

혈중 PCB 함량에 관한 조사

A Study on the Polychlorinated Biphenyls in Human Blood

김돈균 · 정갑열 · 이수일 · 황인철

부산대학교 의과대학 예방의학교실

D.K. Kim, K.Y. Jung, S.I. Lee, I.C. Hwang

Department of Preventive Medicine and Public Health
College of Medicine, Pusan National University

ABSTRACT

For the purpose of obtaining the index that represents the contaminated status due to polychlorinated biphenyls (PCB) in the human body, the authors investigated the contents of PCB in the plasma of 183 subjects who were not exposed to the massive amount of PCB occupationally in the past.

The obtained results were as follows;

1. The mean contents of PCB in plasma were 3.35 ± 1.48 ppb in male and 3.04 ± 1.06 ppb in female. Cl_4 and Cl_3 were the main isomers in both sexes.
2. The distribution of total-PCB by the age group was showed increasing tendency with the age in both sexes.
3. The tendency of frequency distribution of total-PCB level were skewed to the higher level in male and skewed to the lower level in female.
4. There was statistically significant interrelationship between age and total-PCB in plasma in both sexes.

1. 서 론

Polychlorinated biphenyls (PCB)는 화학적으로 안정되어 열변화를 일으키지 않고 불연성이고 산, 알칼리에 강하며 전기에 대한 저항력이 강하여 대형 변압기나 condenser, 복사지(감압지), 인쇄잉크, 페인트, 윤활유 등에 국내·국외를 막론하고 광범위하게 사용되어 왔다.

대형 변압기나 condenser 등의 폐쇄계에 사용된 PCB가 환경으로 확산되는 것을 규제하기란 비교적 용이하지만 감압지, 인쇄잉크, 페인트, 윤활유 등 개방계에 사용된 것은 규제가 극히 곤란하다.

그러므로 산업장으로부터 배출되는 PCB를 포함한 공기, 연기, 물, 공장폐수 및 폐기물, 진개 등이 대기, 토양, 하수, 호수 및 하천수 등을 오염시켜 최종적으로는 바다로 유입되어 지구상의 모든 생물은 물론이고 무생물도 오염시켜 왔다.

PCB의 주 환경오염원은 쓰레기의 투기 및 매립에 의한 것이며 PCB의 사용중 증발에 의한 것도 전 오염원의 20% 이상을 차지한다고 한다.¹⁾

또한 PCB는 자연계에서 잔류성과 지용성이 크기 때문에 오염수역의 어류는 다량의 PCB를 함유하고 있어 Hardson 강의 어류의 PCB함량은 200mg/kg이고 瀬戸内外의 어류에는 해수중 PCB농도의 평균 77,000배가 농축되어 있다고 한다.³⁾

일본인들의 1일 PCB섭취량은 평균 48 μg으로 추정하고 있으며 이중 98%는 어류에 의한 것이라고 하며⁴⁾ 구미인들의 1일 PCB섭취량은 50 μg 이하이며 100 μg 이상의 경우는 극히 희소하다고 한다.²⁾

그러나 일반인들이 PCB에 접촉할 기회가 가장 빈번한 것은 복사지(감압지)에 의한 것이며 (22,000~65,000mg/kg)⁵⁾ 또한 사용된 복사지는 재생지의 가공에 다시 사용되고 있으므로 신문지(0.25~4.0 mg/kg)나 식품포장지(850mg/kg)에 PCB가 다량 함유되어 있는 것도 이와 같은 연유에 의한 것이다.⁶⁾

PCB가 경구로 섭취되었을 때 인체에 미치는 영향은 이미 여러 연구자들⁷⁻¹⁰⁾에 의해 보고된 바 있고 또한 형광램프용 안정기로부터 증발된 공기중 PCB로 인한 중독증상도 보고된 바 있다.¹¹⁻¹²⁾

이와 같이 PCB는 경구 또는 호흡기계를 통하여 침입되어 인체내에 축적되고 있으나 우리 나라의 경우는 연안저질토¹³⁾, 우유, 모유 및 어패류의 PCB오염도¹⁴⁾에 관한 조사에 그치고 있는 실정에 있다.

이에 저자들은 인체조직내에 잔류하고 있는 PCB의 축적 정도를 혈중농도에 의하여 추정함에 있어서 가장 중요하고도 기본이 되는 자료를 얻음 목적으로 부산지역에 거주하는 일반주민 183명을 대상으로 하여 혈중 PCB의 함량을 측정하였기에 그 결과를 보고하는 바이다.

2. 조사대상 및 방법

조사대상은 부산지역에 거주하면서 과거에 직업적으로 PCB에 폭로된 사인이 없었던 남자 93명, 여자 90명, 총 183명을 대상으로(〈표 1〉 참조) 이들의 주정맥으로부터 10ml의 혈액을 채취하여 이를 분석 시료로 하였다.

채취된 정맥혈 10ml를 항응고제가 첨가된 실험관내에서 서서히 혼화한 후 3,000 rpm으로 10분간 원심

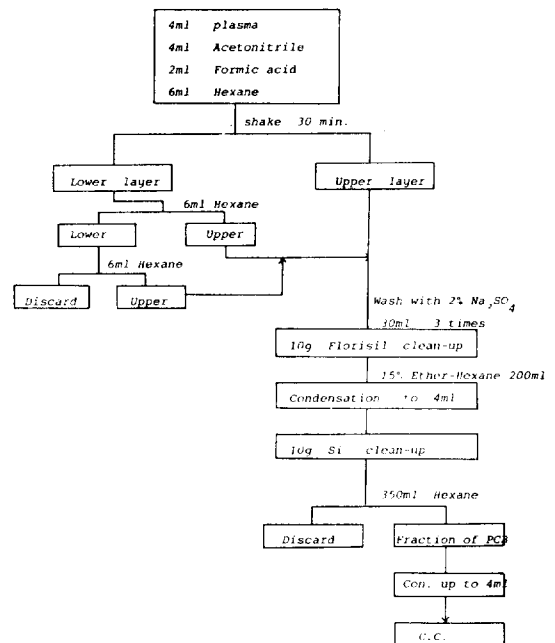
〈표 1〉 General Characteristics of Subjects

Sex	Male	Female	Total
Age			
10 - 19	20	19	39
20 - 29	18	18	36
30 - 39	19	17	36
40 - 49	17	18	35
50 - 59	19	18	37
Total	93	90	183

침전하여 분리한 혈장을 밀봉 동결보존하였다.

이 시료를 Dale 등¹⁶⁾의 방법에 의하여 유기염소계 화합물을 추출한 후 유기염소계 농약과 PCB를 완전하게 분리하기 위하여 Holden 등¹⁷⁾의 방법으로 clean-up하여(그림 1 참조) 4ml로 농축한 것을(표 2)와 같은 조건하에서 gas chromatograph(Varian Model 3700)에 주입하여 PCB를 검출하였다.

PCB의 정량은 Ar 1242, Ar 1248, Ar 1254 및 Ar 1260 (polysciene corparation)과 KC 300, KC



〈그림 1〉 Schematic diagram on process of partition and clean-up

〈표 2〉 Analytical condition of gas chromatography

* CB : chlorinated biphenyl

Item	Condition
Type	Varian GC Model 3700
Detector	⁶³ Ni
Column	Glass 2m(1/4 inch) 4% OV 101+6% Ov 210 Chromosorb w H/P 80/100
Temperature condition	Injector: 220 °C, Detector: 290°C Column : 200°C
Sensitivity	1 x 8
Carrier gas	N ₂ 99.9999%, 24 psi
Injection port	Heating on injector body
Chart speed	1cm/min

3. 조사성적

조사대상자들의 혈장중 총 PCB의 평균함량은 〈표 3〉에서의 같이 남자 3.32 ± 1.48 ppb, 여자 3.04 ± 1.60 ppb로서 남자가 여자보다 약간 높은 경향은 있었으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

PCB의 이성체별 함량 구성 비율은 남자의 경우는 4염화물이 1.69 ± 1.22 ppb로 가장 높았고 다음이 3염화물 1.18 ± 0.92 ppb, 6염화물 0.15 ± 1.16ppb, 7염화물 0.11 ± 0.18 ppb, 5염화물 0.10 ± 0.09 ppb의 순위로서 3염화물과 4염화물이 그 대부분(86%)을 차지하고 있었다. 여자의 경우에도 제 4염화물이 1.46 ± 1.23 ppb로 가장 높았고 다음이 3염화물 1.20 ± 1.02 ppb, 제 2, 제 6, 제 7염화물은 각각 0.10 ppb로서 역시 제 3, 제 4염화물이 그 대부분(87%)을 차지하고 있었다.

연령별, 성별 총 PCB혈중 평균 함량은 〈표 4〉와 같이 남자는 19세 이하군 2.61 ± 1.50 ppb, 20-29세군 3.03 ppb, 30-39세군 3.50 ± 1.48 ppb, 40-49세군 4.20 ± 2.01 ppb, 50~59세군 3.38 ± 1.87 ppb로서 50~59세군을 제외하면 연령이 증가됨에 따라 그 치도 증가되는 경향이 있었고 이성체별 각 염화물의 연령별 평균 혈중 함량도 유사한 경향을 나타내었다.

여자의 연령별 총 PCB의 평균 함량은 10-19세군 2.30 ± 1.61 ppb, 20-29세군 2.86 ± 2.01 ppb, 30-39세군 3.28 ± 1.91 ppb, 40-49세군 3.60 ± 1.83 ppb, 50-59세군 3.23 ± 2.13 ppb로서 남자의 경우

400, KC500 및 KC600 (Gas Kurokogyo Inc)을 여러 종류로 혼합한 것을 표준액으로 하여 gas chromatograph에 주입하여 3% OV 17 및 4% OV 101 + 6% OV 210 column에서 서로 다른 elution time을 이용하여 동일한 peak를 찾았다.¹⁸⁾

PCB의 정량과 염소수와의 관계는 KC300, KC400, KC500 및 KC600 (Gas Kuro kogyo Inc)을 1:1:1:1의 비율로 혼합한 것을 농도별로 비교하여 각 peak에 대한 함량 %와 peak 높이를 이용하여 아래와 같은 식에 의하여 구하였다.¹⁹⁾

$$\text{시료중 PCB 농도} = \text{표준액농도} \times \frac{\text{표준액 주입량}}{\text{시료 주입량}} \times \frac{\sum A(\text{표준액중 A peak CB\% / 표준액중 A peak의 높이})}{\sum A(\text{표준액중 A peak 높이})} \times \text{시료중 A peak 높이}$$

〈표 3〉 PCB Concentration in human plasma (ppb)

Sex PCB	Mean	Male	Range	Mean	Female	Range
		S. D.			S. D.	
Cl ₂	0.09	0.10	N. D. -0.3	0.10	0.10	N. D. -0.4
Cl ₃	1.18	0.92	0.1 - 3.2	1.20	1.02	0.1 - 4.0
Cl ₄	1.69	1.22	0.3 - 4.9	1.46	1.23	0.2 - 5.2
Cl ₅	0.10	0.09	Tr. -0.6	0.08	0.09	N. D. -0.3
Cl ₆	0.15	1.16	N. D. -1.2	0.10	0.11	Tr. -0.9
Cl ₇	0.11	0.18	N. D. -0.9	0.10	0.13	N. D. -0.9
Total PCB	3.32	1.48	0.3 - 6.8	3.04	1.60	0.3 - 7.3

Note ; S.D. : Standard deviation, N,D : Not detected, Tr. : trace

〈표 4〉 PCB Concentration in male by age group

PCB							(ppb)	
		Cl ₂	Cl ₃	Cl ₄	Cl ₅	Cl ₆	Cl ₇	Total - PCB
Age								
10 - 19		0.09	0.77	1.46	0.09	0.10	0.10	2.61
		0.11	0.53	0.92	0.09	0.16	0.14	1.50
20 - 29		0.68	1.02	1.63	0.09	0.11	0.10	3.03
		0.11	0.65	1.05	0.06	0.14	0.19	1.69
30 - 39		0.10	1.25	1.74	0.12	0.18	0.11	3.50
		0.10	0.63	0.69	0.16	0.27	0.16	1.48
40 - 49		0.10	1.67	1.99	0.10	0.20	0.14	4.20
		0.11	0.79	1.12	0.14	0.24	0.23	2.01
50 - 59		0.08	1.26	1.68	0.09	0.16	0.11	3.38
		0.07	0.82	0.71	0.07	0.30	0.16	1.87

Note ; Upper: Mean, Lower: Standard deviation

〈표 5〉 PCB Concentration in female by age group

PCB							(ppb)	
		Cl ₂	Cl ₃	Cl ₄	Cl ₅	Cl ₆	Cl ₇	Total - PCB
Age								
10 - 19		0.07	0.88	1.16	0.06	0.05	0.08	2.30
		0.07	0.60	0.74	0.08	0.05	0.10	1.61
20 - 29		0.10	1.16	1.34	0.06	0.10	0.10	2.86
		0.11	1.21	0.60	0.08	0.16	0.18	2.01
30 - 39		0.11	1.34	1.52	0.09	0.12	0.10	3.28
		0.09	0.94	0.82	0.16	0.19	0.12	1.99
40 - 49		0.12	1.36	1.79	0.09	0.11	0.13	3.60
		0.08	1.03	1.88	0.12	0.18	0.09	1.83
50 - 59		0.12	1.30	1.49	0.09	0.12	0.11	3.23
		0.09	0.90	1.14	0.08	0.14	0.14	2.13

Note ; Upper: Mean, Lower: Standard deviation

와 마찬가지로 50-59 세군을 제외하면 연령이 증가됨에 따라 그 치도 증가되고 있었으며 각 이성체별 염화물의 경우도 역시 같은 경향을 나타내었다.

조사대상자들의 혈중 총 PCB의 농도분포는 〈그림 2〉에서와 같이 남자는 4.0 - 5.0 ppb를 peak로 하여 좌측으로, 여자는 2.0 ~ 3.0 ppb를 peak로 하여 우측으로 치우치는 대수 정규분포형을 나타내었다.

연령과 혈장내 총 PCB 함량간의 회귀직선 및 상관계수는 〈표 6〉에서와 같이 남자의 경우는 PCB(ppb)

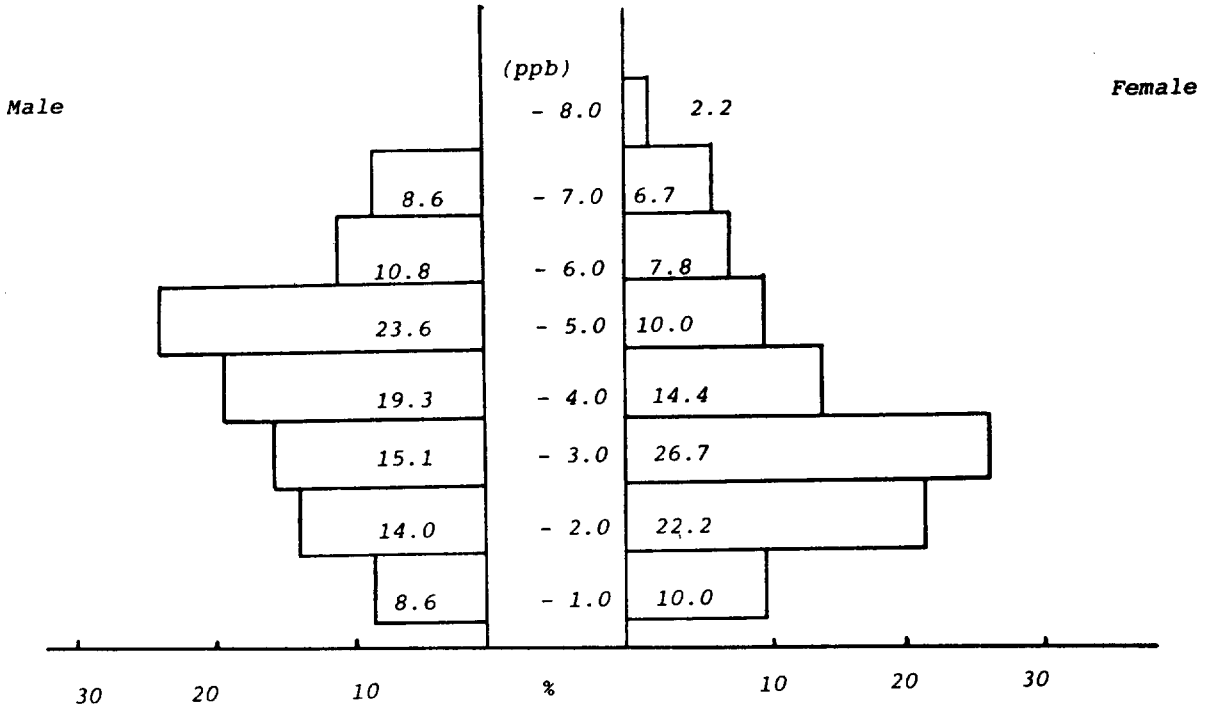
$= 0.041 \times \text{연령} + 1.968$, $r = 0.294$ 였고 여자의 경우

〈표 6〉 Interrelation ship between age (x) and total-PCB Concentration in human plasma (y)

Sex	correlation coefficient	Regression equation	
		a	b
Male	0.294**	0.041	1.968
Female	0.260*	0.037	1.813

Note ; Regression equation: $y = ax + b$

** : P 0.01, * : P 0.05



〈그림 2〉 Frequency distribution of PCB concentration in human blood

는 $PCB(ppb) = 0.037 \times \text{연령} + 1.813$, $r = 0.260$ 으로서 모두 통계적으로 유의한 상관성이 인정되었다.

4. 고 찰

유기 염소계 화학물질은 식물연쇄환에 의하여 그 순환과정이 진행될수록 농축되는 경향이 높아지기 때문에 인체 지방과 조직은 물론이고 혈중에서도 검출되므로 유기염소계 화합물에 속하는 PCB도 혈중농도와 조직중의 함량과 사이에 유의한 상관관계가 존재함이 일부 학자들에 의하여 보고된 바 있다.²¹⁻²³⁾

PCB는 경구로 섭취되는 경우도 많지만^{4,7-10)}, 호흡기계^{11,12)}와 피부접촉^{5,6)}에 의하여도 직접적으로 인체 내에 침입되고 있으므로 PCB측적의 생물학적 지표로서 혈중 PCB함량을 파악하는 것은 매우 의의있는 것으로 생각된다.

본 조사 대상자들의 혈중 총 PCB의 평균함량은 남자 3.32 ± 1.48 ppb, 여자 3.04 ± 1.60 ppb로서 高松 등(3.0 ppb)²⁴⁾, 増田 등(3.0 ppb)²⁵⁾ 등의 성적과는 유사하였으나 渡邊(2.6 ppb)²⁶⁾, 奥打 등(2.8 ppb)²⁷⁾의 보고보다는 높았으며 阿倍(3.5 ppb)²⁸⁾, 井上(6.1 ppb)¹⁵⁾, Finkler(29ppb)²⁹⁾ 등의 조사성

적 보다는 낮아 보고자들간에 상당한 차이를 보이고 있는 것은 국가간 또는 지역간의 조사시기, 식생활, 생활태도 등의 차이에 의한 것으로 생각된다.

조사대상자들의 전 연령층에 있어서 혈중 PCB 평균함량이 남자가 여자보다 높은 것은 남녀간의 생리적 및 대사기능의 차이 외에도 남자가 여자에 비해 어류와 같은 식품과 감압지, 신문지 등에 접촉되는 기회가 빈번한 것도 이유가 될 수 있을 것이다.

PCB는 biphenyl의 수소가 염소로 치환된 각종 염화 biphenyl 혼합물의 총칭으로서 1염화물로부터 10염화물까지 있으며 이론적으로는 210종의 화합물이 존재할 수 있다.¹⁹⁾

본 조사의 경우 남녀 모두 4염화물과 3염화물이 총 염화물의 86% 이상을 차지하고 있어 인체내 조직중 PCB는 5염화물과 6염화물이 주체를 이루고 있고³⁰⁾, 3염화물 이하는 대사가 용이하며³¹⁾ 체내의 잔류량은 적다고 한 보고와 차이를 나타내고 있다. 이는 대상자료의 차이에 의한 것도 있겠지만 부산지역 주민은 특히 어류의 섭취량이 많으므로 어류는 포유류에 비하여 저염화물의 PCB가 다량 포함되고 있다는 것도³⁾ 중요한 이유가 될 것으로 생각된다.

연령별, 성별 혈중 PCB의 평균 잔류량은 50 - 59 세군을 제외한다면 연령이 증가됨에 따라 그 치도 증가하는 경향을 나타낸 것은 연령에 따라 섭취되는 식품종류의 차이와 어류나 우유, 육류와 같은 PCB의 농축도가 높은 식품을 섭취할 기회가 저연령층에 비해 빈번하기 때문일 것으로 생각된다.

혈중 평균 PCB의 분포는 남자는 농도가 높은 쪽으로, 여자는 낮은 쪽으로 치우쳐 분포하고 있는 경향을 보이고 있어 성별에 따라 분포양상에 차이를 나타낸 것은 성별에 따른 생리적 기능의 차이에 의한 것외에도 여자는 대체적으로 남자들에 비하여 PCB가 고농도로 농축된 식품을 섭취할 기회가 빈번하지 못하다는 점도 무시할 수는 없을 것으로 생각된다.

연령과 혈중 총 PCA 함량과는 남녀 모두에게 통계적으로 유의한 상관관계를 나타낸 것은 앞의 연령에 따른 PCB함량의 경우에서와 마찬가지로 연령이 증가됨에 따라 PCB에 접촉될 기회가 빈번하여지기 때문일 것이다.

5. 요약

인체내 PCB오염 정도를 파악할 수 있는 지표를 얻을 목적으로 부산지역에 거주하면서 직업적으로 PCB에 폭로된 과거력이 없었던 남자 93명, 여자 90명 총 183명을 대상으로 혈장중 PCB함량을 조사 분석한 결과를 요약하면 아래와 같다.

(1) 혈중 평균 PCB함량은 남자 3.32 ± 1.48 ppb, 여자 3.04 ± 1.60 ppb였고, 이성체별 구성은 남녀 모두에게 4염화물과 3염화물이 대부분을 차지하고 있었다.

(2) 혈중 평균 PCB함량은 남녀 모두에 있어서 연령에 따라 증가하는 경향이 있었다.

(3) 혈중 총 PCB의 분포는 남자는 농도가 높은 쪽으로 여자는 낮은 쪽으로 치우쳐 분포하는 경향이 있었다.

(4) 연령과 총 PCB간에는 남녀 모두에 있어서 통계적으로 유의한 상관관계가 있었다.

참 고 문 헌

- Nisbet, I.C. and Sarofim, A.F. : Rates and routes of transport of PCB in the environment. Environ., Health perspect, 1:21, 1972.
- WHO : Polychlorinated biphenyls and terphenyls. Environ. health criteria, P2, WHO, Geneva, 1976.
- Tatsukawa, R. : PCB poisoning and pollution (Editor). Higuchi, K., p.147, Kodansha and Academic press, Tokyo and New York, 1976.
- 日本厚生省 : 國民營養調査結果. p. 1, 日本厚生省, 東京, 1972.
- Masuda : Polychlorinated biphenyls in carbonless coping paper. Nature, 237:41, 1972.
- 原田裕文 : 東京都によける PCB 汚染の實態について, 食品および紙製品中の PCB 含有量, 東京衛生年報, 23:111, 1972.
- Kuratsune N., Yoshimura, T., Matsuzaka, J. et al: Epidemiologic study on Yusho, a poisoning caused by ingestion of rice contaminated with a commercial brand of polychlorinated biphenyls. Environ., Health perspect, 1:119, 1972.
- 西住昌裕 : 油症 實驗病理學的 研究. 福岡醫誌, 60 : 539, 1969.
- Higuchi, K. : PCB poisoning and pollution. p. 11, New York, Academic, 1976.
- Urabe, H., Koda, H., Askai, M. : Present state of Yusho patients. Ann. N.Y. Acad. Sci., 320:273, 1979.
- Proctor, N.H., Hughes, J.P. : Chemical hazards of the work place. Philadelphia, J. P., p.116, Lipocott company, 1978.
- Korn, D., Kowk, S.T., Harris, M.G. : A report of the Semicae county Ontario disease surveillance. 4(32):332, 1983.
- 이흥재, 이유원, 김충배 : 연안저질토 중 PCB 오염도조사. 국립환경연구소, 4:182, 1982.
- 신남조, 이유원, 배우근 : 환경중 PCB의 오염도 조사에 관한 연구. 국립환경연구소보, 4: 203, 1982.
- 井上義人, 阿部純子, 高松誠 : 血中 PCB ならびに DDT, BHC それらの組織内 殘留との 關係,
- Dale, W.E., Curley, A. and Cueto, C. Jr. : Hexane extractable chlorinated pesticides in human blood. Life Sci., 5:47, 1966.
- Holden, A.V. and Marsden, K. : Single-stage clean-up of animal tissue extracts for organochlorine residue analysis. J. Chromatog., 44:418, 1969.
- Webb, R.G. and McCall, C. : Quantitative PCB standards for electron capture gas chromatographic science, 11:366, 1973.
- 千葉幹雄 : PCB汚染とその分析法ラテイス p. 1, 東京, 1973.
- Hunter, C.G. and Robinson, J. : Pharmacodynamics of dieldrin (HEOD). Arch. Environ. Health, 15:614, 1967.

21. Morgan, D.P. and Roan, C.C. : Chlorinated hydrocarbon pesticide residue in human tissue. Arch. Environ. Health, 20:452, 1970.
22. Radoski, J.C., Deichmann, W.B., Rey, A.A. and Merkin, J. : Human pesticide blood levels as a measure of body burden and pesticide exposure. Toxicol. Appl. Pharmacol., 20:175, 1971.
23. Robinson, J., Baldwin, M.K., Crabtree, A.N. and Van Dijk, M.C. : Organochlorine and adipose tissue. Arch. Environ. Health, 13:558, 1966.
24. 高松誠, 井上義人, 阿部純子 : 血液中 PCB の 診断學的意義, 福岡醫誌, 65:28, 1974
25. 増田義人, 香川梨繪, 島村京子 : 油症患者 および一般人の血液中 ポリ塩化ヒフエニール, 福岡醫誌, 65:27, 1974.
26. 渡邊功, 薬師寺楨, 桑原克義 外 : 一般人, 油症患者 および職業的 PCB 取扱者の 血中 PCB について 日公衛誌, 24:749, 1977
27. 奥村恂, 増田義人, 田牟田登子 : 油症患者における 血中 PCB と 血清 triglyceride の 関係 福岡醫誌, 65:84, 1974
28. 阿部純子 : 油症患者と 健康者の 血漿中 ポリ塩化ヒフエニールに 關する研究. 日衛誌, 31:662, 1977
29. Finklea, J. : Polychlorinated biphenyl residues in human plasma exposure, a major urban pollution problems. Am. Pub. Health, 62:645, 1972.30.
30. Jensen, S. and Sundstrom, G. : Structure and levels of chlorobiphenyls in two technical PCB products and in human adipose tissue. A.M.B.I.O., 3:70, 1974.
31. 菅谷處, 林茂樹, 渡部和弘 外 : 人體における 有機鹽素系農薬及び 残留量, 日農醫誌, 30(1):1, 1981.