

특정지역에서 토양중 PCB의 분석과 인체노출량평가

이효민 · 박송자 · 김명수 · 윤은경 · 최시내 · 김선태* · 박종세**
한국과학기술연구원 도핑컨트롤센터, 특성분석센터*, 식품의약품안전본부 독성연구소**

Quantification of Human Exposure and Analysis of PCBs in Contaminated Some Site

Hyomin Lee, Songja Park, Myungsoo Kim, Eunkyung Yoon, Shinai Choi,
Suntae Kim* and Jongsei Park**

Korea Institute of Science and Technology, Doping Control Center,
*Advanced Analysis Center, **Korea Food and Drug Administration,
National Institute of Toxicology Research
(Received February 20, 1997)
(Accepted April 2, 1997)

ABSTRACT : PCBs are classified as B2 (Probable human carcinogen) based on the induction of hepatocellular carcinomas in rats and mice from IRIS (Integrated Risk Information System). About 20 years ago, PCBs were phased out for electrical use in Korea, but PCBs were continuously used in the other field. Lately, there has been increasing concern on possible effects of contaminated soil to the other environment and human health. The purpose of this study is to determine PCBs level in soil at some site and to assess the human exposure doses according to exposure routes for people living within sites which expected to be exposed to PCBs. Pollution level of PCBs on the site was monitored using gas liquid chromatography. To assess the transport of PCBs in soil to plant and to air, various transfer factors(diffusion coefficient, bioconcentration factor etc.) were considered in simple calculations. To calculate the residential exposure doses by routes, some equations were considered using assumption value, which define inhalation, ingestion (soil, plant) and dermal uptake pathway. Computed results will be used as risk assessment information for human health evaluation on contaminated soil.

Key Words : PCBs, Probable human carcinogen, Contaminated soil, Human exposure doses, Exposure pathway, Risk assessment

I. 서 론

국내에서의 polychlorinated biphenyls(이하 PCBs로 표기)의 사용은 약 20여년전 전기설비용품에 대해 사용중지 된 바 있고, 최근에는 산업안전보건법상 허가 대상물질로 지정되어 사용이 규제되고 있는 실정이나, PCBs사용후 부적절한 사후처리 혹은 공정상의 발생이 환경오염의 원인이 되고 있다.

PCBs의 오염원으로는 플라스틱 조형제로 사용할 때 vaporization 되는것과 소각(incineration) 도중 형성되는 것이 대기의 주요오염원이고, industrial fluid의 폐기, 폐슬러지의 하천유입 등이 수질오염원으로 알려지고 있으며, 대기중 입자상 PCBs의 deposition과 혐기성 소화슬러지의 토양매립, 쓰레기 매립지로부터의 유출,

그리고 PCBs를 포함하고 있는 농약의 사용 등이 토양 오염의 원인으로 알려지고 있다(Nisbet and Sarofim, 1972).

대기 중에 증기 상태로 노출된 PCBs는 입자상 물질에 쉽게 흡착되어 토양으로 침강되며 평균 체류시간은 2-3일로 알려지고 있다(Södergen, 1972).

대기 중 PCBs는 volatilization, sedimentation을 통해 주로 제거되고, 수표면(<0.5 m)에서 mono-tetra chlorinated biphenyls의 광분해에 의한 반감기는 17-210일 정도이다(Tucker et al., 1975).

토양 중의 PCBs 분해는 화합물의 염소화 정도, 토양의 온도, 점토 함유율, 생분해율에 의해 좌우되는데 개략적인 반감기는 약 5년정도로 보고되고 있으며, 탈염소반응을 통한 생분해는 혐기성상태에서 일

어난다.

주요 인체노출경로는 토양중 PCBs가 식물이나 동물 체내로 전달되어 발생하는 식품을 통한 섭취이며, 이외에도 피부흡수, 호흡을 통해 노출된다. 직업적인 노출을 고려하면 PCBs는 주로 호흡을 통해 인체로 흡수되며, 피부흡수를 통해 쉽게 체내로 전달되기도 한다 (Kuratsune and Masuda, 1972).

본 연구에서는 토양중 PCBs 농도에 근거하여 그 지역 주변에서 거주하는 사람들을 대상으로 노출 scenario를 가정하고 가능한 노출경로와 인체노출 변수를 고려하여 인체노출량을 평가하고자 하였다.

본 연구의 구체적인 목적으로는

첫째, 토양중 PCBs를 분석하고 노출 scenario를 설정하는 것이며,

둘째, 토양중 PCBs 농도에 근거하여 대기중으로 전달되는 양을 계산하고, 토양을 통해 식물로 전달되는 양을 계산하는 것이다.

셋째, 인체노출변수와 수식을 이용하여 호흡을 통한 노출량과 토양의 직접섭취량, 식물섭취를 통한 섭취량 그리고 토양이 피부에 직접 닿아 노출되는 피부흡수를 통한 노출량을 계산하는 것이다.

II. 실험방법

1. PCBs 분석

토양시료는 5월과 10월 2회에 걸쳐 5지점에서 채취하였으며, 채취된 토양시료들을 tray에 넣고 돌이나 식물의 뿌리, 비닐 등을 제거하고 통풍이 잘되도록 하였으며, 직사광선이 닿지 않는 그늘에서 자연건조시켜 수시로 섞어주면서 달라붙지 않게 하여 100 mesh정도로 분쇄하여 시료분석 전까지 4°C 냉장고에 보관하였다.

표준물질은 Hewlett Packard사 제품을 사용하였고 acetone, n-hexane 등의 유기용매는 Baker사의 HPLC Grade를 사용하였다.

증류수는 Milli-Q water system 통과후 사용하였고, NH₄Cl, SbCl₅ 등은 Resi-Anal grade를 사용하였다.

Fig. 1은 PCBs분석용 시료용액의 전처리 과정으로서 토양시료 100g을 blender에 넣고 0.2M NH₄Cl와 n-hexane; acetone (1:1) 혼합용액을 넣어 blending한 후 여과하여 토양오염공정시험법(1996)에 따라 전처리하였다.

PCBs분석기기는 Varian model Vister 600/6500 Gas liquid chromatograph를 사용하였으며 분석조건은 Table 1과 같다.

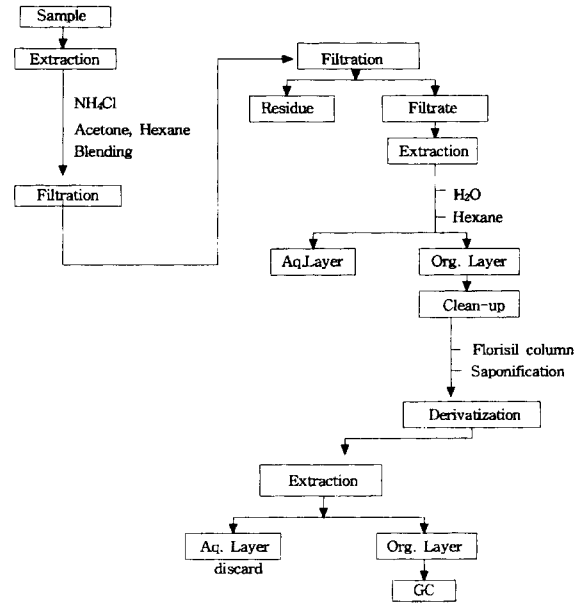


Fig. 1. Preparation of analytical solution for PCBs in soil.

Table 1. Instrumental conditions for PCBs analysis

Content	Condition
Detector	Electron Capture Detector (ECD)
Column	25 m × 0.32 mm × 0.17 μm, HP-1
Carrier gas	N ₂ , 2 mL/min, Make up gas 30 mL/min.
Injector	On Column Injector
Detector Temp	270°C
Oven Temp	160°C → 250°C 6°C/min

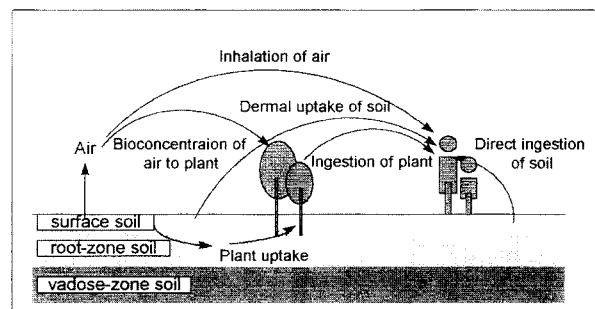


Fig. 2. Various human exposure pathway induced by contaminated soil to PCBs.

2. 인체노출 평가

토양중 PCBs의 인체노출경로는 토양중 PCBs가 대기로 전달된 후 인체에 호흡노출되는 경로와 토양중 PCBs가 식물로 전달된 후 식물을 섭취하므로 노출되는 경로, 오염된 토양이 직접 구강을 통해 섭취되는 경로 그리고 토양이 피부에 직접 닿아 피부흡수를 통해 노출되는 경로등 모두 4가지 경로를 고려하였다(Fig. 2)

본 연구에서는 토양중 PCBs가 식품에 전달되어 인체에 노출될수 있는 경로중 육류 및 우유, 마아가린과 같은 유제품 등을 통한 노출을 제외시켰으며, 또한 토양오염이 지하수오염으로 연결되어 지하수를 식수로 섭취하므로 노출될 수 있는 경로도 제외시켰다.

1) 토양중 PCBs의 대기 transport계산

분석된 토양중 PCBs의 농도를 근거로 fugacity model을 기본으로 하고 있는 CalTOX program(California EPA, 1993)을 이용하여 토양중 PCBs가 대기중으로 전달되는 양을 증기상과 입자상으로 구분하여 계산하였으며, 관련 수식은 Table 2와 같다. 시간을 고려한 air fugacity를 구할 때 토양 PCBs 농도에 근거한 fugacity value가 time-dependent 하게 변하므로 CalTOX에 의해 도출된 fa (fugacity in air compartment) 값을 사용하였다.

2) 토양중 PCBs의 식물 transport계산

분석된 토양중 PCBs의 농도를 근거로 분배계수(partition coefficient)를 이용하여 U.S.EPA(1989a)의 방법에 따라 토양중 PCBs가 식물로 전달되는 농도를 계

Table 2. Systemic equation for PCBs transport calculation from soil to air.

Air concentration	Equation
Vapor (mg/m ³)	MW × f _a × Z _{air} × 1000
Particle (mg/m ³)	f _a × MW × $\frac{\rho_{ba}}{\rho_{sp}}$ × Z _{ap} × 1000
<ul style="list-style-type: none"> • Z_{air} : fugacity capacity of pure air $= \frac{1}{RT}$ - R : universal gas constant (8.314 Pa·m³/mol·°K) - T : Temperature (°K) $4.18 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^3\text{-Pa}$ (used CalTOX[®], EPA) • Z_{ap} : fugacity capacity of air particles (mol/m³-Pa) $1.66 \times 10^5 \text{ mol/m}^3\text{-Pa}$ (used CalTOX[®], EPA) • ρ_{ba} : atmospheric dust load (kg/m³) $6.15 \times 10^{-8} \text{ kg/m}^3$ (used CalTOX[®], EPA) • ρ_{sp} : soil particle density: surface layer (kg/m³) 2600 kg/m^3 (used CalTOX[®], EPA) • f_a : fugacity in air compartment $= N_a/Z_a/V_a$ - N_a : total inventory (moles) calculated by CalTOX using transfer rate - Z_a : fugacity capacity of air compartment (mol/m³-Pa) $= Z_{air} + Z_{sp} \times \frac{\rho_{ba}}{\rho_{sp}}$ 	

(California EPA, 1993)

산하였으며, 농도계산시 생물농축계수(bioconcentration factor)를 이용하여 대기 PCBs가 식물로 전달되는 양도 함께 고려하였고, 관련수식은 Table 3과 같다.

3) 인체노출변수와 노출 scenario

경로별 인체노출량 평가를 위하여 쓰여진 인체노출 변수는 U.S.EPA(1989b) value와 한국농촌경제연구원(1994) 자료를 사용하였으며, 사람들이 하루종일 동일 지역에서 생활하지 않는 점을 고려하여 거주그룹과 비거주그룹으로 구분, 비교평가하였다. 거주 그룹의 경우 직접섭취되는 토양중 오염토양 비율을 0.5로, 오염지역에서 생산되는 식물을 섭취할 비율을 0.6으로, 그리

Table 3. Systematic equation for PCBs transport calculation from soil to plant

Plant concentration	$K_{ps} \times C_s + K_{pa} \times C_a$
• K _{ps} ; Partition coefficient for plant-tissue relative to soil concentration (kg soil/kg plant)	$7.0 \times K_{ow}^{-0.58}$ (Travis and Arms, 1988)
• K _{pa} ; Bioconcentration factor for plant/air (m ³ air/kg plant)	$[0.5 + ((0.4 + 0.01 \times K_{ow}) / (RT/H))] \times 10^3 \text{ m}^3$ (Riederer, 1990)

(U.S.EPA, 1989a)

K_{ow} : Octanol-water partition coefficient, C_s : Soil concentration, C_a : Air concentration, H : Herry's law constant

Table 4. Used factor and assumed value for human exposure quantification by exposure pathway according to assumed exposure scenario

Factor	Resident	Nonresident
Fraction of contaminated soil toward ingested soil(FI, unitless)	0.5 (assumed)	0.3 (assumed)
Fraction of contaminated soil toward soil on skin(FC, unitless)	0.5 (assumed)	0.3 (assumed)
Exposure frequency (EF, day/year)	365 (assumed)	280 (assumed)
Fraction of exposed plant ingested (FP, unitless)	0.6 (assumed)	0.2 (assumed)
Body weight (BW, kg)	70 (U.S.EPA, 1989)	
Surface area (SA, m ²)	0.3*	
Ingestion rate of soil (IR _{soil} , mg/kg/day)	100 (U.S.EPA, 1989)	
Ingestion rate of plant (IR _{plant} , g/day)	838.5**	
Inhalation rate of air (IR _{air} , m ³ /day)	20 (U.S.EPA, 1989)	
Exposure duration(ED, year)	30 (assumed)	
Averaging time(AT, day)	25550***	
Contaminated area (area, m ²)	10 ⁶ (assumed)	

*Clothed with short-sleeved shirt, pants, shoes(ICRP, 1975)

**Korea Rural Economic Institute, 1994

*** Based on lifetime(U.S.EPA, 1989b)

고 노출빈도를 365일로 가정하였으며, 비거주그룹의 경우는 각각 0.3, 0.2 그리고 280일로 가정하였다. 거주 그룹과 비거주그룹의 노출기간은 모두 30년으로 가정하였다(Table 4, 5).

4) 인체노출량 계산 수식

각 경로별 인체노출량 계산은 한 개인이 70년을 산다고 가정할 때 30년 노출을 정량화하기 위해 U.S. EPA(1989a)의 계산방법에 따라 계산하였다(Table 6).

Table 5. Landscape and chemical property of PCBs needed in human exposure quantification

Contents	Used value
Molecular Weight (MW, g/mol)	3.41×10^2
Octanol-water partition coefficient (K_{ow})	2.59×10^6
Henry's law constant(H, Pa·m ³ /mol)	1.81×10^1
Organic carbon partition coefficient (K_{oc})	1.26×10^6
Partition coefficient, plant/soil (K_{ps} , kg[s]/kg[p])	7.16×10^2
Biotransfer factor, plant/air (K_{pa} , m ³ [a]/kg[p])	3.55×10^3
Skin permeability coefficient (K_p^w , cm/h)	9.14×10^{-2}
Skin-water partition coefficient(K_m)	3.38×10^4
Soil particle density(ρ_{sg} , kg/m ³)	2.60×10^3
Soil skin permeability coefficient(K_p^s , cm/h)	5.48×10^{-6}
Thickness of soil layer on skin(δ_{soil} , cm)	3.00×10^{-3}

(California EPA, 1993)

Table 6. Various equation for human exposure quantification by exposure pathway

Pathway	Equation
Direct ingestion of soil	$C_s \times \frac{IR_{soil}}{BW} \times FI \times \frac{EF \times ED}{AT}$
Dermal uptake of soil	$K_m^{soil} = K_m / K_d$
	$K_p^s = \frac{K_m^{soil}}{K_m} \times K_p^w \times 1.7$
	$AR_{soil} = \delta_{soil} \times (1 - \exp(-\frac{K_p^s \times ET_{soil}}{\delta_{soil}}))$
	$C_g \times \frac{AR_{soil}}{BW} \times FC \times \frac{EF \times ED}{AT}$
Ingestion of plant	$C_{plant} \times \frac{IR_{plant}}{BW} \times FP \times \frac{EF \times ED}{AT}$
Inhalation of air	$C_{air} \times \frac{IR_{air}}{BW} \times \frac{EF \times ED}{AT}$

(U.S. EPA, 1989a)

K_p^s : soil to skin permeability (cm/hr)

K_m^{soil} : skin-soil partition coefficient (cm³/cm³ skin)

K_m : skin-water partition coefficient (cm³/cm³)

K_p^w : chemical -specific steady-state permeability coefficient from water into the stratum corneum (cm/hour)

K_d : distribution or sorption coefficient of soil

1.7 : conversion factor to adjusted for skin thickness differences

AR_{soil} : the ratio of the dermal uptake of the chemical during the exposure time, ET_{soil} to the concentration of the chemical in soil(mg/cm²-skin per mg/cm³ soil)

δ_{soil} : thickness of soil layer on skin (cm)

토양의 직접섭취량은 토양 중 PCBs농도에 성인의 1일 토양섭취량 100 mg/day, 그리고 오염토양의 비율을 고려하여 계산하였고 피부노출량은 PCBs의 skin-soil 분배계수와 soil에서 skin으로의 침투율, 그리고 토양흡착계수 등을 고려하여 계산하였다. 식품섭취를 통한 노출량은 토양중 PCBs가 식물로 전달되는 분배계수와 토양 PCBs가 대기로 전달된 후 생물 농축계수에 의해 식물에 전달되는 양도 함께 고려하여 계산하였다.

호흡을 통한 인체 노출량 계산은 CalTOX[®] program에 의해 도출된 토양중 PCBs가 대기로 전달되는 양을 구하고, 성인의 일일 호흡량 20 m³/day을 이용하여 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

특정지역 토양 중 PCBs의 오염정도를 분석하고, 토양 PCBs의 오염도자료를 이용하여 오염지역내에 사람들이 거주한다고 가정할 때 PCBs가 인체에 노출될 수 있는 경로를 규명하고, 그 경로별 인체노출량은 PCBs의 물리·화학적 성질과 가정으로 설정된 노출시나리오 그리고 가상적인 landscape value들을 이용하여 계산하였다. 토양의 PCBs 오염도 결과는 Table 7과 같으며 인체노출량 계산시 불검출값들을 zero로 간주한 것과 검출한계의 1/2값으로 간주한 것등으로 구분하여 계산하였다. 토양 PCBs는 구강을 통한 직접섭취와 토양이 피부에 닿아 노출될 수 있는 피부흡수가 가능하며 그 체내노출은 각각 1.22×10^{-9} , 6.81×10^{-9} mg/kg/day이며, 그 비율은 오염지역내 거주그룹의 경우 1:5.6 정도로 피부흡수량이 더 큰 것으로 추계되었으며 시간별 fugacity가 고려된 CalTOX[®] program을 이용하여 토양 PCBs가 대기로 전달되는 양을 구한 결과 토양오염도:대기오염도의 비율은 $1:3.5 \times 10^{-8}$ 의 비율로 희석

Table 7. Analytical results of PCBs in soil (mg/kg)

Sample site	Number of sampling	
	1	2
1	ND	ND
2	ND	ND
3	ND	ND
4	ND	ND
5	0.02	0.02

(Detection limit:0.01)

• assuming zero for the nondetects

: mean of PCBs : 0.004 mg/kg

• assuming half the detection limit for the nondetects

: mean of PCBs : 0.008 mg/kg

Table 8. Predicted average daily intake of PCBs

• Media - Exposure pathway	Daily intake of PCBs					
	assuming zero for nondetects			assuming half the detection limit for nondetects		
	Media level	Resident	Nonresident	Media level	Resident	Nonresident
• Soil (mg/kg)	0.004			0.008		
- Ingestion (mg/kg/day)		1.22×10^9	5.64×10^{10}		2.45×10^9	1.13×10^9
- Dermal uptake(mg/kg/day)		6.81×10^9	3.13×10^9		1.36×10^8	6.27×10^9
• Air (mg/m ³)	1.40×10^{10} *			2.82×10^{10} *		
- Inhalation (mg/kg/day)		1.72×10^{17}	8.05×10^{10}		8.82×10^{18}	3.45×10^{17}
• Plant (mg/kg)	2.87×10^4 *			5.74×10^4 *		
- Ingestion (mg/kg/day)		6.78×10^7	2.26×10^7		1.36×10^6	4.52×10^7
Total of daily intake	-	6.86×10^7	2.30×10^7	-	1.37×10^6	4.59×10^7

*Computed media level

되며 호흡을 통한 인체노출량도 미미한 수준이었으나, 토양의 직접섭취, 피부흡수, 토양 PCBs가 대기와 식물로 전달되어 나타나는 호흡, 식품노출등 4가지의 노출 경로중 상대적으로 가장 큰 인체노출량을 나타내는 경로는 PCBs로 오염된 식품섭취를 통한 노출로 그 수준이 6.78×10^7 mg/kg/day로 추계되었다.

Media의 오염도 비율은 토양:식물이 14:1정도로 추계되나 본 연구에서 거주그룹의 경우 그 지역에서 생산되는 야채를 1일 섭취량의 0.6비율로 섭취한다고 가정하였고, PCBs의 토양, 식물 분배계수가 상대적으로 크기 때문에 전체적인 인체노출량값이 높게 추계되었다.

Table 8의 토양오염도 0.008 mg/kg에 근거한 값들은 오염도 분석결과의 불검출값들을 zero로 간주하지 않고 검출한계의 1/2값으로 간주하여 계산함으로써 보다 극단적인 노출량을 추계한 결과이다.

본 연구의 제한점으로는 수적으로 부족한 오염도 자료를 이용하였고, landscape value를 가정하여 사용하였으며, 노출량 계산시 가상 시나리오를 설정하여 추계하였으므로 실상황에 적용하기에는 많은 불확실성을 내포하고 있다는 점이다. 그러나 최근의 해외 연구 동향을 살펴보면 실질적인 환경매체의 오염도분석과 동시에 여러 가지 모델과 수식을 이용한 transport추계를 통해 오염정도를 추계하고 validation을 거쳐 그 방법을 통용함으로써 실질적인 기기분석을 거치지 않고도 오염을 관리할 수 있는 방안을 연구하고 있으며, 인체노출량의 정량화를 통해 특정매체의 오염이 전체 인체노출에 어느 정도의 영향을 미치는지의 여부를 파악함으로써 오염관리에 활용하고 있다. 이러한 상황하에 우리나라의 경우도 이 분야의 초기활용단계에 있으나 이와 같은 방법론 연구가 우리상황에 적합한 노출 추계 program개발과 관리방안 연구에 기틀이 될 수 있으리라 사료된다.

IV. 결 론

특정지역의 토양을 대상으로 PCBs를 분석한 결과 오염도 수준은 0.004 mg/kg이었고 그 오염도 자료에 근거하여 fugacity model과 PCBs의 물리화학적 value, 가상적인 landscape value 들을 활용하여 추계된 대기, 식물체로의 전달농도는 각각 1.40×10^{10} ~ 2.82×10^{10} , 2.87×10^4 ~ 5.74×10^4 정도였다.

오염지역내에 사람들이 거주한다고 가정할 때 규명된 노출경로는 토양의 직접섭취, 식품을 통한 섭취, 호흡노출, 피부노출이었으며 가상으로 설정된 노출 시나리오에서의 인체노출량은 1.22×10^9 ~ 2.45×10^9 , 6.78×10^7 ~ 1.36×10^6 , 1.72×10^{17} ~ 8.82×10^{18} , 6.81×10^9 ~ 1.36×10^8 정도로 식품을 통한 섭취가 가장 높게 추계되었다. 이와 같은 결과는 오염지역의 관리에 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 환경부 (1996); 토양오염공정시험법, 토양환경보전업무편람 제 4장 제 11항
- 한국농촌경제연구원 (1994); 식품수급표
- California EPA, U.S.A. (1993); CalTOX[®]: A multimedia total exposure model for Hazardous-waste sites, the office of scientific affairs, Department of Toxic substances control, California Environmental Protection Agency, Sacramento, California, U.S.A
- Callahan, M.A., Slimak, M.W. and Gabel, N.W. (1979); Water related environmental fate of 129 Priority Pollutants, Vol. I., Chapter 36, EPA 440/4-79-029a, Washington, DC, U.S.EPA
- ICRP (1975); Report of the task force on reference manual. International Commission on Radiolog-

- ical Protection Publication No 23, Elmsford N.Y. Pergamon press
- Kuratsune, M. and Masuda, Y. (1972): Polychlorinated biphenyls in non-carbon copypaper. *Environ. Health Perspect.*, **1**, 61-62
- Nisbet, I.C., Sarofim A.F. (1972): Rates and routes of transport of PCBs in the environment, *Environ. health Perspect.* **1**, 21-38
- Reider, M. (1990): Estimating partitioning and transport of organic chemicals in the Folige/Atmosphere system: Discussion of a fugacity-based model, *Environ. Sci. Technol.* **24**, 829-837
- Sklarew, D.S. and Girvin, D.C. (1987): Attenuation of polychlorinated biphenyls in soils. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, **98**, 1-41
- Södergen, A. (1972): Transport, distribution and degradation of chlorinated hychrorinated residues in aquatic model ecosystems, *Oikos*, **23**, 30-41
- Travis C.C. and A.D.Arms (1988): Bioconcentration of organics in beef, milk, and vegetaion, *Environ. Sci. Technol.* **22**, 271-274
- Tucker, E.S., Litschgi, W.S. and Mees, W.M. (1975): Migration of polychlorinated biphenyls in soil induced by percolating water, *Bull. envir. Contam. Toxicol.*, **13**, 86-93
- U.S.EPA (1988): Drinking water criteria document for polychlorinated biphenyls(PCBs). ECAO-CIN-414. Final. Cincinnati, OH: Environmental Criteria and Assessment, U.S.EPA
- U.S.EPA (1989a): Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual(Part A). Office of Emergency and Remedial Response, EPA/540/1-89/002
- U.S.EPA (1989b): Exposure factors handbook, office of health and Environmental Assessment, EPA/600/8-89/043