

생태 위해성 평가·예보체계의 개발 (Development of forecasting system for ecological risk)

김 용 화

안전성평가연구소 환경화학연구팀

500여종에 달하는 13,452,000톤의 유독물질이 1996년도에 국내에서 사용되었다.

36,000종의 화학물질이 국내에 사용되고 있는 것으로 보고되어 있다.

200여종의 화학물질이 매년 새롭게 도입되고 있다.

이 중 15개는 유독물로 지정된다.

수질을 보호하기 위하여 법적으로 규정된 30종 미만의 항목이 정기적으로 검사되고 있다. 몇 개의 생물경보장치가 설치되고 있다. 이러한 대비책이 과연 저수 많은 화학물질과 유독물질의 위해성을 줄이는데 문제는 없는가? 그렇지 않다. 매년 겪는 수십건의 수질오염사고가 있고, 물고기 폐사사고가 있다. 외국에서 알려진 오염물질이 국내의 수질이나 환경생물에 농축되고 있음이 끊이지 않고 보고되어 국민에게 불안감을 주고 산업계에 직·간접적인 손실을 주고 있다. 수천 종의 화학물질이 수계로 유입될 때 30여종의 이화학적인 모니터링으로 생태계의 온전성(Biological integrity)이 유지될 수 있다고 자신할 수가 없는 상황이다.

생태계의 다양한 생물들은 환경으로 유입되는 다량의 화학물질에 고농도로 노출되므로서 인체 위해성이 표면화되기 이전에 그 증상들이 감지될 수 있는 중요한 지표가 되고 동시에 인류와 공존하도록 보존하여야 할 대상이다.

U.S. Geological Survey에서는 1965년의 Water Quality Act 및 1972년의 Clean Water Act의 준수를 관측하기 위하여 National Stream Quality Accounting Network(NAQAN)에 의하여 50~80개 항목의 수질을 조사해오고 있다. 1973년에는 51개 측정지점이던 것이 1990년대에는 500여 지점에서 이르고 있다. 미국 EPA의 연구개발국(Office of Research and Development)에서는 생태 및 인체건강문제가 생기기 전에 환경의 질의 변화양상을 파악하는 것이 보다 경제적이라는 범부처적인 인식하에 환경모니터링 및 평가프로그램(Environmental Monitoring and Assessment Program : EMAP)을 1989년부터 시행해 오고 있다. 이 프로그램은 주로 미국 전역의 생태계의 변화를 조망하기 위한 연구에 주력하여 왔으나 장래에는 정책 결정자에 도움이 되는 연구방향으로서 지표지역, 권역규모의 평가, 국가적 생태 모니터링, 모니터링 연구 등으로 나누어 계획되어지고 있다.

1967년에 시작된 국가 농약 모니터링 프로그램(National Pesticide Monitoring

Program)은 담수어, 조류를 정기적으로 분석하였고, 이 프로그램은 국가 환경오염 물질 바이오 모니터링 프로그램(National Contaminant Biomonitoring Program : NCBP)로 연결되었다. 이 NCBP 프로그램을 통하여 유기염소계 농약, PCB, 무기오염물질이 생체시료에서 급격히 감소하고 있음을 증명하였다. 이 NCBP 프로그램은 1980년 후반에 Dioxin 문제와 생물농축외에 다른 관련 물질의 바이오 모니터링 프로그램(Biomonitoring of Environmental Status and Trends Program)으로 계속되고 있다. BEST 프로그램의 예를 들자면 어느 수질생태계에서 물고기를 채집하여 오염물질의 화학적 분석, 물고기 건강상태 관찰, Lysozyme 역가, 조직병리학, EROD 역가, 마크로파지 응집분석 등이다.

내무부(Department of Interior)에 소속된 U.S. Fish and Wildlife Service 에서는 생태계 보호의 일환으로 미국 전역 35,000 Superfund 지점, 200,000 광산지점, 34,000 유독물 배출조사(Toxic Release Inventory)지점 등에서 누출될 수 있는 오염물질의 환경 모니터링을 위하여 환경오염프로그램(Environmental Contaminant Program)을 수행하고 있다.

U.S. EPA는 1989년부터 State Biological Assessment Programs for Streams and Rivers를 시행하여 이 결과가 국회에 국가 수질조사 보고서(National Water Quality Inventory)로 보고하고 있다. 이 프로그램의 취지는 생태계의 온전성이 인간 활동에 의하여 어떻게 침해를 받는지를 파악하기 위한 것이고, 그간의 화학적인 수질기술 방법에 생물학적인 기술을 보완하는 노력이 괄목할 만하다.

일본 환경청에서는 1979년부터 1988년까지 10년간 제1차 화학물질 환경 안전성 총점검 조사를 실시하므로써 수만종의 기존 화학물질 환경중 오염정도를 밝히고자 하였다. 10년간에 걸친 조사 후에 그간 생산활동, 생활양식의 변화, 첨단기술산업의 등장으로 새로운 오염가능성이 증가하였고, 과학기술의 진보에 따라 보다 효율적인 조사의 필요성이 제기되어 제1차 조사에 개선사항으로 ① 조사대상물질의 확대, ② 환경운명 예측을 활용한 조사대상물질의 엄선, ③ 조사물질의 확대, 조사기간의 단축 등 조사의 충실 등을 추가하여 제2차 총점검 조사가 1989년부터 실시되고 있다. 이 환경 안전성 총점검 조사는 기존의 환경기준이나 배출기준, 유독물질에 국한되지 않고, 자국내에서 사용되는 대부분의 화학물질을 대상으로 하여 예방적 차원에서 실시된 것이 괄목할 만 하다. 일본의 제 1, 2차 환경안전 총점검 조사를 기술적인 면에서 개략적으로 요약하면 다음과 같다.

일본은 10년간의 1차 조사 후 그간의 경험을 바탕으로 2차 조사에는 그 방법이 개선되고 있음을 볼 수 있다. 그러나 이 국가적인 사업이 매우 논리적이고 체계적으로 수행되고 있다는 점을 간과할 수 없다. 그러나 이 조사의 제한점으로서는 화

학물질 분석에 치중한 결과에서인지 아직까지 뚜렷한 문제 화학물질이 확인되지는 않은 상태이다. 이를 역으로 해석하면 일본의 화학물질 관리가 정상적이어서 수질 오염 문제가 없다는 결론에 도달하고 있는 것이다.

따라서 본 연구는 끊임없이 계속되는 수질오염사고의 치명적인 원인인 화학물질이 가져올 중·장기적인 생태위해성을 사전에 점검하는 체제를 미국과 일본의 경험을 참고로 하여 개발하므로서 예방차원에서의 집중적인 관리노력을 정부의 주도하에 시작하게 되는 계기로 삼고자 하였다.

“생태위해성 평가·예보체제”

- 수생 생태계를 대상
- 화학물질에 의한 중장기적 위해성
- 예보체제 : 생태위해성이 표면화 되기 이전에 감지할 수 있도록 함. 일기예보(X)

연구배경

수질오염에 대한 근원적 질문들

행정부 : “페놀, 벤젠, THM 다음에는 어떤 화학물질이 수질오염을 일으킬 것인가?”

산업체 : “소비자나 정부가 어떤 물질을 규제하게 될까?”
“어떻게 대응하나?”

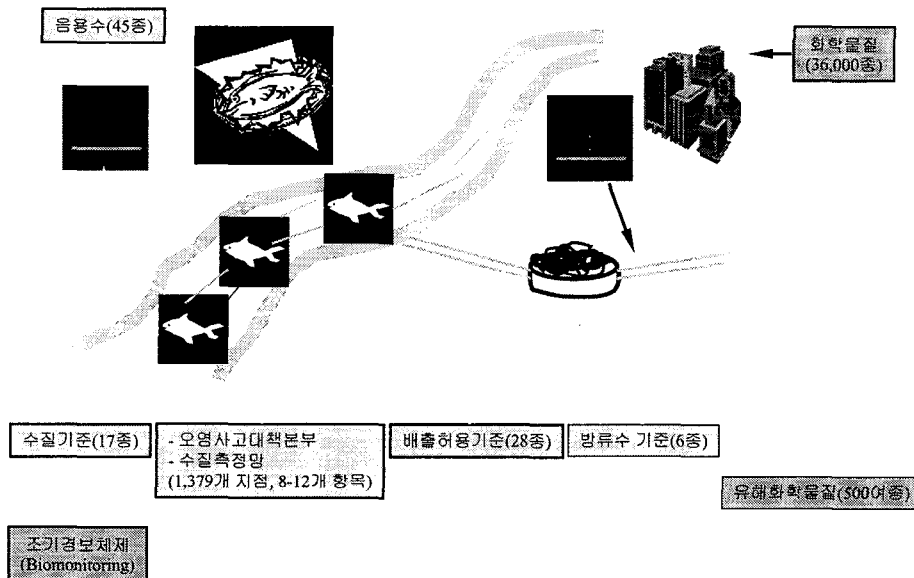
소비자 : “산업체나 정부가 유해 화학물질을 제대로 관리하고 있는가?”

“또 무슨 사고가 나지 않나?”

연구의 필요성

<사회·경제적 측면>

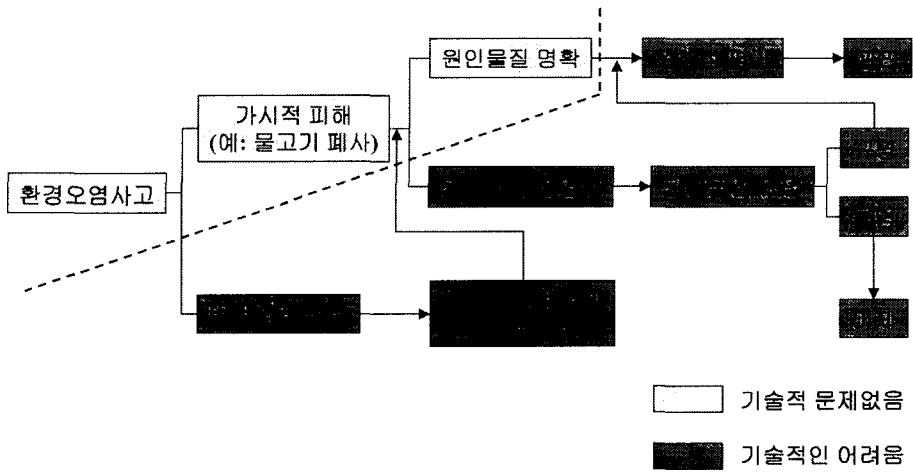
- 산업화에 따른 화학물질 사용의 급증
 유 독 물 : 1985년 5백만톤 → 1996년 13백만톤
 화학물질수 : 1985년 10,000종 → 1996년 36,000종
- 수질오염사고 및 물고기폐사 사고의 빈발
- 생물농축성 화학물질의 위해가능성 보고 및 사회 문제화
- 정부의 화학물질 관리에 대한 불신 및 국민의 불안감 가중



법적 · 행정적 측면에서의 화학물질 관리

사전관리(예방차원)	사후대응
화학물질등록 사전심사 (연 200종) 화학물질 관리감독 (약 500종) - 지도점검 - 유해화학물질 사용실적보고 - 유통실태 조사 (36,000종) - 유해물질 배출량 조사	수질환경기준 (17종) 폐수배출 허용기준 (28종) 방류수 수질기준 (6종) 중앙환경오염사고대책본부 생물조기경보체제

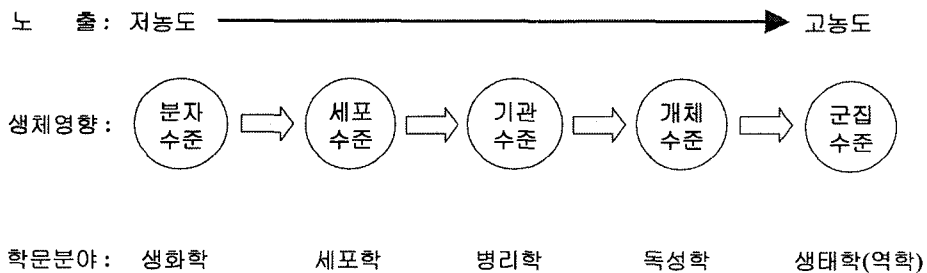
환경오염사고의 흐름도



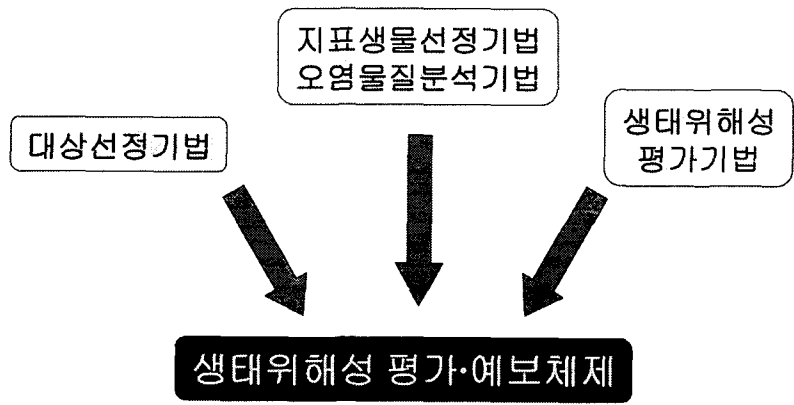
조사 연구개발 사례에 대한 평가 및 본 연구사업의 방향

국내 조사연구 개발사례 평가	본 연구사업의 방향
1. 규제 화학물질의 수가 적음 (생태계 생물보호 고려 미흡)	→ (생태계 생물보호를 포함한) 신규 규제 항목설정의 논리적 근거제시
2. 중장기적 생태계 위해성 (저농도-농축가능 물질) 대비 예보체제 미흡	→ 만성위해성(발암, 기형, 면역이상 등)의 감지 및 평가에 의한 예보체제 개발
3. 생태조사 기술과 화학분석 기술의 접목 미흡	→ 생태조사-화학분석기술 접목에 의한 원인-결과 규명체제 확립

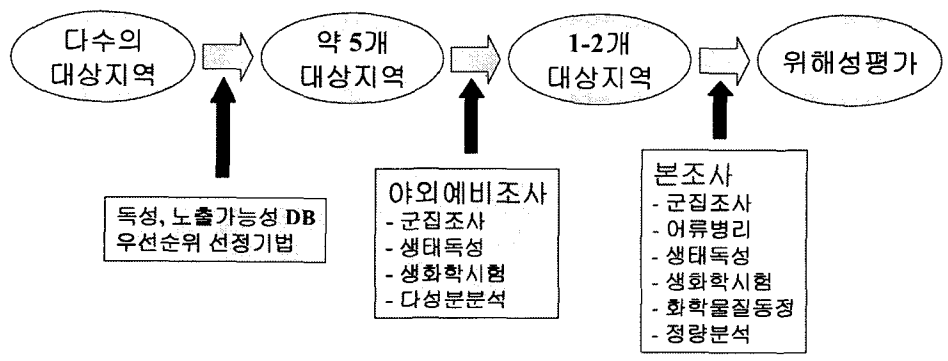
환경영향의 파급경로



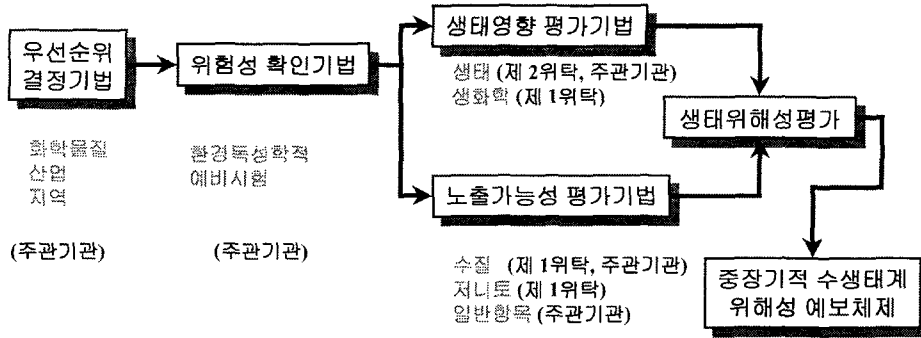
본 과제의 목표와 단위기술



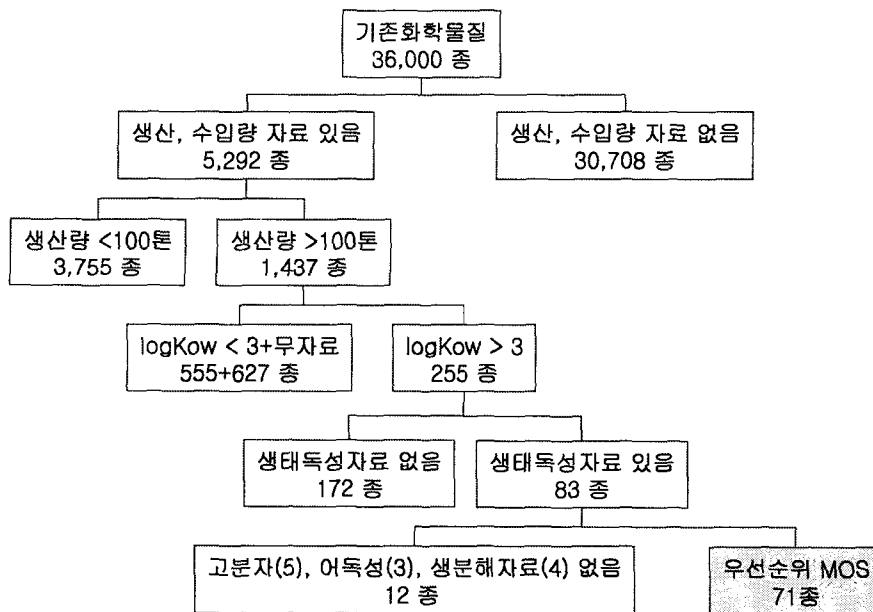
단위기술의 적용순서



본 과제에서의 생태위해성 예보체제



우선순위 물질의 선정



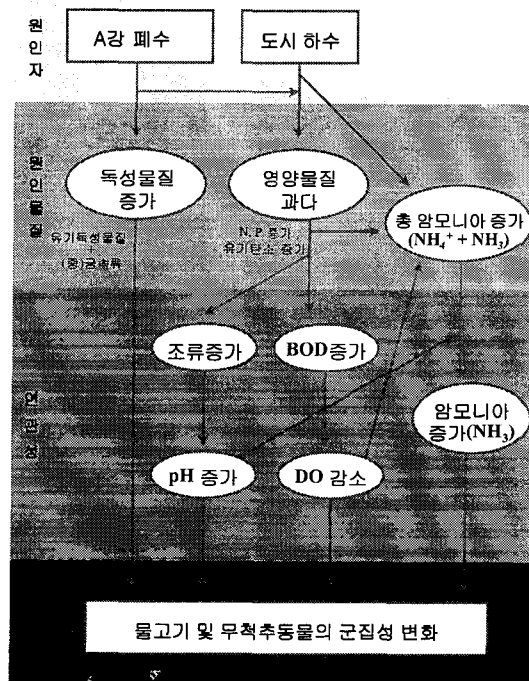
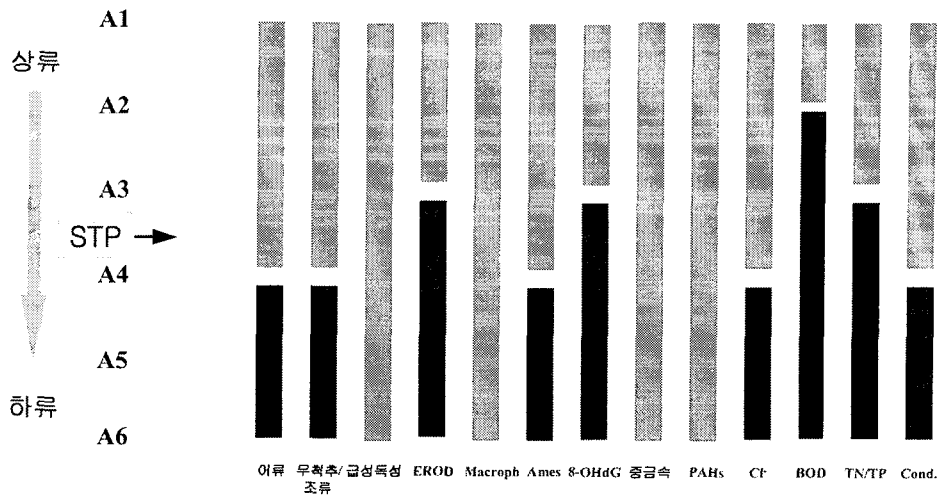
현장조사 결과 (사례연구)

- 1차 년도 : A강
- 2차 년도 : B강, C강
- 3차 년도 : A강 (1차년도와의 재현성 비교 및 기술이전을 위한 공동현장조사)

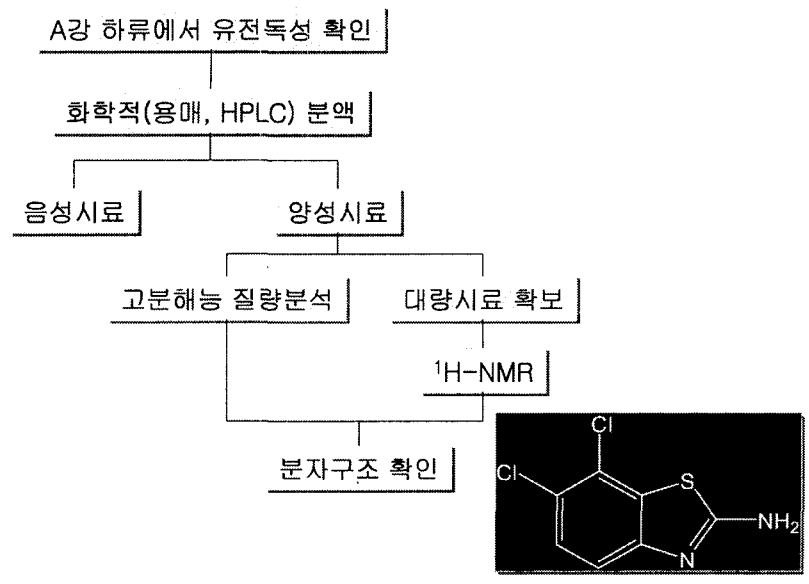
사례연구를 위한 자료의 구성

본 연구 생성자료	지방청에서 구득한 자료
조류 다양도지수	BOD5
수서무척추동물 다양도지수	COD
어류 IBI	Conductivity
급성 생태독성	pH
Microtox	TN/TP
EROD역가	
Macrophage	
8-OHdG	
Ames test	
PAHs 분석	
GC-FID/MS profiling	
중금속 및 무기이온 분석	

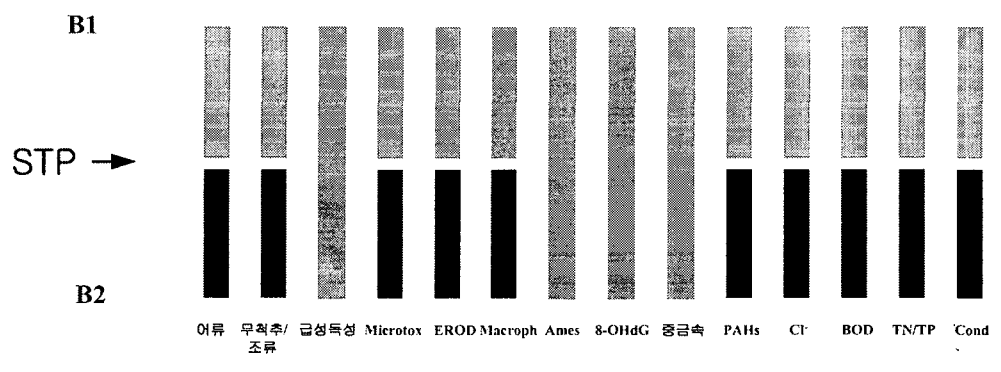
Case Study - 1차년도 (A강)

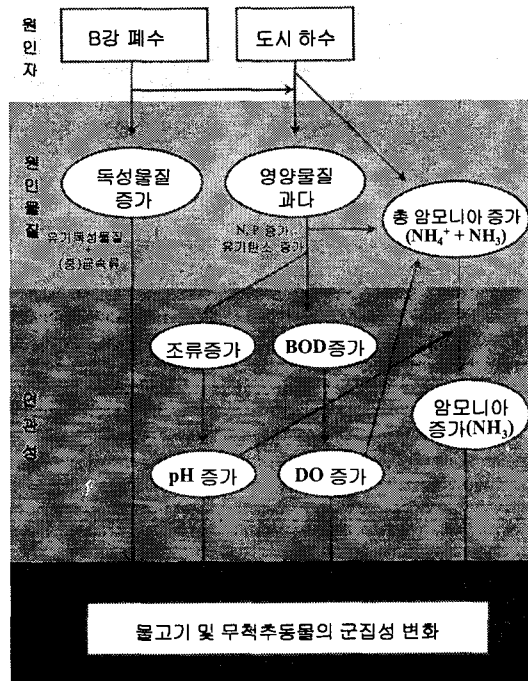


원인 화학물질 추적

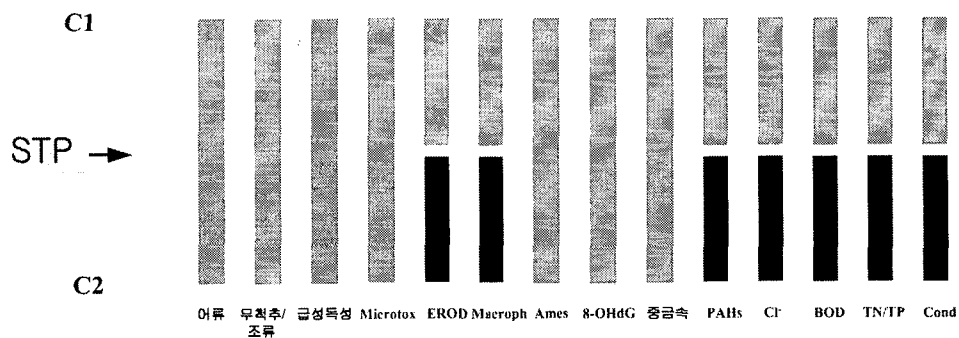


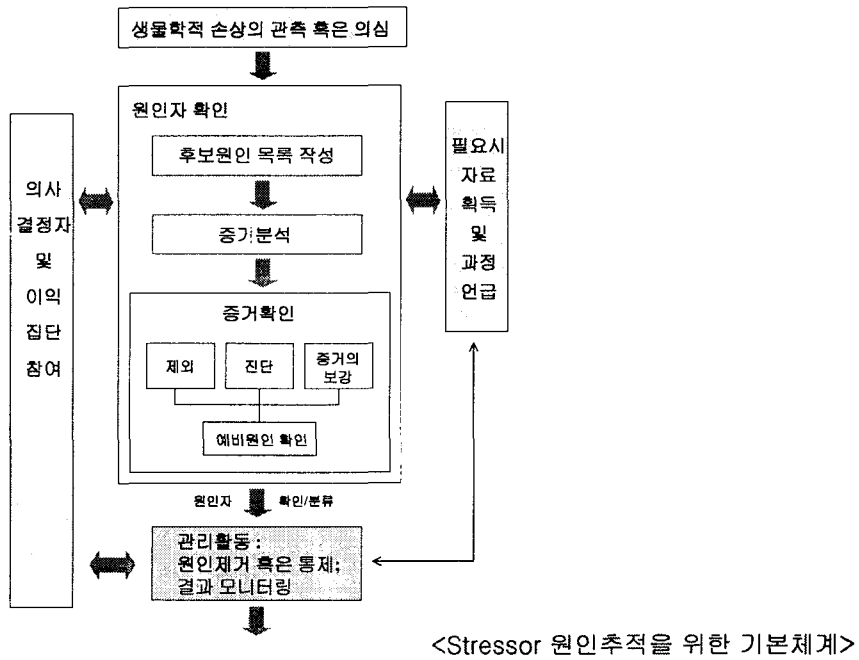
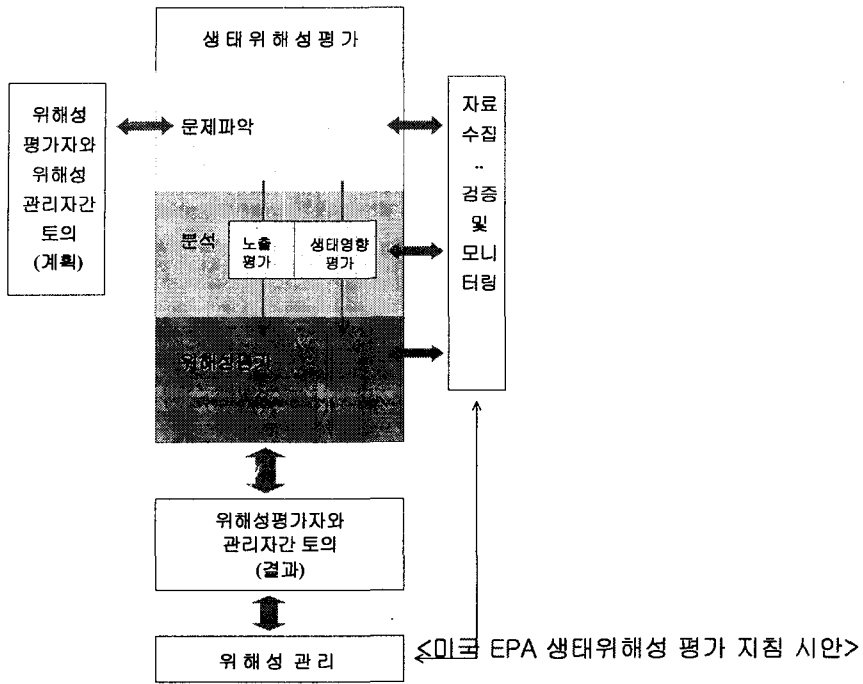
Case Study - 2차년도 (B강)

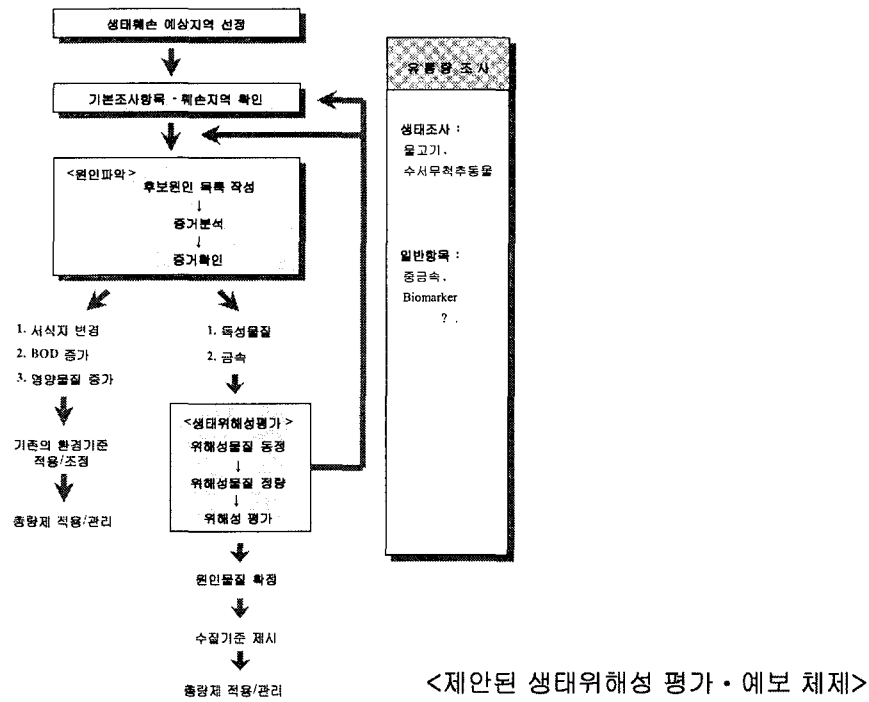




Case Study – 2차년도 (C강)







Case Study를 통해 구명된 사실

- 수질기준과 생태계 훼손과의 괴리
- 어류와 수서무척추 동물의 정량적 평가지수의 유용성
- 생태훼손 지역에 대하여 biomarker, 무기물분석, BOD등 수질항목 분석을 통한 원인추적이 필요
- 생태훼손 물질이 유기오염물질이나 중금속인 경우 biomarker에 따른 분석법과 동정기법의 활용이 필요

Case Study를 통해 구명된 문제점

유통량 자료를 이용하여 예상한 대상지역의 생태위해성 원인물질은 분석되지 못함 - 유통량 자료를 위해성 예보체제와 연결시키는데 어려움

- Biomarker에서 양성인 시료에서 원인물질 동정의 어려움
 - 시료채취시기에 따른 시료의 불균일성
 - 원인물질이 극미량인 경우
 - 환경오염물질에 대한 MS library의 빈약
- 검출된 기존관심물질(PAHs, 페놀류)의 농도는 대상지역의 실제 위해성 수준에 미치지 못함

실용화 방안 (예시)

1. 수질관리 총량제 (TMDL) 도입시 (예. 미국 메인주, 1998)	1. 생태훼손 확인 (IBI) 2. 관리항목 제시
2. 수질, 폐기물, 대기, 자연생태 등 훼손의 원인물질 관리 (예. 미국 EPA 대기국 소각로 허가, 1999)	1. 관리물질 도출 2. 규제수준 결정
3. 국내 수질기준/배출허용기준 강화를 위한 국내 대상물질 제시 가능	1. Benzothiazole계 화합물 등