

# Investigation of the Impacts of Endocrine Disruptors on Wild Life in Korea

## — Abnormalities of Reproductive Organs in Fish and Amphibian —

이 문 순  
국립환경연구원

### 1. 연구의 목적 및 필요성

내분비계장애물질은 내분비계의 정상적인 기능을 방해하는 것으로 추정되는 화학물질들을 말한다. 내분비계는 생체의 항상성 유지, 생식, 발생, 행동 등에 관여하는 각종 호르몬을 생산하고 분비하는 기관이다. 내분비계의 주요 기능을 요약하면 영양·대사·분비활동·염의 균형을 유지하는 등 생체의 항상성을 유지하고, 외부 자극에 대해 반응하며, 성장·발육·생식에 대한 조절, 그리고 체내 에너지 생산·이용·저장 등이다. 미국 EPA는 이러한 근거에 따라 내분비계장애물질을 “체내의 항상성 유지와 발달 과정을 조절하는 생체 내 호르몬의 생산, 분비, 이동, 대사, 결합작용 및 배설을 간섭하는 외인성 물질”로 정의하고 있다. 이들은 대부분 인공적으로 합성된 화학물질이며 분명하게 내분비계장애물질로 밝혀진 것은 몇몇 물질에 불과하고 대부분 잠재적 위험성이 있는 것으로 추정되고 있다.

생체 내에서 합성되는 호르몬과 비교하여 내분비계장애물질의 특성은 다음과 같다. 즉, 이들은 쉽게 분해되지 않고 안정하고, 환경 매체 및 생체 내에 잔류하며 장기간 지속되기도 하며, 생물체의 지방 및 조직에 농축된다. 현재 이러한 성질을 지니고 있는 것으로 추정되는 물질로서 각종 산업용 화학물질, 농약류, 유기 중금속류, 다이옥신류, 식물성 에스트로젠 등의 호르몬 유사물질, diethylstilbestrol과 같은 합성 에스트로젠류, 식품첨가물 등이 있다. 구체적으로 식품이나 음료수 캔의 내부 코팅 물질에 사용되는 비스페놀A, 변압기 절연류, 농약으로 사용되었으나 현재 사용이 금지된 PCBs (polychlorinated biphenyls), DDT, 주로 소각장에서 발생하는 다이옥신류, 합성세제 원료인 알킬페놀, 스티로폴 성분인 스티렌 다량체 등을 들 수 있다.

이들의 작용은 수용체 결합과정에서의 호르몬 모방작용, 차단작용, 촉발작용, 간접영향작용 등으로 크게 구별된다. 모방작용은 이들이 마치 정상적인 호르몬처럼 수용체와 결합하여 세포반응을 일으키는 작용이다. 차단작용은 호르몬 수용체 결합부위를 봉쇄함으로써 정상호르몬이 수용체에 접근하는 것을 막는 작용이다. 촉발작용에 의해서는 정상적인 호르몬 작용에서는 일어나지 않는 세포분열을 유발하거나 생체 내에서 물질의 대사와 합성 등의 변화를 유발하는 작용이다. 마지막으로, 간접영향작용은 수용체와 결합하지 않고 간

접적으로 호르몬의 합성, 저장, 배설, 분비, 이동 등에 작용하여 정상적인 내분비 기능을 방해하는 작용이다.

지금까지 야생동물이 내분비계장애물질에 의해 영향을 받은 것으로 관찰된 현상으로서 악어의 성기크기 왜소화, 붉은귀 거북의 부화수 감소, 개구리 기형 발생, 무지개송어 정소 발달 저해, 연어의 비정상적인 갑상선 비대, 농어 수컷의 생식능 저하, 갈매기, 독수리 등에서 생식 능력 감소, 부리 기형, 부화 장애 등 주로 생식기계 이상, 기형 등이 있다. 이들은 파충류, 어류, 조류, 포유류 등의 야생동물들의 개체수 감소, 성(性)의 혼란 등을 야기하는 것으로 추정하고 있으며 따라서 인간의 건강에 대해서도 좋지 않은 영향을 줄 것으로 우려되고 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 내분비계장애물질은 생태계에 커다란 영향을 미칠 것으로 추정되기 때문에 이들에 대한 환경 매체 내 잔류상태를 우선 진단하고 적절한 대책을 수립해야 할 것이다. 여기에서는 국내에 널리 서식하는 어류(붕어)와 양서류(황소개구리)에 대한 생식기관에 대한 조직 이상 유무와 체내 축적실태를 조사하여 내분비계장애물질이 생태계에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

## 2. 연구의 범위

### 1) 붕어에 대한 내분비계장애물질 영향조사

전국의 주요 수계 중 20개 지점을 선정하여 수환경 조사 및 붕어에 대한 생태영향조사를 실시하였다.

환경 조사와 시료의 채취는 20개 조사지점에서 2002년 4월부터 6월까지, 8월부터 11월까지 지점별 2회 실시하였으며 붕어는 지점별로 20개체 이상을 채집하되 암수개체수를 균등하게 채집하는 것을 원칙으로 하였다. 단, 수컷은 최소 5개체 이상 채집하며, 채집된 붕어는 성어로서 가능한 한 동일 크기를 채집하였다. 채집된 붕어의 외관, 크기와 길이, 체중, 생식소 무게 및 체중대비 생식소 중량비(GSI, Gonad-somatic Index)를 조사하였다.

1차 및 2차 채집한 붕어를 대상으로 암수 각 개체별로 정소 및 난소의 조직검사를 실시하고 혈액 중의 비텔로제닌 농도를 측정하였다.

### 2) 황소개구리에 대한 내분비계장애물질 영향조사

전국의 주요 수계 중 20개 지점을 선정하여 주변환경 조사 및 황소개구리에 대한 생태영향조사를 실시하였다.

환경 조사와 시료의 채취는 20개 조사지점에서 2002년 4월부터 6월까지, 8월부터 11월까지 지점별 2회 실시하였으며 황소개구리는 지점별로 20개체 이상을 채집하되 암수 개체수를 균등하게 채집하는 것을 원칙으로 하였다. 단, 수컷은 최소 5개체 이상 채집하며, 채집된 황소개구리는 성숙한 개체로서 가능한 한 동일 크기를 채집하였다. 채집된 황소개구리의 외관, 크기와 길이, 체중, 생식소 무게 및 GS를 조사하였다.

표 1. 내분비계물질에 의한 생태영향 조사지점 개요

수 계	생 물 종	
	붕 어	황소개구리
한 강	의암댐, 섬강, 북하천, 경안천 (4)	북하천, 경안천 (2)
낙 동 강	구미, 고령, 남강, 남지, 낙동강하구언 (5)	구미, 고령, 남강, 남지, 물금, 낙동강하구언 (6)
금 강	대청댐, 부여 (2)	대청댐, 무심천, 부여 (3)
영 산 강	담양댐, 광주천, 나주 (3)	담양댐, 광주천, 나주 (3)
만 경 강	-	고 산
삼 교 천	온천천	온천천
태 화 강	명 촌	명 촌
양양남대천	양 양	-
섬 진 강	하 동	하 동
강릉남대천*	남대천 (연곡천)*	
안 성 천	-	황구지천
습 지	주남저수지	주남저수지

\* 수해로 인하여 2차 채집시에 강릉 연곡천으로 지점 변경

1차 및 2차 채집한 황소개구리를 대상으로 암수 각 개체별로 정소 및 난소의 조직검사를 실시하였다.

### 3) 붕어 및 황소개구리의 내분비계장애물질 축적실태조사

환경 중에 존재하는 내분비계장애물질을 파악하기 위해서 생물체 내에 co-PCBs 등 34개 물질군 76물질의 잔류량을 분석하였다. 분석방법은 내분비계장애물질 측정분석방법(국립환경연구원 2002)에 준하여 실시하였다.

### 4) 붕어 및 황소개구리의 다이옥신 축적실태조사

다이옥신 및 퓨란류가 내분비계장애물질로서 생물체에 미치는 영향을 파악하기 위하여 붕어와 황소개구리를 대상으로 다이옥신 및 퓨란류 중 2, 3, 7, 8-이성질체 17종의 잔류실태를 조사하였다.

## 3. 연구 결과

### 1) 생식기관의 조직검사

붕어는 20지점 800마리 중 12지점 38개체 (4.8%)에서 이성생식세포(자웅동체(雌雄同體)) 발견되었으나, 그 중 수컷에서 암컷의 생식세포 발견개체는 257마리 중 11개체 (4.3%), 암컷에서 수컷의 생식세포 발견개체는 543마리 중 27개체 (5.0%)이었다. 또한 황소개구리는 20지점 800마리 중 4지점 6개체 (0.8%)에서 수컷이 암컷의 생식세포를 보유하고 있는 것이 관찰되었다.

표 2. 내분비계장애물질 생체내 축적실태 조사항목

번호	분 석 항 목	번호	분 석 항 목
계	35물질군 (82물질)		
1	Dioxins	19	Chlordane (2물질)
2	Co-planar PCBs	20	Atrazine
3	PCBs (10물질)	21	Metribuzin
4	2, 4-Dichlorophenoxy acetate (2, 4-D)	22	Carbaryl
5	Alkyl phenols (8물질)	23	Alachor
6	Phthalates (8물질)	24	Ethylparathion
7	Di-2-ethylhexyl adipate	25	Malathion
8	Octachlorostyrene	26	Nitrofen
9	Bisphenol A	27	Trifluralin
10	2, 4-Dichlorophenol	28	Cypermethrin
11	Benzophenone	29	Fenvalerate
12	4-Nitrotoluene	30	Permethrin
13	n-Butyl benzene	31	Benomyl
14	Organo Tins (6물질)	32	Amitrole
15	Organochlorinated Pesticides (10물질)	33	1, 2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP)
16	Hexachlorocyclohexane (HCH) (4물질)	34	Pentachlorophenol (PCP)
17	1, 1'-(2, 2, 2-Trichloroethylidene) bis (4-chlorobenzene) (DDT) (6물질)	35	2, 4, 5-Trichlorophenoxy acetate (2, 4, 5-T)
18	Endosulfan (2물질)		

이러한 붕어의 이성생식세포 발현율을 지점별로 살펴보면 0~17.5%로 나타났다. 그러나 어류에 대한 지금까지의 국내외 조사사례와 비교 검토해보면 잉어류를 이용한 영국의 조사결과 비오염지역에서 4~18%의 자웅동체 발견되었고(Tyler *et al.* 1998), 캐나다 오대호하류지역의 농어과 물고기에서 20~83%의 자웅동체 발견되었으며(Kavanagh *et al.* 2002), 본 조사에서 강릉 연곡천을 인위적인 오염원이 없는 곳으로 가정하여 2차에 채집된 139개체 전체의 생식소에 대한 이성생식세포를 조사한 결과 4개체에서만 발견되어 2.88%의 출현률을 보였다.

또한 본 조사는 성체 붕어에 대해서 이루어졌으므로 이러한 이성생식세포의 출현이 생 활사 초기부터 시작된 것인지 아니면 성체의 어느 시기에 시작된 것인지에 대해서 결론을 내리기는 곤란하다. 그러므로 붕어의 이성생식세포 보유현상의 원인을 명확히 규명하기 위해서는 다양한 크기의 어류에 대한 조사와 내분비계장애물질 또는 중금속 성분이 단독 또는 혼합된 인위적 설계 환경 내에서 이들 어류의 수정난 시기부터 성장에 이르기 까지 성분화 과정 및 생식소 발달과정을 장기간에 걸쳐 조사해 보아야 할 것으로 판단되었다.

황소개구리의 지점별 이성생식세포 발현율은 0~5%로 나타났다. 이 또한 양서류에 대한 지금까지의 외국 조사사례와 비교 검토해보면 미국 일리노이대학의 조사결과 총 341마리의 크릭개구리 중 9마리의 자웅동체를 발견하였으나 화학물질과 무관한 것으로 결론을 내린 바 있으며(Reeder *et al.* 1998), 미국 미네소타주 습지 36개 지역에 서식하는

표 3. 연차별 이성생식세포 발현율 추이

		붕 어			황소개구리		
		1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도	3차년도
이상개체/ 조사개체 (발현율%)	지점수	1/10 (10)	3/28 (11)	12/20 (60)	1/25 (4)	3/26 (12)	4/20 (20)
	개체수	1/81 (1.2)	3/782 (0.4)	38/800 (4.8)	1/88 (1.1)	3/1075 (0.3)	6/800 (0.8)

254마리의 코러스개구리 중 8개 지역에서 15개체의 자웅동체가 발견, 출현율은 지역별로 3~16%로 나타난 바 있다(Beasley *et al.* 2000).

또한 황소개구리 난소 내 난자들의 퇴화현상과 세정관의 융합현상 및 정소 내의 난자 출현 등의 모든 현상이 이전의 성별을 극명하게 판단할 수 있는 생식소가 존재하고 이러한 현상들은 각 개체들의 세포조직학적 이상이나 GSI에도 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 자연발생에 의해 진행되는 것으로 여겨지나 이상개체를 유발시킬 수 있는 물질의 투여 실험 등에 대한 자료나 연구가 없어서 명확한 결론을 얻는 데는 아직 역부족이며 이에 대한 명확한 결론을 얻기 위해서는 반드시 지속적인 모니터링과 함께 유발요인에 대한 투여 실험 등이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 이러한 외국의 조사결과를 종합해보면 비오염지역에서 서식하는 어류에서 4~18%, 양서류에서 2~4%의 이성생식세포가 발견되는 바, 금번 조사에서 나타난 붕어 0~17.5%, 황소개구리 0~5%의 이성생식세포 발현율이 내분비계장애물질에 의한 영향이라고 판단할 수 없다.

## 2) 붕어 혈액중 비텔로제닌 농도

붕어 800개체 중 수컷 257개체의 혈중 비텔로제닌 농도를 측정된 결과, 그 농도수준은 전년과 비슷한 수준이었으며 암컷 평균 이상의 농도를 나타내는 이상개체(5개체)를 제외한 수컷 비텔로제닌 농도의 평균농도는 9.2 µg/ml을 나타내었다. 금번 조사에서는 「내분비계장애물질 생태영향조사기법 표준화연구」(국립환경연구원 2002)를 통해 자체 개발한 국내 붕어에 특이적으로 반응하는 항체를 사용하였다.

본 조사결과를 외국의 영국 Brunel 대학의 John Sumpter 교수는 청정지역의 수컷 가자미류 혈중 VTG 농도를 10 µg/ml라고 발표(Sumpter *et al.* 1995)한 것을 근거로 비오염지역의 수컷 비텔로제닌 농도에 대한 기준을 10 µg/ml로 하여 수컷 비텔로제닌 농도가 10 µg/ml를 초과하는 개체를 살펴보면 257마리 중 37개체(14.4%)로 미국의 조사(34~50%)

표 4. 붕어의 비텔로제닌 농도 변화 추이

	2차년도		3차년도		※ 1차년도는 유의할 만한 수준의 개체수에 대한 조사가 이루어지지 않음
	암	수	암	수	
농도범위	9~5,179	0~28	0~2,335	0~1,817	
평균값	541	4	508	9*	

표 5. 비텔로제닌 이상수치 개체별 생체내 축적도

지 점	VTG농도 (µg/ml)	붕어 생체내 축적도 (µg/kg)						
		Co-PCBs	Dioxin (WHO-TEQ)	PCBs	Atrazine	Monobutyltin	Dibutyltin	Tributyltin
의암댐	989	0.138	ND	0.63	2.17	2.60	1.20	2.00
낙동강 하구언	1,817	0.398	0.105	5.41	1.26	0.54	0.25	1.00
부 여	1,357 1,250	0.585	0.326	3.26	1.14	0.83	0.49	0.83
담양댐	1,142	0.091	ND	0.87	2.05	1.00	0.46	2.31
전체평균		0.305	0.121	1.72	1.45	1.10	0.41	1.51
일본 (SPEED '98)		-	0.56~1	0~1,600	-	0~6	0~16	0~120

에 비해서는 낮은 수준이었다. 참고로 2차년도에는 31지역의 수컷 279개체 중 11마리 (3.94%)가 10 µg/ml을 초과하였다.

다만 붕어 수컷 257개체 중 5개체에서 비텔로제닌 농도가 암컷평균값(508 µg/ml) 이상으로 검출되었으나, 5개체 모두 생식기계의 이상은 없었으며, 생체 내 내분비계장애물질 축적농도도 전국 평균치와 유사한 것으로 나타났다.

따라서 이들 개체에서 측정된 비텔로제닌 농도가 비정상적인 수준의 농도인지 아니면 정상적인 수준의 농도에서 상대적으로 비교적 높게 검출되는 개체인지에 대한 정확한 판정은 현재로서는 어려운 실정이다. 다만, 이러한 모니터링 결과가 수년간 축적되어 국내 서식 야생동물에 대한 자연적 수준의 비텔로제닌 농도 범위가 설정되어 정상개체와 비정상개체를 구분할 수 있는 보다 명확한 판단이 도출될 수 있을 것으로 기대된다.

### 3) 붕어 및 황소개구리의 내분비계장애물질 (EDCs) 축적실태조사

총 35물질군 82물질에 대한 생체내 농도 분석 결과 다이옥신 등 28개 물질이 검출되었으며, 54물질은 검출되지 않았다. 특히 이 중 다이옥신류, PCBs 등 6물질군 12물질은 1~3차 조사에서 계속적으로 검출되고 있지만, 일본의 결과에 비해 그 농도는 낮은 수준임을

표 6. 1~3차년도 연속검출물질 현황 (최대값)

(단위 : µg/kg)

물질군	물질명	3차조사		2차조사		1차조사		일본('98)	
		어류	양서류	어류	양서류	어류	양서류	어류	양서류
PCBs (6물질)		5.4	0.73	31.33	9.74	188.8	0.4	1,600	13
Alkylphenols	nonylphenol	4.7	6.0	1.834	1.896	9.8	4.1	780	-
Phthalate	DEP	99.7	ND	27	ND	18.7	29.4	ND	-
	DEHP	227.8	30.1	68	33	573.9	301	260	-
DEHA		28	40.5	17	ND	95.5	12.1	ND	-
Benzophenone		ND	2.35	17.2	3.8	3.0	1.0	4	-
Dioxins (pg-TEQ/g)*		0.734	1.011	1.309	1.258	4.053	0.636	1	11

알 수 있었다. 이는 동 물질의 저질·토양에서의 환경잔류수준이 일본보다 낮은 것에서 알 수 있듯이 그 간의 축적수준은 낮다는 것을 시사한다고 할 수 있다.

또한 1·2차년도 조사 결과(국립환경연구원 2000, 2001)와 비교할 경우 전반적으로 검출물질, 검출률, 검출농도가 유사한 수준을 나타내고 있으며, 다이옥신은 붕어에서 0~0.734 pg-TEQ/g, 양서류에서 0~1.011으로 조사되었으며, 1·2차년도와 유사한 수준이고, PCBs는 낙동강하구연에서 채집된 붕어에서 5.41 µg/kg으로 가장 높았으나, 1차년도(담양댐 188.8), 2차년도(낙동강하구연 31.33)에 비해 낮은 수준이었다.

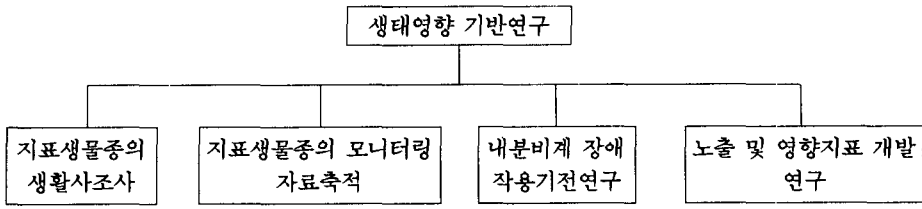
#### 4. 연구방향

생태계 생물종의 영향은 먹이연쇄를 통한 생물축적에 의한 영향 등 다양한 형태로 일어나게 되며 암수불균형에 의한 종의 보존 또는 자원생산량의 감소 등이 우려되고 있어 이에 대한 실태 및 예측 조사가 필수적이다. 또한, 내분비계장애물질이 인간에 미치는 영향을 직접 파악하기는 윤리적, 기술적으로 곤란한 경우가 많아 간접적인 방법인 생태계 영향을 조사하여 이를 토대로 인체영향 유추·판단할 수 있다.

생태계 구성 요소 중 동물은 인간과 비슷한 내분비계를 보유하고 있어 이에 대한 영향을 토대로 인간에 미치는 위해 가능성을 예측할 수 있어 생태계영향은 일종의 생물지표(bio-indicator)라 할 수 있다. 따라서 야생동물에 대한 실험적 연구에서 내분비계장애물질 노출에 의해 암수의 생식선 및 생식선 부속기관의 발생, 기능분화 및 호르몬 대사에 영향을 미치게 됨이 밝혀지고 있으며, 이와 동일한 영향이 육상 및 해양에 서식하는 연체동물을 포함한 무척추동물과, 어류·양서류·파충류·조류 및 포유류 등 척추동물에서 나타나는 지를 조사하는 것이 국제적 관심사로 제기되고 있다.

따라서 이러한 현상은 과학적으로 입증된 것으로 받아들여지고 있음에도 불구하고 자연적 현상이 아닌 내분비계장애물질에 의한 영향임을 규명하기 위해 생태영향조사방법과 절차의 확립이 요구되고 있다. OECD에서는 생태영향조사를 4단계적 접근방식에 의해 수행함으로써 야생생태계의 내분비계장애 영향의 확인과 원인을 규명하기 위한 국제적 노력을 제안하고 있으며, 1단계에서는 야생생태계에 서식하는 다양한 지표생물의 군집 또는 개체수준의 변화와 내분비계장애물질을 모니터링하여 이상발생 여부를 스크리닝하고, 2단계에서는 야생생태계 중의 내분비계장애물질의 화학적측정과 생태영향의 분석을 종합하여 검출되는 내분비계장애물질과 관찰되는 생태영향간의 인과관계를 규명하며, 3단계에서는 야생생태계에서 관찰되는 내분비계장애 작용의 유발 인자로서 자연환경 변화요인과 내분비계장애물질에 의한 요인의 작용정도를 상대 비교하여 내분비계장애물질에 의한 영향의 심각성을 파악하고, 최종단계에서는 추정되는 야생생태계의 내분비계장애 원인물질을 실험실적 조사 또는 in situ 조사에 의해 작용 유발을 확인하고 용량-반응성 평가에 의해 NOEC를 결정하도록 하고 있다.

따라서 국제적 환경이슈로서 내분비계장애물질을 다루고 있는 추세에 부응하고 우리나라



라 생태영향 현황을 분석하기 위해, 우리나라 야생생태계에 서식하는 다양한 생물의 생활사 등 기초조사와 군집 또는 개체수준의 변화를 모니터링하여 내분비계 이상발생 여부를 지속적으로 스크리닝하는 것이 필요할 것이다.

다음으로 야생생태계에서 나타나는 생물체의 내분비계장애작용이 자연 서식지 환경변화 또는 자연적 현상에 의한 변화 등에 의해서도 유발될 수 있음이 보고된 바 있다. 따라서 야생생태계에서 나타나는 내분비계장애작용이 자연적 현상인지 또는 내분비계장애물질에 의한 것인지를 규명하기 위해 원인물질을 확인하고 이러한 현상이 생태계의 변화에 어느 정도 심각성이 있는 지를 조사하는 것이 필요할 것이다.

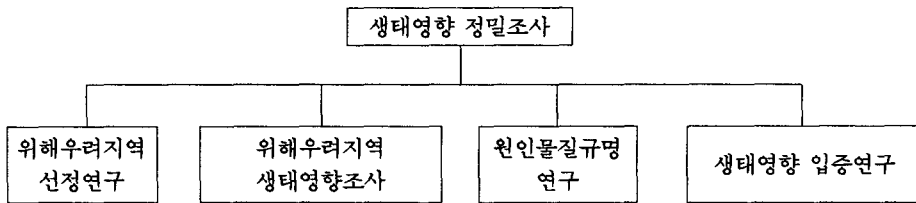
OECD 등에서는 야생생태에서 나타나는 내분비계장애영향을 조사하기 위해 화학적측정법과 생물학적 평가법을 종합하여 분석함으로써 검출되는 내분비계장애물질과 관찰되는 생태영향간의 인과관계를 규명하고 자연환경 변화요인과 내분비계장애물질에 의한 요인의 작용정도를 상대 비교하여 내분비계장애물질에 의한 영향의 심각성을 파악하도록 권고하고 있다.

내분비계장애작용의 원인물질을 규명하기 위한 생물학적 분석법과 화학적 분석법을 종합한 체계적 접근이 시도되고 있으며 그 예로서 미국 EPA 등에서 Toxicity Identification Evaluation 또는 Bioassay-directed Fractionation이 수행된 바 있다.

야생생태계에서 나타나는 현상이 내분비계장애물질에 의한 것임을 입증하기 위해서는 야생생태계에서 서식하는 생물에서 관찰되는 내분비계장애 영향과 내분비계장애 추정물질 상호간의 용량 의존적 상관성을 실험적 연구에 의해 조사함으로써 야생생태에서 나타나는 영향을 확인하는 것이 필요하다. 이를 위해서 OECD 등에서는 야생생태계에서 나타나는 영향이 내분비계장애물질에 의한 것임을 추정되는 야생생태계의 내분비계장애 원인물질을 실험실적 조사 또는 in situ 조사에 의해 작용 유발을 확인하고 용량-반응성 평가에 의해 NOEC를 결정하도록 권고하고 있다.

우리나라에서는 내분비계장애 추정물질의 환경매체 및 생물체 중 축적 농도 등 환경오염모니터링은 조사되고 있으나 내분비계장애물질에 의한 국내 생태영향을 규명하기 위한 연구사업은 체계적으로 수행된 바가 없어 내분비계장애물질과 생태영향간의 인과관계 규명하는 것이 필요하다. 또한 야생생물의 내분비계장애물질 노출 허용수준을 잠정적으로 결정하기 위해 우리나라에 서식하는 다양한 야생 생물종에 대해 내분비계장애 영향을 판단할 수 있는 생체지표(비텔로제닌 농도, 생식소 이상 등)의 threshold level을 결정해 가는 것이 필요할 것이다.





앞으로 이를 토대로 우리나라에 서식하는 야생생물에 대한 규제대상 내분비계장애물질의 최대무영향농도를 조사하고 환경중의 예측무영향농도(PNEC)을 설정하여 규제방안을 강구해 나가야 할 것이다.

## 참고문헌

- 국립환경연구원, 내분비계장애물질 측정분석방법, 2002.
- 국립환경연구원, 내분비계장애물질 생태영향조사기법 표준화연구, 2002.
- 국립환경연구원, 내분비계장애물질에 의한 생태영향 조사(I), 2000.
- 국립환경연구원, 내분비계장애물질에 의한 생태영향 조사(II), 2001.
- Tyler CR *et al.*, Natural and anthropogenic environmental oestrogens: the scientific basis for risk assessment, Oestrogenic effects in fish in English rivers with evidence of their causation, *Pure & Appl. Chem.*, 70(9), 1795, 1988.
- Kavanagh RH *et al.*, Gonadal intersex in white perch (*Morene americana*) from lower Great Lakes region, SETAC 23rd Annual Meeting in North America, P036, 2002.
- Reeder *et al.*, Forms and prevalence of intersexuality and effects of environmental contaminants on sexuality in Cricket frogs (*Acris crepitans*), *Environ. Health Perspectives*, 106(5), 261, 1998.
- Beasley V *et al.*, 2000 progress report: Environmental factors that influence amphibian community structure and health as indicators of ecosystem integrity, National Center for Environmental Research, 2000.
- Sumpter JP *et al.*, Vitellogenin as a biomarker for estrogenic contamination of the aquatic environment, *Environ. Health Perspectives*, 103, 173, 1995.