화학적 스트레스
- 독성 물질 유입
- 수질 저하
- 유기물 유입 및 부영양화

물리적 스트레스
- 용존산소 감소, 가뭄, 홍수 등
- 서식지 파괴
- 도시화

생물학적 스트레스
- 어업활동
- 외래종 유입
- 먹이경쟁

분자생물학적-생화학적 반응
- 기관 기능 장애 효소 반응
- 혈액 생화학적 반응
- 면역학적 반응

- 생태학적 의미 낮음
- 민감도 높음
- 반응속도 빠름

조직-개체 수준의 반응
- 개체 건강 지표 반응
- 질병, 유영, 성장, 포식
- 행동학적 반응

개체군-군집 수준의 반응
- 개체군 크기
- 연령, 성별 구조
- 섭식 구조
- 다양성 및 풍부도

- 생태학적 의미 높음
- 민감도 낮음
- 반응속도 느림

수생태계 건강성 평가

✓ 하천의 평가?

- 과거 하천 평가 방법은 주로 수질측정을 통한 평가

● 하천의 생활환경기준

등급		상태 (캐릭터)	기준								
			수소이온 농도(pH)	생물 화학적 산소 요구량 (BOD) (㎎/L)	화학적 산소 요구량 (COD) (㎎/L)	총유기 탄소량 (TOC) (㎎/L)	부유 물질량 (㎎/L)	용존 산소량 (㎎/L)	총인 (T-P) (㎎/L)	대장균군 (군수/100mL)	
										총 대장균군	분원성 대장균군
매우 좋음	Ia		6.5~8.5	1 이하	2 이하	2 이하	25 이하	7.5 이상	0.02 이하	50 이하	10 이하
좋음	Ib		6.5~8.5	2 이하	4 이하	3 이하	25 이하	5.0 이상	0.04 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II		6.5~8.5	3 이하	5 이하	4 이하	25 이하	5.0 이상	0.1 이하	1,000 이하	200 이하
보통	III		6.5~8.5	5 이하	7 이하	5 이하	25 이하	5.0 이상	0.2 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV		6.0~8.5	8 이하	9 이하	6 이하	100 이하	2.0 이상	0.3 이하	-	-
나쁨	V		6.0~8.5	10 이하	11 이하	8 이하	쓰레기등이 떠있지 아니할것	2.0 이상	0.5 이하	-	-
매우 나쁨	VI		-	10 초과	11 초과	8 초과	-	2.0 미만	0.5 초과	-	-

출처 : 물환경정보시스템 (http://water.nier.go.kr/web)

수생태계 건강성 평가

✓ 수생태계 건강성에 대한 인식의 변화

- 환경 변화를 잘 반영하는 지표는 <u>물속에 살고 있는 생물</u>

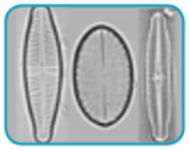
출처 : 물환경정보시스템 (http://water.nier.go.kr/web)

수생태계 건강성평가

수생태계 건강성 평가

✓ 생물을 이용한 수생태계 건강성 평가

- 1차 생산자부터 최종소비자까지 대표 생물군을 이용한 건강성 평가



01 | 부착돌말류

부착돌말류는 하천생태계 먹이사슬의 1차 생산자로서 생태계 내 에너지 전달의 기초를 담당하는 조류 중 하상의 자갈이나 호박돌 등의 돌에 부착된 돌말류를 말합니다.

※ 땅콩돌말, 낟알돌말, 쐐기돌말 등이 있으며, 부착돌말지수(TDI, Trophic Diatom Index)로 건강성을 평가합니다.

02 | 저서성 대형무척추동물

저서성 대형무척추동물은 하천 생태계의 1~2차 소비자로서 지역적 특성을 반영하는 생물학적 지표이며, 수서곤충이 출현종의 대부분을 차지하는 생물군을 말합니다.

※ 동양하루살이, 깔따구, 실지렁이 등이 있으며, 저서생물지수(BMI, Benthic Macroinvertebrate Index)로 건강성을 평가합니다.

03 | 어류

어류는 다양한 영양단계의 잡식성, 초식성, 충식성, 육식성을 대표하는 수체 내 먹이사슬의 최상위 단계에 있는 생물을 말합니다.

※ 참마자, 쏘가리, 블루길 등이 있으며, 어류지수(FAI, Fish Assessment Index)로 건강성을 평가합니다.

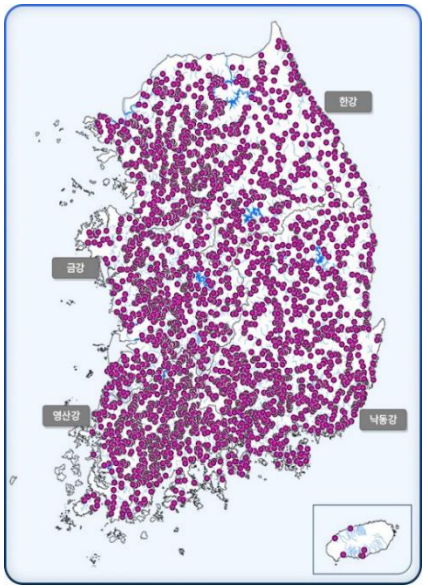
출처 : 생물측정망 조사 및 평가지침

생물 등급	환경상태	수생생물			하천환경	
		부착돌말류 지수(TDI)	저서성 대형무척추동물 지수(BMI)	어류 지수(FAI)	수변식생 지수(RVI)	서식 및 수변환경 지수(HRI)
A	매우좋음	90 ≦	80 ≦	80 ≦	65 <	80 <
B	좋음	70 ≦	65 ≦	60 ≦	50 <	60 <
C	보통	50 ≦	50 ≦	40 ≦	30 <	40 <
D	나쁨	30 ≦	35 ≦	20 ≦	15 <	20 <
E	매우나쁨	< 30	< 35	< 20	≦ 15	≦ 20

출처 : 수생태계 건강성 종합안내서

수생태계 건강성 평가

✓ 생물측정망 운영을 통한 수생태계 건강성 평가

수체유형	분야	조사항목	횟수	주기	전국 생물측정망 분포
하천	수생생물	부착돌말류, 저서성대형무척추동물, 어류	연 2회	3년	
	하천환경	수변식생	연 1회	6년	
		서식 및 수변환경	연 1회	3년	
보구간	수생생물	식물플랑크톤, 동물플랑크톤	월 4회	1년	
		저서성대형무척추동물	연 3회		
		어류	연 2회		
	육상생물	양서류, 파충류, 포유류	연 3회		
	하천환경	수변식생	연 2회		
하구	하구생물	부착돌말류, 저서성대형무척추동물, 어류	연 2회	3년	
	하구환경	식생	연 1회		
호소	수생생물	식물플랑크톤, 동물플랑크톤	연 4회	3년(환경부) 5년(지자체)	
		저서성대형무척추동물, 어류	연 2회		
	호소환경	수생식물 및 수변환경	연 2회		
		수생식물및 수변환경	연 2회		

전국 3856개소 운영

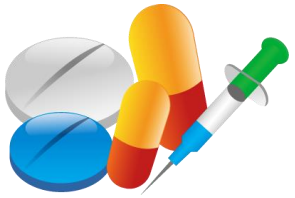
- 하천 : 3016
- 하구 : 660
- 호소 : 180

수생태계 건강성 평가

✓ **스트레스 반응을 통한 종합 건강검진**

증상의 목록화

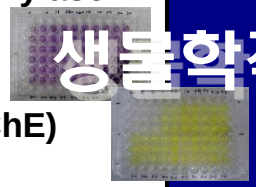
검사 및 진단



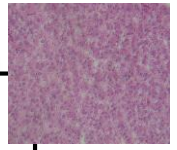
처방

수생태계 건강성 평가

- 7-ethoxyresorufin-*O*-deethylase (EROD) activity
- Comet assay
- Acetylcholinesterase (AChE) activity
- Vitellogenin (VTG) activity



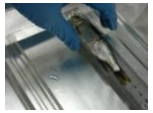
- Blood biochemistry (Alb, ALT, BUN, Cre, TG, T-Cho, T-Pro)



- Liver histopathology
- Gonad histopathology

- Condition factor (CF)
- Liver-somatic index (LSI)
- Visceral-somatic index (VSI)
- Spleen-somatic index (SSI)

- Age/size structure
- Abundance
- Length-frequency distribution
- Population response pattern
- Growth



LOW ECOLOGICAL RELEVANCE

SHORT-TERM RESPONSE

LONG-TERM RESPONSE

HIGH ECOLOGICAL RELEVANCE

BIOCHEMICAL

IMMUNOLOGICAL

PHYSIOLOGICAL

HISTOPATHOLOGICAL

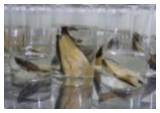
BIOENERGETIC

REPRODUCTIVE

POPULATION

COMMUNITY

- Gonado-somatic index (GSI)
- Sex ratio
- Age at first maturation
- Fecundity
- Egg size
- Egg atresia



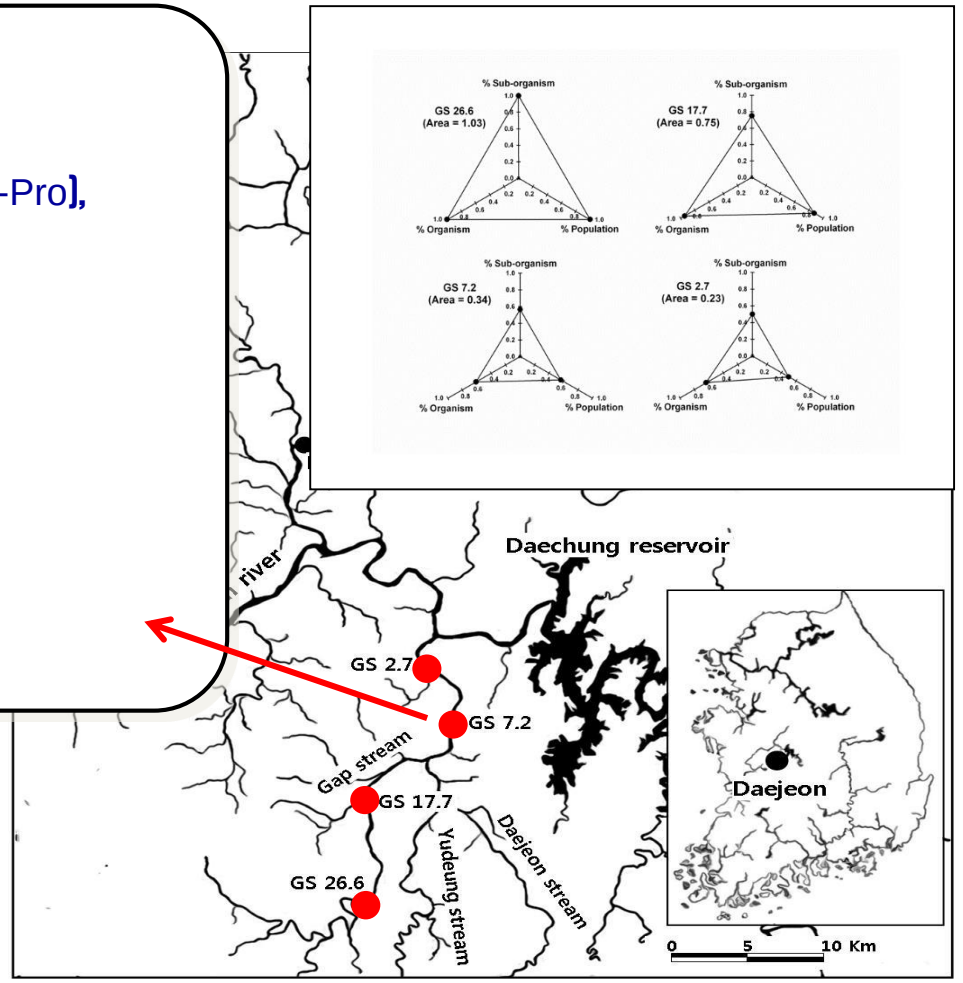
- Index of Biological Integrity (IBI)-위탁연구

- Toxicity test for individual level

수생태계 건강성 평가

✓ 스트레스 반응을 통한 종합 건강검진

- **오염물질에 대한 노출 확인**
  - EROD, Comet, VTG activity **확인**
  - **간손상 확인 (**Blood chemistry **(**ALT, Alb, T-Pro**),**
    간 세포 병리학적 확인, LSI **증가)**
- **개체수준에서 비정상적인 영양상태 확인**
  - Condition factor, VSI/SSI, Growth rate
- **개체군 반응 특성**
  - Recruitment failure **(**0+ age class **부재)**
- **군집 수준의 건강성**
  - FAI **건강도 지수 감소**

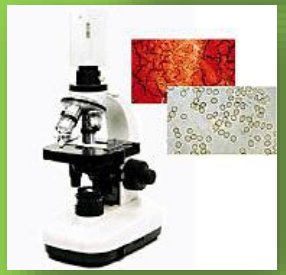


수생태계 건강성 평가

✓ 생태독성 실험을 통한 평가 (급성독성)

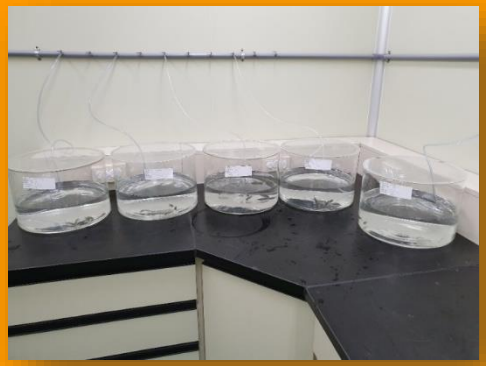
- 화학물질 또는 오염물질에 대한 생태계의 <u>급성적 영향</u>을 평가

생산자 : 담수조류



중간소비자 : 물벼룩

최종소비자 : 어류

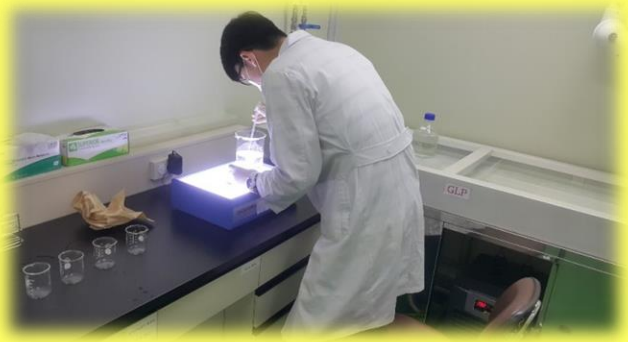


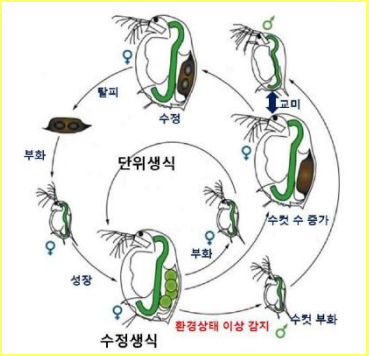
수생태계 건강성 평가

✓ **생태독성 실험을 통한 평가 (만성독성)**

- 화학물질 또는 오염물질에 대한 생태계의 장기적 영향을 평가

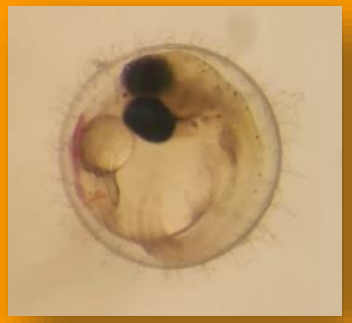
물벼룩 만성독성시험 : 물벼룩 생활사 1세대 기간 동안 reproduction(생식능) 영향 확인

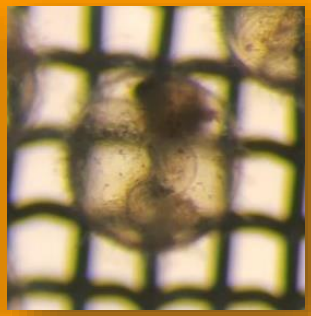




어류 만성독성시험 : 발생 초기부터 치어기 까지 발생하는 영향 확인

Duration	Period Name	Image
0 - 0.75 hrs	Zygote Period	zygote 1-cell 2-cell
0.75 - 2.25 hrs	Cleavage Period	4-cell 8-cell 16-cell 16-cell 32-cell 64-cell

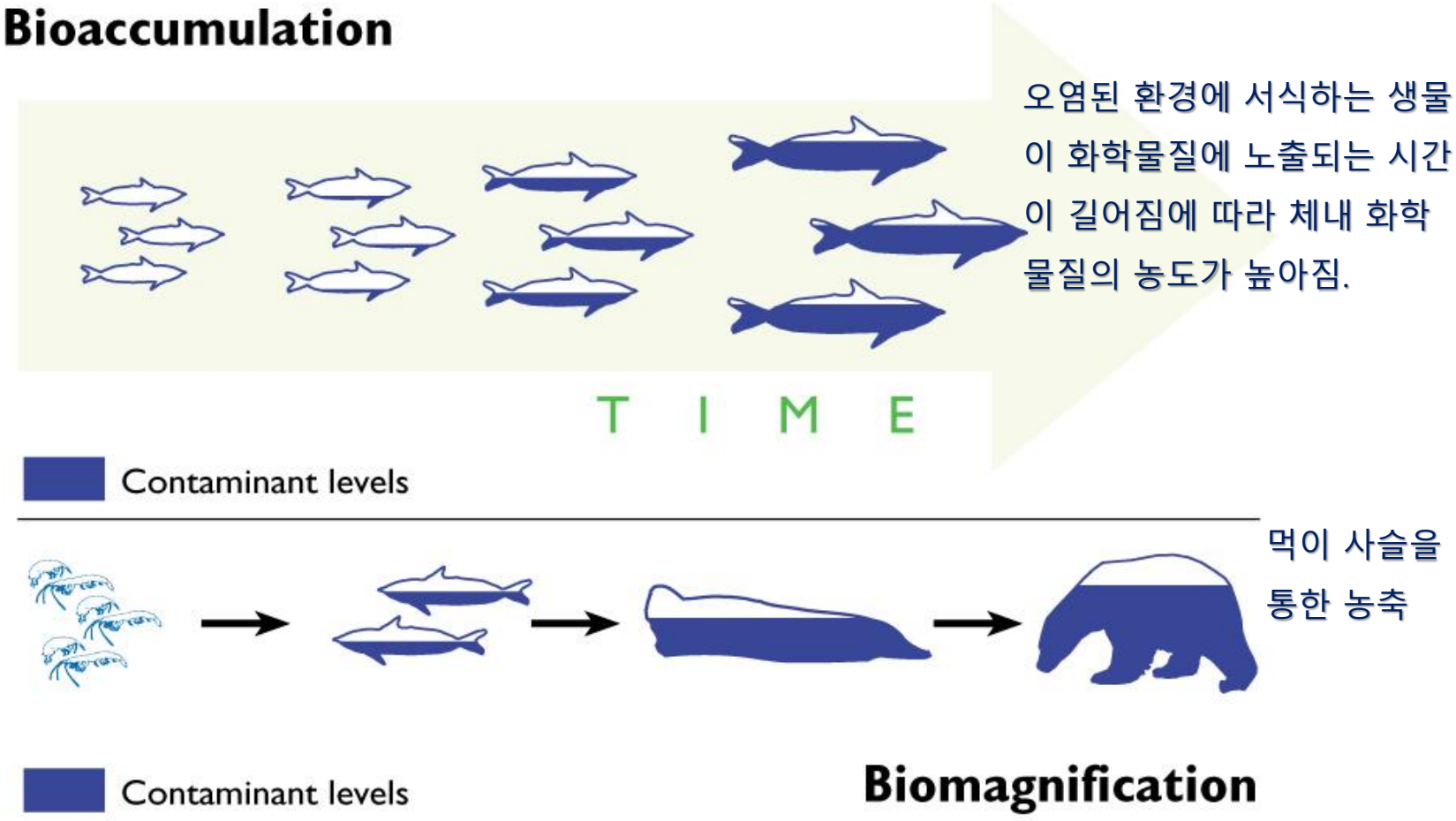




수생태계 건강성 평가

✓ **생태독성 실험을 통한 평가 (만성독성)**

- 생물농축성 시험



오염된 환경에 서식하는 생물이 화학물질에 노출되는 시간이 길어짐에 따라 체내 화학물질의 농도가 높아짐.

먹이 사슬을 통한 농축

수생태계 사고-어류 폐사

어류 폐사란?

✓ **어류폐사**

- 하천의 물고기들이 일시적으로 또는 시간 간격을 두고 떼로 사망하는 현상

어류 폐사의 특징

1. 어류폐사 원인 규명의 어려움

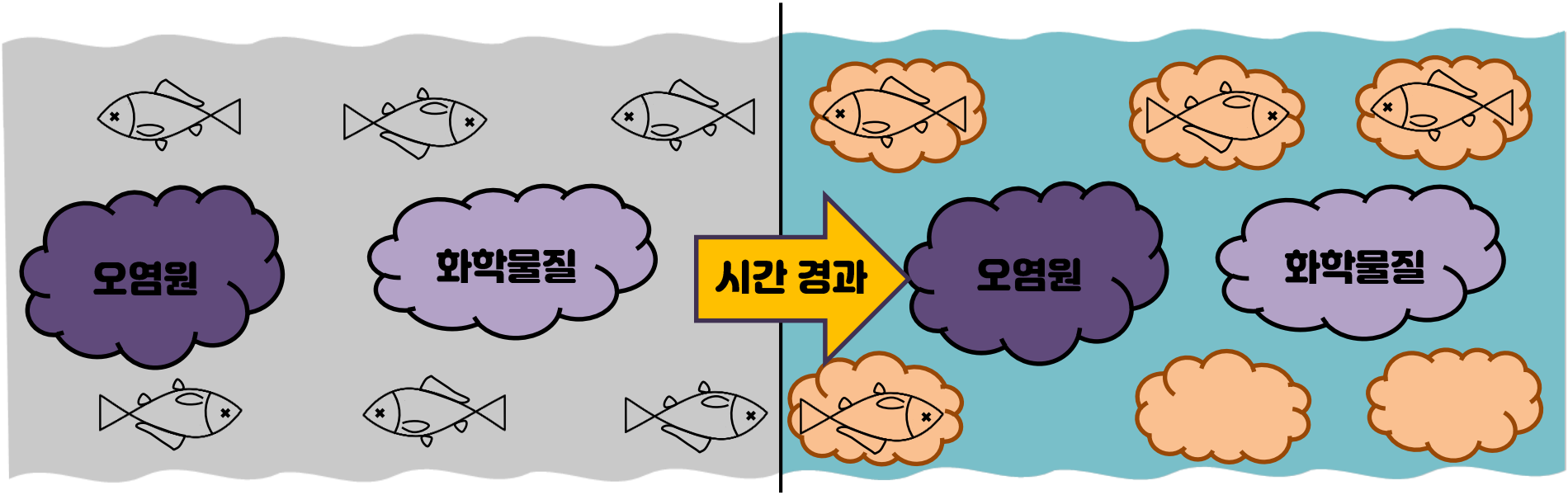
- 어류폐사는 **다양한 원인이 복합적으로 작용**하여 발생

자연적 영향	인위적 영향	환경스트레스 영향
수온 변화	이·치수를 위한 수위변동	세균·기생충 감염
용존산소(DO) 부족	오염물질, 독성물질 유입	염분 변화
산란기		초기강우
자연사		

어류 폐사의 특징

2. 증거 수집의 어려움

- 어류폐사 발생 후 사체를 발견하기 까지 상당한 시간 소요



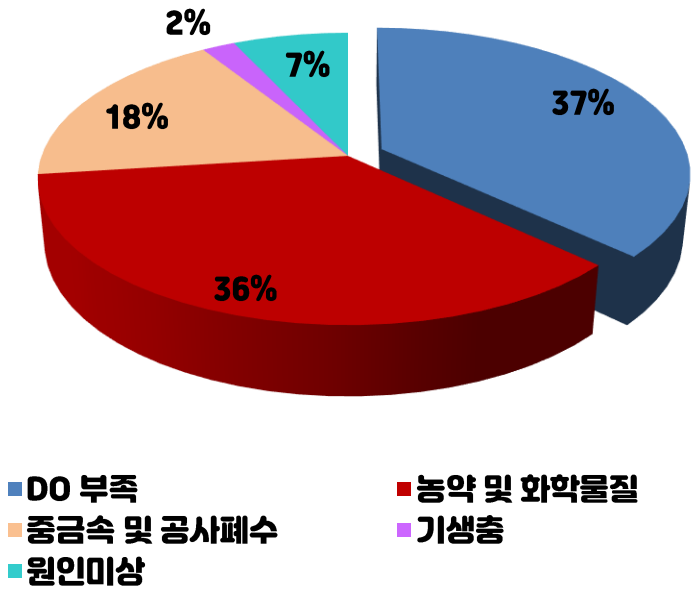
- 시간이 경과함에 따라 **핵심 증거**가 빠르게 소멸

=> 신속하게 증거를 수집 할 수 있는 **초동대응** 필요

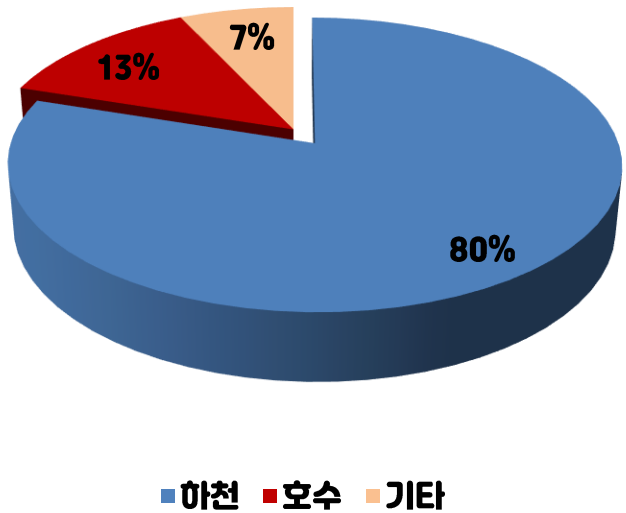
어류 폐사의 특징

- (환 경 부) 2000~2018년 어류폐사 건수 271건 발생

국내 어류 주요 폐사 원인
[용존산소 / 농약(화학물질)이 가장 높음]



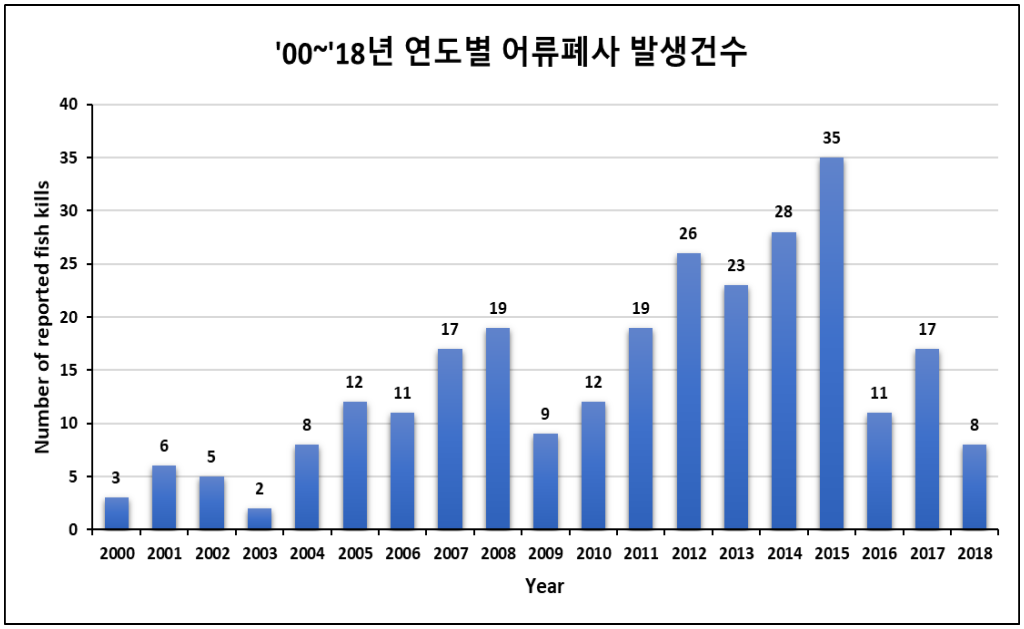
발생사고는 하천(80%)이 대부분



어류 폐사의 특징

- 매년 평균 어류폐사 발생건수 (환경부) 14건, 이 중 **30% 원인불명**
  - 2000 ~ 2018 국내 담수어류의 폐사 사례 271건
  - 주로 수온이 높은 시기(봄~여름)에 발생
  - 하지만, 일부 사례를 제외하고는 폐사의 **정확한 원인이 밝혀지지 않음**

안동댐 상류 낙동강에서 발견된 물고기 폐사체
[낙동강사랑환경보존회 제공=연합뉴스]



어류 폐사 원인 규명

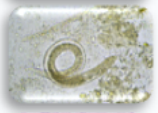
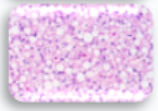
어류 폐사 원인규명

현장 초동 대응

- 현장 수질 분석
- 수질 샘플 확보
- 어류 샘플 확보
- 오염원 조사
- 어류 사체 관찰 및 수거

기초자료 및 샘플 확보

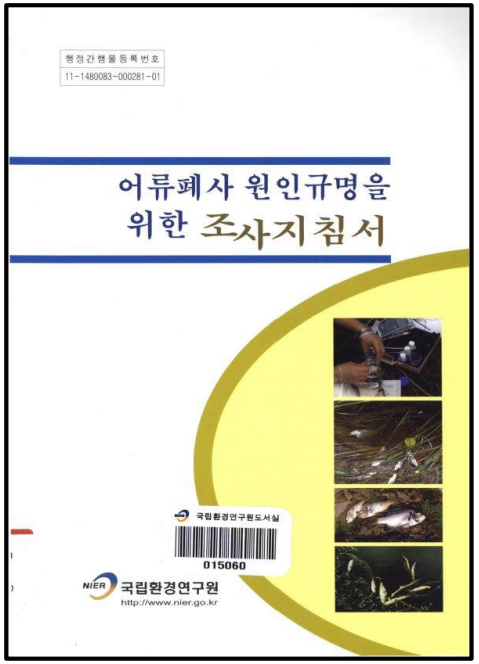
정밀 분석

- 수질 정밀 분석
- 해부학적 분석
- 어류 질병 분석
- 기생충 분석 
- 조직학적 분석 
- 생태독성실험

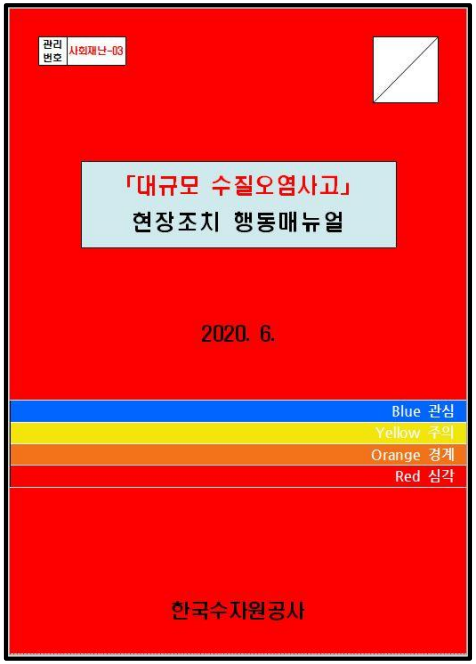
- **원인불명의 비율을 줄이기 위해서는 신속한 현장 초동 대응 필요**
- **전문적인 정밀분석 필요**

어류 폐사 관련 매뉴얼

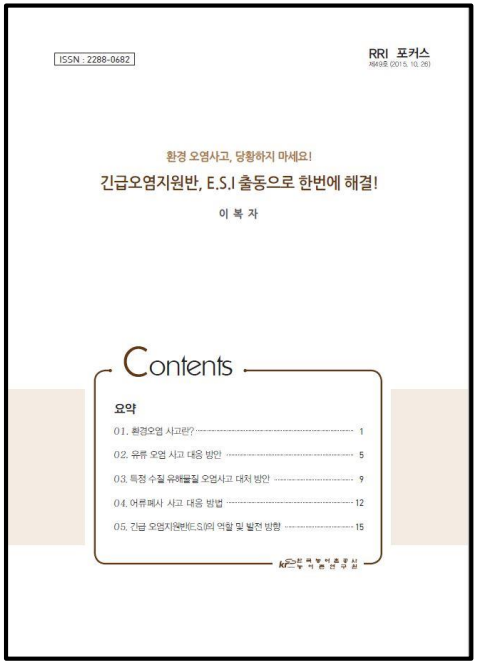
환경부



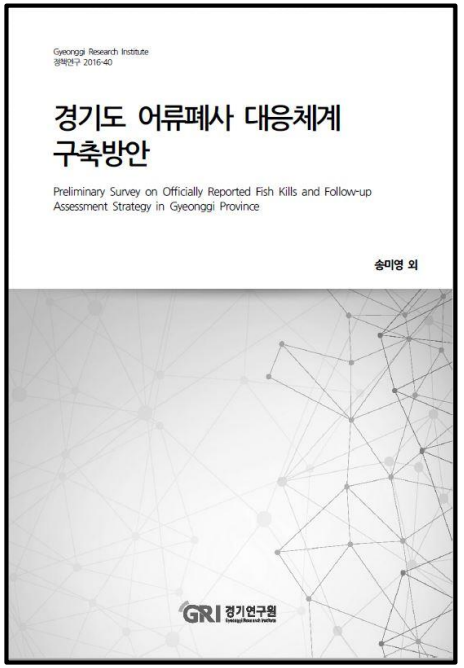
K-water



농어촌공사



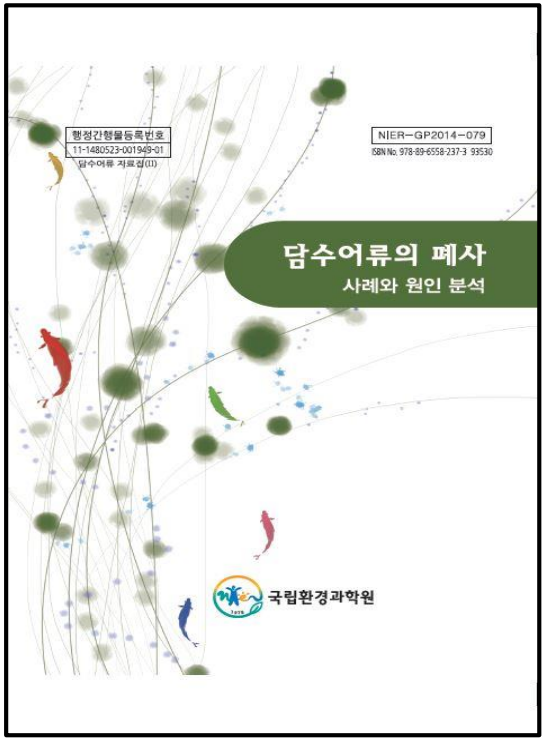
지자체



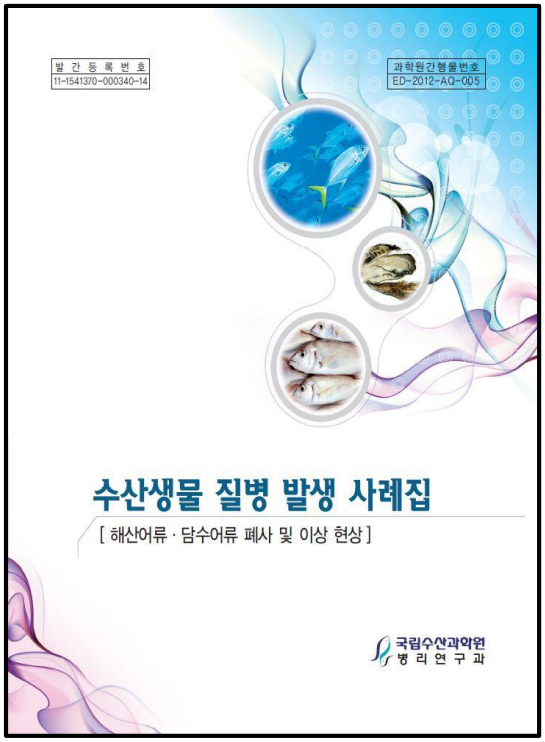
대부분 수질오염사고 내용에 포함

어류 폐사 관련 사례집들

환경부



해양수산부



지자체

대부분 어류폐사 사례중심 내용만 포함

어류 폐사 사례

국내·외 주요 어류폐사 사례

● 국내 사례

✓ 전남 순천시 해룡천 (2013. 5. 15)

❖ 수질악화 및 수온 상승으로 용존산소 감소, 붕어 등 수 백 마리 폐사

순천정원박람회장 옆 해룡천 폐사물고기 '둥둥'

박대성 기자 | kccskc@hanmail.net | 2013.05.15 15:52:39

14일 순천 해룡천에 폐사한 물고기 수십마리가 땟국물과 함께 숨을 멈춘채 힘없이 떠다니고 있다. ©순천시민 제공.

순천 해룡천 물고기 집단 폐사

국내·외 주요 어류폐사 사례

- **국내 사례**

✓ **낙동강 강준치 어류 폐사 (2016. 2. 7 ~ 3. 15)**

❖ **리굴라 촌충 감염에 의한 장기압박으로 약468마리 강준치 폐사**

칠곡보 물고기 폐사 원인은 '기생충'

손선우 | 승인 2016.02.25 14:53

폐사한 강준치에서 나온 리굴라 촌충.
대구지방환경청 제공

▲ 강준치의 배를 가르자 뱃속에 기생충인 촌충이 가득 들어있다. ⓒ정수근

국내·외 주요 어류폐사 사례

● 국내 사례

✓ 경기도 파주시 조리읍 (2017. 5. 9)

❖ 주변공장에서 폐수 및 오염물질 배출로 수 천 마리 어류 폐사

'물고기 떼죽음' 공릉천서 석유성분 다량검출

주변 공장에서 유입된 듯...오염원 정밀 분석중
수질 농업용수 2급기준보다 2~10배 '매우나쁨'
농업용수로 사용불가...파주시 뒤늦게 조사나서

기자 박경만

수정 2019-10-19 11:23 등록 2017-05-29 17:48

파주환경운동연합의 한 회원이 지난 17일 공릉천에서 폐사한 잉어를 건져 들어보이고 있다. 파주환경운동연합 제공

국내·외 주요 어류폐사 사례

- **국내 사례**

✓ **충남 보령시 대천천 (2014. 1. 14)**

❖ **숭어(회유성)가 대천천을 따라 상류로 올라가던 중 갑작스러운 수온 하락으로 동사**

보령서 숭어 수백마리 폐사...동사 추정

송고시간 | 2014-01-14 11:04

보령 대천천 하류서 숭어 집단폐사

(보령=연합뉴스) 지난 10일 충남 보령시 내항동 대천천 하류에 숭어 수백마리가 폐사한 것을 보령시 직원이 살펴보고 있다.
2014.1.14. << 지방기사 참고.보령시 제공 >>
sw21@yna.co.kr

국내·외 주요 어류폐사 사례

- **국외 사례**

✓ **프랑스 엔 강 (2020. 8. 15)**

❖ **네슬레 공장 폐수처리시설에서 오염물질 유출로 수 톤 가량의 어류 폐사**

수질오염: 프랑스 네슬레 공장 인근에서 물고기 3톤 넘게 폐사

프랑스 북동부에 있는 강에서 물고기 수천 마리가 폐사된 채 발견됐다. 이를 두고 프랑스의 어업연맹 대표가 글로벌 기업인 네슬레에 대해 고소장을 제출했다.

국내·외 주요 어류폐사 사례

- **국외 사례**

✓ **인도 판차강아발리 강 (2020. 12. 9)**

❖ **참돔이리도바이러스병(Red seabream iridovirus disease)으로 인한 어류 폐사**

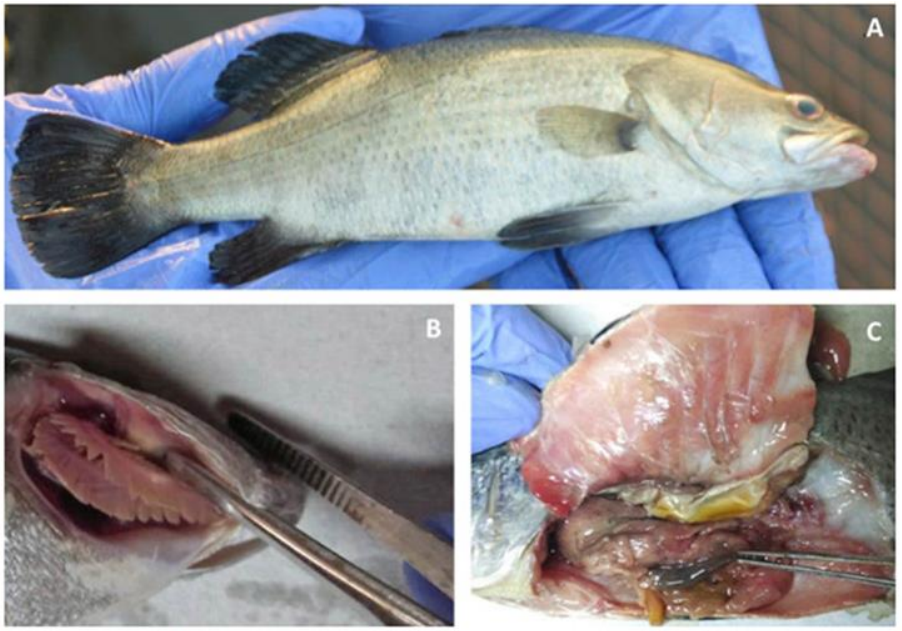


Fig. 1. **A** Diseased Asian seabass; **B** Infected Asian seabass showing pale gills **C** Enlarged spleen of diseased Asian seabass.

국내·외 주요 어류폐사 사례

- **국외 사례**

✓ **태국 램새 댐 (2017. 4. 30)**

❖ **기온 상승으로 수온이 상승하고 수중 산소가 감소하여 수백 마리 어류 폐사**

"태국, 고온에 폐사되는 램새 댐의 어류 문제 대두"

어류 폐사 발생 원인별 사례

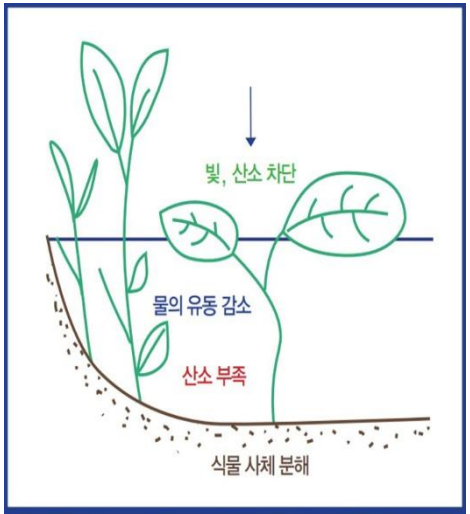
자연현상으로 인한 어류 폐사 용존산소 고갈

● 용존산소 고갈로 인한 어류 폐사

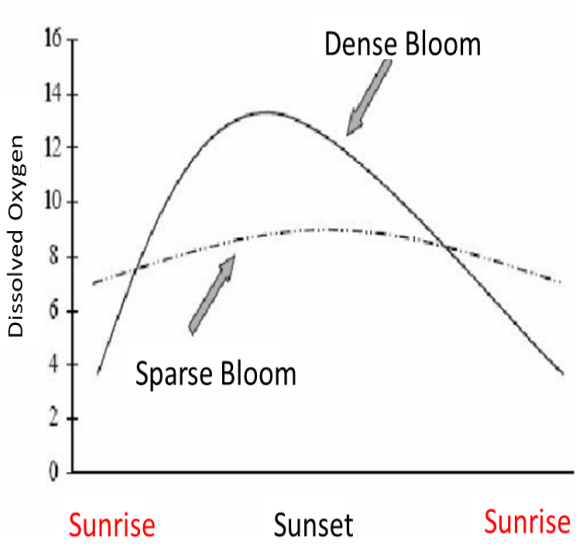
✓ 대부분의 어류폐사 원인은 산소 고갈과 관련됨

✓ **생화학적, 화학적 대사에 요구되는 전체 산소량**이 광합성과 물의 폭기(aeration)에서 **생성되는 산소의 양을 초과할 때**, 또는 야간에 생체 내 대사를 유지하기 위해 필요한 충분한 용존산소가 없을 때 발생

ex) 수중식물의 급속한 성장, 조류 번식, 고농도의 유기물 축적

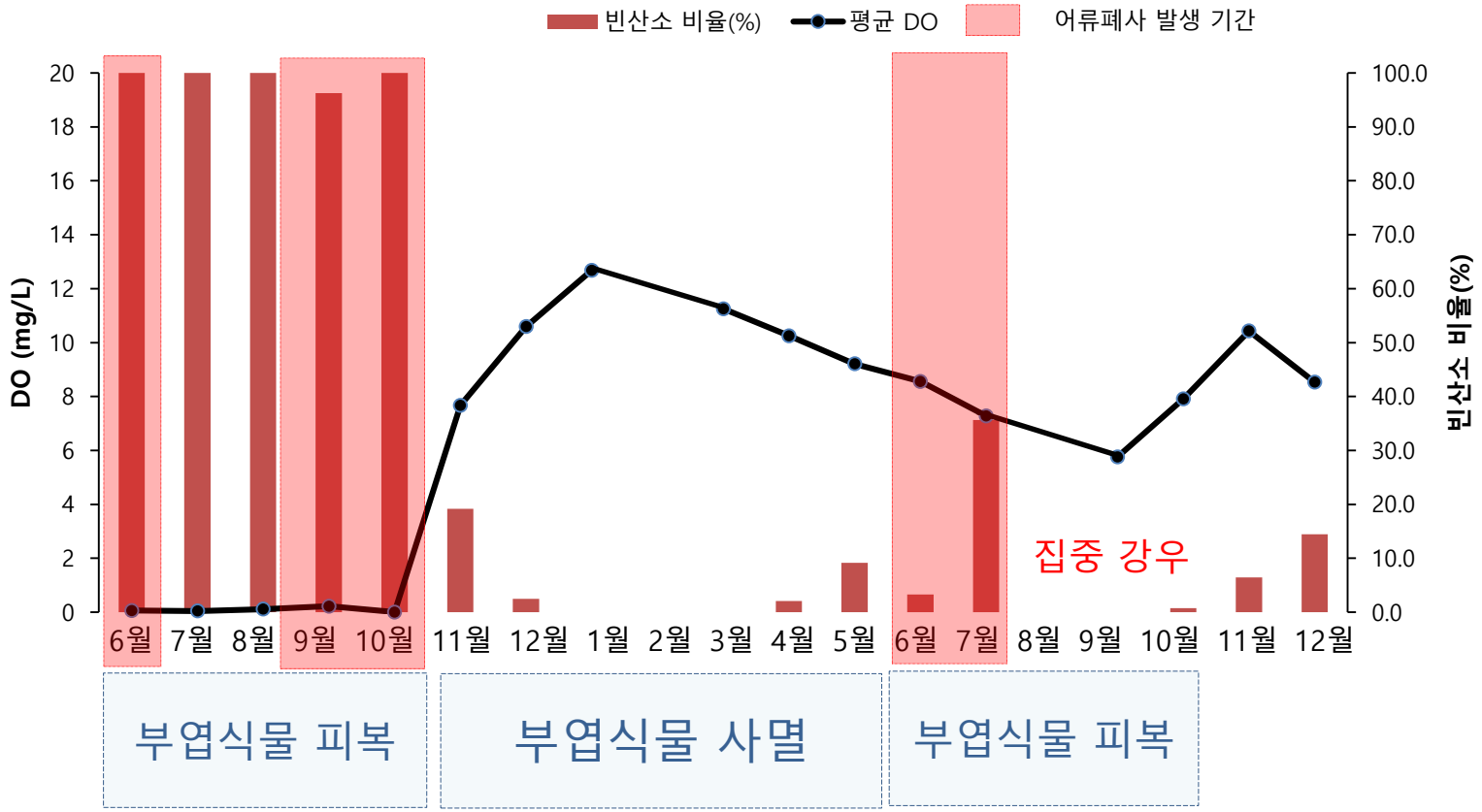


식물대에서는 빛이 차단되고 물의 유동이 감소하며, 식물 사체 분해로 인하여 산소고갈이 발생하기 쉽다.

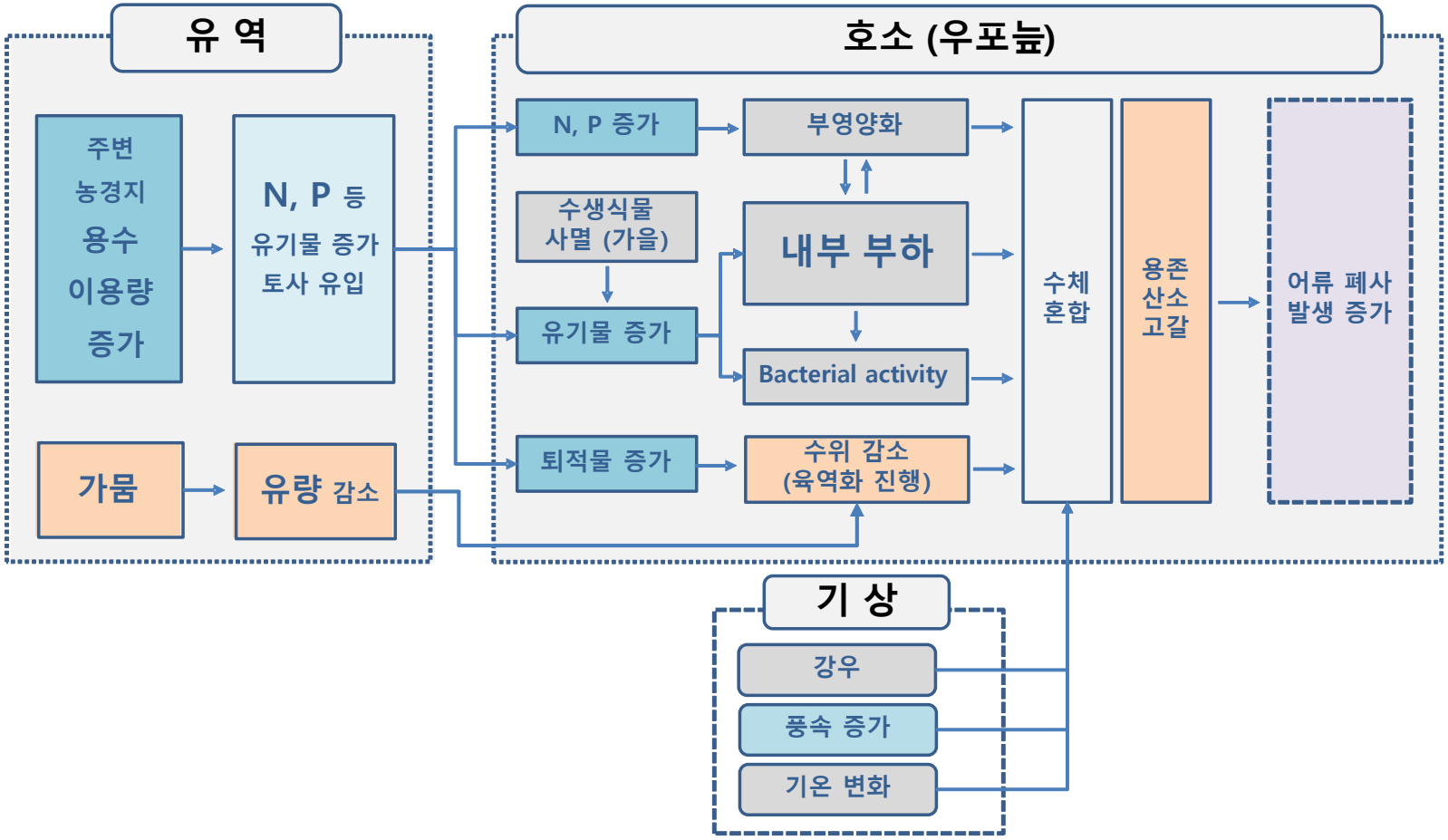


자연현상으로 인한 어류 폐사 용존산소 고갈

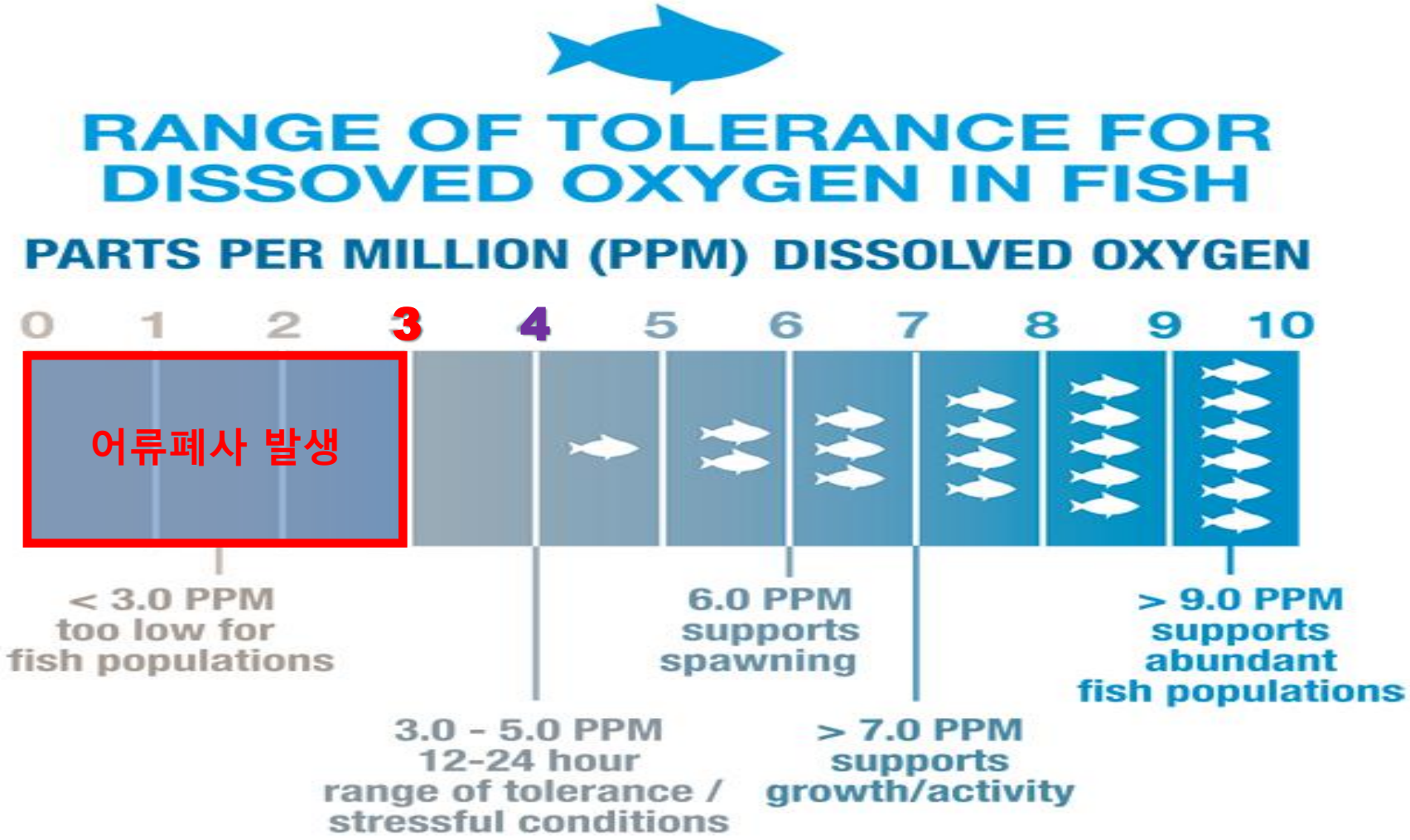
● 우포늪 용존산소 연속측정 현황(22-23)



자연현상으로 인한 어류 폐사 용존산소 고갈



담수어류 용존산소 내성범위

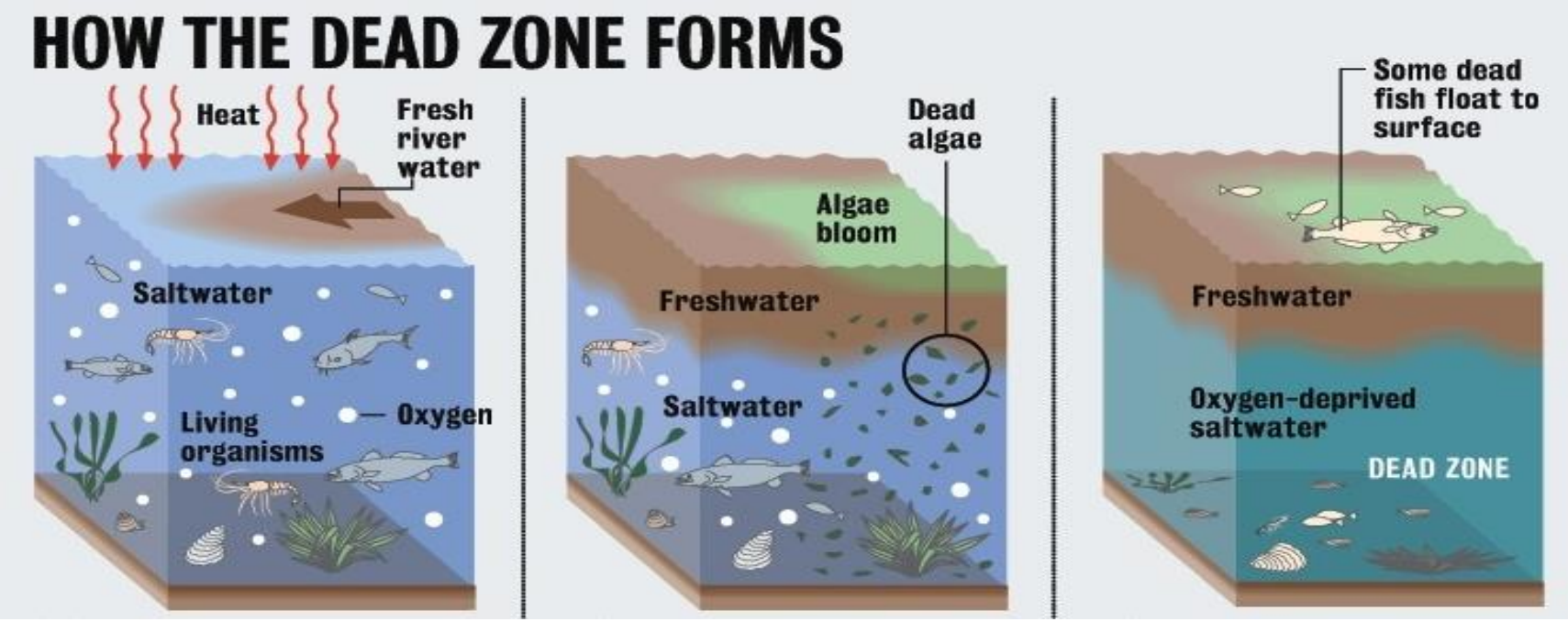


자연현상으로 인한 어류 폐사 독성조류 번성

● 독성조류 번성으로 인한 어류 폐사

- ✓ 특정한 상황에서 한 가지 독성 조류가 우세할 수 있음
- ✓ 일부 독성 조류가 다른 조류를 해치거나 죽이는 **독소를 방출**, 한 가지 조류만 남음
- ✓ 이러한 현상은 조류 번식이 끝날 때나 **산소가 고갈될 때까지 지속**, 어류에게 독성을 미쳐 폐사 유발

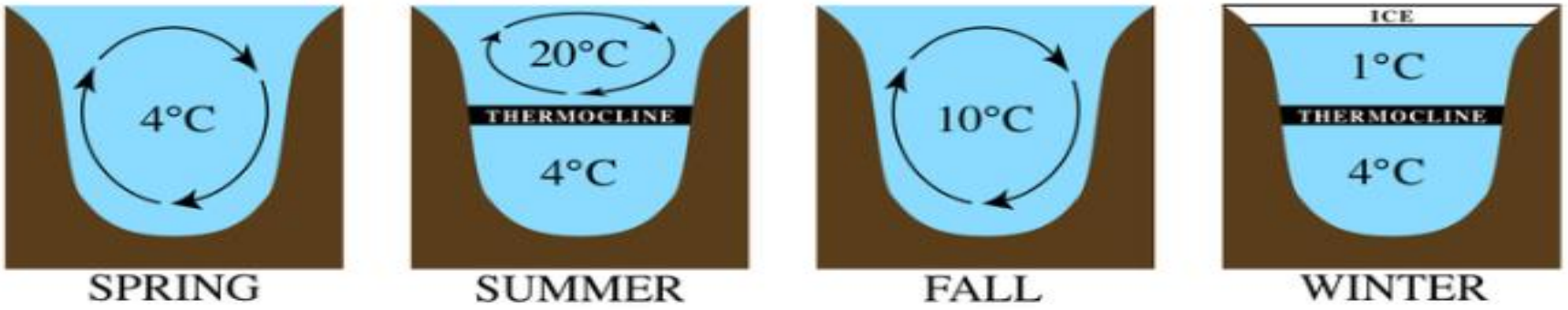
ex) Anabaena, Aphanizomenon, Dinobryon, Glenodinium, Gleotrichia, Gymnodinium

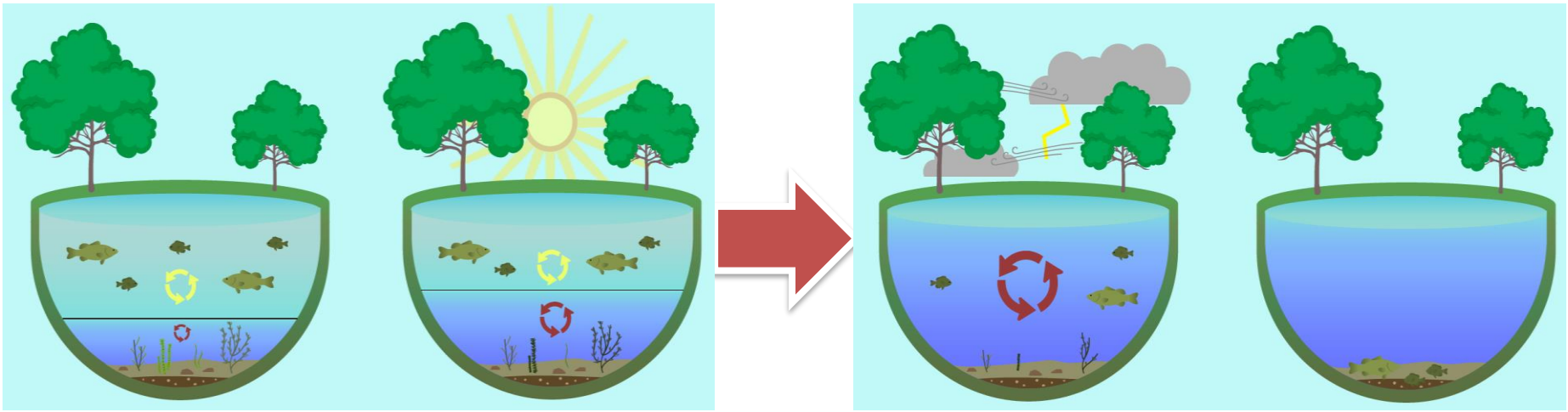


자연현상으로 인한 어류 폐사 전도 현상

- **성층화 (Stratification) 와 전도 현상(Turn over)**

✓ Turn over는 봄과 가을에 발생하며, 산소를 고갈시켜 폐사를 유발할 수 있음





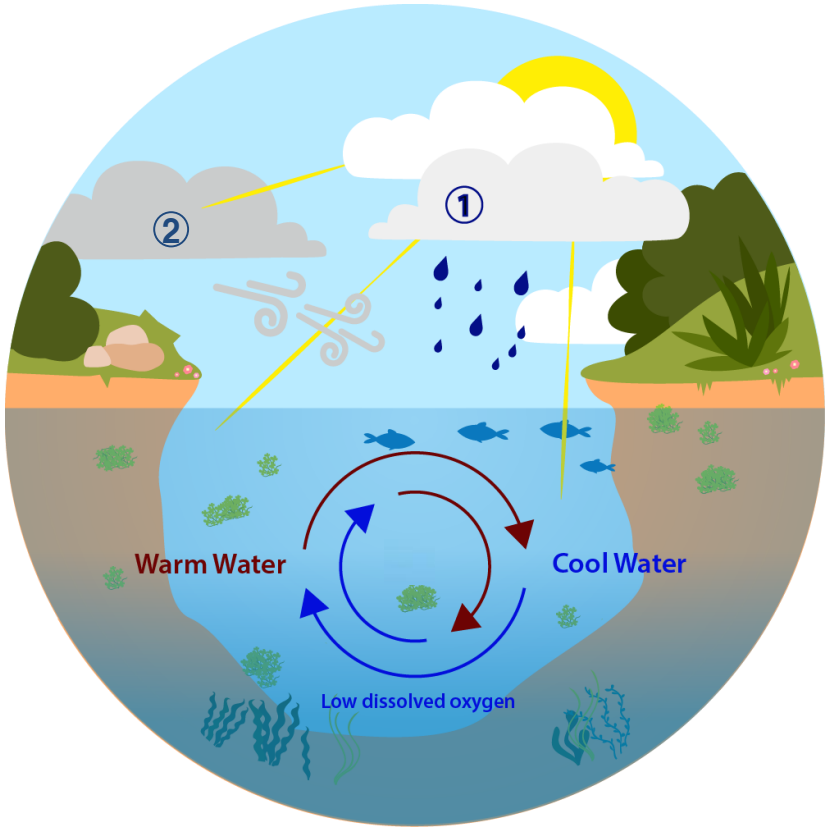
Stratification **Turn over**

자연현상으로 인한 어류 폐사 전도 현상

- **성층화 (Stratification) 와 전도 현상(Turn over)**

✓ 하지만 얕은 호수 및 보에서는 시기와 상관없이 발생 가능

✓ 여름철에 ①차가운 비가 내리거나, ② 강한 바람(태풍)으로 전도 발생



Fish kill

자연현상으로 인한 어류 폐사 전도현상

사회 | 대전충청

금강물고기 폐사, 환경부는 계속 '원인불명'

환경부 "특이사항 없다", 환경단체 "공동조사 왜 꺼리나"

12.10.26 15:17 | 최종 업데이트 12.10.27 14:10 | 심규상(djsim)

어류 폐사 현황

(금강)

일 자	18~19	20~21	22	23	24	25	26	27	28	29~11.14	누계
수거량(마리)	500	3,000	1,800	6,000	15,500	11,000	9,500	2,200	4,500	6,050	60,050

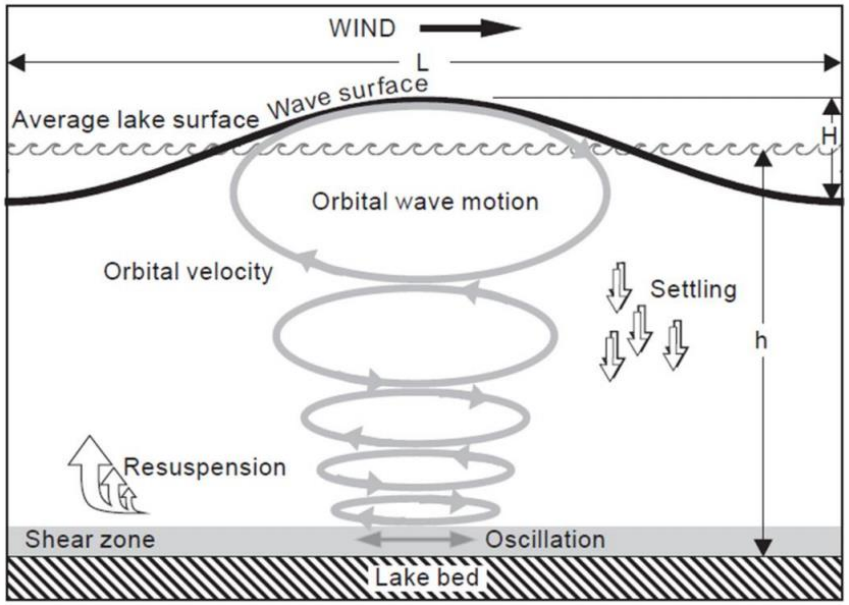
- ✓ 다양한 어종 폐사한 점
- ✓ 다양한 크기 어종 폐사
- ✓ 어종별 순차적 폐사한 점
- ✓ 외형은 깨끗하고, 입을 벌리고 폐사한 점
- ✓ 폐사구간이 넓고, 밤에 진행되었다는 점(17일 07시30분에 최초발견)
- ✓ 타 요인들(감염, 독극물 등)은 특이점이 없다는 점
- ✓ 폐사시간에 급격한 온도변화
  - 16일 최고기온 24.1℃
  - 17일 최저기온 3.3℃

  20.8℃
- ✓ 폐사전(16일, 18일) 공주보에서 다량의 물(하층수)을 방류한 점
- ✓ 전날(17일) 평균 6.5m/s의 풍속

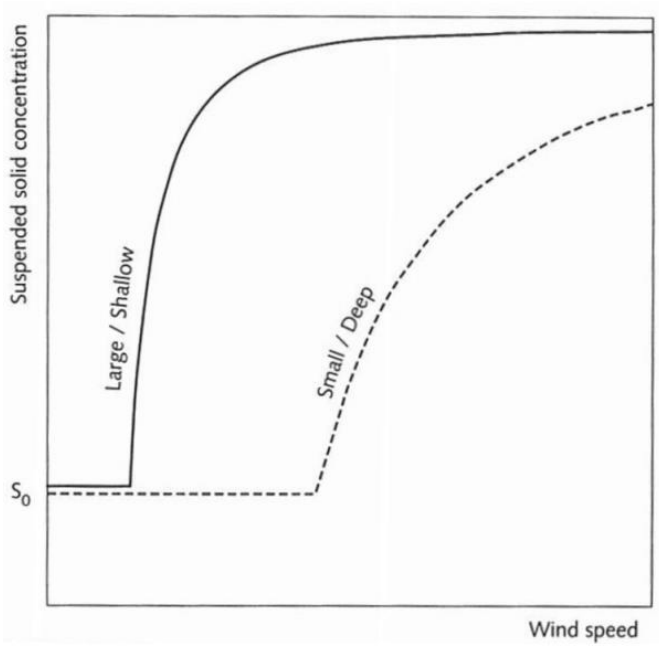
Turn-over 가능성 증가

자연현상으로 인한 어류 폐사 용존산소 부족

- **급격한 기온하강, 강한 풍속으로 Turn-over 발생**
  - 심층부 무산소층이 순식간에 확산되어 폐사유발가능
  - 공주보 방류(저층방류)로 인한 영양염류 증가(조류 및 호기성세균 번성 -> 밤, 산소소모량 증가)



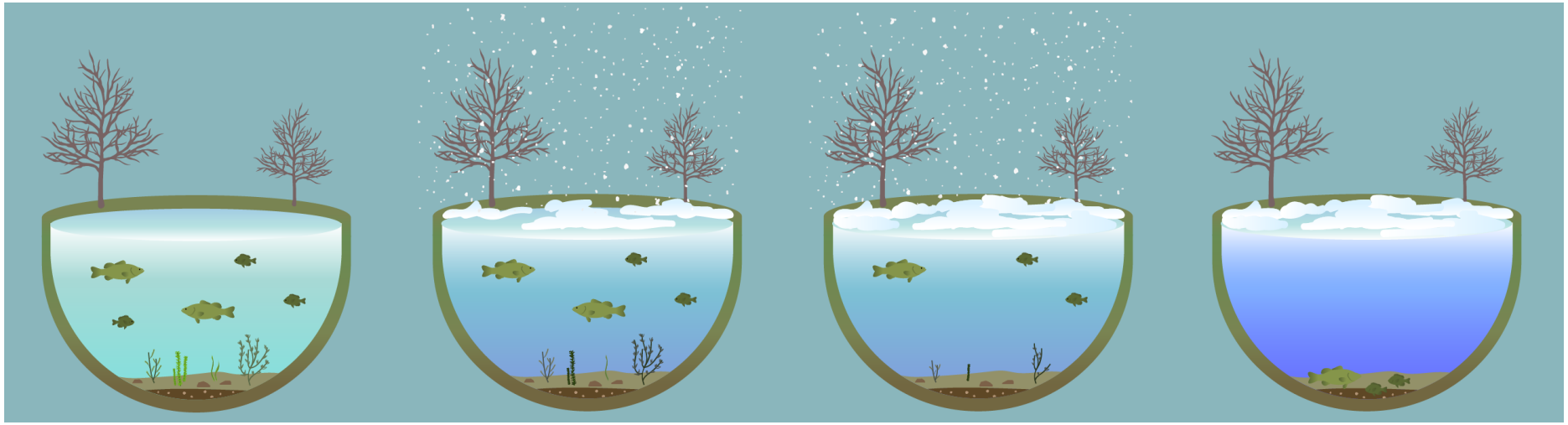
Wetzel, 2001



Scheffer 1998

자연현상으로 인한 어류 폐사 Winter-Kill

- **겨울철폐사(Winter-Kill)**
  - Winter-Kill은 **겨울 한파**에 발생하며, 댐에서 **DO 부족**, 하천, 보에서 **동사**로 유발



Fish kill

자연현상으로 인한 어류 폐사 Winter-Kill

백제NEWS http://www.ebaekje.co.kr

HOME > 사회

금강골재채취장에서 물고기집단폐사

김종술 기자 | 승인 2010.01.27 12:26

준설로 인한 고립

수면부 동결

Fish kill

자연현상으로 인한 어류 폐사 산란 후 폐사

- **봄철폐사(산란 후 사망)**
  - 봄철은 **대부분 담수어류 산란시기**, 산란을 위해 **회유(이동)**하거나, **먹이활동 중지**

은어

연어

붕어

빙어

황어

자연현상으로 인한 어류 폐사 기체 과포화

● 기체 과포화

✓ 물에 대한 기체의 용해도는 온도에 반비례하고 압력에 비례함

✓ 갑작스러운 수온 상승은 잠수병을 유발할 수 있음

✓ 잠수부의 잠수병과 같이 **갑작스러운 외압 감소도 원인**이 될 수 있음

❖ 성층화된 호수의 **저층에서 수온이 높은 표층으로 상승할 경우**

Fish kill

자연현상으로 인한 어류 폐사 수온 상승

폭염에 진양호 빙어 13만마리 집단폐사 KNN | 2016.08.17. |

연일 계속되는 폭염으로 수온이 높아지면서 경남 진주 남강댐 진양호에서 **빙어** 집단 **폐사**가 잇따르고 있습니다. 한국수자원공사 남강댐관리단은 지난 11일부터 어제(16)까지 **빙어** 13만여 마리가 집단**폐사**해 선박과...

- 진주 진양호 **빙어** 집단**폐사**…폭염에 … 뉴스1 | 2016.08.17. | 네이버뉴스
- 폭염, 녹조 번진 진양호 **빙어** 집단 **폐**… 경남일보 | 2016.08.17.
- 찬물에 사는 **빙어**…'폭염' 진양호서 … 연합뉴스 | 2016.08.17. | 네이버뉴스
- "폭염으로 진양호 **빙어** 집단 **폐사**"…… 뉴시스 | 2016.08.17. | 네이버뉴스

관련뉴스 6건 전체보기 ›

Fish kill

빙어의 생태 *Hypomesus olidus*

구 분	내 용
서식장소	- 전국의 저수지와 호소에서 서식 (소양호, 의림지, 장흥지, 춘천호, 합천호, 남강호, 대청호 등) - 보통 4~10℃에서 서식하나 20℃에서 생존. **25℃이상에서 폐사**
산란 시기	- **3 ~ 5월** (모래나 자갈이 깔린 바닥에 산란)
생 태	- 순수한 민물에 사는 종류, 염분이 어느 정도 섞여 있는 곳에서 사는 종류, 강과 바다를 회유하는 종류의 세 가지로 구분 - 알에서 나온 어린 빙어는 몸길이가 약 3cm로 자라면 바다로 간다. 보통 바다에서 1년 정도 지나 몸길이가 10cm쯤 되면 다시 민물에 올라와 산란 - 1년 정도 자란 빙어는 1~2월경에 수심 20~30m의 바닥에 알을 낳아 모래나 물풀에 붙여 놓는다. 알은 수온 9℃ 정도에서 25~30일 정도 지나면 부화 - 어미는 알을 낳고 난 뒤 점차 여위다가, 5~6월경이 되면 체력이 회복되지만, **7~8월경에 사망**하나, 그 **중 20~30% 정도는 살아남아 이듬해 다시 산란** - 빙어는 강가에서는 여름에는 수온이 낮은 깊은 곳에서 살아가며, 수온이 낮은 겨울에는 수면 가까이 이동
내 성	- 수질 적응 능력이 매우 뛰어나므로 **수온만 맞으면 수질이 어떠해도 생존 가능**

Fish kill

은어의 생태 *Plecoglossus altivelis altivelis*

구 분	내 용
서식장소	• 전국의 해안 및 하천, 호소(댐)에서 서식 • 보통 17~20℃에서 주로 서식
산란 시기	• **8 ~ 10월** (수심이 50cm 이내의 모래나 자갈이 깔린 바닥에 산란)
생 태	• 갓 부화한 자어는 바다로 내려가 겨울을 나면서 크고 부화한 이듬해 3, 4월(수온 13 ~ 16℃)이 되어 다시 태어난 하천으로 올라와 일생을 보내는데 **수명은 보통 1년**이다. • 돌에 붙은 남조류와 규조류를 먹고 살며, 독특한 구조를 가진 아래·위 양 입술로 깎아내어 먹어 특유의 향(수박 또는 오이향)이 나지만 장마 때는 물속에 사는 곤충을 잡아먹기도 한다. • 1㎡ 안팎의 세력권을 형성하고 텃세를 부리는데 이런 습성이 있다. • 적정 수온범위는 10 ~ 28℃도 정도로 비교적 폭이 넓으나 **27 ~ 28℃ 이상의 수온에서는 먹이를 거의 먹지 않는다.** • 고수온에서는 산소의 결핍 등의 문제가 발생할 수 있다. • 산란과 방정을 하는 동안에 먹이를 먹지 않고 **산란이 끝나면 암수 모두 죽지만** 간혹 먹이 부족 등의 원인으로 당년 가을에 산란하지 못하고 바다로 내려가거나 하천의 깊은 곳에서 **월동하며 2년까지 사는 개체도** 있다.

Fish kill

환경스트레스로 인한 어류 폐사 초기강우

대전시,비점오염원 조사 착수 대전일보 | 2005.10.11. | 네이버뉴스

물고기집단**폐사** 현상이 나타나고 있지만 정확한 오염정도를 측정하지 못하고 있는 실정이다. 시는 이에 따라 평일 또는 **초기강우**시 등 특정 기준시점을 결정해 비점오염원을 측정하기로 했다. 또 하상도로를 달리는...

살림망에 물고기 넣음

강우 시작

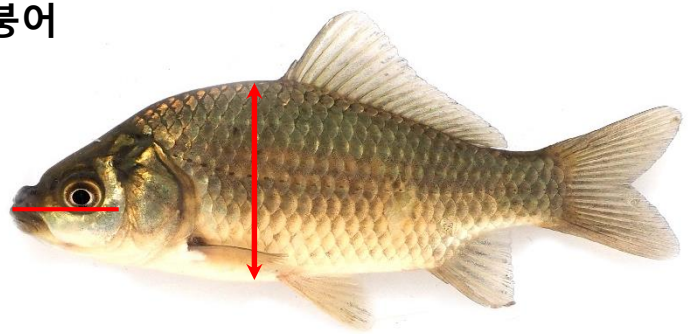
물고기가 모두 죽음

- 초기강우(많은 양)
- 급격한 수환경 변화 초래
  - ✓ 고농도 비점오염원(독성물질)유입
  - ✓ 높은 탁도(아가미 흡착)
  - ✓ 유기물 분해(DO 고갈)
- 어류 스트레스 증가
- 어류 폐사 발생

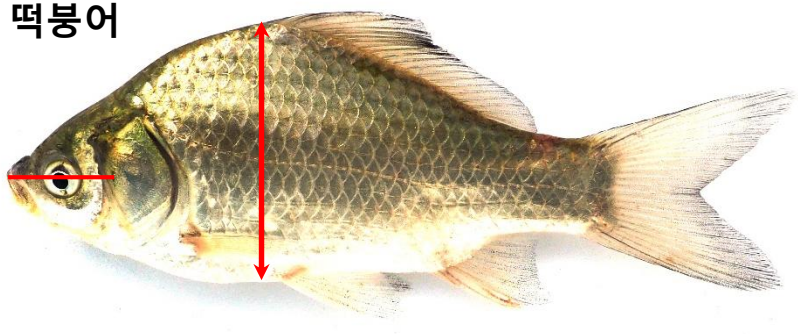
Fish kill

붕어의 생태 *Carassius auratus*

붕어



떡붕어

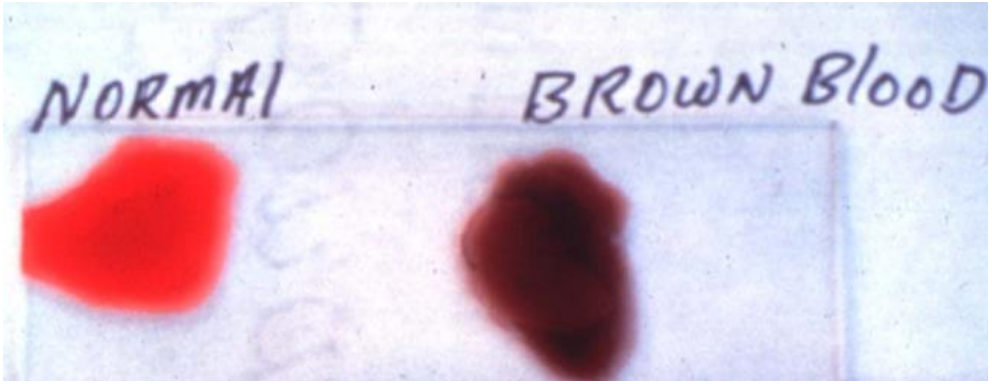


구 분	내 용
서식장소	• 전국의 하천, 호소(댐, 저수지)의 정수역에 서식
산란 시기	• **3 ~ 6월** (주 산란시기는 4~5월이며, 성체 크기 및 환경조건에 따라서 여러 번 산란을 함)
생 태	• 붕어는 **수심이 낮고(0.3~1m 이내),** 수온 17~20℃의 **억센 수초지역**이 주 산란장소 • 산란하는 과정에서 침거목, 바위 혹은 억센 수초에 부딪치는 과정을 통하여 점액성 알을 붙임, 이 과정에서 상처 발생 • 붕어는 영양공급 부족 및 환경여건이 불리한 경우 **1차, 2차, 3차에 걸쳐 산란**하며, 큰 개체들(30cm 이상)이 먼저 산란 후 작은 개체들(20cm 내외)이 산란함**(6월 중순까지)** • 붕어는 치어시기에 암수가 3 : 7 비율을 보이지만 성어시기는 9 : 1 비율로 암컷의 비율이 월등히 높음 • 산란시기(4~6월)에 붕어는 **산란 1 ~ 2주 전부터 먹이활동을 하지 않음** • **산란 후 체력 고갈 및 면역력 저하**로 3~4일 정도 인근 수초지역에서 휴식 • 휴식을 취한 후 회복된 개체들은 먹이활동을 시작 * 이 시기가 **면역력이 가장 저하된 상태**이므로 일부 개체들은 **자연적, 인위적(환경스트레스)으로 사망**하기도 함

Fish kill

환경스트레스로 인한 어류 폐사 황화수소

- **H_2S (황화수소) 중독으로 인한 폐사**
  - 황화수소는 주로 성층화된 호수 저층에 축적됨
  - 전도현상은 산소고갈 뿐만 아니라 황화수소 중독으로 어류 폐사를 유발할 수 있음
  - 황화수소 중독은 헤모글로빈의 산소수용능력 저하
  - 현장의 용존산소 농도가 높더라도 어류 폐사 발생 가능
  - 증상은 Brown Blood



Fish kill

환경스트레스로 인한 어류 폐사 감 염

- **세균(박테리아), 바이러스, 기생충 감염으로 인한 폐사**
  - **감염으로 인한 폐사**는 주로 **수질저하** 및 **고수온 시기**에 개체밀도가 높을 때 발생
  - **피**를 흘리거나 **종양, 기생충** 발생, **이상행동**을 하는 등 외형상 이상발생
  - 다른 **환경스트레스**와 **복합적으로 작용**하는 경우가 많음

Fish kill

환경스트레스로 인한 어류 폐사 감염

● **기생성 요각류 감염으로 인한 폐사**

- 기생충인 에루가시루스 **검출**

□ 사고 개요

○ (일시) 2010년 08월 09일(11 : 00)

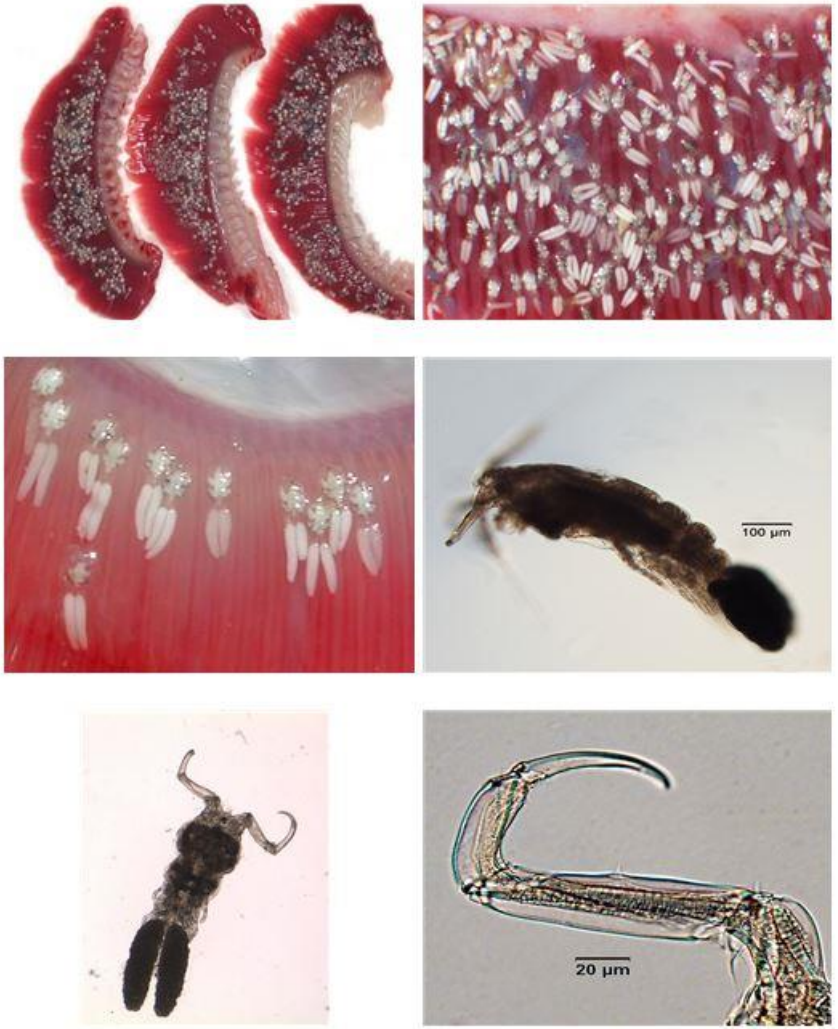
○ (장소) 충북 충주시 동량면 하천리 하천대교 일원 약 3km 수면

○ (내용) 2010년 08월 09일 ~ 13일간 강준치 약 6,500마리 폐사

- 폐사된 강준치 체장은 25~40cm의 대부분 성어로 확인
- 폐사어류 외형검사 시 특이점을 발견할 수 없었으며, 발견 당시에도 독극물 유입시 나타나는 증상 및 이상행동은 없었음

구 분	8.10	8.11	8.12	8.13	합계
수거량	1,100kg	110kg	110kg	110kg	1,430kg
개체수	5,000	500	500	500	6500

□ 기생충 에르가시루스(*Ergasilus sp.*) 감염 현황

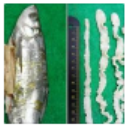


Fish kill

환경스트레스로 인한 어류 폐사 감염

경북 칠곡보 강준치 **폐사** 원인은 '**리굴라** 촌충' 2016.02.25 | 뉴시스 | 다음뉴스

【대구=뉴시스】 박준 기자 = 지난 7일 경북 칠곡군 **낙동강** 칠곡보 하류에서 발생한 '강준치(486마리) **폐사**'의 원인은 **리굴라** 촌충(Ligula intestinails) 때문인 것으로...



낙동강 강준치 **폐사** 원인, 밝혀졌다 2016.02.25 | 노컷뉴스 | 다음뉴스

폐사한 강준치에서 나온 **리굴라** 촌충. (사진=대구지방 환경관리청 제공) 지난 7일 **낙동강** 칠곡보 하류에서 발생한 강준치 집단 **폐사**의 직접적 원인은 조류(鳥類) 기생충...

└ 대구환경청 "**낙동강** 강준치 **폐사** 원인은 기생충" 2016.02.25 | 연합뉴스 | 다음뉴스

낙동강 하류서도 '조폭 물고기' 강준치 **폐사** 2016.02.29 | 연합뉴스 | 다음뉴스

이 치어를 다시 강준치가 잡아먹으면서 **리굴라** 촌충이 강준치 몸속에 기생하게 됐다는...연은 강준치가 **폐사**한 정확한 원인을 분석하기 위해 **낙동강**유역환경청에 역학조사를...

└ **낙동강** 하류서도 '조폭 물고기' 강준치 **폐사** 2016.02.29 | SBS | 다음뉴스

□ 사고 개요

○ (일시) 2016년 02월 07일(11 : 00)

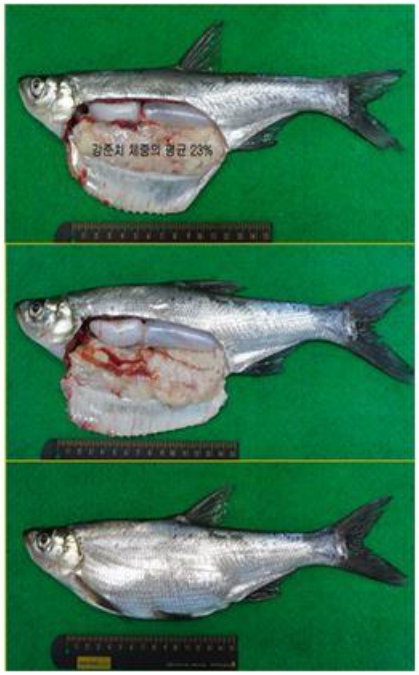
○ (장소) 경북 칠곡군 왜관읍 석전리 8146(칠곡보 하류 1km 우안)

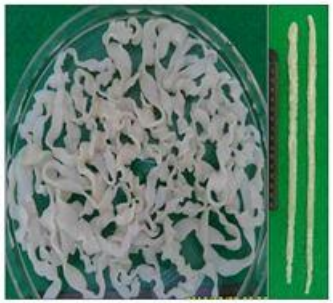
○ (내용) 2016년 02월 07일 ~ 24일간 강준치 468마리 폐사
- 폐사된 강준치 체장은 25~40cm의 대부분 성어로 확인

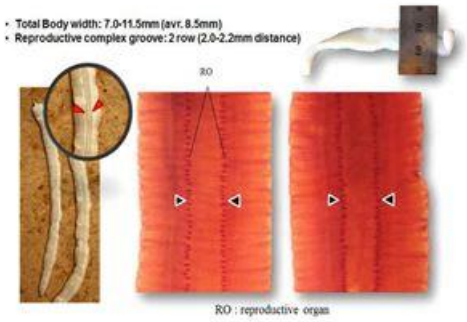
□ 원인 추정

○ 낙동강 본류 중 칠곡보 하류에 이어 합천창녕보 하류에서도 강준치 폐사가 발생하여 폐사 발생한 것으로 추정

□ 기생충 리굴라촌충(*Ligula sp.*) 감염 현황







Fish kill

인간에 의한 어류 폐사 수질사고

Fish kill

인간에 의한 어류 폐사

오염물질 유입

광주시, **풍영정천** 물고기**폐사** 올해만 6번째 '떼죽음' 2017.07.05 | 서울포스트

광주시는 지난 3일 오전 6시56분쯤 광산구 수완지구 인라인스케이트장 옆 **풍영정천** 물고기**폐사** 민원을 접수받고 오전 7시25분 현장에 바로 출동해 사고 원인과 피해 사항을...

ㄴ 광주 **풍영정천** 올들어 6번째 수질오염..물고기 떼죽음 2017.07.04 | 뉴스1 | 다음뉴스

광주 **풍영정천** 물고기 **폐사** "하남공단 폐수 원인" 2011.04.04 | 연합뉴스 | 다음뉴스

따라서 폐수를 버린 업체를 적발하기가 쉽지 않다"고 말했다. 광주시는 이번 **풍영정천** 물고기 **폐사**를 계기로 하남공단 업체들의 폐수 무단 방류에 대한 지도·감독을 강화...

풍영정천 물고기 **폐사** 오염물질 배출이 원인 2016.08.30 | 광주드림

30일 광주 광산구 **풍영정천**에서 발생한 물고기 집단 **폐사**의 원인이 하천에 무단 배출된 오염물질 때문인 것으로 확인됐다. 광주시에 따르면, 이날 오전 **풍영정천** 하남교...

Fish kill

인간에 의한 어류 폐사 화학물질 유입

황산 유입된 **낙동강** 물고기 수백마리 **폐사**..pH도 떨어져 2014.11.06 | 뉴시스 | 다음뉴스

황산을 실은 탱크로리가 5일 오후 전복돼 **황산** 일부가 **낙동강**으로 흘러들어 물고기 수백...점 등으로 미뤄 사고 초기 **황산**이 강에 유입될 당시 죽은 물고기가 하류 쪽으로...

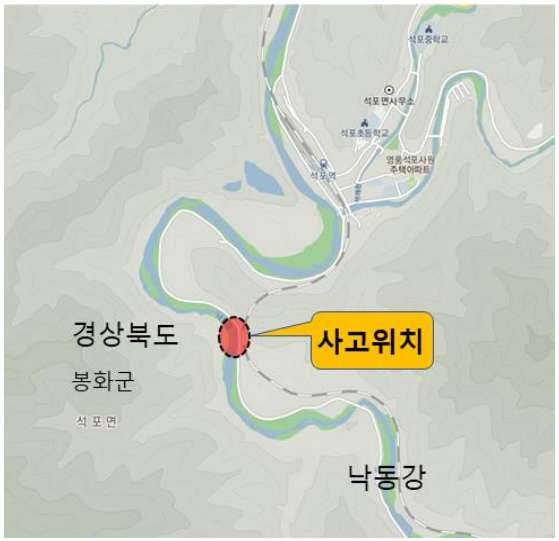
황산 유출로 한때 **낙동강** 주의경보..물고기 집단 **폐사**(종합)

2014.11.06 | 연합뉴스 | 다음뉴스

수십㎞ 떨어진 **낙동강** 하류까지 영향을 미친 것으로 나타났다. 또 **황산**이 유입된 **낙동강**에서 물고기 수백마리가 **폐사**해 생태계 오염에 따른 주민 걱정이 커지고 있다. 대구...

- **황산** 유출로 한때 **낙동강** 주의경보..물고기 집단 ... 2014.11.06 | 연합뉴스TV | 다음뉴스
- **황산** 유출로 한때 **낙동강** 주의경보..물고기 집단 **폐사** 2014.11.06 | MBN | 다음뉴스
- 봉화 **황산** 유출 영향 **낙동강** 상류 수질경보 '주의'... 2014.11.06 | 뉴시스 | 다음뉴스

관련뉴스 **9**건 전체보기 >



Fish kill

인간에 의한 어류 폐사 독극물 유입

● **독극물은 어류 뿐만 아니라 다른 생물에게도 큰 영향**

- 따라서 어류 뿐만 아니라 다른 생물들도 조사해야 함

척추동물

- 갑작스런 폐사, 특정시기 없음
- 죽거나 죽어가는 담수어류, 양서류, 파충류 발견
- 작은 물고기가 먼저 폐사
- 유입지점에 국한되기도 함
- 어종별 순차적 폐사

무척추동물

- 저서무척추동물의 개체수가 급격히 감소, 종 조성 바뀜
- 담수패류, 갑각류 등 독극물 중독에 따른 사멸, 이상증상 발생

동식물플랑크톤

- 아무런 영향이 없을 수 있음
- 식물플랑크톤 사멸
  → 제초제 유력
- 동물플랑크톤 사멸
  → 살충제 유력

Fish kill

인간에 의한 어류 폐사 독극물 유입

Fish kill

인간에 의한 어류 폐사 독극물 유입

- **살충제가 어류에 미치는 영향**

유기염소계 살충제	유기인계 살충제
중추신경계 장애	무기력함
호흡량 증가	균형을 잃음
비정상 유영 행동	어두운색, 붉은색으로 변색, 근육과 등지느러미 기저부에서 출혈
경련, 발작 증상 유발	의지와 상관없이 원형으로 갑작스런 유영 행동
외부 자극에 민감해짐	몸이 떨리는 현상, 기침

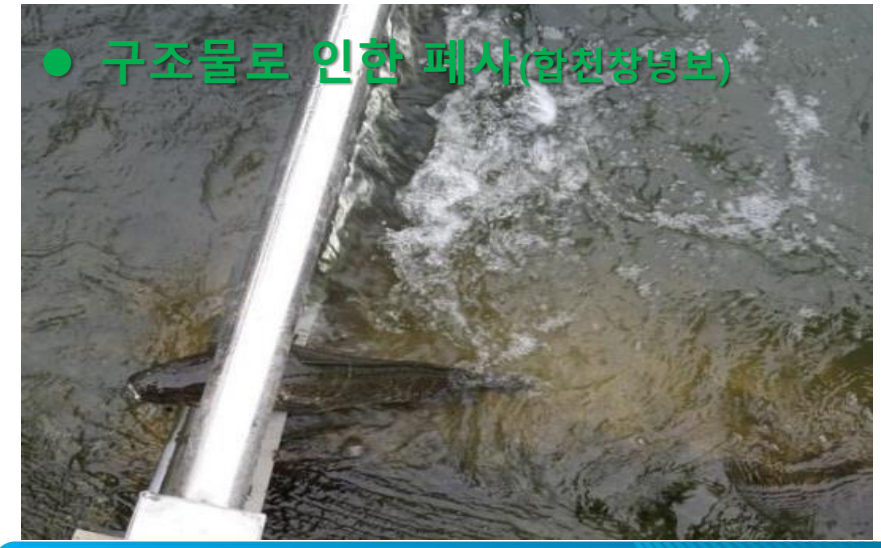
Fish kill

인간에 의한 어류 폐사 기타 물리적 요인

● 염수유입으로 인한 폐사(경인아라뱃길)

● 고립(가물막이)으로 인한 폐사(군남댐)

● 구조물로 인한 폐사(합천창녕보)



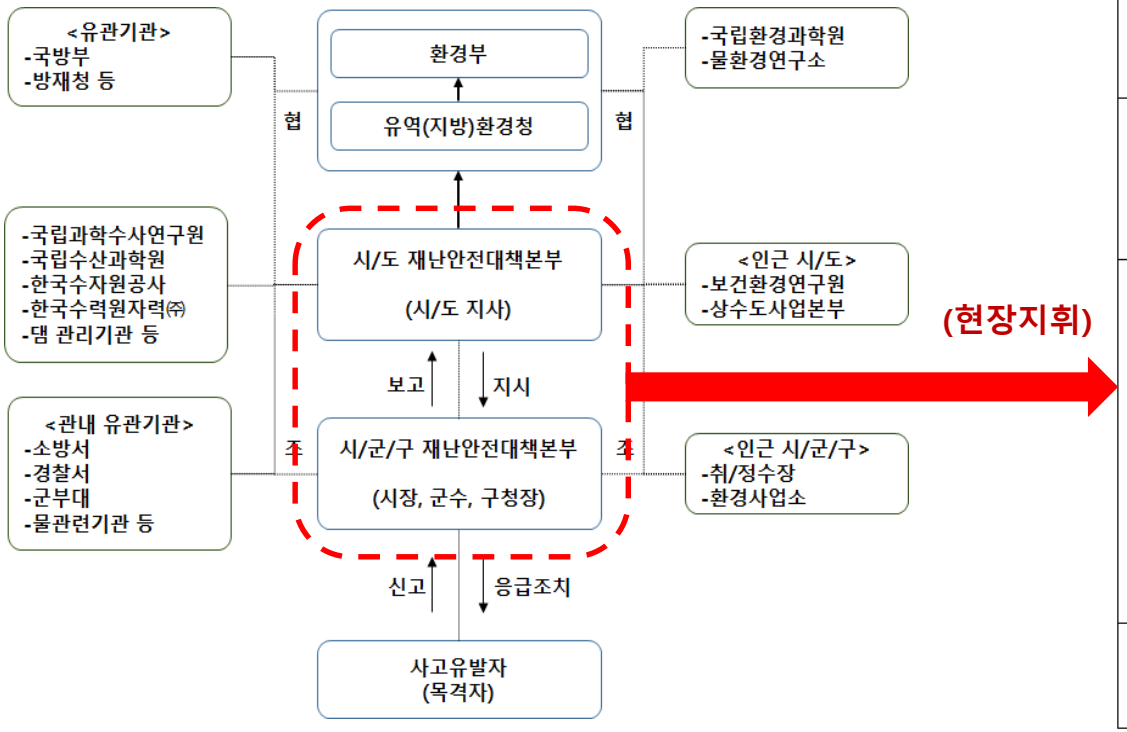
● 수위저하로 인한 폐사(강정고령보)

어류폐사 대응 방안

어류폐사 대응방안

● 어류폐사 관련 조직 및 업무절차

<어류 폐사 대응체계 구성>

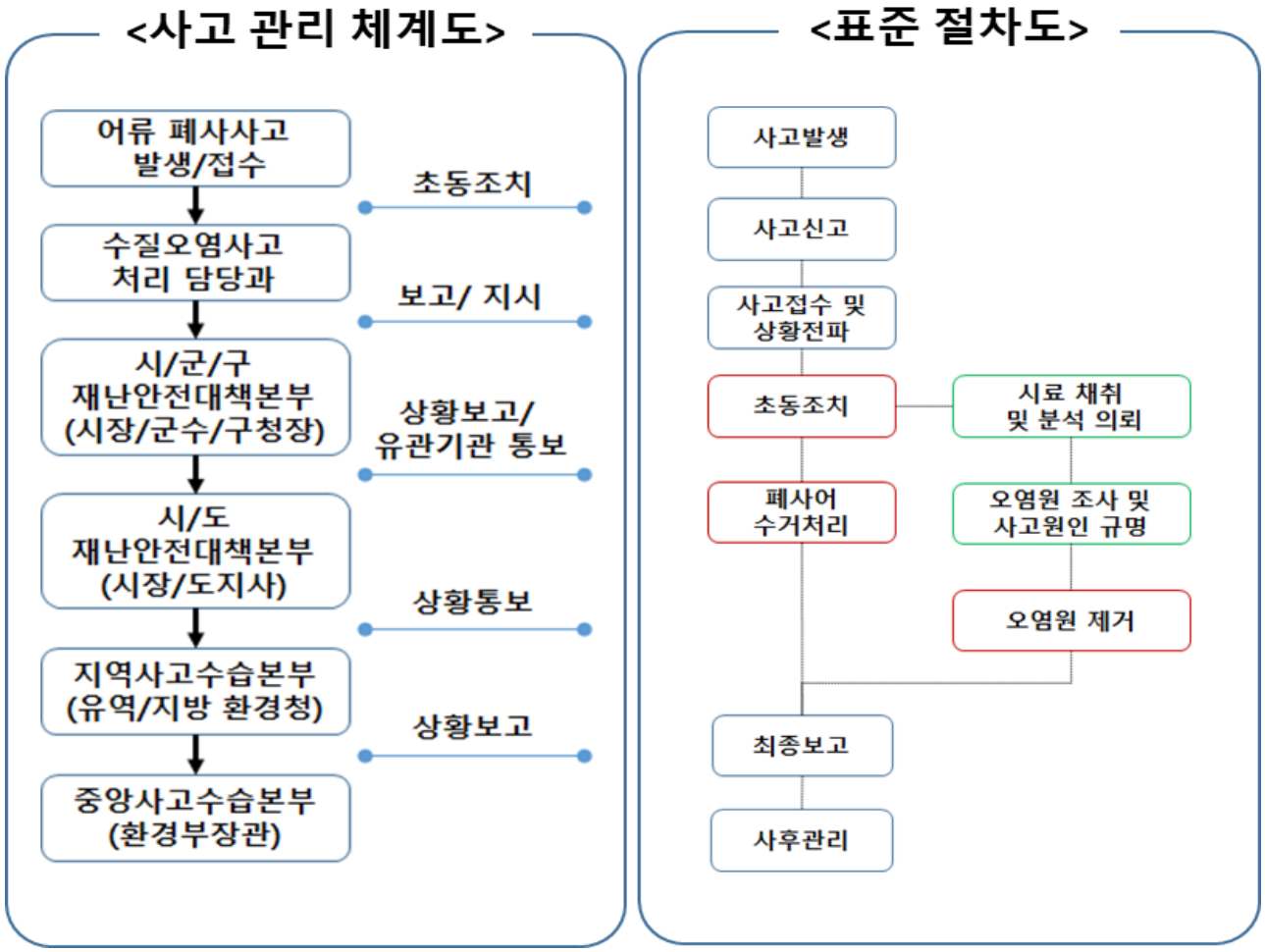


<표 4> 폐사사고 단계에 따른 조치내용 및 대응기관 정리

단계	조치내용	대응기관
사고 접수 및 전파/보고	- 물고기 떼죽음 신고 접수 - 상황확인 및 전파/보고 - 자체위기평가회의 개최	- 환경부 및 해당 유역환경청 - 유역환경청 - 행정안전부 등 상부기관
초동조치	- 현장 출동 - 상황발생 지점 상·하류 5km 구간의 순찰 활동 및 환경 파악 - 사고확인 지점으로부터 1km 상·하류의 지점별 시료 채취 및 분석 의뢰	- 유역환경청(지역재난안전대책본부) - 경찰 (순찰 및 상황 감시 협력)
대응조치	- 위기상황 접수 및 보고/전파 - 자체위기평가위원회의 개최 - 위기경보 발령 및 전파 - 폐사체 수거처리 (각 지역 물환경연구소 및 폐생물 처리기관) - 군·구·시·도의 지방정부 기관 : 처리지원 - 사고 대응조직의 설치·운영 - 환경부 중앙사고수습본부 - 해당 유역환경청(지역재난안전대책본부) - 환경청 지역사고수습본부 - 대국민 홍보 및 협조요청 - 유관기관 등 긴급지원체계 가동	- 환경부, 해당 유역환경청, 국립환경과학원(중앙사고수습본부) - 유역환경청(지역재난안전대책본부) - 유관기관 - 협력 및 자문기관(국립생태원, 국립생물자원관, 각 지역 생명 및 환경관련 대학)
후속조치	- 처리상황 보고/전파 - 자체위기평가위원회의 개최(폐사 원인 분석 및 개선 방향, 후속 조치 논의)	- 상부/유관기관 - 유역환경청, 군·구·시·도의 지방정부 기관

어류폐사 대응방안

● 어류폐사 사고대응 매뉴얼(환경부)



어류폐사 사고 원인분석

1. 어류 폐사 현장도착

- **어류 폐사 조사 시 가장 중요한 것은 현장에 가능한 빨리 도착하는 것**

✓ 시간이 지체될수록 수집 가능한 정보가 적어짐

✓ 죽기 전의 샘플은 폐사 원인을 밝히는데 매우 중요함

- **최초 제보자의 연락처를 확보하는 것이 중요**

✓ 폐사 발생 시간, 폐사 직전의 어류 행동 특징은 매우 중요한 정보

어류폐사 사고 원인분석

2. 어류 폐사 현장조사

순번	조사 항목	주요 내용
1	사고조사 날짜 및 일시 기록	-년, 월, 일, 시 -사고 시간 추정 (언제부터 언제까지)
2	최초 발견자 면담	-인적사항 및 연락처 -최초 발견시 특이사항, 주변 정황 확인 등 -날씨 및 주변 환경과의 관련성 질문
3	최초 발생 지점 찾기 및 확인	-중요 항목, 원인 제공 가능성 매우 높음 -일반인 출입금지 조치, 증거물 수집 -주변오염원 및 환경 조사, 탐문조사 등 수행
4	사고발생 범위 확인	-하천명, 좌표, 폐사발생구간, 하천폭, 주변환경조사 (도심, 공단, 농경지 등)
5	사고지역 어류 현장 조사 (폐사량 확인)	-사고 구역내 일정구역 조사 (정량, 정성 조사) -어종 및 개체수, 생체량 등 조사 -물리적 환경, 수온, 기온, 날씨 등 기록 -폐사 규모 추정 및 증상조사
6	사고 현장 수질, 생물상, 퇴적물 조사	-DO, pH, 수온, 전기전도도, 물냄새, 염도, 기타 측정항목 조사 -분석을 위한 수시료, 생물시료 채집 후 전달
7	어류의 외형 및 내부장기 관찰 (폐사, 폐사중, 살아있는 개체 각각 조사)	-입과 아가미 열린정도 확인 -몸통과 안구 등에 출혈 및 울혈 확인 -척추의 구부러짐 여부 -점액질 과다 분비 여부 -병변 발생 여부 및 상태 -아가미 색깔 및 괴사 조직세포 부위 관찰 -해부를 통한 간, 장기 등 이상여부
8	어류 및 기타 생물의 이상 징후, 특이적 행동, 기타 관찰내용 기록	-어류의 외부 색깔의 변화 -지느러미 형태 및 색깔의 이상 여부 -수면에서 헤엄치고 있는지 여부 -물고기의 평형성 상실 여부 -물 밖으로 튀어 나온 개체 존재 여부 -주변 식물체의 탈색(갈색) 여부 -어류 외 수서생물 폐사 여부 확인

- **수질조사**
  - ✓ **기초수질 (현장) 측정 및 채수를 통해 분석 의뢰**
- **어류 외 생태계 조사**
  - ✓ 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저서성대형무척추동물
  - ✓ 현장 채집 후 분석 의뢰
- **어류조사**
  - ✓ 현장 채집 후 분석 의뢰
  - ✓ 폐사/ 폐사중/ 생존 개체를 분리하여 샘플
    - 약독물 분석용 : 개체수 크기에 따라 3-5개체
    - 어류질병 분석용 : 최소 30개체 이상 (폐사/폐사중/생존 각 10개체)
- **퇴적물조사**
  - ✓ 현장 채집 후 분석 의뢰

<분석 의뢰 기관>

- ○ 수질 및 퇴적물 조사 : 시/도 보건환경연구원
- ○ 동/식물 플랑크톤, 저서무척추동물 검사 : 시/도 보건환경연구원
- ○ 어류시료 약동물 검사 : 국립과학수사연구원

※ 분석의뢰는 관할지역 국립과학수사연구원에 문서로 요청

- ○ 어류(생물)시료 질병검사 : 국립수산과학원 (수산생물방역과, 병리연구관), 지방자치단체 (수산사무소, 어업기술센터 등), 병성감정실시기관과 같은 수산생물질병전문 진단기관에 의뢰

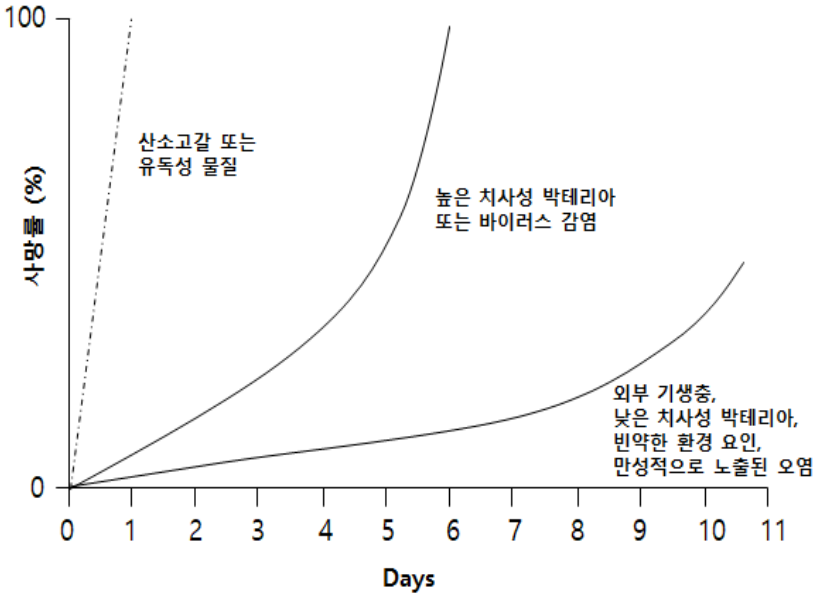
※ 분석의뢰는 사전협의 후 문서로 요청

- ○ 이외 생물분류군별 분류 및 생태 정보가 필요한 경우 인근의 전문가 및 전문기관 (연구소 및 대학교)으로 의뢰

어류폐사 사고 원인분석

3. 어류 폐사 사고 유형

<폐사 유형에 따른 사망 속도>



- **주요 유형으로 구분**
  1. **화학적 요인에 의한 폐사**
  2. **생물적 요인에 의한 폐사**
  3. **독성물질 등에 의한 폐사**
  4. **물리적 요인의 의한 폐사**

- **어류폐사 원인추정 방법**
  - ✓ 현장 초기조사 이후 조사자는 **어류 폐사 원인에 대한 몇 가지 가정을 할 수 있음**
  - ✓ 수집된 자료를 바탕으로 사고 유형에 따라 나타나는 특징적인 현상들을 대조, 분석하는 것이 바람직함
  - ✓ 조사자들이 어류 폐사 현장에서 조사하는 동안 **수집된 자료를 바탕으로 원인을 추정**
  - ✓ 이분법적 접근 방법을 선택, 원인을 직접 찾는 것 보다 **원인이 아닌 것을 제외하는 방식에 따라 판정 필요**

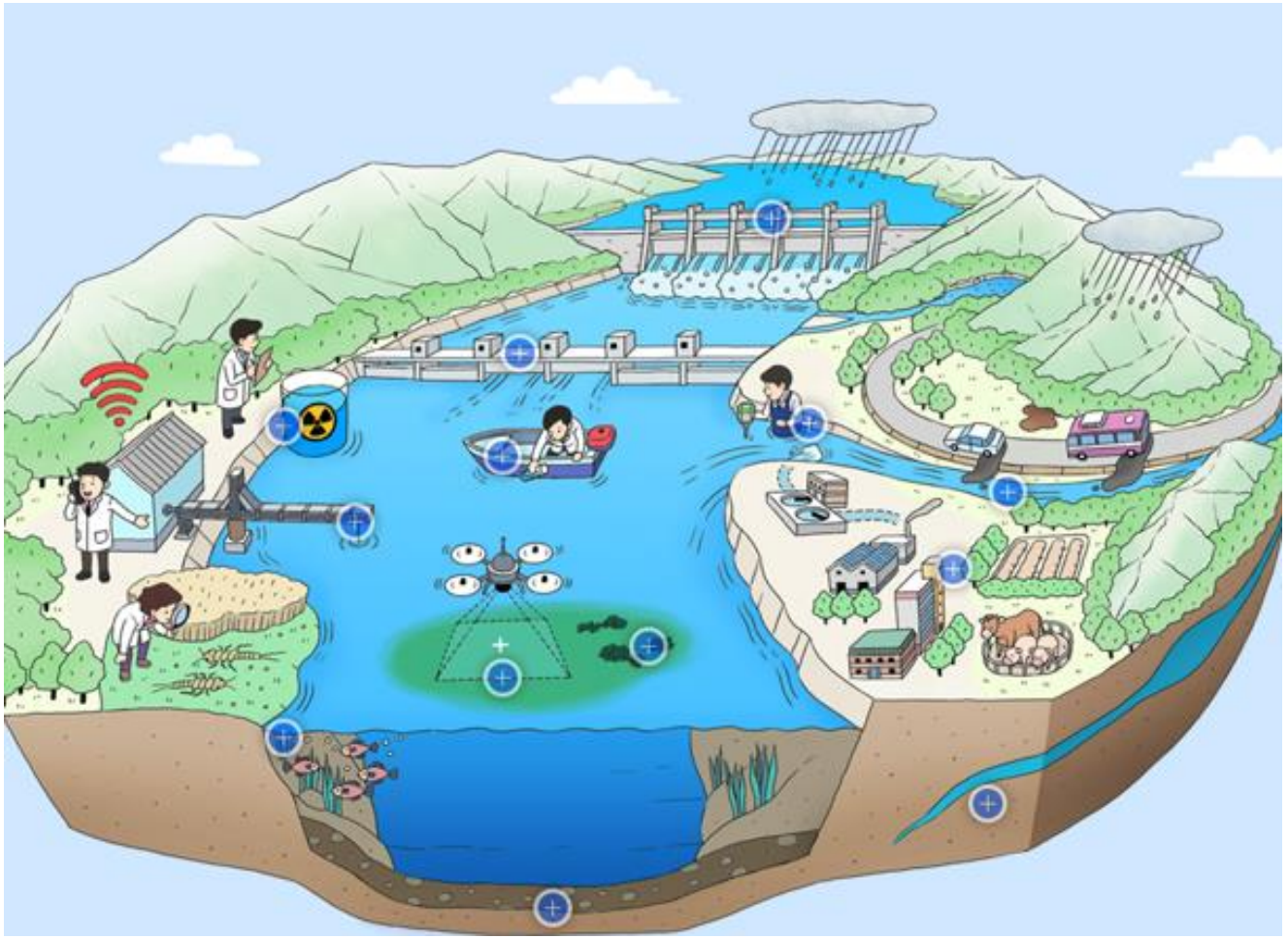
어류 폐사 주요 발생원인

일반론 : 어류 폐사 사고유형

환경/생태 전문 분야

✓ 아래 그림에 나와있는 모든 연구활동이 **환경/생태 전문 분야**

- 환경분야의 강점이 있는 **서울시립대 환경공학 전공!!!**



환경/생태 전문 분야

출처 : 서울시립대 환경공학 홈페이지 (일부내용 추가)

K water

경청해 주셔서 감사합니다.

여러분의 꿈을 응원합니다.