

<Review>

## 내분비 장애물질, 환경호르몬이 야생동물의 생식과 발생에 미치는 영향

윤 용 달

한양대학교 자연과학대학 생물학과

### The Effects of Endocrine Disrupters on Reproduction and Development of Wild Animals

Yong-Dal Yoon

Department of Biology, College of Natural Sciences, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**요 약 :** 지난 반세기 동안 내분비 장애물질의 제한없는 생산과 무분별한 소비, 방출, 폐기는 물, 흙, 공기 등 자연을 오염시켜 왔다. 그 결과 생태계의 야생동물이 오염되어, 생식과 발생의 이상이 일어나고, 멸종이 예견되기에 이르렀다. 또한 동물 자신은 물론, 후세대에 내분비계의 교란을 일으켜 정상적인 성생활, 발생과 생식의 기형, 정자수 감소 등의 불임유발, 성행동, 신경계와 면역계의 이상, 암까지 유발하는 것으로 알려지고 있다. 암이 개체의 사멸을 일으키는 반면, 내분비 장애물질은 체내에 잔류되며 대를 이어 전달되고, 사멸하여도 환경의 오염원이 되어 먹이사슬로 축적된다는 의미에서 야생동물은 물론 인간의 미래를 어둡게 만든다고 판단되고 있다. 그러므로 이들이 야생동물의 생식과 발생에 미치는 영향, 먹이사슬내의 이동 및 오염 확산을 개관하고자 하였다. 또한 이에 대처하기 위한 국내외 연구동향을 기술하고, 또 중요한 물질의 생산 현황을 요약하고, 발생과 생식을 전공하는 연구자 제위에게 관심을 유도하고자 하였다.

**ABSTRACT :** Recently public concerns about the endocrine disrupting chemicals (EDC) have resulted in the increased legislative and regulatory attentions in many countries. Endocrine disrupter is an exogeneous chemical interfering the synthesis, transport, binding, action or elimination of natural hormones in the body, which are responsible for the maintenance of homeostasis, reproduction, development and/or behavior. Reported possible harmful effects on human and animal lives, possible developmental anomalies, reproductive malfunctions and behaviors, and the ways of EDC accumulation in animal kingdom are reviewed. The current scientific papers and knowledges on the global contamination of EDCs demonstrates the conclusive data that EDCs have the potentials to cause the calamitous extermination of human and animal species by the global contamination.

**Key words :** Endocrine disrupting chemicals (EDC), Reproduction, Development.

## 서 론

인공 합성화학물질이 호르몬의 작용을 저해할 수 있다는 주장을 펼친 최초의 논문이 1950년에 벌링톤과 린드만 (Burlington & Lindman, 1950)에 의하여 발표되었다. 그 이후, Carson (1962)이 “침묵의 봄”에서 환경오염성 화학물질이 생태계와 인류에 미치는 가공할만한 영향에 대하여 기술하였으나, 크게 주목받지 못했던 사실은 애석한 일이 아닐 수 없다. 일부 학자들에 의해 환경내분비학 (Environmental Endocrinology)이란 분야가 1970년대 초기에 대두된 후부터 광주기, 방사선, 중금속, 산업오염물질 등 환경 요인이 내분

비계에 미치는 영향이 널리 연구되어져 왔다. 불행히 이들 오염물질에 대한 연구는 생식독성학 (Reproductive Toxicology) 분야마저 암의 발생에 치우쳐 내분비계 장애물질의 심각성을 미처 인지하지 못하고 있었다. 1940년대부터 1990년대에 이르기까지 전쟁과 산업발달로 생산된 농약이나 산업화학물질 중 많은 내분비계 장애물질이 야생동물은 물론 인류의 멸종을 야기하고, 인류의 생존을 위협하기에 이르렀다. 그러므로 인간의 미래는 암담해질 것이란 경고가 Colborn 등 (1996)에 의해 제시되면서 사회적 관심이 고조되었다. 이런 영향으로 1998년부터 일본과 한국에서 내분비계를 교란하는 물질에 대해 환경호르몬이라는 잘못된 명칭이 사용되기 시작하였다.

그 동안 오염지역에서 이들 Endocrine Disrupting Chemicals (EDC; 내분비계 장애물질)와 유사물질에 노출된 야생생물에 관한 발생과 생식장애가 꾸준히 발표되어, 화학물질의 발암성 규제에 치중하던 미국 환경 보호청 등을 비롯한 환경연구기관들마저 생식과 발생이상 장애로 연구의 핵심을 전환하기에 이르렀다. 그 예로서 1994년 미국 EPA 건강피해 연구팀 (Dr. Reider)은 내분비계 장애물질 문제를 지구온난화, 오존층 파괴와 함께 인류가 당면한 3대 환경문제로 보아야 할 것이라고 주장했다. 그러나 우리나라의 경우에는 일부 환경단체들과 언론기관들이 사회적 문제로 제기함으로써 일반의 관심이 폭발적으로 증대되었으나 국내의 연구는 전무한 상태이다. 내분비계 장애물질은 개체의 내분비계를 교란하여 생식과 발생의 이상을 야기할 뿐 아니라, 이들이 임신한 동물의 대물림 독물 (hand-me-down poison)로 작용하고, 정상기관의 발생과 생식이상, 생식독성을 나타낸다. 결과적으로 동물은 물론, 사람의 멸종을 초래할 수도 있다는 관점에서 우리 발생생물학 연구자들에게는 이것을 해결해야 한다는 중대한 시대적 의무가 있다고 사료되며, 또한 문제점과 그 대책을 제시하고자 한다.

## 본 론

### 1. 내분비계 장애물질연구의 국제적 동향

#### 1) 내분비계 장애물질의 정의 및 종류

내분비 호르몬은 1) 체내의 항상성 유지 (영양, 대사, 분비활동, 수분과 염의 균형유지), 2) 외부 자극에 대한 반응, 3) 성장, 발육, 생식에 대한 조절, 4) 체내 에너지 생산, 이용, 저장 등의 기능을 한다. 내분비계 장애물질 (Endocrine Disrupters, ED)이란 체내 호르몬의 생산, 분비, 이동, 대사, 결합작용 및 배설을 간섭하는 외인성 물질을 말한다. 유럽연합 (OECD)은 내분비 기능에 변화를 일으켜 생체 또는 그 자손의 건강에 위대한 영향을 나타내는 외인성 물질이라 정의했다. 미국 환경보호청 (EPA), 백악관 과학위원회, 스미스소니언 재단이 공동 주최한 workshop에서 정의한 바에 의하면 “생체의 항상성유지, 생식, 발생 혹은 행동에 관여하는 각종 생체 호르몬의 합성, 분비, 생체내 수송, 수용체와의 결합, 그 호르몬의 작용 및 분해 등 모든 과정을 방해하는 성질을 가진 외인성 물질”을 지칭한다. 내분비계 장애물질의 작용은 수용체 결합과정에서의 호르몬 모방작용 (mimics), 차단작용 (blocking), 촉발작용 (trigger), 그리고 간접영향 작용 등으로 대별된다.

내분비계 장애물질은 종류에 따라 교란시키는 호르몬의 종류 및 교란 방법이 서로 다르다. 그러나 많은 물질 중 명확하게 내분비계 장애물질로 밝혀진 것은 극히 일부뿐이며, 대부분의 물질이 잠재적 위험성이 있는 것으로 알려져 있다. 이들의 특성은 생태계내 소비자에 의해 쉽게 분해되지 않고, 안정하여, 인체 또는 생물의 지방조직에 농축되어 대물림된다. 또 그 개체가 죽더라도, 환경내에 잔류하여 지속적인 위험이 된다.

내분비계 장애물질로 추정되는 물질들은 세계야생생물보호기금 (World Wildlife Fund; WWF)에서 총 67종, 일본에서는 140여종, 미국환경관련단체들에서 총 74종으로 분류하고 있다 (표 1).

#### 2) 최근 선진 제국의 연구 동향과 대처현황

내분비계 장애물질이 야생생물과 인류의 생식, 발생, 내분비계와 신경-면역계의 이상, 정신 기능의 장애와 교란을 유발할 수 있다는 것은 확실히 되고 있다. 이에 따라 세계 각국의 정부는 그 대책 수립에 나서 정부 연구기관, 산업계, 학계, 소비자 단체, 환경보호단체들과 공동으로 대책 마련에 고심하고 있다. 선진 각국 정부는 독자적으로 혹은 서로 공조체제를 유지하면서, 내분비계 장애물질에 대한 검색방법과 시험방법의 연구 및 연구방향 설정 등에 관한 자문기구 등을 통해 빠른 시간 내에 그 물질의 범위를 확정하도록 지시하면서 많은 예산과 연구비를 투입하고 있다 (표 2). 유럽연합의 내분비계 장애물질에 대한 주 연구방향은 독성기전 연구, 사

표 1. 내분비 장애물질로 추정되는 물질의 분류

1) 일본 국립의약품식품 위생연구소 분류 (총 140여종)
① 가스제: 디에틸프탈레이트 등 9종
② 플라스틱에 존재하는 물질: 스티렌 등 17종
③ 산업장 및 환경 오염물질: TCDD 등 21종
④ 농약류: DDT 등 74종
⑤ 중금속: 카드뮴, 납, 수은 3종
⑥ 합성estrogen: 디에틸stil베스트롤 (DES) 등 8종
⑦ 식품 및 식품첨가물: BHA 등 3종
⑧ 식물에 존재하는 호르몬 유사물질: 제니스테인 등 6종
2) 세계야생생물보호기금 (WWF) 분류 (총 67종)
① 농약: 41종
② 산업용 화학물질: 17종
③ 부산물 또는 대사물: 9종으로 구분한다.
3) 미국 EPA 분류 (총 74종)
① 알려진 물질 (Known): DDT 등 19종
② 가능성이 있는 물질 (Probable): 카드뮴 등 29종
③ 의심되는 물질 (Suspect): BHA 등 26종이다.

## 표 2. 내분비계 장애물질에 대한 선진국의 연구 및 활동사항

### 1. 국제기구의 대처 현황:

- 1) National Co-ordinators of the OECD Test Guidelines Programme(TGP): '95/12~'96/12 : 내분비 장애물질의 연구, 검사와 검색방법 및 OECDEDA (OECD Endocrine Disrupters Activity)가 상호 정보를 공유하고, 활동을 조율하고, 검색기법을 마련하기로 결정.
- 2) IFCS (InterGovernmental Forum on Chemical Safety) / IOMC(InterOrganizational Programme for the Sound Management of Chemicals)가 공동 연구 추진 결정('96/12, 21개국이 참여).
- 3) Weybridge, UK ('96/12, PMTS; Proposed Model Testing Strategy)와 Veldhoven, the Netherlands ('97/04, PHIS; Proposed Hazard Identification Scheme): 내분비 장애물질의 검색기법 공유하기로 결정.
- 4) 9th Meeting of NCTGP /RAAD (Risk Assessment Advisory Body)가 EDTA (Endocrine Disrupters Testing and Assessment)의 연구진을 통합 기구화.
- 5) EDTA, EC, IPCS, WWF, 산업계 및 노동계 등 참여 ('98/03월): PMTS, PHIS, US EDSTAC (Endocrine Disrupters Screening and Testing Advisory Committee)의 방법과 전략을 검토하여 IFTEDS (Initial Framework for the Testing of Endocrine Disrupting Substance)를 결정. 1) 가능한 모든 정보로 EDC의혹 물질을 선정, 2) 선정 물질의 검색 (Screening, *in vivo* & *in vitro* assay)실시, 3) 유해성을 검토, 각 동물계 및 인간의 유해성을 심층연구하는 3단계 연구 수준을 수립.
- 6) US/ICCVAM, EU(European Union)/ECVAM: EDTA, Solna Workshop (Sweden, '96/01)의 EDC의 검색 및 유해성 평가방법을 '98 여름부터 유럽, 일본, 미국에서 동시 실시하기로 결정.

### 2. 선진 제국의 연구 및 대처 현황:

- 1) WHO EC Environment and Health, OECD 정부당국, 미국 정부, 산업계 및 학계의 전문가: 'European workshop on the impact of endocrine disruptors on human health and wildlife' 영국 개최 ('96/12).
- 2) OECD, US/UK Bilateral Meeting, WHO, IPCS/OECD, PAHO 등: 내분비계 장애물질에 대한 정의; 미국, 캐나다 및 EU가 상호 정보교환이 가능한 동일 DB를 설치; ED 피해실태 연구; WHO는 출판물을 간행하기로 합의.
- 3) SETEC / EUROPE /OECD /EC전문가그룹: 내분비계 조절과 야생동물 위해성 시험법을 주제로 회의를 개최. ('97/04).
- 4) 덴마크 (Danish EPA): "Male reproductive health and environmental chemicals with estrogenic effects". 1995.
- 5) 영국:
  - a) Medical Research Council's (MRC) Institute for Environment and Health (IEH): '환경에스트로겐의 평가: 인간의 건강과 야생동물에 대한 영향' 평가서 발간, 1995.
  - b) 환경부, 보건부, 농림·수산·식품부, 보건·안전성 행정부 (Health and Safety Executive), 환경청, MRC, 화학공업협회, 영국 플라스틱 연맹, ECET, 자연보호 단체들: 환경에스트로겐에 대한 원탁회의를 개최하고 권고안을 제정, 1996.
- 6) 독일 EPA : 연방정부, 대학, 연구소, 산업 및 환경단체연구소 과학자회의: '환경에서의 내분비계 작용 화학물질' 보고서 작성.
- 7) 이태리: 교육부, 대학·과학연구부 및 시실리안지역 정부와 세계야생동물 보호기금: '내분비계 장애물질: 신경계, 내분비계 그리고 행동에 미치는 영향' 'International School of Ethiology, 11th Workshop'을 개최. 1996
- 8) 미국:
  - a) 미국의회: Food Quarlity Protection Act; Safety Drinking Water Act. 법안을 통과. USEPA (US Environmental Protection Agency)에 ED의 검색 및 시험 프로그램을 2년 내에 개발 지시 ('98/08-2000/08), 연구 참여 정부기관; EPA, NTP, NIEHS, CDC, NCEH.
  - b) EPA 자문기구: EDSTAC(내분비계 장애물질 검색 및 시험자문위원회) 구성, 사람 및 환경 생태계에 대한 영향, 에스트로젠, 안드로젠, 갑상선호르몬효과 검사, 화학물질 및 호르몬의 내분비장애 가능성 평가에 대한 사항을 자문하기로 함.
- 9) 일본:
  - a) 일본환경청 (JEPA); 과학기술청, 후생성, 통상성, 기업연구소, 대학 연구소 등과 공동: '98년부터 종합연구를 시작: 생물에 미치는 영향에 대한 검색법 및 시험법을 개발; 위험물질의 확산을 규제할 과학적인 근거자료를 마련할 방침;
  - b) EEDCTF(Exogeneous Endocrine Disrupting Chemical Task Force, '97/03)를 구성. 환경영향 평가를 위한 연구지원, OECD/EDTA와 공동 연구

람을 대체할 수 있는 실험동물 모델 개발, 생체 내에서 호르몬 생합성과 대사를 예견할 수 있는 *in vitro* 시험법 개발 및 모니터링을 정책으로 잡고 있다. 미국 EPA의 경우 내분비계 장애물질 검색 및 시험자문위원회 (Endocrine Disrupter Screening and Testing Advisory Committee; EDSTAC)를 만들어 화학물질 및 농약에 대한 검색 및 시험법을 98년 8월 까지 마련하도록 지원하고 있다. 즉 이들은 제1단계의 EDC의 검색과 시험법에 중심을 두고 있다. 이 이유 중 하나는 이

미 선진국의 학계에 많은 정보가 축적되어 있고, 검색기술 또한 축적되어 있기 때문이다. 그러나 국내의 사정은 기반이 전무한 상태라 해도 과언이 아니다.

국제기구로는 OECD, US/UK Bilateral Meeting, WHO, IPCS/OECD, 국제 연합미주보건기구 (PAHO) 등이 1997~1998년 사이에 활동을 시작하였다. 이들은 1) 내분비계 장애물질에 대한 정의를 확립하고, 2) 상호 정보교환이 가능한 동일 DB를 설치하고, 3) 내분비계 장애물질에 대한 피해실태

표 3. 국제적으로 통용되는 내분비계 장애물질 검색 및 시험시험법

- A. 미국 내분비계 장애물질 검색 및 시험 자문위원회 (EDSTAC)가 제안
1. 1단계 검색법 (Tier 1 Screening, T1S)
 

잠재적인 호르몬 기능을 가진 것과 호르몬 기능이 없는 물질을 구별할 목적

    - 1) *In vitro* 검색법:
      - ① 에스트로젠 수용체 결합시험 및 리포터 유전자 시험, ② 안드로젠 수용체 결합시험 및 리포터 유전자 시험,
      - ③ 잘게 썬 정소에서 스테로이드호르몬 생성 시험, \* 대체 시험법; 자궁 아로마타아제 (Aromatase) 시험
    - 2) *In vivo* 검색법
      - ① 설치류 3일 동안 자궁증식 시험 (피하 투여), ② 암컷 설치류 20일 성성숙 및 감상선 시험,
      - ③ 설치류 5일에서 7일 Hershberger 시험, ④ 개구리 변태 시험, ⑤ 물고기 정소 recrudescence 시험.
      - \* 대체 시험법; ① 변형된 설치류 3일 자궁증식 시험 (복강내 투여); ② 설치류 14일 감상선을 포함한 완전히 성숙한 수컷 시험; ③ 설치류 20일 감상선/성성숙 수컷 시험
  2. 2단계 시험법 (Tier 2 Test, T2T)
 

사람이나 야생생물에서의 EAT 호르몬에 대한 장애와 용량의존성 등을 특정짓기 위한 것

    - 1) 비포유동물을 이용한 시험법:
      - ① 조류를 이용한 생식시험, ② 어류 생활주기 시험법, ③ Mysid 생활주기 시험법, ④ 양서류 발달과 생식 시험법
    - 2) 포유동물을 이용한 시험법:
      - ① 2세대 생식독성시험 (다세대 독성시험), ② 대체 생식독성 시험, ③ 1세대 독성 시험 (최기 형성 시험)
- B. OECD가 제안한 내분비 장애물질 검색 및 시험법
1. 포유류관련 *in vivo* 실험:
    - 1) 비특이적 시험법: ① 설치류 최기형성 시험, ② 설치류 임신지속 시험, ③ 토끼 착상 시험, ④ 설치류 질 시험, ⑤ 설치류 행동변화 시험
    - 2) 에스트로젠 관련 시험: ① 난할영장류 시험, ② 설치류 자궁 시험, ③ 설치류 자궁내막증식 시험, ④ 설치류 질 시험, ⑤ 설치류 유선 시험, ⑥ NeoDES 마우스 모델, ⑦ 설치류 행동변화 시험
    - 3) 안드로젠 관련 시험: ① 설치류 약하선 감수성 시험, ② 랫드 전립선 모델, ③ 마우스 저정낭, ④ 개 전립선 초음파 그래프 모델
  2. 포유류 관련 *in vitro* 실험:
    - 1) 비특이적 시험법: ① 사람 세포계의 검색 (T-47D or ZR-75-1 사람 유선암세포계), ② 동물 조직 초대 세포 검색 (소 자궁 세포, 원숭이 난소 모델, 설치류 정소 모델)
    - 2) 에스트로젠 관련 시험: ① 사람초대세포 검색, ② 사람 세포계 검색 (MCF-7 세포계; Shigawa 세포계; MDA-MB-231 CL10A 암세포계; T-47D 세포계; HeLa 세포계), ③ 동물조직 초대세포 검색 (랫드 자궁세포 배양; 랫드 뇌하수체 세포 배양), ④ 동물세포계 검색 (형질도입 조류 배설유아세포; 형질전환 마우스 세포), ⑤ 효모 검색
    - 3) 안드로젠 관련 시험: ① 사람세포계 (Sao-2, U2-OS 사람 골아세포계), ② 동물조직 초대세포 검색 (마우스 배자 시상하부 세포 배양), ③ 동물 세포계 검색 (형질도입 PC-12 신경세포; 곤충세포계), ④ 효모 검색
    - 4) Cell free 시험법 (에스트로젠, 안드로젠 활성): ① 수용체 결합시험, ② 미소관 중합, ③ 에스트로젠-2-수산화 효소 활성, ④ EIA 및 에스트로젠 측정, ⑤ 폭로된 사람의 지표의 개발
  3. 야생생물관련:
    - ① 동물의 발생, 생식시험, ② 성전환 시험, ③ *In vivo* vitellogenin 유도 시험, ④ 추가 호르몬 독성 지표, ⑤ 부척추 동물 시험, ⑦ 패류의 입포색스

표 4. 한국내 내분비장애물질 연구의 동향과 대책

1. 환경관련 단체 및 매스컴 (1998, 5) : 환경호르몬의 위험성 문제제기
2. 환경청 (1998, 5) : 내분비계 장애물질의 대책회의 개최; “대책협의회 (대책협)”와 “전문연구협의회 (전문협)” 구성. Endocrine Disrupter를 “내분비계 장애물질”로 명칭 (환경부의 공식 명칭)
3. 환경연구원 (1998, 6):
 

내분비계 장애물질 사용 실태 조사 및 추진계획 ('98년 계획 및 '99~2008년 중·장기 계획 (안) 발표): 1) 국내 실태조사, 2) 검색기법 연구, 3) 독성 연구, 4) 위해성 평가, 5) 저감기술 개발, 6) 국제협력 등. 세부 계획안은 전문협을 통해 10월까지 확정하기로 하고, 정부의 공식적 연구 계획은 전문협과 대책협이 자문하기로 협약.
4. 식품의약품안전청 (1998, 7):
 

“내분비계 장애물질에 대한 연구계획과 대처방안” 정부간행물 발표. 식약청내 내분비계 장애물질 연구협의회 (모니터링, 독성평가, 위해도평가 실무협의회, 실무연구반, 국제협력 등 실무체계)를 구성, 각 부처의 대책 수립중
5. 환경호르몬 연구회 발족 (1998, 10)
 

“21세기를 향한 환경호르몬의 연구방향과 대책”으로 국제심포지움개최 환경부, 식품의약품안전청 (식약청)후원

와 연구상황, 4) 출판물 간행을 시작하였다. 또한 생물에 미치는 영향에 대한 검색법 및 시험법을 개발 중에 있다. 또한 위험물질이 환경에 확산되지 않도록 규제할 수 있는 과학적인 근거자료를 마련할 준비를 하고 있다. 유럽연합 (EU)은 1) 포유류를 이용한 시험지침, 2) 발생과정 중 신경독성의 관찰, 3) 비 포유류를 이용한 시험에서는 척추동물 (조류, 양서류, 어류) 및 무척추동물을 이용하는 지침으로서 양서류의 만성 시험지침, 어류시험의 중요성 검토, 어류의 아급성 시험지침, 무척추동물 시험법 등을 구축하는 중이며, 4) 포유류를 이용한 물질의 시험법 검토, 5) 검색을 위한 적절한 시험법의 구축 (*In vitro* 비 포유류계 시험법; *In vitro* 포유류계 시험법), 6) 평가를 위한 화학물질의 선정 등을 연구하기 시작하였다 (표 3).

3) 국내에서의 내분비계 장애물질의 연구와 대책

환경부에서는 1998년 5월 29일 내분비계 장애물질 대책회의를 개최하고 '대책협의회'와 '전문연구협의회'를 구성하였다. 국립환경연구원 전문연구협의회 회의에서 endocrine disrupter에 대한 한국에서의 용어는 '내분비계 장애물질'로 정립하기로 결정하였으며, 1998년 6월 5일 내분비계 장애물질의 사용실태조사 및 추진계획 (98년 계획 및 '99~2008년 중·장기 계획)을 발표하였다 (표 4).

국내의 사용 및 규제실태는 세계야생생물보호기금 (WWF)에서 선정한 67종을 근거로 조사한 결과, 국내 사용실적이 없는 물질 (16종), 국내 제조·수입 사례가 있는 물질

51종 중 현재 규제되고 있는 물질 42종, 현재 규제되고 있지 않은 물질 9종로 구분하였다(표 5).

2. 내분비계 장애물질의 생산과 유통 현황(부록 참조)

1938년 영국의 찰스 도드 등에 의해 합성된 Diethylstilbestrol (DES)는 "놀라운 약"으로 알려져 약 500만 명의 임신부에게 투여되었다. DES는 유산방지, 출산 후 모유 생산 억제, 월경기의 홍조, 여드름, 전립선암, 어린이의 임질, 키 큰 10대 소녀 등 성장억제, 경구피임약, 가축의 비육용 등으로 사용되면서, 모든 임신부에게 사용하도록 널리 권장되었다. DES는 만병통치약처럼 사용되었고, 수컷 동물의 정소 발생을 저해하고, 암복정소를 만들고, 부정소낭종을 유발시키고, 생식기의 발생을 저해함은 물론 암컷 생식기를 가진 생식이상을 초래하였다 (Burlington & Lindeman, 1950). Thalidomide가 선진 46개국에서 8000여명의 임신부들의 진정제와 오심치료제로 사용되어, 1962년에 기형, 무지증 (Phocomelia), 심장과 장기 기형, 뇌 손상, 귀머거리, 시각장애, 자폐증, 간질 유발 등의 비극적 사건이 알려지게 되었다. 1970년대부터 DES와 그 유사물질들이 estrogen 수용체를 경유하여 인간의 내분비계를 교란시켜, 생식기에 장애를 유발하고, 암은 물론 생식이상, 기형유발 등 태아의 발생에 미치는 영향이 알려지게 되었다. 또한 DDT는 1938년에 윌러에 의해 합성되어 "기적적인 약"으로 알려지고, 모기를 박멸시켜 말라리아로부터 인류를 구제한 공로로 1948년 노벨상을 수상하였다. 1946년 상품화된 DDT는 1947~1949년 당

표 5. 한국내 내분비장애물질 생산 및 규제 현황

A. 현재 규제되지 않은 물질(9종)		
내분비 장애물질	생산(톤/년)	용도
Penta-nonylphenol	5,013	공업용 세제
Bisphenol A	61,287	폴리카보네이트 수지등*
DEHP (Diethylhexyl phthalate)♣	92,987	PVC, 아크릴 수지
BBP (Butylbenzyl phthalate) ♣	1,842	도료, 인조피혁 등
DBP (Dibutyl phthalate)♣	4,495	래커칠, 접착제, 피혁, 잉크 등
DCHP (Dicyclohexyl phthalate)♣	1	셀로판, 래커칠, 접착제
Styrene dimer, trimer	18,879	플라스틱 원료
Diethylhexyladif♣	1,372	연화제, 플라스틱 가소제

환경부의 1996년 화학물질 유통 실태조사 결과임. ♣: 플라스틱가소제임.

B. 현재 규제중인 물질 (42종)

규제중인 물질	농약 (32종); 산업용 화학물질 (3종); 부산물 또는 대사물 (7종)
규제 내용	금지 (15종); 취급제한 (4종), 기타 유독물질 및 농약관리 물질 (16종)

WWF 선정목록(64종)을 기준으로 식약청 조사한 결과: 1. 국내 사용실적이 없는 물질 (16종), 국내 제조, 수입사례가 있는 물질 (51종)으로 구분됨. 2. 현재 규제되고 있는 물질 (42종); 현재 규제되지 않는 물질 (9종)임. 규제근거법은 유해물질 관리법, 농약관리법, 산업안전보건법 등에 의한 것임.

시 39억 달러가 투입되어 시판되고 농장, 가정, 정원, 도시 가로수 등에 뿌려졌다. 심지어는 한국 전쟁 후 인체에까지 사용되는 등, 30여년간 사용되었다. 그러나 DDT는 사람과 동물에 흡수되어 estrogen 수용체와 결합하므로 내분비계 장애를 유발하고, 암을 유발하는 것으로 알려졌다. 한편 DDT의 분해산물인 DDE는 androgen 차단 물질로 작용하여 야생 동물, 즉 대머리독수리 등의 멸종, 생식 및 발생의 이상을 유발한다는 사실이 1970년대부터 알려지고 있다.

세계 2차 대전 이후 인류의 일상생활은 “화학의 시대”가 되어 1940년부터 1982년 사이 합성 화학물질의 생산은 350 배로 폭발적으로 증가하고, 미국의 유기합성 화학물질의 생산은 1992년 4,350억 파운드, 즉 한 사람 당 1,600 파운드, 전 세계의 생산량은 약 4배인, 6,400 파운드 정도로 추산되고 있다 (Tolba & El-Kholy, 1992). 1995년에는 10만여 종의 합성 화학물질이 시장에 유통되고 있다. 그리고 살충제는 1989년 50억 파운드, 1600여종이 환경에 살포되고 있다. 1991년에도 미국은 자국내에서 금지되거나 유예된 460만 파운드의 살충제 (DDT는 96톤)를 수출하였고, 이들 중 EDC 물질이 400만 파운드 정도 포함되어 있었다. 매년 생산되는 잠재적 유해 합성화학물질의 양은 수천 종에 수십 억 파운드에 해당하고, 살충제만 50억 파운드가 사용되고 있다. 또 estrogen 특성을 나타내는 *p*-nonyl phenol은 플라스틱을 안정화시켜, 깨지지 않게 하고 산화방지제로 이용되어 polystyrene, PVC 등의 합성에 이용하고 있다. 그리고 동족의 alkylphenol, polyethoxy alkylphenol 등은 세척제, 살충제, 위생용품, 식품 포장재 등에서 1990년만 4억5천만 파운드가 사용되었고, 세계적으로는 6억 파운드가 소모된 것으로 추정된다 (Shiu et al., 1994). 여기에 가소제, 플라스틱류, 산업장 및 환경오염 물질, 증금속, 합성 호르몬 및 피임제제, 식품 첨가물, 식물의 유사호르몬 등 내분비계 장애물질의 사용량만 해도 그 양을 측정하기 어려운 실정이다.

1996년 현재 한국 내에는 penta-nonylphenol류 (공업용세제; 5,013 톤/년), 플라스틱 가소제인 bisphenol-A (61,287 톤/년), DEHP (92,987 톤/년), BBP (1,842 톤/년), DBP (4,495 톤/년), DCHP (1 톤/년), Styrene di-or trimer (18,879 톤/년), diethylhexyladif (1,372 톤/년) 등이 생산되고 있다 (표 5). 또한 선진 제국이 이미 규제하거나 하려는 물질의 생산이 국내를 비롯한 아시아 개발도상국들에서 다량 생산되고 있다는 점을 간과해서는 안된다는 지적이 대두되고 있다. 그러므로 이들 중 어느 것이 내분비 장애물질인가를 가려내는 검색법 및 시험법은 하루 빨리 국내에 정립되고, 확립하여 국가적 대처방안을 마련해야 한다고 판단된다. 위의 내용으로 보아

국내 내분비계 장애물질의 연구는 무엇보다 우선되어야 한다고 사료된다.

CFC는 오존층을 파괴하여 (Rowland & Molina 1974; Cagin & Dray 1993) 인간에게 막대한 피해를 준다고 잘 알려져 왔다. 한편, 환경호르몬이라 잘못 알려진 이 물질들은 야생동물은 물론 인류의 미래를 빼앗고, 멸종시킬 수 있기에 공포의 대상으로 부각되었다. 그러므로 내분비계 교란물질의 연구는 범국가적인 과제임과 동시에 세계적 필연의 해결 과제가 되었다. 현재 통계 추정치에 따르면 EDC의 하나로 염소 합성화학물질과 그 제품이 전세계 GNP의 45%를 차지하였고, 이들은 내분비계를 교란하는 장애물질들로 판정되어 생물계의 종말을 유도할 것으로 예견된다. 지난 50년간은 인류의 장래를 완전히 빼앗을 만큼 다량으로, 그리고 또한 세계적으로 환경호르몬을 생산한 시대였다고 해도 과언이 아니다. 환경호르몬의 장해에서 벗어나는 길을 찾기 위해서는 다시 50년, 아니면 그 이상의 기간이 걸릴 것이다. 인간이 EDC의 규모를 줄여나가는 것이 생존해결의 첫 단계가 되어야 하며, 매년 도입되는 수천 종의 새로운 합성 화학물질들을 규제해야 한다. 또 가능한 한 살충제의 사용을 규제해야 하며 이러한 상황은 국가적 경쟁과 생활이 걸려 있다고 해도 과언이 아니다. 어떤 EDC가 생물학적으로 활성이 되고, 방출되어 생물의 생태계를 파괴하고 생물의 생식과 발생을 저해할 것인가를 연구해 내야 하는 것이 한국 발생생물학회의 과제라고 생각한다. 또한 지속적으로 역량을 모아 국가적 대처 방안을 도출하고, 그 피해상황을 연구하고 평가해야 한다고 사료된다.

이러한 관점에서 EDC가 야생생물에 미친 영향, 즉 생식과 발생의 이상, 면역계의 기능저하, 행동양식의 변화, 성전환 등의 영향을 개관하고자 한다.

### 3. 무척추 동물에 미치는 영향

물벼룩은 작은 식물에 붙은 PCB를 섭취한다. 성장할수록 체지방에는 PCB가 더 많이 쌓이게 되고, 분해되지 않은 상태로 물벼룩의 지방에 붙어 영구히 잔존한다. 생존기간이 10일 정도인 물벼룩의 PCB 농도는 물 농도의 400배까지 상승한다.

작은 새우가 물벼룩을 먹으면, PCB 등 잔류 화학물질도 함께 섭취하게 된다. 작은 새우는 일생 동안 수백 마리의 물벼룩을 먹게 되며, 잔류 화학물질의 축적은 더욱 가중된다 (Hooper et al., 1990). 바다새우는 성장도중 우선 수컷이 되나 성장하면 암컷으로 성전환이 일어나는데, EDC는 이 성전환을 저해한다. 암컷의 몸이 적은 무당새우도 암수 한 몸이나 EDC에 의해 여성성숙을 한다.

새우는 다시 빙어의 먹이가 된다. 빙어가 새우와 다른 갑각류들을 섭취함에 따라 잔류 화학물질의 농도는 17배 이상 늘어난다. PCB-153이 들어있는 빙어는 미시간 호를 2년 동안 헤엄쳐 다니다가 송어에게 먹힌다고 알려졌다 (Jobling & Sumpter, 1993).

조류와 패류에서 TPT (Triphenyltin), TBT (Tributyltin)에 의한 환경오염이 알려졌다. TPT는 TBT와 같이 독성이 강한 유기주석화합물의 하나로서, 어망이나 배 밑에 달라붙는 해조류나 조개를 죽이는 효과가 인정되어 방오제로 널리 사용되고 있다. 1988년 일본의 TPT생산량은 연간 860톤이었고, 이 중에 60%가 배 밑 도료로 쓰였고, 나머지의 대부분은 어망의 방오제로 쓰였다. TPT는 바다속의 직접적인 오염도는 낮지만, 한국과 일본에서 해조류, 조개류, 물고기에 대한 오염도는 심각하다고 보고되고 있다. 이들은 소라, 고둥 등의 임포섹스를 일으켜 불임을 야기한다 (Nakahara & Hutaki, 1998). 또 DDT에 의해 생식장애가 생긴다. 즉 난각의 석회화를 억제하여 알이 부화되지 않고, 다공성화 된다. 일본 북해도조개는 수컷이 몸집이 큰 암컷에 붙어서 사는데 수컷을 제거하면 암컷이 웅성화 된다.

1980년에, 프랑스의 굴양식장에서 EDC로 인해 기형의 굴이 발생하였다. 유기주석의 사용이 금지된 후, 바다물 속의 농도는 낮아졌으나, 계속된 TBT의 사용으로 1980년대 후반에는 지구차원의 TBT오염이 급속화되었다. TBT는 바다 밑 바닥에 있는 빨을 오염시켜, 굴 등 야생동물의 사멸이나 기형을 유발시키고 있다 (Colborn et al., 1996; Nakahara & Hutaki, 1998).

한국과 일본에서 TBT는 각종 고동에도 영향을 미치고 있다. 오염된 고동은 단순한 기형이 아닌, 수컷의 페니스가 암컷에서 생기는 생식기의 이상, 즉 임포섹스를 갖는다는 사실을 발견되었다. 바다물 12g중 10pg 이하의 아주 낮은 농도에서도 임포섹스가 발생한다. 빨판고동과 두드럭고동의 임포섹스가 몇 단계로 분류되는데, 체내의 TBT와 TPT의 함유량에 비례한다고 보고되고 있다 (Nakahara & Hutaki, 1998). 빨판 고동에 TBT와 TPT를 주사하면, 빨판 고동의 페니스는 매우 길어져서, 임포섹스 원인이 된다는 것이 밝혀졌다. 일본에서는 21개 중에서 92.6%가 생식이상을 일으킨다는 사실이 보고되었다 (M. Masato, 제 1회 한국 환경호르몬 연구회 심포지움 발표, 1998년 10월).

갑각류는 플랑크톤을 섭취한다. PCB, DDT, dioxin 등이 해변의 얕은 곳에 농축되고, 오염된 연어, 송어 등이 바다에서 성장 후 태어난 강으로 회귀하여 죽기 때문에, 오염은 확산된다. 이들이 가재 등의 먹이사슬로 옮겨지고, 갑각류는 뱀장어

의 먹이가 되는 것으로 알려지고 있다. 오염된 뱀장어는 강물과 호수에서 일생을 보낸 후 알을 낳기 위해 서인도 제도 (West Indies)와 아조레스제도 (the Azores) 사이에서 산란하고 죽으므로 원거리의 오염 확산을 일으킨다. 이들은 다시 검은 비룩의 먹이로 재순환된다 (Iwata et al., 1993; Wania & MacKay, 1993). 즉, 갑각류 역시 오염원인 것이다.

#### 4. 척추동물에 미치는 영향

##### 1) 어류에 미치는 피해 영향

1950년대 전반까지 북미의 5대호 중 하나인 온테리오호 (Ontario L.)에서 송어가 멸종하였다. 물고기의 알은 dioxin이나 PCB 같은 화학물질에 대해 감수성이 매우 높아서, 40ng의 dioxin을 투여해도 물고기 알은 부화하지 않는다. 5대호에 서식하는 연어에서 생식과 발생의 이상뿐만 아니라, 비정상적인 갑상선 비대현상과 갑상선호르몬 활동의 이상이 보고되었다. 또한 발트해의 연안에서 물고기의 정소가 왜소해졌다는 보고가 있었다 (Leatherland, 1992; Bengtsson et al., 1994).

##### (1) 방어

1986년 일본의 양어장에서 변형방어가 발생하였고, 원인은 TBT이었다. TBT가 고농도로 축적되면 방어의 성장이 저해되고, 백혈구나 림프구가 감소하는 만성독성이 일어난다는 것으로 밝혀져 있다 (Nakahara & Hutaki, 1998). 그러나 현재 발암성이나 최기성에 대한 결정적인 평가는 내려져 있지 않다.

##### (2) 송사리, 잉어

TBT가 일본의 안전허용량 (1pg) 수준에서조차도 송사리 치어에는 여러 가지 장애가 발생한다고 밝혀졌다. 또 송사리 치어에 변형이 생기는 TBT의 최소농도는 1.65 ng라는 것이 판명되었다 (Nakahara & Hutaki, 1998). 일본에서 '96~97년 간 쓰미따 강과 타마강의 잉어중 수컷이 감소하여 성비 이상이 보고되었다. 이는 극미량 (수십~수백 pg)의 Alkylphenol, 즉 합성세제, 비이온성 계면활성제 등의 분해산물 때문인 것이 알려졌다. 이들은 수컷의 정소발생을 저해하고, 암컷에서 생기는 난황단백질을 수컷에서도 합성시키는 것으로 알려져 있다.

##### (3) 농어

전세계 바다로 확산되는 TBT (잠정기준; 1.6 µg/kg B.W.

/daily)는 도쿄만의 농어에 최고 0.25 ppm, 오사카만의 농어에는 최고 0.39 ppm이라는 높은 농도로 오염시켰다. 사람이 오사카만의 농어를 90 g 섭취하면 일단 허용량의 범위내에 속하지만, 200 g을 먹게 되면 간단히 허용량을 초과해 버린다. TBT는 농축되기 쉬운 화학물질이기 때문에, 어패류의 체내에서도 수계보다 만 배로 농축된다는 것이 밝혀져 있다 (Nakahara & Hutaki, 1998).

#### (4) 송어

갈색독종개 (메기의 일종)와 물고기 등은 PAH오염으로 수염이 구부러지고, 피부가 비늘이 없이 진물이 흐르는 병에 걸린 것이 발견되고 있다. 또 dioxin과 유사물질이 깊은 호수의 침전물위에 사는 독종개를 오염시키고, 이들을 먹고 사는 송어가 멸종되었다는 사실이 보고되었다 (Colborn et al., 1990). 그리고 빙어를 먹고 사는 연못 송어는 PCB-153으로 오염되었으며, 이들을 사람이 먹고 있다고 알려지고 있다. 또한 송어의 PCB가 독수리의 오염원이라고 보고하였다 (Colborn et al., 1996; Nakahara & Hutaki, 1998).

대서양에서 발견되는 물고기들이 성구분이 모호하여 간성(intersex)의 특징을 나타낸다고 보고되었다 (Jobling & Sumpter, 1993; Krishnan et al., 1993; Jobling et al., 1995). 암컷은 난소의 estrogen에 따라, 간에서 난황단백질 (vitellogenin)을 만들어, 혈류를 타고 난소로 옮겨가 알속으로 들어간다. 오염된 수컷들은 간에서 vitellogenin을 생산하므로, 이 반응은 estrogen성 EDC의 오염을 모니터링할 좋은 생물 지표가 될 수 있다. 즉 Sumter 등 (1995)은 양식한 무지개 송어를 런던 북부 50마일 거리에 있는 리강의 하수처리장에서 흘러나오는 물 속에 담가둔 지 일주일만 지나자 혈액에서 vitellogenin이 상승하는 것을 밝혀냈다. 이들은 처리한 송어가 깨끗한 물에서 잡힌 송어들에 비해 5백 배나 더 많은 vitellogenin을 생산하고, 3주 뒤에는 약 천 배까지 상승한다고 보고하였다 (Purdom et al., 1994; Jobling et al., 1995; Colborn et al., 1996).

#### (5) 연어

오대호의 모든 연어들은 갑상선호르몬 분비가 교란되어 갑상선비대증을 앓고 있다. 이곳의 연어는 청정해역의 태평양지역 연어보다 낮은 갑상선호르몬을 함유하고 있다. 이 오염된 연어를 먹고 사는 재갈매기도 갑상선 비대증을 가지고 있는 것으로 보아 요오드의 부족이 아닌 오염의 원인 때문이라는 것이 확실하다. 수컷은 생식기능이 저하되고, 혈액내 성호르몬의 농도가 저하되고, 이차 성징이 발달되지 않았다. 에릭호

의 연어는 턱이 무거울 정도로 튀어나오고, 수컷의 상징인 옆구리의 붉은 반점을 보여 이차 성징이 소실되고, 성적 조숙현상이 나타난다 (Leatherland, 1992). 1980년대 오대호의 호수 송어를 먹은 임산부의 아이들이 체중이 작고, 머리둘레도 작았으며, 신경학적 손상 즉 반사신경의 저하, 신생아 비대칭적 운동의 손상 등 징후를 나타냈다. 그리고 7개월 이후의 인지능력에 장애를 나타내었고, 4살 때에는 언어와 기억능력이 정상아보다 뒤진다는 충격적인 보고가 발표되었다 (Jacobson et al., 1984; Daly, 1991, 1992). 또 온타리오의 연어 등 물고기를 사료로 먹인 흰쥐에서는 행동성이 감소하였고, 자극적 사건에 대한 과잉-반응성 (Hyper-active reaction)이 나타나는 것이 알려지고 있다 (Daly, 1993). 암컷 연어의 치어에 남성 호르몬을 투여하면, 성장하면서 정소를 가진 수컷연어가 된다. 수컷연어에서도 여성호르몬에 의해 성전환이 일어남으로 연어의 성전환은 내분비 교란물질에 의해 일어난다고 보고되고 있다 (Nakahara & Hutaki, 1998).

### 2) 양서·파충류에 미치는 피해 영향

#### (1) 개구리

세계 각 지역에서 현저하게 개구리의 수가 감소하는 것이 발견되고 있다. 이런 현상은 개발사업의 영향도 있으나, 주로 EDC의 영향이라고 보고되고 있다 (Stebbin & Cohen, 1995). 전 세계적인 이 현상은 바람에 날리는 특성을 가진 오염성 EDC가 1970년대부터 1980년대 초반까지 급격하게 번져, 개구리를 고지대에서 저지대까지, 모든 지역에서 감소시켰다고 알려지고 있다. 오존층 파괴 때문이라는 보고도 있었으나, 열대 우림지역의 황금두꺼비의 멸종현상으로 보아, 잔류성 EDC가 증발하여 산성비로 내려진 때문이라는 가설이 가장 합리적이다. 몇몇의 종에서는 면역계통이 약화된 “붉은 다리병”을 유발시킨 것으로 알려져, 이를 개구리의 AIDS병이라 한다. 한편 개구리 등 양서류는 피부호흡을 하므로 EDC의 흡수가 빠르고, 갑상선호르몬의 작용으로 변태하기 때문에 EDC의 영향을 최대로 입는 동물 (Stebbin & Cohen, 1995)로 생물학적 지표종으로 개발할 가능성이 있다.

#### (2) 붉은귀 거북

미국 플로리다 내 아포프카 (Apopka) 호수의 붉은귀 거북은, 수컷이 되어야 할 생식기가 발달과정에서 호르몬작용 교란으로 인해 간성인 들연변이 개체가 된다 (Bern, 1992; Crew et al., 1994). 인공 estrogen이나 PCB 같은 EDC물질을 인위적으로 투여하면 알에서 간성인 거북이가 태어나는 것



으로 보아 Apopka 호수에서 수컷이 사라져 버린 것은 EDC에 의한 생식이상현상 때문임이 밝혀졌다. 거북, 쥐, 사람 등에서는 공통의 estrogen 수용체가 발견되고 있다. 즉 2억년 전부터 각 동물에서 공통의 생식과 발생의 기본 기작이 존재하였으므로 EDC의 영향을 받는다 (Blaustein et al., 1994).

### (3) 악어 (Alligator)

도마뱀의 경우 태어난 새끼의 성별은 태어났을 때의 수온에 의해 정해진다. 수온이 저온이나 고온일 때는 암컷, 중간온도에서는 수컷으로 성전환한다. 이러한 성의 전환이상이 EDC에 의해 일어날 수 있다 (Crew et al., 1994). 1980년대 아포프카 (Apopka) 호에는 많은 수의 대형악어 (alligator)가 살고 있었는데, 알의 부화율이 18%에 그쳤으며, 그나마 부화된 새끼 악어 중 절반 가량이 열흘 이내에 죽어갔다 (Woodward et al., 1993). 1980년에 살충제 Dicofol이 유출된 직후 90% 이상의 대형악어들이 사라져 갔다. 또한, 92%의 알이 부화되지 않았다. 암컷이 낳은 알이 거의 전멸해 버렸다. Guillette 등 (1994, 1995)은 악어가 정상에 비해 두 세배 작은 위축된 페니스가 생기는 이상이 있다는 것을 보고하였다. DDE, dieldrin, chloranes, dicofol에 의해 호르몬 작용기작이 교란되어 혈액중 수컷의 호르몬이 암컷과 거의 같은 상태를 발견하게 되었다. 이 악어들 (DDE 농도, 4~5  $\mu\text{g}$  함유)은 estrogen의 농도가 높고, testosterone의 농도는 보통 수컷의 1/4밖에 안 되었다. 또한 암컷의 경우에는 estrogen 농도가 너무 높았다 (Guillette et al., 1994).

### 3) 조류에 미치는 피해영향

붉은 꼬리매, 황조롱이, 물수리, 종달새 등에서도 사람의 언청이와 비슷한 어긋난 부리를 가진 것, 눈이 하나인 개체 등이 발견되었다 (Colborn et al., 1996). 또 이중벵 가마우지는 만곡족, 외눈, 척추만곡, 겹친 부리를 가진 것이 발견되었다. 이들에서의 DDE 농도는 4~5  $\mu\text{g}$ 인 것으로 밝혀졌다. 고농도의 EDC로 오염된 새들은 둥지를 지키지 않고, 알을 없애거나 동성애를 하는 것이 발견되었다 (Giesy et al., 1994). 즉 조류도 EDC의 영향을 받고 있다고 알려지고 있다.

#### (1) 닭

EDC에 의한 세균에 의한 감염으로 난소가 퇴화하고, 그 대신 기능하지 않는 오른쪽 생식선이 발달해 정소가 되어 수컷이 된다고 보고되었다 (Nakahara & Hutaki, 1998).

#### (2) 대머리독수리

브롤리 (Broley)는 1939~1950년대까지, 플로리다 반도의 서해안을 따라 대머리독수리의 새끼들 수가 급격히 감소했고, 암수 독수리들의 이상한 행동을 관찰하였다. 즉 독수리의 2/3가 짝짓기에 무관심하고, 어떤 구애의 몸짓도 하지 않는 것을 발견했다. 또 1950년대 중반에 대머리독수리의 80%가 불임이 되었음을 확인하게 되었다 (Broley, 1958; Colborn et al., 1996). 이 독수리들은 물고기와 갈매기 등을 잡아먹는데, 주로 새를 포식하는 종에서 눈이 없거나, 다리가 구부러지고, 부리가 어긋나는 선천성 기형과 건강한 새끼를 공격하여 말라죽는 증상이 나타났다 (Gilbertson et al., 1991; Bowerman et al., 1994). 원인이 규명되지 않은 채, 1970년대에 이르러, DDT를 규제한 후 대머리독수리와 새들을 멸종시킨 닭고기와 쉽게 깨지는 알의 개수가 줄어들었다.

#### (3) 갈매기

1970년대 온타리오호에는 상당히 많은 숫자의 바다갈매기 집단이 서식하고 있었으나, 산란기에 부화되지 않은 알과 버려진 등지, 죽은 새끼들이 관찰되었다. 약 80%의 새끼들이 부화도 되기 전에 죽은 것으로 추정되었다. 그리고 죽은 새끼들에게서 솜털 대신에 성체의 깃털이 달리거나, 발이 오그라들거나, 눈이 없거나, 부리가 뒤틀린 기형이 발견되었다. 또는 피부가 주름지고 바짝 말라 있었는데, 난황 주머니가 그대로 매달려 있었다. 이것이 닭부종 때문이라고 가정되었으나, dioxin에 노출시킨 병아리들에게서 동일한 증상과 기형이 나타남으로 EDC의 영향이라 결론지어 졌다 (Fox et al., 1976; Hunt & Hunt, 1977; Fry & Toone, 1981; Conover et al., 1984; Gilbert et al., 1991).

1972년 헌트 (G. Hunt)부부는 산타바바라섬의 태평양 갈매기 암컷 2마리가 한 등지에서 알을 낳은 것, 즉 암컷끼리 짝짓기 하는 갈매기를 발견하였다 (Hunt & Hunt, 1977). 그리고 오염지역의 제비갈매기들은 둥지를 버리거나, 체중이 줄어 죽어갔다. 제갈매기는 빙어를 잡아먹으므로 PCB오염이 극도로 증가되는 것이 발견되었고, 암컷끼리 짝짓기 하는 행동을 보였다. 또 산니콜라스섬에서 둥지에 비정상적으로 많은 수의 알이 있음을 목격되었다. 산타바바라섬에서는 둥지당 최소한 11%가 4개나 5개의 알을 가지고 있었으며, 보통 둥지보다 더 작은 수의 새끼가 부화한다는 것을 알게 되었다. 이 같은 현상은 그후 20년 동안 오대호의 재갈매기, 퓨젯사운드 지역의 글라우코스 갈매기, 매사추세츠 해안의 멸종해가는 장미빛 제비갈매기들에서도 발견되었다 (Fox et al., 1976; Hunt & Hunt, 1977; Fry & Toone, 1981; Conover et al., 1984; Gilbert et al., 1991).

#### (4) 철새류

도요새, 백백도요, 물떼새 등 철새들도 갑자기 사라져 가는 것이 관찰되고 있다. 철새들이 북극의 번식지에서부터 겨울을 지낼 남미 끝까지 무려 1만 5천 마일을 이동하며, 미국 동해안의 도요새가 지난 15년간 80% 가량 감소했다고 보고되었다. 원인으로 중간지역인 페루지역의 강과 개울, 전답의 살충제가 지목되고 있으나 아직 정확한 원인은 밝혀지지 않고 있다 (Colborn et al., 1996).

#### 4) 수서동물에 미치는 영향

##### (1) 수달

1950년대 후반의 영국에서는 수달을 발견하기가 어려워지기 시작하였고, 어떤 지역에서는 아예 사라졌다 (Mason & MacDonald, 1986; Mason et al., 1986). 수달의 수가 감소하기 시작하자 근 20년이 지나서야 수달이 사라진 원인에 대한 실마리를 찾기 시작하였으나, 1980년대까지 수달의 감소 원인은 수수께끼로 남아 있었고, 이후에야 이것이 EDC에 의한 것이라 추정되었다.

##### (2) 밍크

1960년대 중반 이후 미시간호 (Michigan L.)의 밍크가 사라지기 시작하였다 (Aulerich et al., 1973; Aulerich & Ringer, 1977; Dutton, 1988). 제2차 세계대전 직후, 밍크코트는 미국 여성들에게 큰 인기였다. 1960년대 초, 물고기가 풍부했던 오대호 주변에서 성장한 암컷 밍크가 새끼를 낳지 못하게 되었다. 1967년경에는 많은 암컷 밍크가 불임이 되었고, 나머지들도 곧 새끼들을 잃기 시작했다. 밍크산업의 불황이 시작되었고, 원인은 호수의 물고기에 있는 오염물질 (PCB) 때문에 일어난 생식문제라고 결론지었다 (Aulerich & Ringer, 1977). 중서부의 다른 밍크 사육업자들이 더 빨리 살을 찌우기 위해서 DES를 주입한 닭고기를 사료로 먹인 후부터 유사한 증상이 나타나자 이것의 위의 가정을 뒷받침 해주게 되었다 (Dutton, 1988).

##### (3) 바다표범

1988년 북유럽에서 역사적으로 가장 큰 규모의 바다표범 몰살사건이 봄철에 일어났다 (Dietz et al., 1989). 4월 중순 이후 죽은 바다표범 새끼들을 발견하기 시작했고, 곧이어 이런 현상이 전 유럽지역으로 확산되었다. 12월까지 18,000여 마리가 죽었으며, 이는 전체 북해 바다표범수의 40%에 달하

는 것이었다. 처음엔 희생된 동물들이 면역계통을 억누르는 바이러스에 감염되었기 때문이라 추측되었으나, 후에 내분비 교란물질들에 의한 면역계통의 억제때문에 치사된 것이라고 가정되었다 (Dietz et al., 1989). 발트해의 점박이바다표범은 1988년에 약 60%인 2만 마리가, 바다표범은 1987년 약 1만 마리, 그리고 회색바다표범의 다수가 죽거나 생식력이 감소된 것으로 발견되었다. PCB오염으로 이들 암컷의 태아가 죽거나, 자궁 폐쇄 등의 기형과 종양이 발생하였다. 1987년에는 Distemper virus가 바이칼호에서 죽은 바다표범 1만 마리에서 발견되었다.

##### (4) 줄무늬 돌고래

1990년대 초에 지중해 지역의 줄무늬 돌고래가 죽어가기 시작하였다 (Aguilar & Raga, 1993; Aguilar & Borrell, 1994). 먼 바다에 사는 줄무늬돌고래들은 대개 인간의 눈길이 닿지 않는, 육지에서 멀리 떨어진 곳에서 생활하고 죽는다. 1990년 7월에 처음 스페인 동해안의 발렌시아 (Valencia) 바닷가에 몇 구의 죽어 가는 줄무늬돌고래들이 떼지어 밀려왔다. 그러나 8월 중순이 되자 더 많은 수의 죽은 동물들이 발견되었고, 이들 중 어떤 것들은 폐허탈증, 호르몬란, 이상행동을 보이고 있었다. 겨울이 되자 이 전염은 멈추었다. 그러나 이듬해 여름, 다시 치명적인 질병이 발생하여 1,100마리 이상의 돌고래가 죽었다. 이 희생의 주범은 디스토펜 바이러스로 판명되었지만, 죽은 줄무늬돌고래들의 지방질 표본에서 건강한 돌고래보다 2~3배에 이르는 PCB가 발견됨으로 내분비 교란물질의 오염으로 면역기능이 약화되어 바이러스에 감염된 것이라 알려졌다 (Osterhaus, 1988; Osterhaus et al., 1988; Aguilar & Raga, 1993). 세인트루이스의 돌고래는 20세기초 약 5,000마리에서 달했던 것이 500마리 정도로 현저하게 감소했다. 이들 대부분이 DDT, PCB에 오염되어 있다고 보고되었다. 이들은 특히 양성종양, 양성종양, 유방암, 복부종양 등을 보였고, 잇몸병으로 이가 없으며, 내장기관의 썩음을 앓고 있었다. 또한, 갑상선이 비대하고, 낭종을 형성하는 내분비질환을 앓고 있었다. 수컷이 자궁과 난소를 가진 진성반음양 (true hermaphrodite)이 많고, 어린 새끼는 오염된 모유를 통해 오염되고 있었다. 이들 모두 생식력이 저하되고 면역기능도 저하되었다고 알려지고 있다 (Be'land et al., 1993). 블록코 돌고래 등도 오염되고 있다.

##### (5) 고래

고래 역시 최근 현저하게 감소하였는데, 이 현상 역시 EDC가 주 원인으로 밝혀지고 있다. 해양포유류 등은 차가

은 기온에 대비하여 두꺼운 체지방을 저장하고 있다. 이렇게 매우 엄청난 EDC를 체내에 축적함으로 이의 영향에 매우 취약하다는 것이 알려졌다 (De Guise et al., 1994). 오늘날 고래는 거의 멸종단계에 있다.

### 5. 포유류에 미치는 영향

자연계에서의 성전환은 비교적 하등 생물에서 일어나는 경우가 많다. 그러나 포유류에서도 태아시기에 내분비계 교란물질에 노출되었을 경우, 기형이나 생식이상 등의 장애를 일으킬 수 있다. 한 예로 PCB에 오염된 햄스터의 경우 수컷의 정자수가 급격히 감소하고, 생식기형이 발생한다. 또한 쥐의 경우에도 같은 현상이 나타나고, 오염된 모유를 먹은 쥐는 40% 정도의 정자수 감소를 보였다. 이 현상은 포유류 전반에서 공통적으로 나타나는 것으로 보인다 (vom Saal, 1984, 1989; Vandenberg, 1987).

#### 1) 설치류

수컷의 공격성을 가진 암컷 생쥐가 발견되고 있다. vom Saal (1984, 1989)은 암컷생쥐 중에서 동일한 환경과 유전자를 가짐에도 불구하고 수컷과 같은 공격적인 행동을 하는 개체가 존재한다는 사실을 발견하였다. 암컷 생쥐의 공격성 변화는 어미의 태내에서 유발되며, 태내에서 수컷 태아 사이에 끼어서 위치한 암컷이 공격성이 강하다. 수컷 태아의 정소는 어미 태내에서도 남성호르몬인 testosterone을 만든다. 수컷 태아 사이에 낀 암컷은 testosterone의 영향을 받아 수컷과 같은 공격성을 갖게 된다. 마찬가지로, 암컷 사이에서 태생기를 지낸 수컷은 암컷과 같은 행동을 한다 (vom Saal, 1984, 1989; Vandenberg, 1987). 이를 자궁내 위치현상 (intrauterine position phenomena), 또는 자궁짝 (Wombmate) 효과라고 한다.

생쥐 태아의 호르몬은 생식기관과 뇌의 구조, 그리고 출생 후 행동의 차이를 유발하고, 뇌의 발달에 영향을 준다. 따라서 EDC는 체내에서 만들어지는 호르몬에 영향을 주어 성의 분화, 생식기와 뇌의 형성에 큰 영향을 주기 때문에 태아와 신생아에게 특히 위험한 화학물질이다 (vom Saal & Bronson, 1980; Vom Saal et al., 1994). 이는 사람에게도 적용됨이 밝혀지고 있다 (Colborn et al., 1996; Nakahara & Hutaki, 1988).

DES는 생쥐 태아의 생식기 이상을 유발시킨다. 사람의 경우도 임신기간 중 DES를 투여 받은 사람의 딸 즉, DES 딸 60명 중 40명이 생식기 이상을 가지는 것이 발견되고 있다 (Dieckman et al., 1953). McLachlan 연구팀은 임신한 암컷

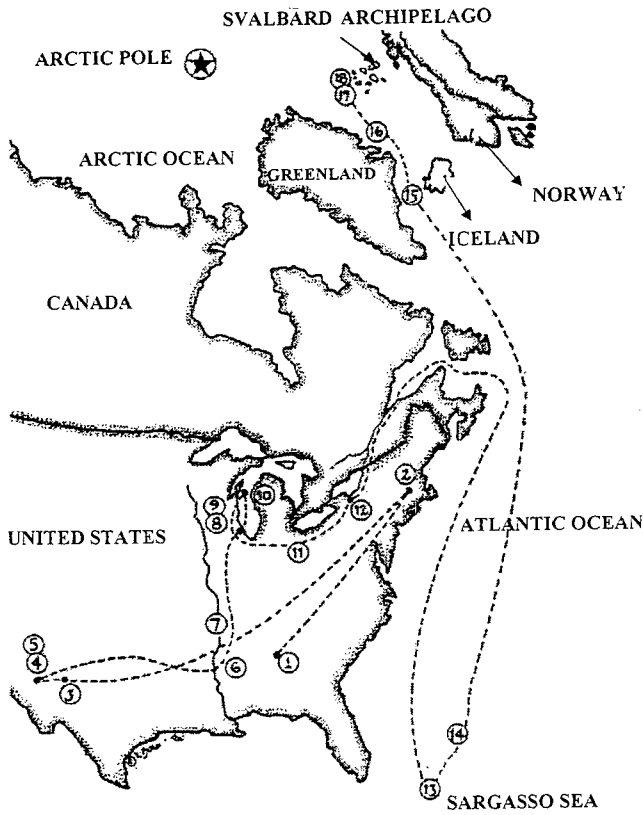
생쥐에게 DES를 주사하여 태아들의 질선암을 유도하는데 성공했다 (Newbold & McLachlan, 1982). 또한 자궁 속에서 DES에 노출된 수컷 생쥐가 잠복정소 (cryptorchidism; 사람, 정류고환)를 가지고, 정소 발육이 정지되거나, 정소와 부정소의 낭종 등을 포함하는 다양한 생식기 이상을 가진다고 보고하였다. 이들은 비정상적인 정자로 인해 생식력이 떨어졌고, 생식기 종양도 보고되었다. DES에 노출된 수컷 쥐는 여성의 생식기관을 그대로 가지는데, 이 현상은 사람의 DES딸과 DES아들에서 보이는 현상과 잘 일치한다 (Colborn et al., 1996). 또한 임신 중 높은 testosterone에 노출되면 암컷이 수컷처럼 행동한다고 밝히고 있다. 즉 성체가 되었을 때 암컷의 교미자세, 척추만곡이 보이지 않고, 여성호르몬을 투여하여도 회복되지 않는다는 보고 (Phoenix et al., 1959) 등으로 보아 사람에서의 성행동 이상 현상과 일치할 것으로 추측되고 있다.

#### 2) 양

오스트레일리아 서부에 갑자기 양의 불임증이 전염병처럼 휩쓸었다. 최초의 징후로 사산되는 양의 수가 갑작스럽게 증가하였고, 임신한 암양들은 분만을 하지 못했다. 새끼양들 뿐만 아니라 어미도 죽었다. 마침내는 아무리 교배를 시켜도 대부분의 암양들이 전혀 수태를 하지 못했다. 집중적인 연구 끝에 불임의 원인이 클로버라고 발표되었다 (Bennette et al., 1946). 15년 전에 뿌려진 클로버 종자는 그 지역의 기후에 잘 맞아 짧은 시간 내에 목축지의 생산성을 크게 증가시켰으나, 이상한 생식질환 (클로버질환, clover disease)을 일으켰다. 이 불임의 원인은 'formononetin'이라는 천연화합물이었으며, 이것은 양의 위장에서 분해되어 DES나 DDT처럼 estrogen의 생물학적 효과, 즉 생식질환을 나타내는 EDC로 작용한다는 것이 알려졌다. 식물의 입상에서는 종족보존을 위한 방어 호르몬이라 할 수 있다. 최근 파슬리, 세이지, 알파파 (coumestrol), 마늘, 밀, 귀리, 보리, 쌀, 콩 등 곡식류, 사과, 체리 등 과일류, 회향풀속, 석류, 해바라기씨와 기름, 면실유 등에서 식물성 내분비계 장애물질이 계속적으로 보고되고 있다.

#### 3) 곰

북극권의 곰들의 수가 알 수 없는 오염으로 줄고 있다. 이 곰들은 지방에 90 ppm ( $\mu\text{g}$ )이란 엄청난 양의 PCB를 가지고 있었다. 이들은 약 70 ppm ( $\mu\text{g}$ )의 PCB에 오염된 바다표범의 겹질과 지방을 좋아하여, 이들을 먹음으로 겨울의 동면을 대비해 지방을 축적한다. 그 결과로 곰은 바다물의 30억 배까



**Fig. 1. Polychlorinate biphenyl (PCB)가 먹이사슬에 따라 오염시킨 피해 영향 (from Colborn et al., 1996)**

1. Monsanto Chem Co. (Anniston, Ala) PCB (Arochlor 1254) 생산.
2. General Electric(GE, Pittsfield, Mass) 변압기 공장, 전기 용품에 사용.
3. Big Spring City (Texas)의 정유화학회사들의 변압기들이 비락으로 파손.
4. PCB-153으로 오염된 먼지가 폭풍우로 근처 지역오염, 특히 저질이 오염됨.
5. Tarzan City Dump 즉 쓰레기 매립장에 오염물질이 집적.
6. 1948년 서부 Texas지역 대 호수로 오염물질이 노출, 확산.
7. Texas관목지역에서 바람을 타고 이동, Akanso를 지나 미시시피강역 오염.
8. 서부 대서양해안의 Bermuda 기단에 의해 오대호로 오염확산, Wisconsin주 리신시 연안 호수에 침적, 호수의 녹색 조류, 저질, 수중 물벼룩 등의 오염.
9. 1956년 리신시 관광사업의 연안 개발로 오염물질의 재 부상.
10. 물벼룩 (400 배), 작은 새우(45,000배), 빙어(835,000배) 오염, 호수 송어 (280 만배)\*, 코호연어\* 등 먹이사슬을 따라 오염 (\* 리신지역의 관광 식당의 주요 요리로 사람이 애용).
11. 오염된 호수 송어 등의 물고기가 New York시에 공급되었음.
12. 어류의 음식찌꺼기 Rochester Dump이 집적, 갈매기(2500만 배)들의 먹이가 되고, 오염이 확산, 갈매기가 대머리 독수리의 먹이가 되어 이들을 오염.
13. 갈매기의 이동(스카치보네 섬), 오염된 갈매기 알이 부화되지 못하고 썩어, 저질, 조류, 가재 등 갑각류를 오염시키고, 이들이 뱀장어의 먹이가 되어 오염확산, 그리고 미국 뱀장어가 강과 호수생활을 마치고 알을 낳기 위해 3000마일 떨어진 the Sargasso Sea로 이동.
14. 걸프해안에서 New Foundland지역에 걸쳐 산란 후 지쳐 죽음. 뱀장어의 기름은 기화되어, 바람을 타고 북쪽으로 이동, 찬 공기 때문에 수면에 낙하하여 부유 식물에 침착.

15. 해류를 따라 북동쪽으로 이동하여 Iceland에 도착, 작은 새우 (일명, 검은벼룩)을 오염시키고, 새우는 거대한 집단을 형성.
  16. 작은 새우떼는 그린랜드지역으로 이동되며, 대구떼의 먹이가 됨. 대구 꼬리 지방의 오염 농도는 바닷물의 4800만배가 된다.
  17. 대구떼는 일생을 북극해에 살며, 바다표범 (3억 8000만배 PCB-153오염)의 먹이가 된다. 또한 북극곰의 먹이가 된다.
  18. 바다표범은 북극곰의 먹이가 되며 곰은 30억배의 PCB-153으로 오염된다.
- 북극곰처럼 사람 역시 먹이사슬의 최상위에서 PCB에 오염되고, 모유를 통해 자손으로 오염은 확산되었다. 이누이트 마을 사람들은 <PCB 인간>이라 불릴 정도로 오염되어 있다. 또한 이곳에서 잡힌 대구 등 물고기는 전 세계시장에 공급되어 오염은 전세계의 사람에게 퍼져갔다고 가정되었다. 위의 추론과 오염의 모식도는 전세계 어느 곳도 오염되지 않은 곳이 없음을 보여주는 예가 되고 있다.

지 PCB가 농축된다. 또한 새끼들은 이렇게 오염된 모유를 먹으므로 EDs의 영향을 그대로 받게 된다. 이것이 곰의 멸종 위기의 원인이라고 추측되고 있다(Colborn et al., 1996; Nakahara & Hutaki, 1998).

**6. 사람에게 미치는 영향**

사람에 미치는 영향은 매우 중요하며 많은 논증과 고찰이 필요하므로 별도로 다루고, 본 종설에서는 요약하여 먹이사슬의 최고 상위자로서 피해상황에 중점을 두고자 한다. Skakkebaek 연구팀(1992)은 전형적인 정자수의 감소뿐 아니라, 점점 더 많은 정자의 기형을 관찰하였다. 동시에 지난 40년간 고환암의 발생률이 세배로 증가하였고, 평균 정자수는 1938년에서 1990년 동안 거의 50%나 감소했다고 보고했다.

또한, 어린 소년들 사이에서 정류고환 (cryptochidism)이나 요도단축증과 같은 생식기 기형들이 증가하고 있음을 발견하였다. 이것은 EDC 때문인 것으로 보고되었다 (Carlsen et al., 1992; Sharpe & Skakkebaek, 1993; Colborn et al., 1996). 그러나 인간의 경우는 이 가정에 대하여 반대이론이 많은데, 이는 사람이 실험대상이 될 수 없어 직접적인 증거가 거의 없기 때문이다. 그러나 이러한 이유로 고등동물에 미치는 EDC의 영향에 인간이 벗어날 수는 없다고 판단된다. 다만 여성의 식용유 오염, 오대호 주변 여성의 오염, DES와 Thalidomide 영향 등의 결과가 실험동물에서의 영향과 거의 일치하고 있기 때문에 인간에 대한 EDC의 영향을 무시할 수 없다.

합성화학물질에 노출된 인간에 대한 연구는 주로 성인의

암 연구에만 국한되어 연구되어 왔다. 그러나 최근에는 EDC가 내분비 기관을 교란시킨다는 연구가 급증하고 있다. 웨인 주립대학의 샌드라와 제이콥슨은 화학물질에 노출된 임신부의 경우, 이 영향이 태아발생에까지 미친다는 증거를 발견했다. 한 달에 두세 번 생선을 먹는 어머니들의 아이들은 생선을 먹지 않는 어머니들의 아이보다 조산이 되거나 체중이 덜 나갔고 머리가 작았다. 제대혈에서 측정되는 오대호 지방의 공통적인 오염물질인 PCB의 양이 늘어날수록 아이들은 지능지수를 예측할 수 있는 단기간 기억력과 같은 다양한 검사에서 뒤쳐졌고, 신경발달능력을 평가하는 테스트에서 낮은 점수를 받았다. 앞에 기술한 여러 자료들은, 실제로 모든 동물이 자연계의 먹이사슬의 일부라는 개념에서 결코, 환경호르몬의 영향에서 벗어날 수 없음을 명확히 밝히고 있다.

#### 7. EDC의 먹이사슬내 이동

Colborn (1996)은 오대호 연안의 야생동물과 인간 보건 문제에 관한 많은 연구논문을 검토한 후, EDC의 생태계내 이동 상황을 유추하였다 (그림 1). 1969년 6월 Cleveland의 쿠야호강의 다리가 화재로 탔을 때, 오대호 연안의 오염은 최악에 달했다. 이 당시 썩어 가는 조류의 끈끈한 막이 온 연안을 뒤덮었고, 만과 강들에는 기름과 산업폐수가 떠다녔으며, 풍부했던 새들과 야생동물 집단이 사라졌다. 그후로 20년 이상에 걸쳐 지방 자치단체들이 폐수 처리시설을 건설하고, 주 정부는 조류 폭증의 원인인 세계에서의 인의 사용을 금지하고, 산업체들이 강에 내다버리는 오염물질에 대하여 새 기준을 세워 이들의 공정을 바꾸면서, 오염물질들은 줄어들었다. 1972년 살충제 DDT의 연방규제 이후, 대머리독수리와 다른 새들을 멸종위기에 놓이게 했던, 얇아서 쉽게 깨지는 알 껍질의 문제가 점차 사라지기 시작했고, 멸종위기에 처했던 많은 새들의 수가 급격히 증가했다. 이렇게 하여, 호수의 수질이 개선되고 청정해졌으나, 아직도 밍크 수의 감소, 부화하지 않은 알, 겹쳐진 부리, 눈의 소실, 가마우지의 만곡족 등이 계속 보고되고, 보통 때는 부화중인 알에 대해 매우 민감하던 새들이 이상하게도 무관심한 반응을 보이는 것으로 알려지고 있다.

EDC의 농도는 먹이사슬을 거슬러 올라갈 때마다 지수 함수적으로 높아진다. 예를 들면 PCB는 식물성 플랑크톤 (250×), 동물성 플랑크톤 (500×), 이를 먹고 사는 갑각류 (45,000×), 빙어 (835,000×), 호수송어 (2,800,000×)로 이어지는 먹이사슬을 따라 계속적으로 증가하며, 재갈매기와 같은 상위 포식자에서는 바다물에서의 농도보다 2,500만 배까

지 증가하는 것이 관찰되었다. 또 꿈에서는 30억 배까지 농축된다. 이러한 사실은 먹이사슬의 최상위에 있는 인간에게 어떠한 영향을 미칠 것인가를 짐작하게 한다.

내분비 장애물질의 피해는 주로 새끼들에게서 발견된다. 부모의 몸에서 발견되는 화학물질은 대물림독물 (hand-me-down poison)로 작용할 것이고, 태아들과 아주 어린 새끼들에게 영향을 주게 될 것이다. 지방에서 발견되는 이러한 대물림 독물들은 한 가지 공통점을 가지고 있다. 그것은 한 가지 혹은 그 이상의 방식으로 내분비계에 작용을 한다는 점이다. 내분비계는 신체의 필수적인 내부 과정을 조절하고, 출생 전 발생의 중요한 단계들을 유도하는 일을 한다. 결국 대물림독물들은 먹이사슬내 모든 동물에게 연속적인 호르몬을 교란시켜 생식이상, 기형발생, 성전환, 행동이상을 유발시킬 것이다.

#### 결론

1950년대부터 시작된 EDC의 문제들은 세계 도처, 즉 플로리다, 오대호, 캘리포니아, 영국, 덴마크, 지중해와 그 외의 다른 지역에서 나타나기 시작했다. 야생동물에 대한 보고 중 많은 수가 생식기의 결함, 행동이상, 생식기능 손상, 새끼들의 죽음, 혹은 전체 동물집단의 갑작스런 소멸에 관한 것이다. 야생동물에게서 먼저 나타난 급박한 생식문제들은 곧 인간에게까지 영향을 미치게 된다. 왜냐하면 인간이 먹이사슬의 최정상에 있어 모든 내분비계 장애물질 (EDS)이 최종적으로 인간에게 집적될 것이기 때문이다. 인간에서 보이는 정자수의 감소, 전립선암, 환암, 유방암의 증가추세, 불임과 기형아의 증가, 신생아의 주의력 결핍, 학습장애 어린이의 증가, 동성연애자의 증가, 인간사회의 폭력성증가 등의 많은 문제가 환경호르몬의 영향일 가능성을 배제할 수 없다는 점을 중시해야 한다 (Colborn et al., 1996; Nakahara & Hutaki, 1998).

#### 인용문헌

- Aguilar A, Raga J (1993) The stripes dolphin epizootic in the mediterranean sea. *Ambio* 22(8):524-528.
- Aguilar A, Borrell A (1994) Abnormally high polychlorinated biphenyl levels in striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) affected by the 1990-1992 Mediterranean. *Epizootic Sci Total Environ* 154:237-247.
- Aulerich R, Ringer R, Iwamoto S (1973) Reproductive fail-

- ure and mortality in mink fed on Great Lakes fish. *J Reprod Fertil (Suppl.)* 19:365-376.
- Aulerich R, Ringer R (1977) Current status of PCB toxicity to mink, and effect on their reproduction. *Arch Environ Contam Toxicol* 6:279-292.
- Bengtsson B-E, Bergman A, Brandt I, Hill C, Johansson N, Södergren A, Thulin J (1994) Reproductive disturbances in baltic fish: Research programme for the period 1994/95 to 1997/98. Swedish EPA.
- Bennette H, Underwood E, Shier F (1946) A specific breeding problem of sheep on subterranean clover pastures in western Australia. *Aus Vet J* 22:2-12.
- Bern HA (1992) The fragile fetus. In: Colborn T, Clement C (eds) *Chemically Induced Alterations in Sexual and Functional Development*. Princeton Scientific Pub., Princeton, pp 9-15.
- Black J (1982) Epidermal hyperplasia and neoplasia in brown bullheads (*Ictalurus nebulosus*) in response to repeated applications of a PAH containing extract of polluted river sediment. polynuclear aromatic hydrocarbons. In: *Seventh International Sympo. Formation Metabolism and Measurement M. Cooke, and A. Dennis, eds., Battelle*, pp 99-111.
- Blaustein A, Wake D, Sousa W (1994) Amphibian declines: Judging stability, persistence, and susceptibility of populations to local and global extinctions. *Conserv Biol* 8(1):60-71.
- Bowerman W, Kubiak T, Holt J, Evans D, Eckstein R, Sindelar C, Best D, Kozie K (1994) Observed abnormalities in mandibles of nestling Bald Eagles *Haliaeetus leucocephalus*. *Bull Environ Contam Toxicol* 53:450-457.
- Bowerman W (1993) Regulation of Bald Eagle (*Haliaeetus leucocephalus*) Productivity in the Great Lakes Basin: An Ecological and Toxicological Approach. Michigan State Univ. Dept Fisheries Wildlife.
- Broley C (1958) The plight of the American bald eagle. *Audubon Magazine* 60:162-163, 171.
- Burlington H, Lindeman V (1950) Effect of DDT on testes and secondary sex characters of white leghorn cockerels. *Proc Soc Exp Biol Med* 74:48-51.
- Béland P, De Guise S, Girard C, Lagacée A, Martineau D, Michaud R, Muir D, Norstrom R, Pelletier E, Ray S, Shugart L (1993) Toxic compounds and health and reproductive effects in St Lawrence Beluga whales. *J Great Lakes Res* 19(4):177-175.
- Cagin S, Dray P (1993) *Between Earth and Sky: How CFCs Changed Our World and Endangered the Ozone Layer*, Pantheon.
- Carlsen E, Giwerman A, Keiding N, Skakkebaek N (1992) Evidence for decreasing quality of semen during past 50 years. *British Med J* 305:609-613.
- Carlson, R (1962) *Silent Spring*. Houghton Mifflin.
- Colborn T, Davidson A, Green S, Hodge R, Jackson C, Liroff R (1990) *Great Lakes, Great Legacy?*, The Conservation Foundation and the Institute for Research on Public Policy.
- Colborn T, Dumanoski D, Myers JP (1996) *Our Stolen Future*. The Spieler Agency.
- Conover M, Hunt G (1984) Female-female pairing and sex ratios in gulls: An historical perspective. *Wilson Bulletin*, 96(4):619-625.
- Crews D, Bergeron J, Bull J, Flores D, Tousignant A, Skipper J, Wibbels T (1994) Temperature-dependent sex determination in reptiles: Proximate mechanisms, ultimate outcomes and functional outcomes. *Dev Genetics* 15:297-312.
- Daly H (1993) Laboratory rat experiments show consumption of lake Ontario salmon causes behavioral changes: Support for wildlife and human research results. *J Great Lakes Res* 19(4):784-788.
- Daly H (1991) Reward reductions found more aversive by rats fed environmentally contaminated salmon. *Neurotoxicol Teratol* 13:449-453.
- Daly H (1992) The evaluation of behavioral changes produced by consumption of environmentally contaminated fish. In: *The Vulnerable Brain and Environmental Risks: Vol. 1. Malnutrition and Hazard Assessment*, R. Isaacson and K. Jensen, eds., Plenum, 151-171.
- De Guise S, Lagacée A, Béland P (1994) Tumors in St. Lawrence Beluga whales (*Delphinapterus leucas*). *Vet Pathol* 31:444-449.
- Dieckman W, Davis M, Rynkiewicz L, Pottinger R (1953) Does the administration of diethylstilbestrol during

- pregnancy have therapeutic value? *Am J Ob Gy* 66(5): 1062.
- Dietz R, Heide-Jørgensen M-P, Härkönen T (1989) Mass deaths of harbor seals (*Phoca vitulina*) in Europe. *Ambio* 18(5):258-264.
- Dutton D (1998) *Worse than the Disease: Pitfalls of Medical Progress*, Cambridge Univ. Press.
- Fox G, Teeple S, Gilman A, Anderka F, Hogan G (1976) Are Lake Ontario herring gulls good parents? *Proc. Fish-Eating Birds, Great Lakes Environ. Contam. Sympo.*, Dec. 2-3, Canadian Wildlife Service, pp. 76-90.
- Fry D, Toone M (1981) DDT-induced feminization of gull embryos. *Science* 213:922-924.
- Giesy J, Ludwig J, Tillitt D (1994) Deformities in birds of the Great Lakes region: Assigning causality. *Environ Sci Technol* 28(3):128-135.
- Gilbertson M, Kubiak T, Ludwig J, Fox G (1991) Great Lakes embryo mortality, edema, and deformities syndrome (GLEMEDS) in colonial fish-eating birds: Similarity to chick-edema disease. *J Toxicol Environ Health* 33(4):455-520.
- Guillette L, Gross T, Gross D, Rooney A, Percival H (1995) Gonadal steroidogenesis *in vitro* from juvenile alligators obtained from contaminated or control lakes. *Environ Health Perspec* 103(4):31-36.
- Guillette L, Gross T, Masson G, Matter J, Percival H, Woodward A (1994) Developmental abnormalities of the gonad and abnormal sex hormone concentrations in juvenile alligators from contaminated and control lakes in Florida. *Environ. Health Perspec* 102:680-88.
- Hooper S, Pettigrew C, Saylor G (1990) Ecological fate, effects and prospects for the elimination of environmental polychlorinated biphenyls (PCBs). *Environ Toxicol Chem* 9:655-667.
- Hunt G, Hunt M (1977) Female-female pairing in western gulls (*Larus occidentalis*) in Southern California. *Science* 196:1466-1467.
- Iwata H, Tanabe S, Sakai N, Tatsukawa R (1993) Distribution of persistent organochlorines in oceanic air and surface seawater and the role of ocean in their global transport and fate. *Environ Sci Technol* 27(6):1080-1098.
- Jacobson J, Jacobson S, Schwartz P, Fein G, Dowler J (1984) Prenatal exposure to an environmental toxin: A test of the multiple effects model. *Develop Psychol* 20(4):523-532.
- Jobling S, Reynolds T, White R, Parker M, Sumpter J (1995) A variety of environmentally persistent chemicals, including some phthalate plasticizers, are weakly estrogenic. *Environ Health Perspect* 103(6):582-587.
- Jobling S, Sumpter J (1993) Detergent components in sewage effluent are weakly oestrogenic to fish: An *in vitro* study using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. *Aquatic Toxicol* 27:361-372.
- Kannan K, Tanabe S, Aguilar A, Focardi S, Tatsukawa R (1993) Isomer-specific analysis and toxic evaluation of polychlorinated biphenyls in striped dolphins affected by an epizootic in the Western Mediterranean Sea. *Arch Environ Contam Toxicol* 25:227-233.
- Krishnan A, Stathis P, Permuth S, Tokes L, Feldman D (1993) Bisphenol-A: An estrogenic substance is released from polycarbonate flasks during autoclaving. *Endocrinology* 132(8):2279-2286.
- Leatherland J (1992) Endocrine and reproductive function in Great Lakes salmon. In: Colborn T, Clement C (eds) *Chemically Induced Alterations in Sexual and Functional Development*. Princeton Scientific Pub., Princeton, pp. 129-145.
- Mason C, Ford T, Last N (1986) Organochlorine residues in British otters. *Bull Environ Contam Toxicol* 36:656-661.
- Mason C, Macdonal S, Otters (1986) *Ecology and Conversation*, Cambridge Univ. Press.
- Nakahara H, Hutaki S (1998) *The Fear of Endocrine Disruptor*. Kanki Pub. Co.
- Newbold R, McLachlan J (1982) Vaginal adenosis and adenocarcinoma in mice exposed prenatally or neonatally to diethylstilbestrol. *Cancer Res* 42:2003-2011.
- Osterhaus A, Groen J, De Vries P, UytdeHaag F, Klingeborn B, Zarnke R (1988) Danine distemper virus in seals. *Nature* 335:403-404.
- Osterhaus S (1988) Seal Death *Nature* 334:301-302.
- Phoenix C, Goy R, Gerall A, Young W (1959) Organizing

- ction of prenatally administered testosterone propionate on the tissues mediating mating behavior in the female guinea pig. *Endocrinology* 65:369-382
- Purdom C, Hardiman P, Bye V, Eno N, Tyler C, Sumpter J (1994) Estrogenic effects of effluents from sewage treatment works, *Chem Ecol* 8:275-285.
- Reijnders P, Brasseur S Xenobiotic induced hormonal and associated developmental disorders in marine organisms and related effects in humans: An overview. In: Colborn T, Clement C (eds) *Chemically Induced Alterations in Sexual and Functional Development*. Princeton Scientific Pub., Princeton 159-174.
- Rowland S, Molina M (1974) Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: Chlorine atom-catalyzed destruction of ozone. *Nature* June 28.
- Sharpe R, Skakkebaek N (1993) Are oestrogens involved in falling sperm counts and disorders of the male reproductive tract? *Lancet* 341:1392-1395.
- Stebbins R, Cohen N (1995) *A Natural History of Amphibians*, Princeton Univ. Press.
- Vandenbergh J (1987) Regulation of puberty and its consequences on population dynamics of mice. *Am Zool* 27:891-898.
- Wania F, Mackay D (1993) Global fractionation and condensation of low volatility organochlorine compounds in polar regions. *Ambio* 22(1):10-18.
- Woodward A, Percival H, Jennings M, Moore C (1993) Low clutch viability of American alligators on Lake Apopka. *Florida Sci* 56:52-63.
- Vom Saal F, Bronson F (1980) Sexual characteristics of adult female mice are correlated with their blood testosterone levels during prenatal development. *Science* 208:597-599.
- Vom Saal F, Finch C, Nelson J (1994) Natural history and mechanisms of reproductive aging in humans, laboratory rodents, and other selected vertebrates. In: *The Physiology of Reproduction* 2nd ed, E. Knobil and Neill, eds., pp. 1213-1314.
- Vom Saal F, Montano M, Wang M (1992) Sexual differentiation in mammals. In: Colborn T, Clement C (eds) *Chemically Induced Alterations in Sexual and Functional Development*. Princeton Scientific Pub., Princeton, pp. 17-83.
- Vom Saal F (1989) Sexual differentiation in litter bearing mammals: Influence of sex of adjacent fetuses in utero. *J Animal Sci* 67:1824-1840.
- Vom Saal F (1984) The intrauterine position phenomenon: Effects on physiology, aggressive behavior, and population dynamics in house mice. In: *Biological Perspectives on Aggression*, K. Flannelly, R. Blanchard, and D. Blanchard, eds. Prog Clinical Biol Res Liss pp. 135-179.



<부록> 환경호르몬 의혹물질 일람표

환경호르몬으로서의 작용(내분비교란작용)이 조사되어 있는 주요 화학물질

1. 산업장 및 환경오염물질 (21)

내분비 장애물질	생산상황	용도	검출
Dioxins / Furans ♣		합성 및 소각시	저, 어, 대
2,3,7,8-TCDD (맹 독성)	종이표백시		
2,4-D / 2,4,5-Trichlorophenoxy acetic acid ☞	금지('79)	고엽제	
PCB(Polychlorinated biphenyls)◎	금지('72)	난연제	저, 어
PBB(Polybrominated biphenyls)◎	30 톤/년	난연제	
Benzo(a)pyrene	불명	상업목적으로 생산 안 됨	
2,4-Dichlorophenol	불명	안료	
2-Ethylhexyl adipic acid	생산	피혁, 필름, 윤활유 등	
Benzophenone	불명	의약품합성 원료, 자외선 흡수제 등	
4-Nitrotoluene	불명	염료 등	
Octachloro styrene	비생산	유기염소화합물 제조시 생성	
(TBT) Tributyl tin,	금지('90)		
(TPT) Triphenol tin		배필도료, 어망 방부제	수, 저, 어
Alkylphenol ethoxylates; PCBs/Arochlor; 6-Bromonaphtol-2; Chlorobenzenes; Chlorphenate; Dibromoacetic acid; 4,4'-Dihydroxybiphenyl; 4- Dodecylphenol; Hexachlorobenzene; Nonyl- phenol; PBB; Pentachlorophenol; TCDF, PCDF, Furan; TCDD, PCDD			

♣ 유기염소계 농약 등 화학물질의 합성과정, 종이 펄프의 염소표백 (현재는 금지됨), 폐기물의 소각과정 등에서 비의도적으로 생성됨. Polychlorodioxin과 Polychlorodibenzofuran의 총칭. Dibenzodioxin (DB, 6종), Dibenzofuran (DF, 9종)의 독성 확인, 195종은 독성 미확인  
 ☞ 월남전쟁중 미군이 사용한 고엽제 (Agent Orange)안에 오염되어 있었음. 1962~1970년 사이에 5만톤 (1900만Gal)이 사용, 즉 100kg의 Dioxin이 살포됨.  
 ◎ 열매체, 노카본지, 전기제품의 절연체 등.

2. 농약류(74종)

내분비 장애물질	생산상황	용도	검출
(HCB) Hexachlorobenzene	금지('72)	살균제 등	저, 어
(PCP) Pentachlorophenol	중지('90)	방부제, 제초제, 살균제	수, 저
2,4,5-T	중지('75)	베트남고엽제, 제초제	
2,4-D	1,149 톤/년	제초제	
Alachor	454 톤/년	제초제	
Amitrole	중지('75), 불명	염료, 사진약, 수지경화, 제초제	
Trifluralin	5,185 톤/년	제초제	
Atrazine	286 톤/년	제초제 (트리아진계)	
CAT; Simazine	3,641 톤/년	제초제 (트리아진계)	
Metribuzin	67 톤/년	제초제 (트리아진계)	
Nitrophen(NIP)	실효('82)	제초제 (다이페닐에테르계)	저
(HCH) Hexachlorocyclohexane,	중지('71)	살충제, 흰개미구제, ♣	수, 저
(BHC) Benzenehexachloride◆		목재처리	
(DBCP) 1,2-Dibromo-3-chloropropane	생산중	살충제 ♣	
Kelthane =Dicofol	233 톤/년	진드기살충제	
Ethyl parathion	중지('71)	살충제 (유기인산계)	
Malathion	792 톤/년	살충제 (유기인산계)	
Aldicab	미등록	살충제 (카바마이트계)	수입오렌지
Benomyl	688 톤/년	살충제 (카바마이트계)	
Carbaryl;NAC	2,460 톤/년	살충제 (카바마이트계)	
Methomyl	1,293 톤/년	살충제 (카바마이트계)	
Manzeb(Mancozeb)	3,632 톤/년	살충제 (다이피오 카바메이트계)	
Maneb	생산	살충제 (다이피오 카바메이트계)	
Metiram		살충제 (다이피오 카바메이트계)	

계속

내분비 장애물질	생산상황	용 도	검 출
Chlordane, Oxychlordane, Trans-nonachlor (DDT), (DDE), (DDD) Dichloro diphenyl trichloroethane, Dichloro diphenyl ethane, Dichloro diphenyl dichloroethane	사용금지('91)	살충제 (유기염소계)♣ 살충제 (유기염소계)♣ 살충제 (유기염소계)♣ 살충제 (유기염소계)	검출
Kelthane =Dicofol	233 톤/년	살충제 (유기염소계) 진드기살충제	
Aldrin	금지('81)	살충제 (유기염소계)♣	
Endrin	금지('81)	면화, 살충제 (유기염소계)♣	
Dieldrin	금지('71)	살충제 (유기염소계)♡♣	
Endosulfan	1,149 톤/년 卍	살충제 (유기염소계)	
Heptachlor, Heptachlorepoxyde	금지('86)	살충제 (유기염소계), 흰개미, ♣ 살충제 (유기염소계), 흰개미, ♣	
Kepone(Chlordecone)	미등록	살충제 (유기염소계), 바퀴벌레	
Methoxychlor	사용중(미국)	살충제 (유기염소계)* 수생생물 독성	
Mirex	미등록	살충제 (유기염소계)	
Toxaphene(Camphechlor)	미등록	살충제 (유기염소계)	
Cypermethrin		살충제 (피레스로이드계)	
Esfenvalerate		살충제 (피레스로이드계)	
Fenvalerate	136 톤/년	살충제 (피레스로이드계)	
Permethrin	317 톤/년	살충제 (피레스로이드계)	
Zineb	364 톤/년	살충제 (다이저오 카바메이트계)	
Ziram	364 톤/년	살충제 (다이저오 카바메이트계)	
Vinclozolin	153 톤/년	살균제	

♣, 발암성 물질; ♣, 성장장애; ♡, 간장애; 卍 현재 수입하여 사용; ◎ 발암물질, 옥수수, 사탕수수 재배에 널리 쓰인 농약; ◆미국, 정제된 Lindane이 사용 중, 일본 '71년 농약, 살충제로는 금지, 목재처리제로 사용중; 수, 수질; 저, 저질; 대, 대기; 어, 어류;

3. 플라스틱류 물질 (17)

내분비 장애물질	생산상황	용 도	검 출
Alkyl phenol, ●	10,000 톤/년	잉크, 니스, 세제, 유용성 수지 등	
Nonyl phenol ● ㉠	20,000 톤/년 한국=5,013 톤/년 (Penta-Nonylphenol 류)	잉크, 니스, 세제 등	
4-ocyl phenol ●		잉크, 니스, 세제 등	
Bisphenol A ● ㉠	260,000 톤/년  한국=61,287 톤/년	폴리카보네이트수지, 에폭시수지 플라스틱 젓병, 식기 제품의 원료	수, 저
Styrene, di- /trimer ㉠	2,121,000 톤/년 한국=18,878 톤/년	합성수지 원료, 컵라면 용기	

Alkylphenol ethoxylates; Nonylphenol ethoxylates; Octylphenol ethoxylates; n-Butylbenzen; Benzo(a)pyrene; [2-Octyl-; 4-Nonyl-; 4-Octyl-; p-Octyl-; 4-Propyl- ; 4-sec-Butyl-; 4-n-Butyl-; 2-t-Butyl- 3-t-Butyl-; 4-t-pentyl-; 4-t-Octyl ] Phenols 등이 Penta to Nonyl Phenols류로 내분비교란물질로 추정. ●, Estrogenic

4. 가소제 (9)

내분비 장애물질	생산상황	용 도	검 출
(DEHP) Diethylhexylphthalate	291,000 톤/년 한국= 92,986 톤/년	염화비닐(PVC), 아크릴수지제품 등	
(BBP) Butylbenzyl phthalate	3,000 톤/년 한국= 1,832 톤/년	도료, 인조피혁 등, 연화제	
(DBP) Dibutyl phthalate	17,000 톤/년 한국= 4,495 톤/년	래커칠, 접착제, 피혁, 잉크, 연료 등	

**계속**

내분비 장애물질	생산상황	용도	검출
(DCHP) Dicyclohexyl phthalate	100 톤/년 한국= 1 톤/년	세로판, 접착제, 래커칠 등	
(DEP) Diethyl phthalate Dihexyladif	700 톤/년 한국= 1,372 톤/년	플라스틱의 가소제	

기타: (DHP) Dihexyl phthalate; (DPrP) Dipropyl phthalate; (DPP) Di-n-pentyl phthalate (DEHA) Di-2-ethylhexyl phthalate 등이 있음

**5. 중금속류 (3)**

내분비 장애물질	생산상황	용도	검출
Cadmium		도금, 합금, 안료 등	
Lead		축전지, 안료 등	
Mercury		채은계, 수은 등	

**6. 합성 에스트로젠 (8종)**

Centchroman; Estradiol; Ethynylestradiol; Diethylstilbesterol (DES); Hestrol; 2-Hydroxyestradiol; Tamoxifen; Raloxifene

**7. 식품 성분 및 식품첨가물(3)**

(BHA) Butylated hydroxyanisole; Equol; Enterolactone

**8. 식물에 존재하는 호르몬 유사물질 (6종)**

Phytoestrogens; Coumestrol; Formononectin; Genistein; Daidazein (4,7-Dihydroxyisoflavone); Biochanin(5,7-Dihydroxy-4'-methoxyisoflavone)

☞ 한국 자료는 1996년 화학물질 유통실태조사 (환경부)에 의한 것임. 위의 일본 자료는 1993년와 1994년의 수치임. 농약