

규제기준 변화에 따른 PCBs 인체 및 생태 위해성 평가

임영욱, 양지연, 정종수¹, 이용진, 김진영¹,
이청수, 고성준, 신동천^{2,*}

연세대학교 환경공해연구소, ¹한국과학기술연구원,
²연세대학교 의과대학 예방의학교실

Health and Ecological Risk Assessment of PCBs-exposure by Regulation Guideline Change

Young-Wook Lim, Ji-yeon Yang, Jong-Soo Jung¹, Yong-jin Lee,
Jin-Young Kim¹, Chung-Soo Lee, Seong-joon Ko and Dong-chun Shin^{2,*}

Institute for Environmental Research, Yonsei University (IERY)

¹*Korea Institute of Science and Technology*

²*Department of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine,
Yonsei University*

ABSTRACT

In the present study, the concentration levels of polychlorinated biphenyls (or PCBs) in the environments in Korea are estimated based on some measured data in Korea, in comparison with the data from the other countries. Even though PCBs were banned as electrical fluids in 1970s in Korea, PCBs are still detected in the environment. PCBs levels in Korea are greatly lower than those in other countries, which are gradually decreased as well. However, the measured data are not sufficient in both numbers and quality, to estimate the average PCBs levels in Korea.

The regulation limit on polychlorinated biphenyls (or PCBs) is 2 mg/kg (ppm), which is too low compared to 50 ppm of many other countries including U.S. With this strict regulation, there are many problems expected, for example, in the analysis of PCBs in the transformers using in the field as well as the safe treatment of PCBs. The risk assessment on the PCBs in the environment is surely necessary prior to the change in the limit. Also the PCBs concentration monitoring in the environmental media (i.e. air, water, soil and sediment) and exposure assessment will be essential for the accurate risk assessment.

If the PCB-waste guideline maintain as 2 ppm after 10 years, the excess cancer risk of PCBs exposure by ambient air, drinking water and soil was 10^{-8} . But if the guideline mitigate as 50 ppm after 10 years, the cancer risk was increased by 10^{-7} . The ecological risk quotient by regulation change was not exceed '1'.

Key words : PCBs, health risk, ecological risk, regulation change

* To whom correspondence should be addressed.

Tel: +82-2-361-5361, E-mail: dshin5@yumc.yonsei.ac.kr

서 론

PCBs (Polychlorinated Biphenyls)는 전기절연성이 뛰어나며 열, 산 및 알칼리에 안정하고 신전성(伸展性), 접착성 등이 우수한 화합물로서 1929년 미국에서 상업적으로 생산이 시작된 이래, 사용이 중지될 때까지 Aroclor, Clophen, Phenoclor, Kaneclor 등의 상품명으로 1930~1970년대에 전 세계에서 130만 톤이 생산되었으며 변압기, 축전기의 절연유, 윤활유, 가소제, 도료, 복사지 등의 여러 용도로 사용되어 왔고, 10여 개국에서 총 140만 톤이 생산되어 세계 전역에서 광범위하게 사용되어 왔다. 그러나 독성이 강하며, 환경 중에서 분해되지 않고 잔류하여 생물농축이 되며, 장거리이동에 의해 지구적인 환경오염문제를 야기하는 대표적인 잔류성 유기 오염물질(Persistent Organic Pollutants: 이하 POPs)로 밝혀짐에 따라 1970년대부터 생산과 사용을 금지하였고, 최근에는 PCBs 사용현황, 환경오염 실태 조사 및 PCBs 함유 제품의 처리대책을 강구하는 등 PCBs 함유제품에 대한 관리의 필요성이 다시 대두되었다. 현재는 전 세계적으로 PCBs 생산 및 사용이 금지되어 있기 때문에 농도 예측에서는 기존에 생산된 PCBs 사용 제품을 주요 오염원으로, 특히 가장 많은 비중을 차지하는 변압기류의 전기제품을 고려해야 할 필요가 있다(GLBTS, 1999). 변압기의 PCBs 절연유는 밀폐계에서 사용되고 있으나, 사용수명이 길기 때문에 아직도 비교적

고농도의 PCBs를 함유하고 있을 가능성이 있으며, 사용 중인 변압기는 물론 폐기물 저장소에 저장되어 있는 변압기도 단순 누출 사고뿐만 아니라 화재에 의한 누출 사고 등의 위험성을 항상 가지고 있고, 소각이나 화학적 처리 방법 등에 의해 처리하는 경우에도 2차 오염의 가능성을 완전히 배제할 수 없다. 더구나 환경 중으로 배출된 PCBs는 하나의 매체에만 계속 머물러 있는 것이 아니라 대기, 물, 저질, 토양 등의 모든 환경매체 간 이동을 하여 결국 생물체에 축적되어 인간에게 영향을 주게 된다. 따라서 환경매체 전반에 걸쳐 PCBs 농도를 감소시키기 위해서는 1차 오염원을 적절히 관리 규제하는 것이 절실히 필요하다. 우리나라 연안에서는 국지적으로 육상에서 유입된 PCBs가 상당히 높은 농도로 검출되고 있으나 아직까지 광범위한 조사가 되지 못하여 정확한 오염현황은 밝혀져 있지 못한 상태이다.

미국은 세계 최대의 PCBs 생산국가로서 1929년~1977년까지 총 700,000만 톤을 생산하였으며, 이 중 약 75,000톤이 외국으로 수출되었다(US EPA, 1999). 1988년 말 현재 전기 장비 중에 약 141,000톤의 PCBs가 남아있으며, PCBs를 함유한 축전기는 약 160만 대가 있는 것으로 추정되었다. 미국 환경보호청(US EPA)은 1998년 12월부터 변압기에 대한 국가단일등록시스템을 구축하여 데이터베이스를 작성하여 1999년까지 18,700대가 등록되었다(US EPA, 1999). 또한 러시아연방의 유일한 PCBs 제조회사인 Orgsteklo사와 Orgsintez사에서

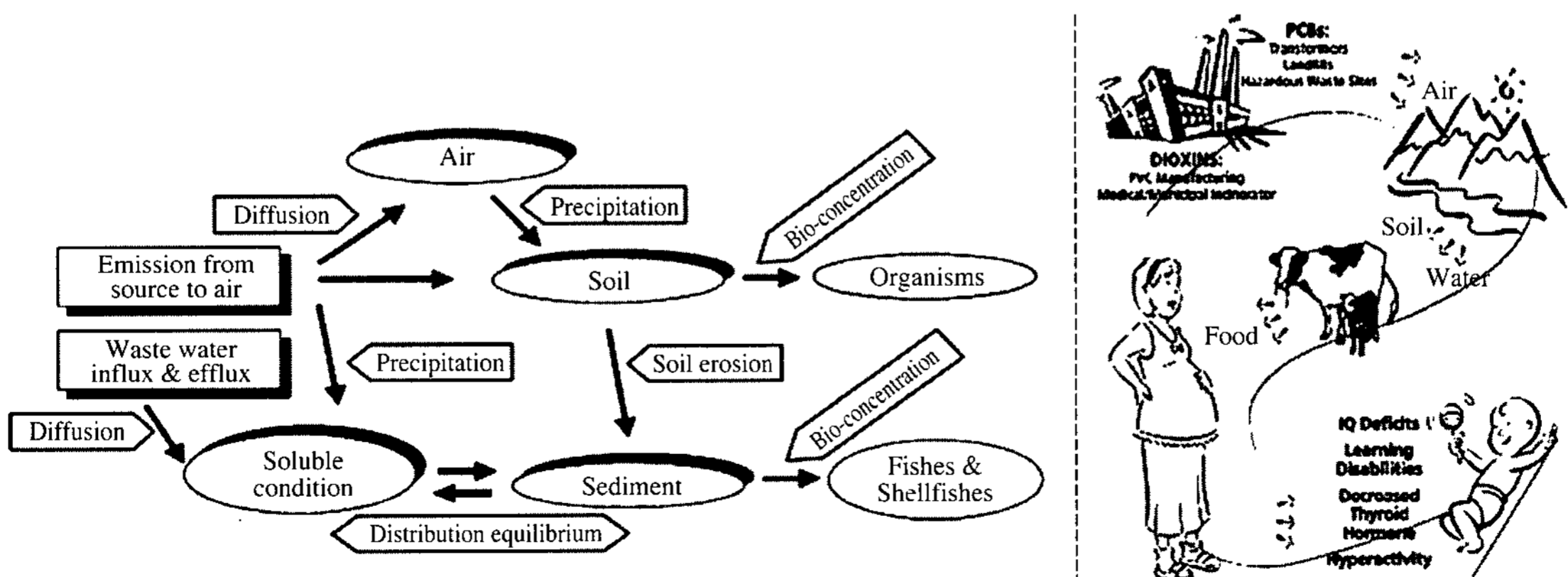


Fig. 1. Environmental fate of PCBs & exposure pathway.

총 179,500톤을 생산하였으며, 그 중 변압기 및 축전기의 절연유에는 127,000톤이 사용되었다. 영국의 환경식품농촌부(DEFRA)는 PCBs 총 생산량 및 수입량으로부터 폐기된 양과 수출량을 제외함으로써 영국의 PCBs 잔류량을 8,000톤으로 추정하고 있으며(DEFRA, 1999), 잔류량의 대부분은 1,800대의 변압기와 450,000대의 축전기 내에 있는 것으로 조사되었다. 캐나다는 미국으로부터 PCBs를 전량 수입하여 사용하였으며, 1980년 이전까지 총 40,000톤이 수입되었으나 현재 29,400톤에 대해서만 사용 및 잔류내역이 확인되었다. 일본의 경우 PCBs 총 생산량은 58,787톤, 수입량 1,048톤, 수출량 5,318톤, 사용량은 54,001톤이었으며, 고압변압기 및 콘덴서 약 39만 대에 37,156톤이 사용된 것으로 나타났다.

우리나라에서 PCBs의 사용량이나 배출량이 조사된 적은 없으나, 환경부(2003)에서는 유럽의 변압기 PCBs 배출계수 권장치인 0.13(g/인/년) (EMEP/CORINAIR, 2000)을 적용하는 경우 1945년~2000년 기간 중 우리나라의 변압기에 의한 PCBs 배출량 추정치는 약 236톤에 이른다고 하였다. 그러나 과거 우리나라의 산업발전정도나 에너지 사용수준이 유럽보다는 낮다는 점을 고려하면 실제 배출량은 이보다는 낮을 것으로 추정된다.

국내에서 PCBs 절연유는 지난 79년 전기사업법 개정으로 사용이 금지되었고, 현행 유해화학물질관리법은 PCBs가 50 ppm 이상 함유된 물질의 제조·수입·사용을 금지하고 있으며, 폐기물관리법은 PCBs가 2 ppm 이상 함유된 폐기물은 지정폐기물로 분류하여 적정 처리하도록 되어 있다. 환경부는 PCBs가 2 ppm 이상 함유된 장비는 폐기될 때까지 지속적인 관리가 가능하도록 인식표를 부착하고 관리대장을 작성·비치, 정기오염도 시험실시 등을 통해 관리하도록 하고 있으나, 현재 국내에는 PCBs 오염 물질에 대한 처리 기술이 개발되어 있지 않아 50 ppm 이상으로 오염되어 사용이 금지된 변압기는 지정폐기물 보관소에 장기보관하고 있다가 해외로 이전하여 처리하고 있다. 국내에서 발생하는 PCBs 폐기물 처리를 위하여 '87년에 PCBs 소각설비를 준공하였으나 민원 등에 의해 '96년 처리시설 가동을 중단하였고, 그 이후에 우리나라에서 발생하는 PCBs 폐기물 발생 전량을 외국에 수출하여 처리하고 있다. 지난 79년 전기사업법 개정

으로 PCBs 절연유 사용이 금지되었음에도, 현재까지 절연유에서 PCBs 물질이 검출되고 있는 이유는 (1) 과거 규제 이전에 제조된 절연유가 아직 남아 있거나, (2) 재활용되어 새 변압기에 사용되는 경우, (3) PCBs 물질이 변압기 자체에 흡착되어 남아있는 경우, (4) 과거 PCBs 절연유와 동일 장비로 새 절연유(광유, mineral oil)를 제조·운반한 경우 등에 기인하는 것으로 파악된다. 한전 및 6개 발전사가 지난 2003년 12월부터 2004년 5월까지 약 30,000기 중 1,237기의 지상변압기를 대상으로 자체적으로 실시한 PCBs 오염 실태조사 결과, 19기에서 50 ppm 이상 검출되고, 253기에서 2~50 ppm 미만이 검출된 바 있다. 그러나 대략 162만기에 달하는 주상변압기에 대한 PCBs 오염 실태조사는 진행된 바가 없어 정확한 오염현황 파악조차 하지 못하고 있는 상황으로써, 체계적인 PCBs 함유 폐기물에 대한 기준 제정과 이에 대한 효과적인 관리 체계가 시급한 실정이다.

본 연구에서는 규제 농도가 현행과 같이 2 ppm 인 경우와 50 ppm으로 완화되는 2가지 상황에 대한 환경 매체 중의 PCBs 농도 변화를 예측해 보고, 각각에 대하여 인체 및 생태 위해성평가를 통하여 현 규제기준의 타당성을 판단해 보려 한다.

연구 방법

1. 농도변화 예측 방법

원칙적으로 변압기 규제 기준 변화에 따른 환경 중 PCBs 농도 변화를 예측하기 위해서는 과거 및 현재의 변압기 대수와 농도현황에 관한 자료가 필요하며, 미래에 규제기준 변화에 따른 변압기 현황을 먼저 예측한 후 이를 이용하여 농도변화를 예측해야 한다. 그러나 지금까지 우리나라에서 PCBs에 대한 연구결과는 부족한 상태이고, 과거는 물론이고 현재의 변압기 현황이나 PCBs 농도현황에 관한 자료도 구하기 어려운 실정이며, 국립환경과학원의 5년에 걸친 측정결과에서도 검출한계 이하 값이 많이 보고되고 있는데, 국외에 비해 검출한계가 너무 높다는 점을 고려하면 분석장비 및 분석방법을 보다 정밀하게 할 필요가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 향후 농도를 예측하기 위한 현재 농도 값으로 국립환경과학원과 문헌자료의

측정값을 이용하였으며, 우리나라의 환경 매체 중 미래의 PCBs 농도변화를 예측하기 위해서 과거 수십 년간 PCBs에 관해 많은 연구가 이루어진 미국 오대호 주변의 연구 결과 중 환경 매체별 PCBs 반감기를 이용하여 농도를 예측하는 방법을 채택하였다. 단, 여기서 말하는 반감기는 물질의 고유 특성으로서의 반감기가 아니라 매체별 이동, 변환 등에 따른 자연적 감소율과 제어 정책 적용에 따른 저감율 등을 함께 고려한 통합적 PCBs 저감율의 개념이다. 이 결과를 우리나라 PCBs 농도 변화 예측에 적용할 때, 우선 PCBs 폐기물의 규제기준으로 50 ppm을 사용할 경우에는 현재의 PCBs 농도 수준이 외국의 1970~1980년대 처럼 높지 않기 때문에 오대호 주변의 1990년대 이후의 반감기를 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 한편 규제 기준이 2 ppm인 경우에는 적극적인 정책을 통해 PCBs 농도를 효과적으로 감소시켰던 1970년대부터의 반감기를 적용하는 것이 적절할 것으로 추정되었고, 수질과 저질 중 PCBs의 반감기는 1990년

대 이후의 자료만 별도로 계산한 연구가 없기 때문에 Schneider *et al.* (2001)의 1970년대부터의 반감기를 기준으로 하되, 대기 중의 반감기가 증가하는 비율만큼 이 반감기도 증가한다고 가정하여 3배 증가를 적용하였다. 토양의 경우 1970년대부터의 반감기 자료마저도 없기 때문에 저질 중의 PCBs 반감기와 같다고 가정하였다.

본 연구에서는 반감기를 이용하고 현재 농도에서 지수 함수적으로 농도가 감소한다고 가정하여 각 규제기준별로 2005년 현재 농도와 2015년의 예측 농도를 나타내었다. Table 1에 규제 기준이 50 ppm인 경우와 2 ppm인 경우 각각에 대하여 매체별 농도를 예측하기 위한 반감기 값을 제시하였다.

2. PCBs 함유폐기물의 위해성평가

1) 인체 위해성평가

(1) 위험성 확인

위해성 평가를 위한 PCBs (CAS #1336-36-3) 위험성확인 정보는 US EPA에서 제공하고 있는 IRIS의 정보를 사용하였고, 데이터에서 제공하고 있는 독성정보는 PCBs의 용량-반응평가를 위한 동물실험 자료를 근거로 신뢰성 확보를 위해 IPCS의 EHC 보고서, EPA IRIS 및 IARC에서 제시하고 있는 자료들을 참고하여 PCBs의 인체 내 물질대사, 약물동력학적 정보, 급성·만성 독성정보, 발암성정

Table 1. Half life of total PCBs concentration by regulation variation (unit: year)

Regulation	Air	Drinking water	Sediment	Soil
50 ppm	20	12	67	67
2 ppm	6.03	4.08	22.3	22.3

Table 2. PCBs (1336-36-3) slope factor

(U.S. EPA)

	ED ₁₀ (mg/kg-day)	LED ₁₀ (mg/kg-day)	Central slope (mg/kg-day) ⁻¹	Upper-bound slope (mg/kg-day) ⁻¹	Sphere of application
High risk & Persistence	0.086	0.067	1.0	2.0	Food intake Sediment and soil intake Particles and aerosol inhalation Dermal absorption (absorption rate adjustment O) All exposure pathway of children
Low risk & Persistence	0.38	0.27	0.3	0.4	Drinking water and water-soluble intake Gas phase inhalation Dermal absorption (absorption rate adjustment X)
Lowest risk & Persistence	2.4	1.4	0.04	0.07	Chlorines ≥ 4 congener content ≤ 50% of total PCBs content

보, 기타 돌연변이원성 등의 정보를 정리하였으며, 구강 노출을 통해 간 독성과 발암성에 대한 자료를 수집하였다. 위해 등급에 관한 정보는 US EPA와 IARC에서 제안하고 있는 발암 등급을 검토하여 위해성 평가를 수행하였다.

(2) 용량-반응 평가

정량적인 용량-반응 관계가 관찰된 역학연구 자료를 가장 우선적으로 활용하며, 부재 시 동물실험 자료를 이용하여 용량-반응 평가를 수행한다. 본 연구에서는 PCBs의 인체 발암성 물질의 중요성을 고려하기 위해, 물질의 인체 발암성 여부에 따라 다른 용량-반응 평가방법을 이용하고 있는 미국 환경보호청의 용량-반응 평가기법을 적용하여 평가하였다.

(3) 인체 노출평가

환경매체별 오염도를 바탕으로 노출의 강도(또는 매체접촉율), 빈도(frequency), 기간(duration), 노출경로에 관한 요소들을 고려하여 수행되며, 환경 중 PCBs의 임의 농도 값을 체내에서 용량으로 전

환한 인체 노출량 값은 해당물질이 임의의 농도로 오염된 매체에 노출될 경우 관련 노출인자에 따라 달라지므로 가능한 노출경로를 확인하여 각 경로를 통한 노출량을 추정한다. 본 연구에서는 US EPA의 위해성평가 가이드라인에 따라 인체 노출량을 산출하여 규제기준 시나리오와 현 수준에서의 위해 저감 효과를 분석하기 위해 환경부 자료 및 각종 국내 문헌자료 중 노출정보를 바탕으로 규제기준 변경에 따른 환경 중 농도예측 자료를 통해 추정하였고, 보통 성인평균체중은 70kg에 섭취율은 2 (L/day), 호흡률은 20 (m³/day)로 적용하였다.

평생 노출량(Lifetime exposure)

$$= \frac{\text{환경중 농도} \times \text{노출시간}}{\text{평균수명}}$$

평생 평균 노출량(Lifetime average exposure)

$$= \frac{\text{섭취/호흡율} \times \text{대기중 농도} \times \text{노출기간}}{\text{체중} \times \text{평균수명}}$$

(4) 위해도 결정

용량-반응 평가와 인체 노출 평가에서 산출된

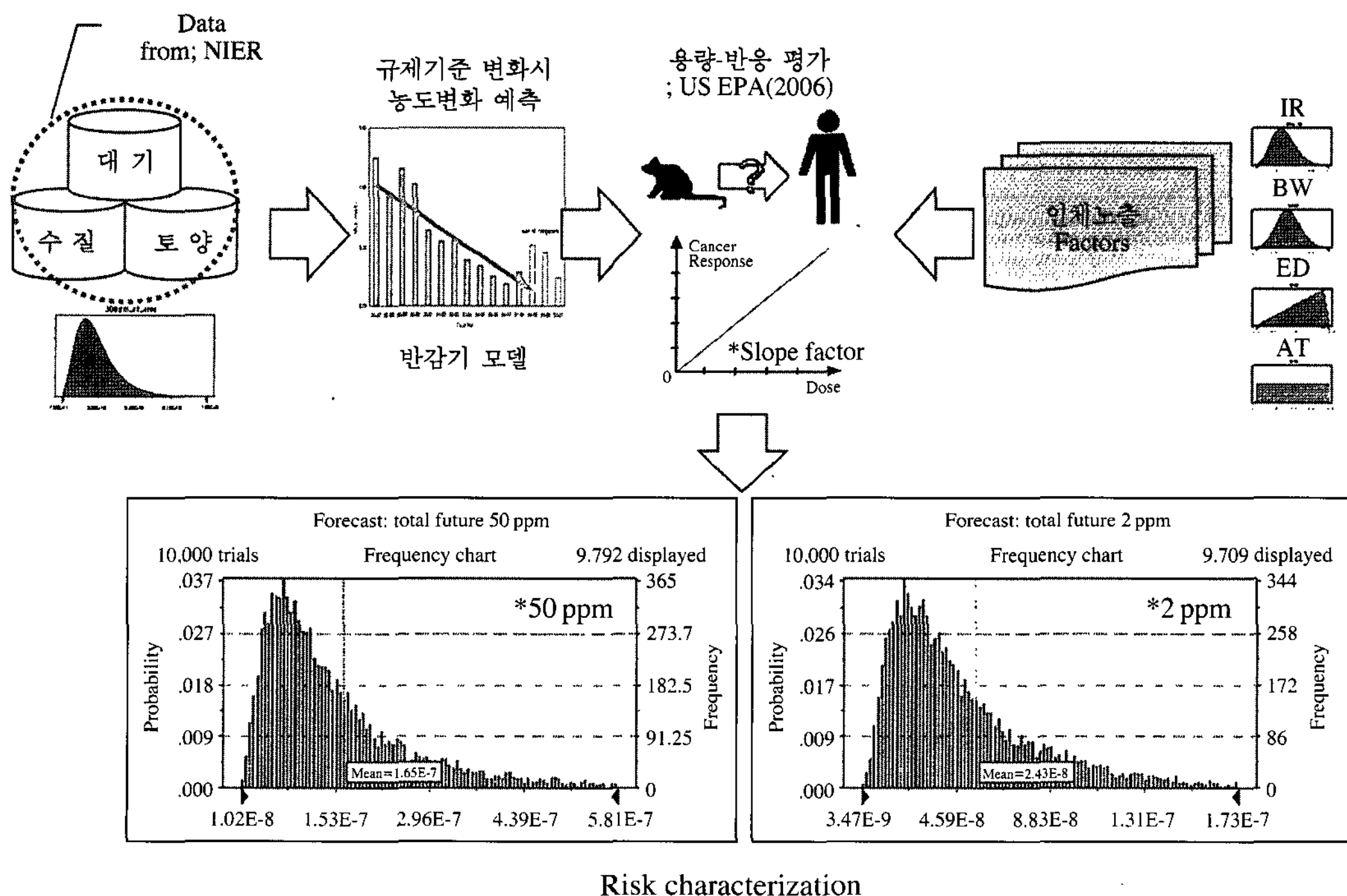


Fig. 2. Health risk characterization.

정보를 종합하여 PCBs에 특정농도로 노출되었을 경우에 개인이나 인구집단에서 유해한 영향이 발생할 확률을 결정하는 단계로서, 본 연구에서는 미국 환경보호청의 방법에 따라 PCBs의 발암 독성 영향에 대한 인체 위해도를 산출하였다.

개인 초과발암위해도 (Individual excess cancer risk)
 = 현 오염도 수준 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 × 단위위해도 추계치 [$(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$] 또는,
 인체 노출량 ($\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$)
 × 발암력, q_1^* [$(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})^{-1}$]

인구집단 위해도 (Population risk)
 = 개인 위해도 × 노출 가능한 인구집단의 인구수

2) 생태 위해성평가

(1) 유해성 확인 및 용량-반응 평가

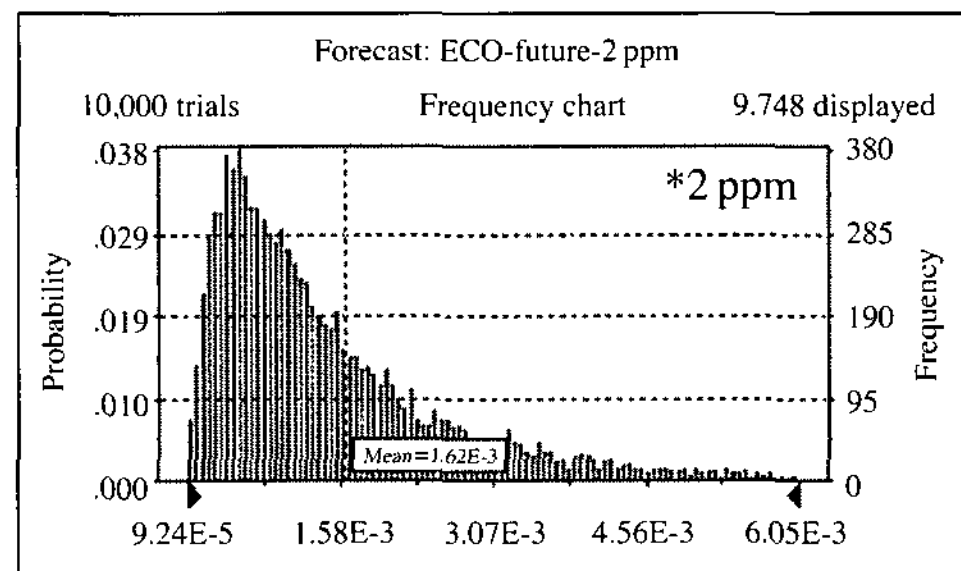
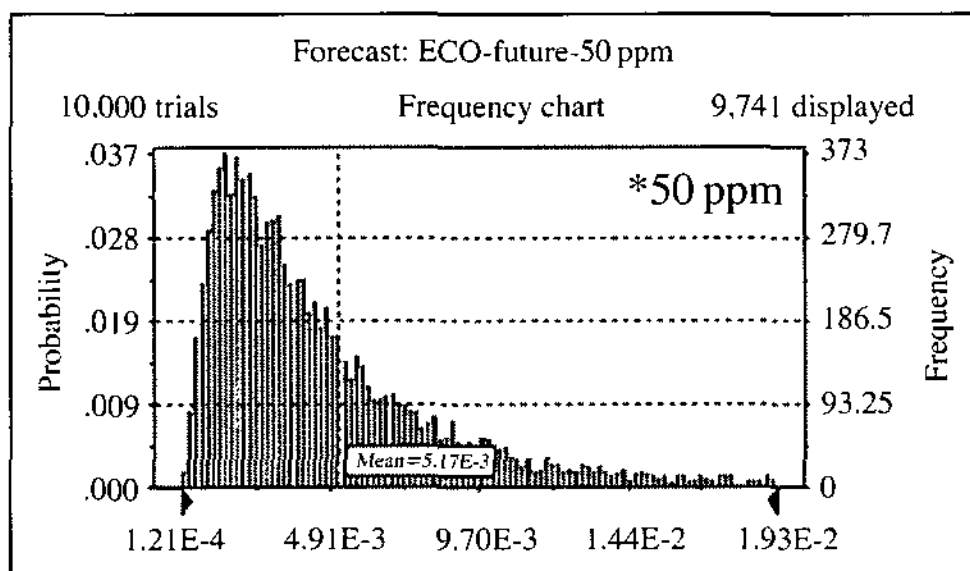
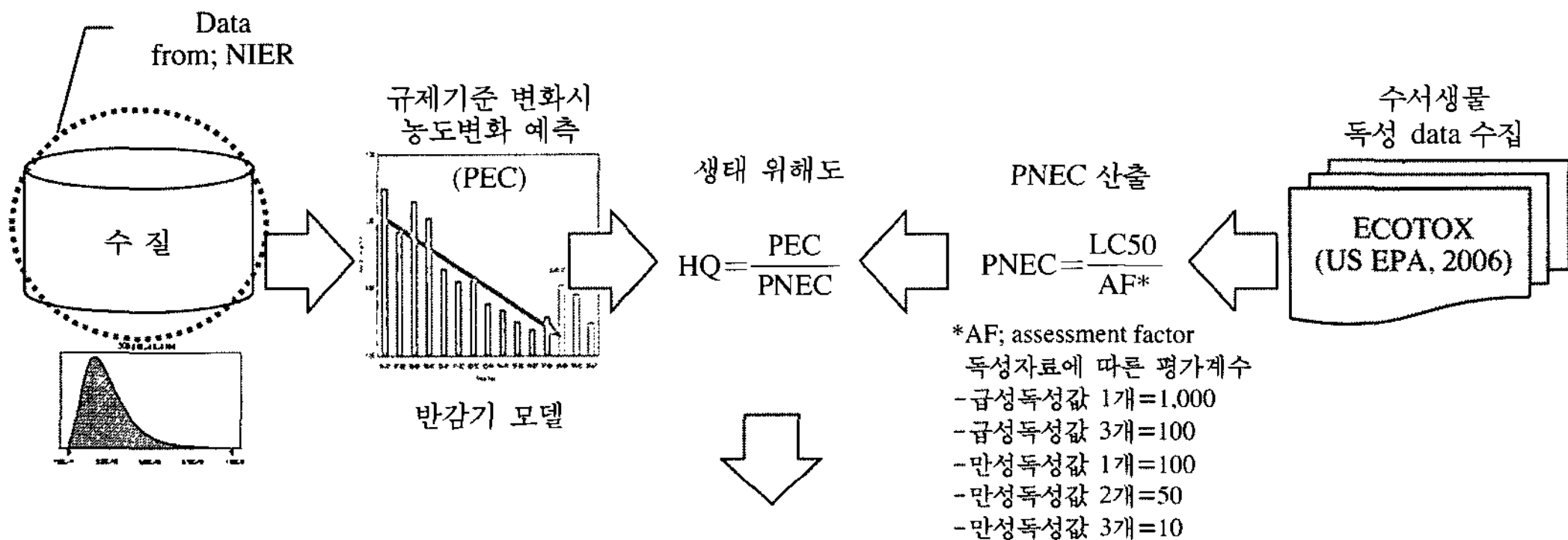
유해성확인 은 일반적으로 ECOTOX 자료 및 EPA 보고서를 기초로 독성값을 구하고, 평가결과 얻어진 독성값을 바탕으로 PNEC 값을 결정한 후 그 외 국제기구의 보고서에 언급된 독성값이 있는

경우, 이를 이용한 PNEC을 별도로 결정하여 이들을 상호 비교하는 방식으로 절차를 마련한다. 이러한 PNEC 산출을 위하여 EPA에서 제공하고 있는 PCBs 생태독성자료를 수집하였다.

용량-반응 평가는 EPA의 ECOTOX에서 제공하고 있는 DB중 수생생태에 대한 위해성만을 평가하였으며, 이 중 가장 보수적 endpoint인 개체사망 (mortality)을 선택하였고, PCBs congener에 대한 개별 독성평가보다는 실제 변압기 절연유 누유로 인한 Total-PCBs의 독성평가가 중요하기 때문에 PCBs (1336-36-3)에 대한 mosquito fish의 급성 독성자료를 선택하여 PNEC를 산출하였다. 이때 적용된 평가계수 (AF)는 자료의 신뢰도를 고려하여 '100'으로 선택하였다.

Table 3. Aquatic organism toxicity value of Total PCBs

Species	Endpoint	Duration	Concentration
Mosquitofish	LC50	154.0 hour	305 $\mu\text{g}/\text{L}$ (250~460)
Mosquitofish	LC50	174.0 hour	390 $\mu\text{g}/\text{L}$



Risk characterization

Fig. 3. Ecological risk characterization.

PCBs 생태위해도 평가를 위한 PNEC는 3.05~3.90 (µg/L)로 산출되었으며, 위해성 평가에서 상기 자료의 불확실성을 고려하기 위해 uniform distribution으로 fitting하여 평가를 수행하였다.

$$PCBsPNEC = \frac{LC_{50}}{AF} = \frac{305 \sim 390 \mu\text{g/L}}{100} = 3.05 \sim 3.90 (\mu\text{g/L})$$

(2) 노출평가

화합물의 독성값 외에 평가대상지역에서의 오염 농도가 필요하기 때문에 국내 문헌자료를 검토하여 각 매체별/시기별 노출자료를 수집하였고, 인체 노출평가에서와 같이 규제기준 시나리오와 현 수준에서의 위해저감효과를 분석하기 위해서 환경부 자료 및 국내 문헌 자료 중 노출정보를 바탕으로 현재 노출수준과 규제기준 변경으로 인한 노출수준을 비교하여 수행하였다.

(3) 위해도 결정

국립환경과학원 내분비계장해물질 자료를 토대로 규제체제 변경으로 인한 환경 중 PCBs 농도 감소자료를 사용하여, 원칙적으로 유럽연합의 환경위

해성평가지침에 준하여 생태 위해수준을 평가하였다. 이때 노출수준은 수서생태 위해성평가를 위해 수질 농도자료를 사용하였으며, 노출 자료의 불확실성을 고려하기 위해 대상 자료에 대한 분포를 고려하여 평가하였다.

$$PNEC = \frac{\text{Lowest } LC_{50} \text{ or } NOEL}{AF}$$

$$\text{생태 위해 수준} = \frac{\text{노출 수준}}{PNEC}$$

결과 및 고찰

1. 규제기준 변화에 따른 환경 중 PCBs 농도변화 예측

우리나라의 PCB 농도는 연도별 농도변화보다는 지역별 변화가 더 크게 나타나기 때문에, 연도별 농도변화는 크지 않다는 가정하에 국립환경과학원 및 문헌에 발표된 각 매체별 측정 자료 들을 평균함으로써 2005년 현재 평균농도로 하였다. 단, 지역

Table 4. PCBs concentration prediction by regulation variation

Regulation guideline		Air (pg/m ³)	Drinking water (ng/L)	Sediment (ng/g)	Soil (ng/g)
50 ppm	Present conc. (2005)	148.23	27.5	34.46	1.67
	Prediction conc. (2015)	<u>104.79</u>	<u>15.4</u>	<u>31.07</u>	<u>1.50</u>
2 ppm	Present conc. (2005)	148.23	27.5	34.46	1.67
	Prediction conc. (2015)	<u>46.68</u>	<u>4.9</u>	<u>25.15</u>	<u>1.22</u>

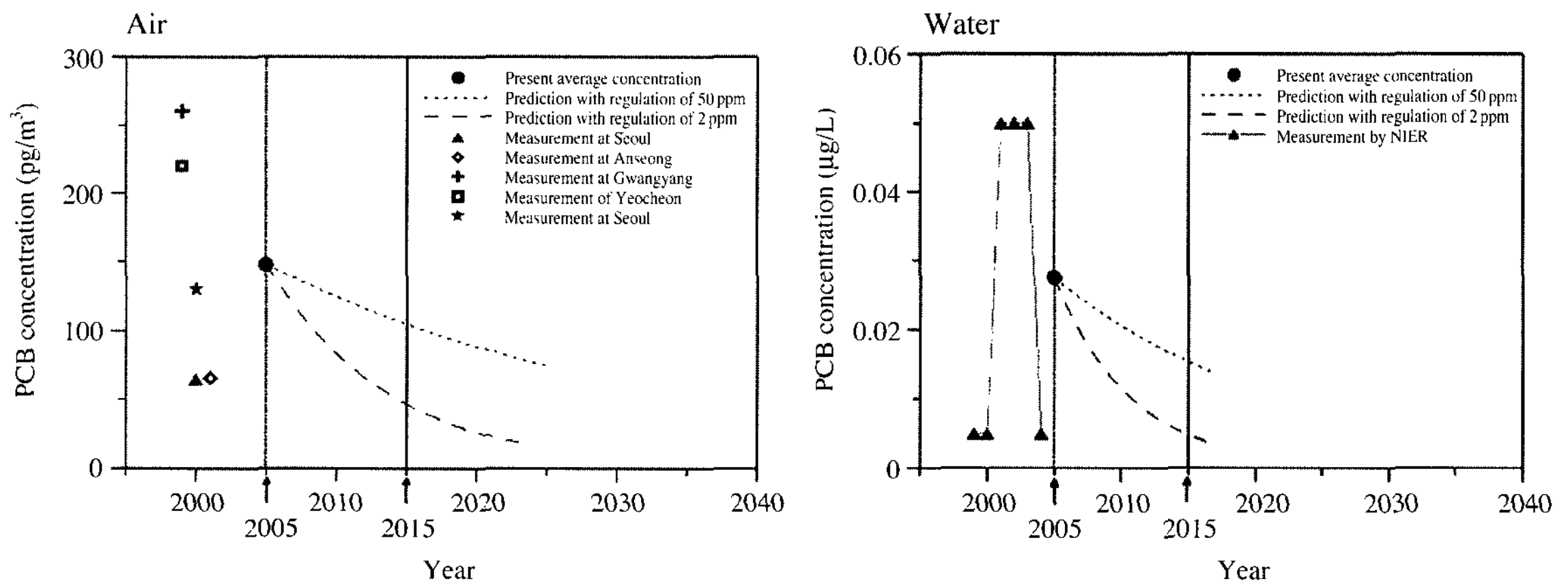


Fig. 4. PCBs concentration prediction in air & water.

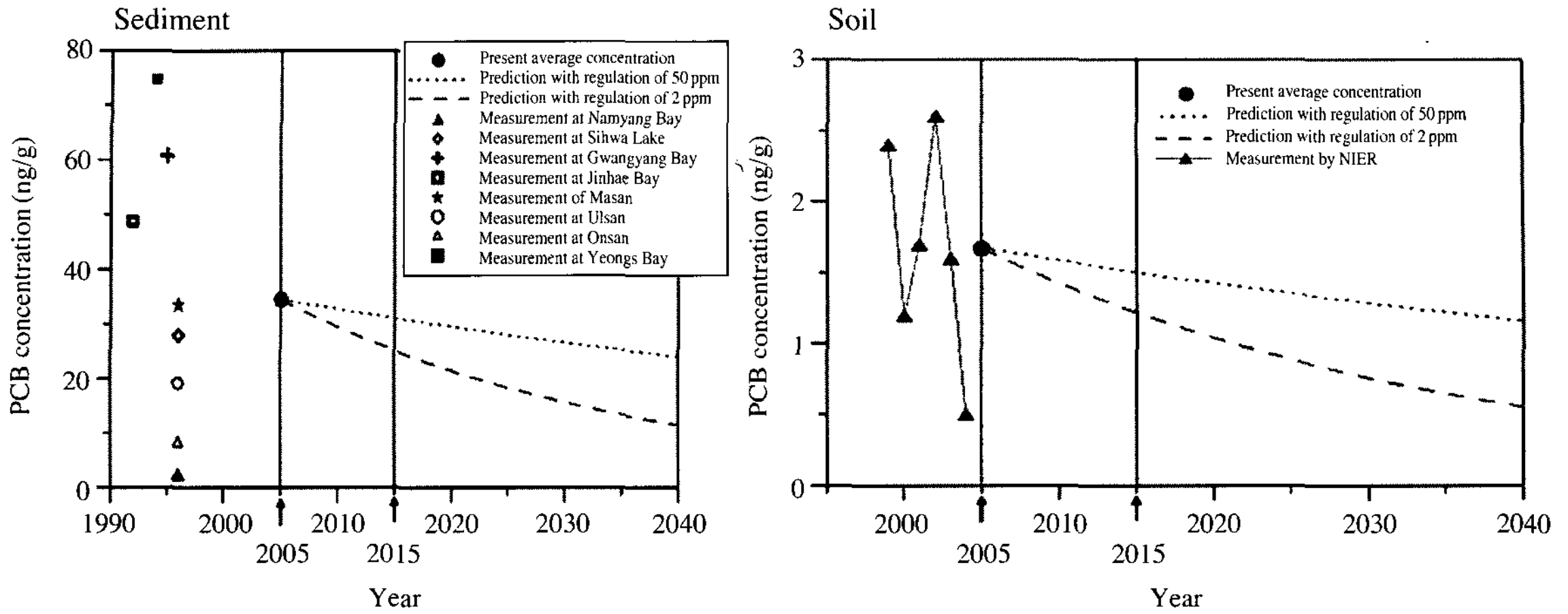


Fig. 5. PCBs concentration prediction in sediment and soil.

Table 5. Present risk by PCBs monitoring and health risk by regulation variation

Media	Present (2005)	Regulation guideline: 50 ppm (2015)		Regulation guideline: 2 ppm (2015)	
	Risk	Risk	Reduction rate	Risk	Reduction rate
Air	1.04×10^{-8}	7.38×10^{-9}	29.0%	3.31×10^{-9}	68.2%
Drinking water	1.95×10^{-7}	1.08×10^{-7}	44.6%	3.46×10^{-8}	82.3%
Soil	8.33×10^{-10}	7.41×10^{-10}	11.0%	5.98×10^{-10}	28.2%
Total	2.06×10^{-7}	1.16×10^{-7}	43.7%	3.85×10^{-8}	81.3%

Table 6. Present risk by PCBs monitoring and ecological risk by regulation variation

Present risk (2005)	Regulation guideline: 50 ppm (2015)		Regulation guideline: 2 ppm (2015)	
	Risk	Reduction rate	Risk	Reduction rate
8.97×10^{-3}	5.17×10^{-3}	42%	1.62×10^{-3}	82%

또는 발표 문헌별로 농도 편차가 과도하게 크다는 점을 고려하여 문헌별 평균 농도 중 최고농도와 최저농도를 제외한 나머지 농도들만 평균하였으며, 국립환경과학원의 측정결과만 있는 수질과 토양의 경우에는 연도별 농도 값을 모두 평균하여 2005년 현재의 농도 값으로 하였다. 위해성 평가를 위해 측정값 중 상한값을 택하는 것을 원칙으로 하되 모두 불검출인 경우는 측정 한계값의 1/2을 해당년도의 농도 값으로 하였다. Table 1의 반감기를 이용하여, 현재 농도에서 지수 함수적으로 농도가 감소한다는 가정하에 각 규제기준별로 2005년 현재 농도와 2015년의 예측 농도를 Table 4에 나타내었다.

2. PCBs 함유폐기물의 위해성평가

국립환경과학원의 내분비장애물질 모니터링 사업 조사결과를 통해 환경 중 현재 위해도를 평가한 결과, 대기오염에 의한 발암 위해도는 1.04×10^{-8} , 수질오염에 의한 위해도는 1.95×10^{-7} , 토양오염에 의한 발암 위해도는 8.33×10^{-10} 로 나타났으며, 총 위해도는 2.06×10^{-7} 로 나타나 현 수준이 안전한 수준으로 나타났다.

PCBs 규제기준을 50 ppm으로 하였을 때 10년 후 농도 변화를 근거로 한 위해성 평가에서 대기오염에 의한 발암 위해도는 7.38×10^{-9} , 수질오염에 의한 위해도는 1.08×10^{-7} , 토양오염에 의한 위해도는 $7.41 \times$

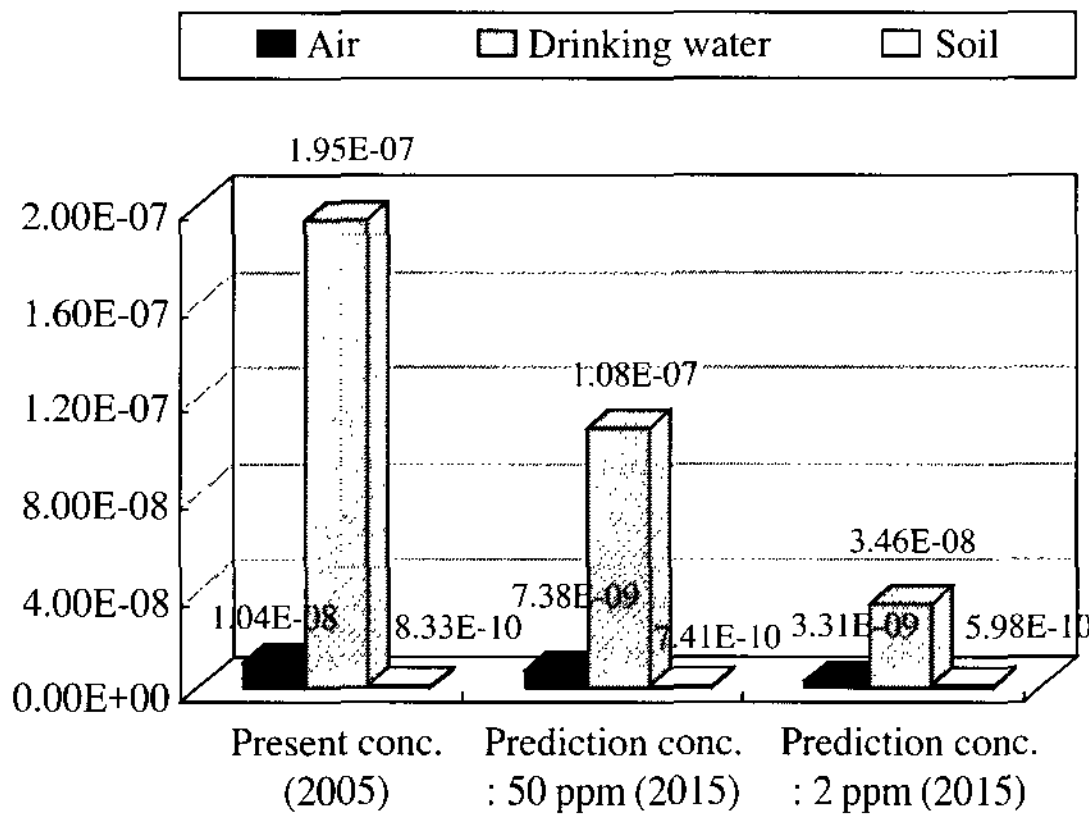


Fig. 6. Health risk by regulation variation.

10^{-10} 로 나타났으며, 이에 대한 총 발암 위해도는 1.16×10^{-7} 로 나타났다.

PCBs 규제기준을 2 ppm으로 하였을 때 10년 후 농도 변화를 근거로 한 위해성 평가에서 대기로 인한 발암 위해도는 3.31×10^{-9} , 수질로 인한 위해도는 3.46×10^{-8} , 토양으로 인한 위해도는 5.98×10^{-10} 로 나타났으며, 이에 대한 총 발암 위해도 3.85×10^{-8} 로 나타났다.

이때, 현재의 위해도를 기준으로 하여 기준을 50 ppm으로 완화하였을 경우, 총 위해도 감소율이 약 43.7%로 나타났으며, 현재의 기준 2 ppm을 유지하였을 때, 총 위해도는 10년 후 81.3% 감소하는 것으로 나타났다.

PCBs로 인한 생태 위해성 평가 결과, 현 수준에서의 생태 위해도는 8.97×10^{-3} 로 평가되었으며, 규제 기준을 50 ppm으로 완화했을 경우 2015년에 5.17×10^{-3} 로 현 위해수준에서 약 42% 감소되며, 현 규제 수준인 2 ppm으로 유지할 경우 2015년 위해도가 1.62×10^{-3} 로 현 수준에 비해 약 82% 감소되는 것으로 평가되었다. 현 수준과 규제기준 변경 후 모두 2015년 예측 위해도가 '1' 이하로 평가되어 안전한 수준으로 나타났다.

결론

국내에서는 PCBs 함유 폐기물에 대한 기준 설정 근거가 매우 미흡하며, 부처간/법령간 적용범위 차

이가 있어 관리의 어려움이 있다. 국외에서는 대부분 처리 전 규제기준으로 스톡홀름 협약 기준을 적용(50 ppm)하고 있으며, PCBs 생산 및 사용량에 따라 각국의 현실에 맞게 처리 후 기준이 적용되고 있다. 이에 국내에서도 PCBs 관리를 위한 현행 규제체계가 적절한지 검토하는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 가장 신뢰성 있는 국립환경과학원의 내분비계장애물질 모니터링 사업의 PCBs 환경 잔류실태 자료를 사용하여 농도 예측을 통한 인체 및 생태 위해성평가를 수행하였다. 그 결과, 국립환경과학원 자료와 실제 PCBs 함유 변압기 노출의 연관성 부족으로 인해, PCBs 오염변압기의 배출량을 고려한 위해성평가가 필요하다고 판단되었다. 국립환경과학원 모니터링 자료는 PCBs의 환경 중 실태를 조사한 자료이며, 고농도의 노출이나 PCBs 누출 가능성이 있는 hot-spot 지역을 대상으로 한 자료가 아니기 때문에 PCBs로 인한 정확한 인체 위해를 가늠하기 어렵기 때문이다. 따라서 PCBs 오염 변압기의 실태와 유통/보관에 대한 다양한 노출 가능 시나리오를 설정하여 PCBs 배출량을 설정하고, 이에 대한 환경 노출의 재평가를 통한 인체 위해성 평가가 차후 수행되어야 하겠다.

참고 문헌

국립환경과학원. 절연유 중 PCBs 세부분석 지침, 2004.
 국립환경과학원. 폐기물 중 폴리염화비페닐류 함유량 측정, 분석 매뉴얼, 2005.
 국립환경연구원보. 주요 배출원별 Coplanar PCBs의 발생 기전 및 배출특성에 관한 연구(I), 2003.
 국립환경연구원보. 주요 배출원별 Coplanar PCBs의 발생 기전 및 배출특성에 관한 연구(I), 2004.
 환경부. 잔류성 유기오염물질 조사기법 개발에 관한 연구, 2003.
 ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs), 2000.
 Breivik K, Sweetman A, Pacyna JM and Jones KC. Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners-a mass balance approach 1. Global production and consumption, *Sci Total Environ* 2002; 290: 181-198.
 DEFRA. Partial Regulatory Impact Assessment Dioxins and Dioxin-like PCBs in the UK Environment, 2001.

- DEFRA. Dioxins and Dioxin-like PCBs in the UK Environment, Consultation Document, 2002.
- Department for Environment, Food & Rural Affairs the National Assembly for Wales, the Scottish Executive the Department of the Environment in Northern Ireland, Specification of the UK Polychlorinated Biphenyl emission Inventory.
- GLBTS. *Binational Toxics Strategy PCB Sources & Regulations Background Report: Draft*, 1999.
- GLBTS. *Binational Toxics Strategy Draft Step 3 Report: Options for Reducing PCBs*, Prepared by Ross & Associates Environmental Consulting, 2000.
- Schneider AR, Stapleton HM, Cornwell J and Baker JE. Recent declines in PAH, PCB, and Toxaphene levels in the Northern Great Lakes as determined from high resolution sediment cores, *Environ Sci Technol* 2001; 35: 3809-3815.
- UNEP. *Guidelines for the identification of PCBs and Materials containing PCBs*, First Issue, 1999.
- US EPA. Guidelines for carcinogen risk assessment, *Federal Register* 1986; 51(185): 33992-34003.
- US EPA. Method 9078, screening test method for polychlorinated biphenyls in soil, <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/9078>, 1996.
- US EPA. Method 9079, screening test method for polychlorinated biphenyls in transformer oil, <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/9079>, 1996.
- US EPA. Proposed guidelines for carcinogen risk assessment; notice, *Federal Register* 1996a; 61(79): 17960-18011.
- US EPA. Report on peer review workshop on PCBs: cancer-dose response assessment and application to environmental mixtures. Washington, DC, National Center for Environmental Assessment, 1996b.
- US EPA. Phase 2 report-review copy further site characterization and analysis volume 2F-human health risk assessment Hudson River PCBs reassessment RI/FS, 1999.
- US EPA. Method 8082A, Polychlorinated biphenyls by GC, 2000.
- US EPA. Bioaccumulation testing and interpretation for the purpose of sediment quality assessment: status and needs and appendix (EPA-823-R-00-002) office of water; office of solid waste, Washington, DC. February, 2000.