

일부 한국 성인 여성들의 혈중 PCBs 농도 및 그 노출요인의 연구

민선영 · 정문호 · 이강숙* · 노영만* · 구정완*

서울대학교 보건대학원

*가톨릭의대 산업의학센터예방의학교실

The Concentrations of PCBs in the Serum and Their Predictors of Exposure in Korean Women

Sun Young Min, Moon Ho Chung, Kang Sook Lee*

Young Man Roh* and Jung Wan Koo*

Graduate School of Public Health, Seoul National University,

*Department of Preventive Medicine, Industrial Medical Center, The Catholic University of Korea

ABSTRACT

PCBs [Polychlorinated biphenyls] are halogenated aromatic compounds with the empirical formula $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ ($n=1 \sim 10$), and are a mixture of possible 209 different chlorinated congeners. PCBs were widely used as dielectric fluids for capacitors, transformers, plasticizers, lubricant inks, and paint additives. Once released into the environment, PCBs persist for years because they are so resistant to degradation. In addition to their persistence in the environment, PCBs in ecological food chains undergo biomagnification because of their high degree of lipophilicity. In 1970s, the worldwide production of PCBs was ceased and the import of PCBs was prohibited since 1983 in Korea. In spite of these actions, many PCBs seem to be still in use. The environmental load of PCBs will continue to be recycled through air, land, water, and the biosphere for decades to come. This study was conducted to measure the concentrations of PCBs in the serum samples of 112 women by GC/MSD(Hewlett Packard 5897 Gas Chromatography-Mass Chromatography Detector) and GC/ECD(Hewlett Packard 5890 series-II gas chromatography-Electron capture detector, U.S.A). The main results of this study were as follows; The mean and standard deviation of serum PCBs were 3.613, 0.759 ppb, respectively and median of it was 3.828 ppb. The correlation coefficients of the concentrations of 13 PCB congeners ranged from 0.7913 to 0.9985 and were significantly correlated between each items($p=0.0001$). The PCB concentrations were positively associated with age(simple linear regression; $R^2=0.86$, $\beta=0.08023$, $p<0.001$) and with total lipids in serums(simple linear regression; $R^2=0.7058$, $\beta=0.00486$, $p<0.001$). The age adjusted model ($Y=\beta_0 + \beta_1 \text{age} + \beta_2 X$) was applied for possible predictors of PCBs levels in serum. For BMI(Body Mass Index), major residential area, and fish, meat, and dairy consumption, there was no association with PCBs levels. Also, there was negative association for the number of pregnancy and lactation period with PCBs levels.

Keywords : PCBs, Serum, Predictor, Concentration

I. 서 론

최근 들어 환경에 널리 퍼져있는 다양한 화합물들이 호르몬 수용체(hormonal receptors)에 결합하여 에스트로젠성, 항에스트로젠성, 안드로젠성, 또는 항안드로젠성 영향을 나타낸다는 사실이 제기되고 있다.¹⁾ DDT [dichloro diphenyltrichloroethane]와 그 대사체인 DDE [1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorobiphenyl)ethylene], PCBs [Polychlorinated biphenyls], dioxin과 같은 유기염소계 화합물 등의 환경 에스트로젠성 화합물(Environmental estrogen: xenoestrogen)은 다양한 동물 종에서의 성적

발달(sexual development)과 연관성이 있는 것으로 밝혀졌으며, 사람에게서는 남성의 경우 소아의 생식기형의 증가, 정자수 감소 등의 생식력 저하, 생식기 관련 암의 증가를 유발하고,^{2,3)} 여성의 경우 유방암, 생식기 관련 암의 증가를 일으키는 것으로 보고되고 있으며,⁴⁾ 또한 태반 내에서 이와 같은 화합물질의 고농도 폭로는 성장기 지능 발달의 저하를 가져온다는 보고도 있다.⁵⁾

이러한 유기염소계 화합물은 오랫동안 자연계에 축적되어 동물성 식품(지방, 생선, 우유 등)을 통하여 지속적인 폭로로 인체의 지방조직에 침착된다.

유기염소계 화합물의 인체영향에 대한 대표적인 연구

로 Wolff, Krieger, Hunter 등의 연구를 들 수 있는데, 아직은 혈중 PCBs, DDE 농도와 유방암 발생과의 연관성에 대하여 일관된 결과를 보이지 않아 유기염소계 화합물이 유방암을 유발한다는 가설은 많은 논란의 대상이 되고 있다.⁶⁻⁸⁾

Laden⁹⁾ 등은 Nurses Health Study의 연구대상자 중 여성 240명의 혈중 PCBs, DDE 농도의 노출요인들(predictors)을 조사한 결과, 연령, 지역, 혈중 콜레스테롤 수치 등이 가장 유의한 요인들로서 나타났으며, 생선 섭취와 PCBs 농도 사이에서도 연관성을 발견하였다.

또한, Jensen¹⁰⁾ 등은 Ontario 지역 거주민 232명의 혈중 PCB, *p,p'*-DDE 농도의 노출요인들을 조사한 결과, 오대호의 물고기와 물새(waterfowl) 섭취의 연관성이 유의하게 나타났다.

Davis¹¹⁾ 등이 스웨덴의 Baltic해에서 생선섭취를 많이 하는 분만여성의 정맥혈 및 태혈(cord blood)에서의 PCBs 농도를 분석한 결과, PCB-153 농도만이 생선섭취와 약한 연관성을 보였다. 이태리의 Lawrence¹²⁾ 등은 유산으로 입원한 120명의 여성과 만삭분만을 한 대조군 120명의 여성의 혈중 PCBs 농도를 비교한 결과, 유산 여성에서 더 높은 PCBs 농도로 나타났지만 식품섭취가 PCBs 농도를 증가시키는 요인으로 유의하게 나타나지 않았다.

따라서 생선섭취량이 비교적 많은 우리나라의 경우, 혈중 PCBs 농도의 결정요인으로써 생선섭취 등 식이패턴에 대한 조사와 거주력, 직업력, 수유력, 임신력 등에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

환경시료 중 PCBs의 잔류성은 1966년 스웨덴의 Jensen박사가 가물치 체내에서 PCBs가 축적되어 있는 것을 최초로 확인하면서 사람들에게 알려지기 시작했다.¹³⁾ 1960년대 이후 수많은 연구결과 PCBs는 하천수, 호소수, 강물 등 수질시료와 토양, 저니토 등 전세계적으로 다양한 환경시료에서 검출되었으며 환경시료 뿐 아니라 플랑크톤, 물고기, 새, 계란, 가축 체내 심지어 산토의 모유 등 다양한 생물체내에서 검출 보고되어 왔다.^{14,15)}

자연환경에서 PCB의 잔류량에 대한 연구보고는 상당히 많으나, 생체시료에서의 잔류량에 대한 국내 연구 보고는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 생체시료에 축적되어 있는 PCB 화합물의 측정을 위해서 생체시료 내에서의 PCB를 추출, 정제, 분리하는 과정을 정립하고, Total PCBs의 잔류량 평가 뿐만 아니라 TEF(Total Equivalency Factor)가 높은, 즉 생물농축이 더 잘되는 각각의 고독성 PCB congener별 잔류량 평

가를 위한 방법론(methodology)을 제안하고자 한다.

그리고, 일부 성인여성들을 대상으로 거주력, 직업력, 출산력, 수유력, 식이습관 등에 대한 설문지를 개발하여 설문조사를 통해서 PCBs의 노출경로에 대한 결정요인(predictors)을 규명해 보고자 한다.

II. 연구대상 및 실험방법

1. 연구대상 및 연구기간

1999년 9월부터 1999년 10월까지 서울의 한 대학병원의 종합건강증진센터에서 일반건강검진을 받은 일반인 여성 112명에게 연구참여동의를 받아 연구대상으로 하였다.

2. 혈중 PCBs 분석 방법

1) 시료 수집

피검자에게서 혈액 10 ml를 vacutainer에 채취한 혈액을 전혈로부터 혈청을 분리해내기 위해서 1500 rpm, 4°C에서 25분 동안 원심분리시킨 다음에, 상층액만을 teflon-lined cap이 달린 시험관에 취해서 -25°C에서 밀봉냉장보관하였다.

2) 시료의 전처리⁶⁾

원심분리해서 분리해 낸 혈청에 n-hexane 10 ml과 anhydrous Na₂SO₄ 5 g을 가해서 혼합한 다음, separatory funnel에서 유기층만 분리해내었다. methanol 3 ml을 가한 다음 vortex mixer에서 혼합시킨 다음, hexane-ethyl ether(1:1) 5 ml을 가한 다음 다시 vortex mixer에서 혼합시켰다. 다시 rotary mixer에서 20분동안 50 rpm에서 혼합시킨 다음에 원심분리를 시켰다. 상층액인 유기층만을 분리해 낸 다음, 다시 위와 같은 과정을 2회 반복하였다. 3회에 걸쳐 분리해 낸 용액들을 합친 다음에, nitrogen gas stream으로 1 ml이 남을 때까지 건조시켰다. 피스톤이 teflon으로 만들어진 가스타이트 주사기에 Florisil cartridge(Sep-Pak Plus Florisil Cartridge, Waters)를 연결한 다음에, n-hexane 2 ml로 conditionig시키고, 11 ml ether로 유출시켰다. 초기 유출액 2-3 ml은 버리고 나머지 유출액을 모아서 순수한 nitrogen gas를 사용하여 1 ml이 남을 때까지 건조시킨 다음 분석시료로 준비하였다.

이러한 과정을 도식화하여 Fig. 1과 같이 나타내었다.

3) 표준용액 중 PCBs 분석

① 표준물질 및 시약(Standards and Reagents)

PCBs의 각각 congener specific analysis를 위한 PCB congeners 13개(Table 1)의 100 ppm standards를 Cambridge Isotope Laboratories, Inc(영국)로부터

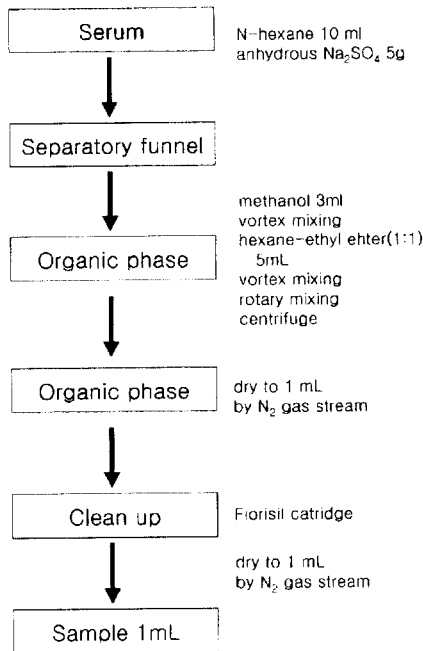


Fig. 1. PCBs assay scheme for serum.

Table 1. PCB congeners and IUPAC No

PCB	IUPAC Number
3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl	77
3,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl	126
3,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl	169
3,4,4',5-Tetrachlorobiphenyl	81
2,3,3',4,4'-Pentachlorobiphenyl	105
2,3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl	114
2,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl	118
2',3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl	123
2,3,3',4,4',5-Hexachlorobiphenyl	156
2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl	189
2,3,3',4,4',5'-Hexachlorobiphenyl	157
2,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl	167
2,2',3,4',5,5',6-Heptachlorobiphenyl	187

각각 구입해서 사용하였다.

본 연구에서 구입한 PCB congener들은 Safe²²⁾가 Toxicology(1990)에 발표한 PCBs의 proposed Toxic Equivalent Factor(TEF) value들을 근거로 독성도가 (TEF)가 높은 PCB congener들을 선정하였다.

Hexane(n-hexane, 95%, J.T.Baker), MeOH(99.9%, Sigma), Iso-octane(99.8%, Fisher Scientific), Petroleum ether(99.8%, Mallinckrodt Chemical)등 모든 solvent들은 HPLC grade 시약을 사용하였다.

Table 2. GC/ECD Operating Condition for Analysis of PCBs

Analytical Condition					
Column	HP-5(Crosslinked 5% phenylmethyl siloxane Film thickness: 0.5 µm, Length: 30 m, Phase ratio: 160, Column I.D: 0.32 mm)				
Carrier gas	N ₂				
Split ratio	Splitless				
Injection port temp.	250°C				
Detection port temp.	250°C				
Oven temp. program	Initial temp. (°C)	Initial time (min)	Rate (°C/min.)	Final temp. (°C)	Final time (min)
	80	1	5.0	300	25

② 분석기기 및 분석조건

생체시료로부터 PCBs를 분석하기 위해 Hewlett Packard 5890 series II gas chromatography-electron capture detector(GC-ECD)를 사용하였으며 분석에 이용한 column은 HP-5(crosslinked 5% phenylmethyl siloxane, film thickness: 0.5 µm, length: 30 m, phase ratio: 160, column I.D: 0.32 mm, Hewlett Packard)이다.

각 PCBs의 congener들의 retention time을 확인하기 위해서 Hewlett Packard 5890 series II gas chromatography(GC)와 5971 Mass Selective Detector(GC-MSD)를 사용하였다.

PCB 화합물의 정량분석은 monochlorobiphenyl, dichlorobiphenyl, trichlorobiphenyl, tetrachlorobiphenyl, pentachlorobiphenyl, hexachlorobiphenyl, heptachlorobiphenyl, octachlorobiphenyl이 각각 1 mg/l 농도로 혼합된 PCB 화합표준물질의 GC-ECD에서의 상대감응도(Relative response factor)를 각각 구하고 chromatogram에서 분리된 각각의 PCB화합물을 찾아 peak area에 의하여 농도를 산출한 다음, 합산함으로써 총 PCBs 농도를 구하였다. 또 한편으로는 4~5 mg/l인 Aroclor 표준물질의 chromatogram과 시료의 chromatogram을 비교 정량하며, GC-ECD에서 나온 각 peak들을 GC-MSD를 이용하여 확인하였다.

본 연구에서 적용한 GC-ECD와 GC-MSD 조건은 Table 2, 3과 같다.

4) Congener별 검량선 작성 및 정량 분석

각각의 PCBs congeners 13개의 농도가 0.0, 0.02, 0.5, 1.0, 5.0 ppb가 되도록 iso-octane에 희석시켜서 표준용액을 만든 다음에 동일한 전처리 방법(2.(2) 참조)에 따라 전처리하였다. 그 다음 각각의 congener peak area의 비를 이용하여 검량선을 작성하였다.

Table 3. GC/MSD Operating Condition for Analysis of PCBs

Analytical Condition					
Column	HP-5MS(Cross-linked 5% phenylmethyl siloxane 30 m×0.25 mm I.D.×0.25 μm FT.)				
Carrier gas	He at 0.77 ml/min				
Split ratio	1/10				
Injection port temp.	300°C				
Transfer line temp.	300°C				
Oven temp. program	Initial temp. (°C)	Initial time (min)	Rate (°C/min)	Final temp. (°C)	Final time (min)
	140	1	3	230	0
			8	300	5
SIM mode (Solvent delay; 3.5 min)	Group	Start time (min)	Selected Ions		
	1	3.5	154, 153, 188, 190, 222, 224		
	2	10.3	222, 224, 256, 258, 290, 292		
	3	15.9	256, 258, 290, 292, 326, 328		
	4	20.8	290, 292, 326, 328, 360, 362		
	5	27.9	326, 328, 360, 362, 394, 396		
	6	31.9	360, 362, 394, 396, 426, 428, 460, 462, 498, 500		

Table 4. Recovery Rate of PCBs in the Serum

Sample	Concentration, μg/l	No. of Samples	Recovery Rate
			Mean ± S.D.(%)
PCB #77	5	5	95.8±2.8
	10	5	96.1±1.5
PCB #126	5	5	95.1±3.7
	10	5	93.8±2.5

5) 회수율 측정

혈중 PCBs의 회수율을 측정하고자 PCBs standards 13종류 중 PCB #77과 PCB #126을 선택하여 iso-octane으로 각각 5 μg/l와 10 μg/l 농도로 희석시켜서 용액을 5개씩 만들어 앞서 제시한 동일한 전처리 방법 (2.(2) 참조)에 따라 처리하였다. 그 결과 얻은 PCBs의 회수율(mean±S.D.)은 PCB #77은 95.8±2.8, 96.1±1.5%였으며 PCB #126은 95.1±3.7, 93.8±2.5%였다 (Table 4).

6) 혈중 PCB 농도의 Predictor에 관한 연구 조사

연령, 신체중실지수(body mass index; BMI, kg/m²), 거주력, 직업력, 출산력, 수유력, 유산 경험유무, 식이관련(지난 한달 간의 육류, 어류, 야채류 섭취 횟수 및 양) 등 가능한 노출요인에 대해서 설문조사를 실시하였고, 혈중 콜레스테롤 및 Triglyceride 수치는 종합건강

Table 5. Concentrations of PCBs Congeners in the Serum

(unit: ug/l)

PCB	Mean	SD	Percentile					
			0	25	50	75	100	
Tetra	3,3',4,4'-Tetra(#77)	0.4625	0.0527	0.333	0.411	0.471	0.486	0.564
	3,4,4',5-Tetra(#81)	1.0708	0.1329	0.708	0.9395	1.099	1.134	1.316
	subtotal	1.5333	0.1841	1.110	1.350	1.570	1.620	1.880
Penta	3,3',4,4',5-Penta(#126)	0.3392	0.1028	0.120	0.288	0.384	0.416	0.488
	2,3,3',4,4'-Penta(#105)	0.0895	0.0273	0.031	0.0756	0.1008	0.1094	0.1288
	2,3,4,4',5-Penta(#114)	0.1268	0.0399	0.023	0.106	0.144	0.156	0.183
	2,3',4,4',5-Penta(#118)	0.5088	0.1582	0.034	0.4385	0.576	0.625	0.737
	2',3,4,4',5-Penta(#123)	0.1716	0.0525	0.059	0.149	0.194	0.208	0.255
subtotal	1.2359	0.3790	0.324	1.0591	1.3993	1.5138	1.7918	
Hexa	3,3',4,4',5,5'-Hexa(#169)	0.2023	0.0557	0.052	0.164	0.2185	0.240	0.295
	2,3,3',4,4',5-Hexa(#156)	0.1020	0.0275	0.034	0.082	0.1065	0.122	0.15
	2,3,3',4,4',5'-Hexa(#157)	0.0508	0.0135	0.017	0.041	0.054	0.061	0.073
	2,3',4,4',5,5'-Hexa(#167)	0.1523	0.0406	0.051	0.123	0.162	0.183	0.219
subtotal	0.5075	0.1367	0.17	0.41	0.5425	0.606	0.733	
Hepta	2,2',3,4',5,5',6-Hepta(#187)	0.0916	0.0256	0.045	0.072	0.094	0.111	0.148
	2,3,3',4,4',5,5'-Hepta(#189)	0.2445	0.0687	0.12	0.1935	0.253	0.296	0.383
	subtotal	0.3361	0.0943	0.165	0.2655	0.3465	0.407	0.513
Total	3.6128	0.7592	1.851	3.0431	3.8282	4.0612	4.8558	

검진시 측정하였다.

7) 통계 분석

PCBs의 농도에 대해 평균, 표준편차, 최대값, 최소값, 사분위수를 제시하였다. 혈중 PCBs 농도와 가능한 노출요인들(Predictors)과의 연관성 고찰에서는 먼저 그래프를 제시하였으며, 상관분석(correlation analysis)과 회귀분석(regression analysis)을 이용하여 검정하였다.

III. 연구 결과

1. 혈중 PCBs 농도

GC/ECD로 측정된 총 112명의 PCB congeners의 농도의 평균, 표준편차, 최대값, 최소값, 사분위수를 Table 5에 나타내었다.

PCB congeners 농도의 합계는 평균값이 3.6128 µg/l, 표준편차가 0.7592, 중위수는 3.8282였다.

PCBs의 농도 분포는 모두 약간 높은 쪽으로 치우친 형태로 증가하였는데, 이는 연령이 증가하는 분포와 비슷한 양상을 보였다.

PCB congeners 중에서 3,4,4',5-Tetra(PCB #81)의 농도가 월등히 높은 값을 보였으며, Tetra, Penta, Hexa, Hepta의 순서로 농도가 낮아지는 양상을 보였다.

PCBs의 13개 congeners의 농도 사이에 상관계수(Pearson Correlation Coefficients)는 최소 0.7913에서 최대 0.9985까지였으며, 모두 유의하였다($p=0.0001$).

2. 혈중 PCBs 농도와 노출경로의 결정요인에 대한 고찰

1) 연구대상자의 일반적 특성

본 연구의 연구대상자 112명에 대한 일반적 특성은 다음의 Table 6과 같다.

연령은 40대가 112명 중 52명인 46.4%로 가장 많았으며, 30대가 31명인 27.7%, 50대가 20명인 17.9%, 20대가 6명인 5.4%, 60대가 3명인 2.7%를 차지하고 있다. 결혼상태는 미혼이 4명, 기혼은 108명으로 96.4%를 차지하였다. 가족의 월수입은 300만원 이상인 경우가 47명인 42.0%로 가장 많았고, 200~299만원인 경우가 42명인 37.5%, 100~199만원인 경우가 19명인 17.0%, 100만원이하가 4명인 3.6%를 차지하였다. 학력 수준을 살펴보면, 고졸의 경우가 50명으로서 44.6%를, 대졸의 경우가 46명인 44.1%로 대부분을 차지하였으며, 다음으로 중졸이 7명인 6.3%, 대학원졸이 6명인 5.4%를 차지하였다. 초졸이 2명으로 1.8%, 무학이 1명인 0.9%를 차지하였다. 음주를 하는 경우가 26명인 23.6%, 음주를 하지 않는 경우가 84명인 76.4%를 차지하였다. 흡연의 경우 '안한다'라고 응답한 경우가 105

Table 6. General Characteristics of the Subjects

Characteristics	Category	N	%
Age	20~29	6	5.4
	30~39	31	27.7
	40~49	52	46.4
	50~59	20	17.9
	60~69	3	2.7
	Subtotal		112
Marital Status	Unmarried	4	3.6
	Married	108	96.4
	Subtotal		112
Family Income (× 10 ³ won)	<100	4	3.6
	100~199	19	17.0
	200~299	42	37.5
	300≤	47	42.0
	Subtotal		112
Educational Level	Illiteracy	1	0.9
	Elementary School	2	1.8
	Middle School	7	6.3
	High School	50	44.6
	College	46	41.1
	Graduate School	6	5.4
	Subtotal		112
Alcohol	Yes	26	23.6
	No	84	76.4
	Subtotal		110
Smoking	Yes	4	3.6
	Stopped	3	2.7
	No	105	93.8
	Subtotal		112
BMI(kg/m ²)	<20	16	14.3
	20~25	79	70.5
	25~30	17	15.2
	Subtotal		112

명인 93.8%를 차지하여 가장 많았으며, '한다'는 응답이 4명인 3.6%, '끊었다'는 응답이 3명인 2.7%를 차지하였다. 신체중실지수(BMI; kg/m²)의 경우 '20이상 25 미만'(정상)인 경우가 79명인 70.5%로서 가장 많았으며, '25이상 30미만'(과체중(경도 비만))인 경우가 17명인 15.2%, '15이상 20미만'(저체중)인 경우가 14.3%를 차지하였다.

본 연구의 연구대상자는 건강증진센터에 내원한 여성들이며 월평균 가족 수입이 300만원이 넘는 경우가 가장 많으며, 학력도 대졸이상인 경우가 46.5%로 많다. 따라서 어느 정도 일반인을 대표할 수 있다고 생각된다.

Table 7. Residential Duration by Area

Category	Duration (year)						χ^2 -Test
	N	15<	15~25	25~35	35~45	45<	
rural	54(48.2)	13(24.1)	24(42.6)	15(27.8)	2(3.7)	1(1.9)	$\chi^2=21.319^a$ p=0.006
coastal	1(0.89)	-	1	-	-	-	
industrial	-	-	-	-	-	-	
urban	57(50.9)	7(12.3)	11(19.3)	19(33.3)	11(19.3)	9(15.8)	
Subtotal	112(100)	20(17.9)	35(31.3)	34(30.4)	13(11.6)	10(8.9)	
rural	37(33.0)	6(16.2)	13(35.1)	15(40.5)	2(5.4)	1(2.70)	$\chi^2=7.222^b$ p=0.125
coastal	-	-	-	-	-	-	
industrial	1(0.89)	1	-	-	-	-	
urban	74(66.1)	9(12.2)	18(24.3)	24(32.4)	14(18.9)	9(12.2)	
Subtotal	112(100)	16(14.3)	31(27.7)	39(34.8)	16(14.3)	10(8.9)	

^a: when rural and coastal is united as one category.

^b: when industrial and urban is united as one category.

2) 거주력

거주력을 살펴보면 고향이 '도시지역'이라고 응답한 경우가 57명인 50.9%로 가장 많았다. '농촌'이라고 응답한 경우가 54명인 48.2%를 차지하였으며, '어촌'이라고 응답한 경우는 1명인 0.9%였다. 성장기의 주된 거주지가 도시지역이라고 응답한 경우가 74명인 66.1%를 차지하였고, 농촌이라고 응답한 경우가 37명인 33.0%, '공단지역'으로 응답한 사람이 1명인 0.9%였다.

거주력과 거주기간의 관계를 보면, 전체적으로 도시 지역에서 거주한 기간이 더 길다($\chi^2=21.319$, $p=0.006$, 주된 거주지역을 농어촌과 도시지역으로 묶었을 경우). 이는 연구대상자가 서울 또는 서울 근교에 사는 사람이 많기 때문으로 생각된다. 즉, 고향이 농촌, 또는 어촌일지라도 서울 등의 도시지역으로 이주해서 성장한 경우가 많기 때문이라고 생각된다.

3) 임신 및 수유

출산과 유산(자연유산과 인공유산의 합)을 합한 총 임신횟수의 경우, Table 8과 같이 3회가 37명인 33.6%로 가장 많았으며, 5회인 경우가 110명 중 23명인 20.9%, 2회인 경우가 17명인 15.5%, 4회인 경우가 16명인 14.5%의 순이었으며, 6회 이상인 경우가 9명인 8.1%, 1회인 경우가 8명인 7.3%로 낮았다. 모유 수유 여부에서는 '예'라고 대답한 경우가 109명중 88명인 80.7%를 차지하였으며, '아니오'라고 대답한 사람이 21명인 19.3%를 차지하였다.

수유한 사람의 수유기간에 대한 평균, 표준편차와 분포양상은 Table 9와 같다.

현재 본인이나 남편이 낚시한 물고기를 요리해 먹는 경우가 110명의 응답자 중 16명인 14.5%였으며, 요리

Table 8. The Number of Pregnancy and Lactation Frequency

Characteristics	No.	No. of subjects	%
Pregnancy	1	8	7.3
	2	17	15.5
	3	37	33.6
	4	16	14.5
	5	23	20.9
	6≤	9	8.1
	Subtotal	110	100
Lactation	Yes	88	80.7
	No	21	19.3
	Subtotal	109	100

Table 9. Total Duration of Lactation

N	Mean	SD	Percentile				
			0	25	50	75	100
89	18.8	19.9	0	7	14	23	111

해 먹지 않는 경우가 96명인 85.5%를 차지하였다.

또한, 과거에 부모님이 낚시한 물고기를 요리해 먹었던 경우가 107명의 응답자 중 11명인 9.8%였으며, 그렇지 않은 경우가 101명인 90.2%였다.

4) 식이사항

식이에 대한 조사는 생선류와 육류, 유제품 세 가지에 대하여 지난 한달 동안의 섭취빈도와 1회 섭취시, 섭취량을 조사하였다. 섭취빈도에 있어서 '안먹음'인 경우에 0점, '월 1회'일 경우에 1점, '월 2~3회'일 경우에 2점, '주 1회'일 경우에 3점, '주 2~3회'일 경우에 4점, '주 4~6'회일 경우에 5점, '매일 1회'일

Table 10. The Status of Fish, Meat and Dairy Consumption by Month

	N	Mean	SD	Percentile				
				0	25	50	75	100
Fish	111	14.6	7.8	1	9	13	18	42
Meat	112	12.5	4.9	3	9	12	15	30
Dairy	106	13.7	7.9	1	8	13	19	40

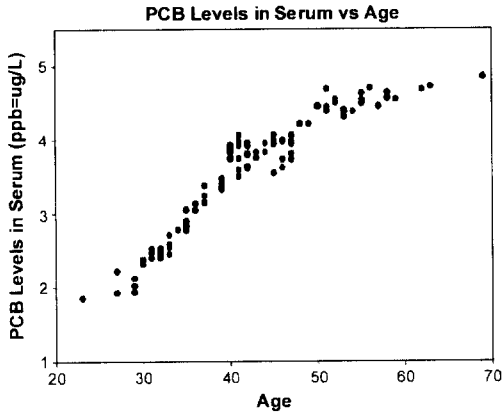


Fig. 2. PCBs levels in Serum vs Age.

경우에 6점, '매일 2회 이상'일 경우에 7점을 부여하였고, 섭취량의 세 수준에 대하여 각각 1점, 2점, 3점을 부여하였으며, 총량은 이 두 값을 곱하여 산출하였다. 생선류(Fish)는 바다생선, 민물고기류, 오징어·낙지·문어류, 조개·굴류, 통조림류(참치, 콩치, 고등어 통조림)의 총량을 합한 것이며, 육류(Meat)는 돼지고기, 쇠고기, 닭고기, 육류가공식품, 계란의 총량을 합하였으며, 유제품류(Dairy)는 우유, 요플레, 치즈, 버터의 총량을 합하였다. 이 세 가지의 점수분포는 Table 10과 같다.

5) PCBs 농도와 그 결정요인들과의 관계

연령과 농도의 관계를 그래프로 나타내면 Fig. 2와 같다.

연령이 증가할수록 PCB의 농도가 비례해서 증가하고 있는 형태를 보이고 있다(Simple Linear Regression; $R^2=0.8560$, $\hat{\beta}=0.080231$, $p=0.0001$).

55세 이상의 고연령층에서는 PCB 농도의 증가율이 감소하는 형태를 띠고 있다.

또한, Fig. 3에서 보듯이 혈중 지질의 농도가 높을수록 PCB의 농도가 비례해서 증가하고 있다(Simple Linear Regression; $R^2=0.7058$, $\hat{\beta}=0.004859$, $p=0.0001$). 이 경우에도 연령의 경우와 마찬가지로 600 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상에

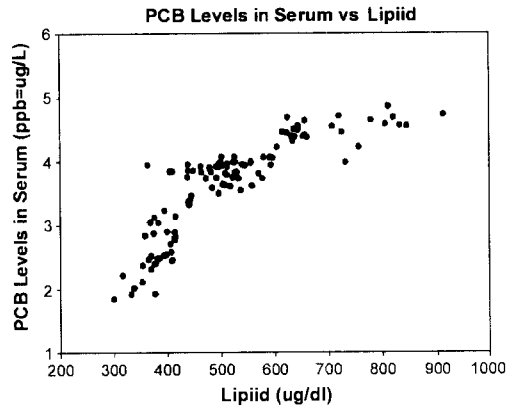


Fig. 3. PCBs levels in serum vs lipid levels in blood.

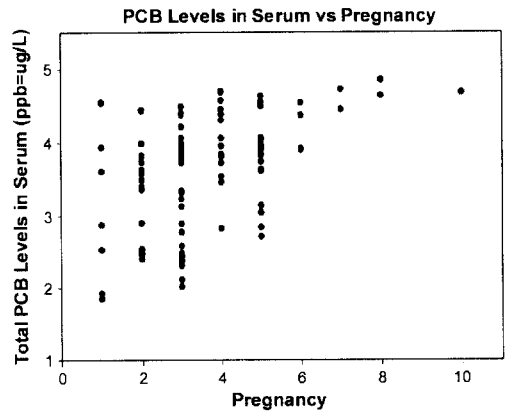


Fig. 4. PCBs levels in serum vs frequency of pregnancy.

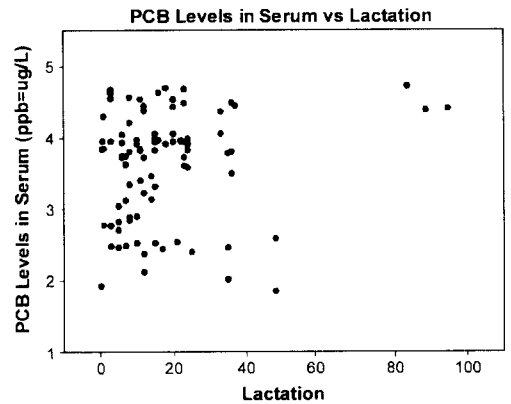


Fig. 5. PCBs level in serum vs lactation(month).

서는 농도 수준이 일정하게 유지되는 형태를 띠고 있다. 신체중실지수(BMI, kg/m^2), 성장지, 총 임신횟수, 수

유여부, 수유기간, 낚시한 물고기 섭취여부, 생선섭취, 육류섭취, 유제품섭취와 PCB의 농도와의 연관성을 알아보기 위해 연령을 보정한 회귀분석을 적용하였다.

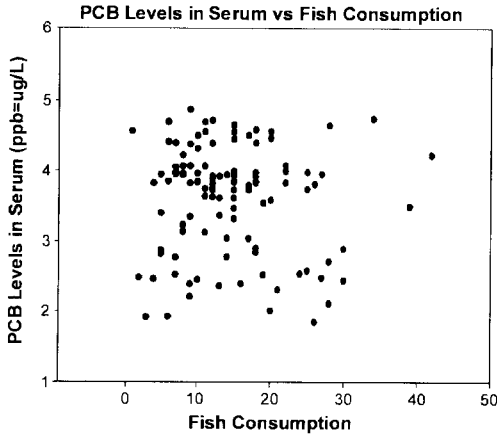


Fig. 6. PCBs levels in serum vs fish consumption(frequency).

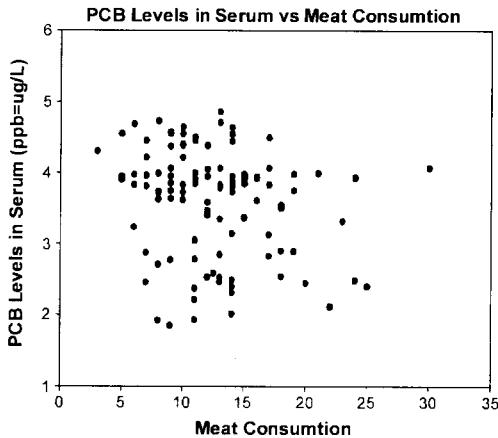


Fig. 7. PCBs levels in serum vs meat consumption(frequency).

연령보정 모델은 $Y = \beta_0 + \beta_1 \text{age} + \beta_2 X$ 와 같다. 연령을 보정한 결과, Fig. 5에서 보듯이 PCB의 농도에 있어서는 수유기간이 증가함에 따라 농도가 감소하는 추세를 보였다($R^2 = 0.8688$, $\hat{\beta} = -0.003188$, $p = 0.0474$). 이 결과는 출산력(총 출산회수와 유산횟수)과 수유력(개월수)이 길수록 체내의 PCB가 배설(excretion)이 많이 되어 혈중 PCB 농도가 감소했다는 것을 의미하는 것으로 생각되어진다.

여러 가지 가능한 노출요인들(predictors)과 혈중 PCB 농도의 관계를 나타낸 그래프를 아래와 같이 Fig. 4부터 Fig. 8까지 제시하였다.

연령을 보정하고 주요거주력을 농촌지역과 도시지역으로 구분한 경우와 수유여부, 낚시한 물고기 섭취여부, 부모님이 낚시한 물고기의 섭취여부에 대하여 위 네 가지 변수에 대해 PCB 농도와 연령을 제시하면 Table 11과 같다.

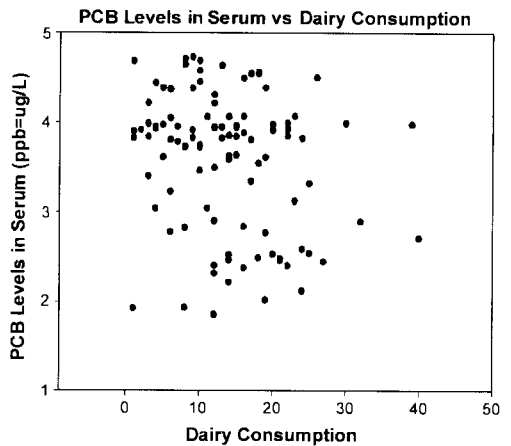


Fig. 8. PCBs levels in serum vs dairy food consumption (frequency).

Table 11. PCBs levels in serum, Age by Possible Predictors

Variable	Category	N	PCBs($\mu\text{g/l}$)		Age	
			Mean	SD	Mean	SD
major residential area	Rural (0)	37	3.7005	0.7323	43.3	8.44
	Urban (1)	75	3.5695	0.7733	41.9	8.93
lactation	No(0)	24	3.7712	0.6465	44.0	8.09
	Yes(1)	83	3.5340	0.7948	41.6	8.98
wether to eat caught fish by angling	No(0)	96	3.6117	0.7573	42.5	8.96
	Yes(1)	16	3.6195	0.7960	41.6	7.63
wether to eat caught fish by angling(by parents in the past)	No(0)	101	3.6120	0.7706	42.3	8.86
	Yes(1)	11	3.6202	0.6779	43.5	8.04

IV. 고 찰

환경시료중 PCB의 잔류성은 1966년 스웨덴의 Jensen박사가 가물치 체내에서 PCBs가 축적되어 있는 것을 최초로 확인하면서 사람들에게 알려지기 시작했다.¹³⁾ 1960년대 이후 수많은 연구결과 PCB는 하천수, 호수수, 강물등 수질시료와 토양, 저니토 등 전세계 다양한 환경시료에서 검출되었으며 환경시료 뿐 아니라 플라스틱, 물고기, 새, 계란, 가축 체내 심지어 산모의 모유등 다양한 생물체내에서 검출되고되어 왔다.^{14,15)}

Mullin 등의 연구에서는 209가지의 모든 PCB 화합물들을 합성하여 Gas Chromatography의 retention time과 상대적인 감응도를 구하였는데 이 방법은 특수한 PCB 이성질체들의 구조를 판명하는데는 매우 효과적이지만 시간이 많이 소요되는 정량방법이다.

근래에는 PCB 화합물들의 독성연구에서 각각의 PCB 화합물들의 독성등가계수(TEF)가 염소가 함유된 개수나 같은 분자식을 갖는 PCB라도 PCB 분자의 구조적 특성에 의하여 수배에서 수만배 이상 차이가 있음이 밝혀진 다음에 PCB의 농도측정은 독성등가계수(TEF)가 큰 화합물에 더 큰 관심을 갖거나, 각각의 PCB 화합물의 농도를 측정한 후 독성등가계수(TEF)로 환산하여 표시하기도 한다.

환경중 배출된 PCBs는 congeners의 구조적 특성에 따라 분해 혹은 대사속도에 차이가 있는 것으로 알려져 있는데 일반적으로 biphenyl에 치환된 염소개수가 증가할수록 수질에서 저니토, 토양으로 그리고 나아가 물고기나 가축 등 생물체내로의 생물농축이 잘 일어나는 것으로 알려져 있다. 따라서 이와 같이 congener별로 분해속도나 생체전이속도등 환경중 동태 (environmental impacts)가 다르기 때문에 환경시료중 검출되는 PCBs의 pattern은 PCBs 단일 표준품의 pattern과 다른 경우가 많다. 이런 경우는 pattern-comparison시 PCBs의 단일 표준품 대신 혼합 표준품과의 pattern-comparison을 통하여 total PCBs량을 정량하고 있다.^{16,18,19)}

Congener-specific analysis는 최근 PCBs의 독성에 대한 연구가 활발히 진행되면서 새로이 그 방법상의 중요성이 더해가고 있는 정량법이다. 이론적으로 가능한 PCBs congener는 209종이며 이중 실제로 환경시료 중 검출되고 있는 congener들은 약 100여종인데 각 congener별 독성은 구조적 특성에 따라 차이가 있는 것으로 알려져 있다.

PCBs 독성에 대한 구조-활성 관계(structure-activity relationships: SARs)를 연구한 결과를 보면 PCBs의

생화학적 반응 및 독성반응은 염소치환(chlorine substitution) pattern들에 따라 큰 차이가 있는 것으로 나타났다.

2,3,7,8-TCDD(tetrachlorodibenzodioxine)의 isomer라 할 수 있는 3,3',4,4'-tetraCB(PCB #77)과 3,3',4,4',5-pentaCB (PCB #126), 3,3',4,4',5,5'-hexaCB(PCB #169) 등의 non-ortho coplanar PCBs 및 2,3,3',4,4'-pentaCB(PCB #105)와 2,3,3',4,4',5-hexaCBs(PCB #156), 2,3,4,4',5-pentaCBs (PCB #118)등의 mono-ortho coplanar PCBs가 독성이 큰 congener들로 밝혀졌는데 이들 coplanar PCBs들은 AHH(aryl hydrocarbon hydroxylase) 활성 및 EROD (ethoxyresorufin O-deethylase) 활성을 나타내며 TCDD에 견줄만한 독성(TCDD-like toxicity)을 나타내는 것으로 알려졌다. 이와 같이 이들 coplanar PCBs는 생화학적 활성 및 독성에 있어 PCDFs(polychlorinated dibenzofurans) 및 PCDDs(polychlorinated dibenzo-p-dioxins)등 다른 HACs(Halogenated Aromatic Compounds)와 유사한 특성을 나타내기 때문에 PCB에 대한 독성평가 또 한 이들 coplanar PCBs를 중심으로 하여 PCDDs 및 PCDFs 등의 독성평가에 사용되는 TCDD toxic equivalents (TEQ : $TEQ = \sum \text{concentration of congener} \times TEF_i$)에 의해서 이루어지고 있다.^{20,25)}

이들 coplanar PCBs에 대한 2,3,7,8-TCDD toxicity equivalency factors(TEFs) 값은 독성실험결과에 따라 큰 차이를 보이고 있는데 일례로 3,3',4,4',5-pentaCB 및 3,3',4,4',5,5'-hexaCB등에 대해서 최근 제시된 TEF의 평균값(mean±S.D.)은 0.19 ± 0.22 및 0.053 ± 0.089 이며²⁴⁾ 기준에 발표되었던 여러 독성 연구결과와 자료를 종합하여 Safe²⁴⁾가 최근 제시한 coplanar PCBs의 TEF는 다음과 같다 : 3,3',4,4',5-pentaCB, 0.1 ; 3,3',4,4',5,5'-hexaCB, 0.05 ; 3,3',4,4'-tetraCB, 0.01 ; 2,3,3',4,4',5-hexaCB, 0.0003 ; 2,3,4,4',5-pentaCB, 0.00005 ; 2,3,4,4',5-pentaCB, 0.0002.

또한, 환경시료중 PCBs 잔류에 대한 최근 연구결과에 의하면 이들 고독성 congener들은 다른 congener들보다 훨씬 더 생물농축이 잘 되며 따라서 PCBs 잔류 분석의 total toxic potency가 먹이연쇄에 의해 더욱 증가되는 것으로 알려져 있다.²⁰⁾

이와 같이 congener별로 환경 중 잔류성과 생물농축성, 독성 등에 차이가 있기 때문에 정확한 PCBs의 잔류 및 위해성 평가를 위해 Total PCBs의 잔류량 평가뿐만 아니라 congener별 잔류량 평가가 보다 중요하게 요구되고 있다.^{20,24)}

국내 환경시료 중 PCBs의 잔류평가는 1980년 박창규 등²⁶⁾이 산업폐수가 흐르는 전담도를 대상으로 PCBs의 잔류평가를 수행하였으나 PCBs의 잔류를 확인할 수

Table 12. PCBs' Proposed Toxic Equivalent Factor (TEF) Values

IUPAC No.	Congener	TEF Value	Relative Potency Range
126	<Coplanar PCBs>		
169	3,4,5,3,4-PeCB	0.1	0.3-0.006
77	3,4,5,3,4,5-HxCB	0.05	0.01-0.0012
	3,4,3,4-TCB	0.01	0.009-0.00008
	<Mono ortho coplanar>		
118	2,4,5,3,4-PeCB	0.001	0.0004-0.000006
105	2,3,4,3,4-PeCB	0.001	0.008-0.00006
123	3,4,5,2,4-PeCB	0.001	0.00013-0.000018
114	2,3,4,5,4-PeCB	0.001	0.000045-0.000074
157	2,3,4,3,4,5-HxCB	0.001	0.00045-0.000014
156	2,3,4,5,3,4-HxCB	0.001	0.0004-0.000065
167	2,4,5,3,4,5-HxCB	0.001	0.0000055
189	2,3,4,5,3,4,5-HpCB	0.001	no data available

*From: Safe.²²⁾ Toxicology 22, 51-88.

없었다. 그러나 이후 1982년 박창규 등²⁷⁾이 수원시호에서 채취호수, 저니토 및 붕어를 대상으로 수행하여 PCBs를 검출한 바 있으며 1995년 김정호 등²⁹⁾이 금강저니토를 대상으로 수행하여 PCBs의 잔류성을 확인한 바 있다.

그러나 이상의 연구에서는 모두 PCBs를 perchlorination시켜 decachlorobiphenyl(DCB)로 전환시켜 분석함으로써 다른 유기염소계 화합물에 의한 간섭을 배제할 수 없어 정확한 정량이 될 수 없었으며 또한 그 결과로써는 각 congener별 잔류분포의 특성을 알 수 없었다.

자연환경에서 PCB의 잔류량에 대한 연구보고는 상당히 많으나, 생체시료에서의 잔류량에 대한 국내 연구보고는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 생체시료에 축적되어 있는 PCB 화합물의 측정을 위해서 생체시료 내에서의 PCB를 추출, 정제, 분리하는 과정을 정립하고, Total PCBs의 잔류량 평가 뿐만 아니라 TEQ가 높은, 즉 생물농축이 더 잘되는 각각의 고독성 PCB congener별 잔류량 평가를 위한 방법론(methodology)을 본 연구에서 제안하였다.

그리고, 일부 성인여성들을 대상으로 거주력, 직업력, 출산력, 수유력, 식이습관 등에 대한 설문지를 개발하여 설문조사를 통해서 우리나라 사람들에 대한 PCBs의 노출경로에 대한 결정 요인(predictors)을 알아보았고 해보고자 하였다.

PCB의 농도를 결정하는 요인 중 가장 큰 것은 연령과 지질의 농도이며, 임신횟수와 수유기간이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 반면, BMI, 거주력, 식이

요인과 PCB의 농도의 연관성은 뚜렷하게 나타나지 않았다. 또한 일반적인 특성들도 유의한 차이를 나타내지 않았다.

연령에 따라 농도가 증가하는 원인을 생각해 보면, 식이요인에 의한 영향이 크다고 생각된다. 이번 연구에서는 식이형태를 조사하기 위한 방법으로 지난 한달 동안 섭취한 음식에 대해서 기억에 의존한 설문을 통한 방법을 사용하였는데, 이 방법으로는 정확한 측정이 이루어지기 힘들었다고 생각된다. 좀더 정확한 식이형태를 조사하고 이와 농도와의 연관성을 살펴보는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 임신횟수와 수유와 농도와의 연관성을 명확하게 살펴보기 위해서도 출산전후와, 수유전후의 농도를 비교함으로써 그 연관성을 규명할 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결 론

환경에스트로젠성 화합물로 알려져 있는 PCBs는 자연계 내에 오래 잔류하며, 체내로 유입될 경우 지방조직 등에 침착된다. 우리나라의 경우 체내의 PCBs의 양을 측정하거나, 그 유입경로를 예측하는 논문이 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 체내의 PCBs를 측정하는 방법을 적용하고 그 양을 평가하며, 그 농도의 예측인자를 여러 가지 측면에서 찾아보았다.

본 연구에서는 PCBs에 대해서 congener-specific analysis를 적용하여 종합건강증진센터에서 일반건강검진을 받은 일반인 여성 112명의 일반여성의 혈중농도를 측정된 결과 평균이 3.613 ppb, 표준편차는 0.759 ppb, 중위수는 3.828 ppb였다.

1985년 김돈균 등²⁹⁾의 연구에서는 Total PCB 측정법을 적용한 결과 혈중 PCB의 농도는 평균이 3.04 ppb, 표준편차가 1.60 ppb였던 결과와 본 연구결과를 비교했을 때 혈중 PCB농도가 증가했음을 알 수 있었다.

혈중 PCBs농도는 연령이 증가함에 따라, 또 혈중 지질의 농도가 높을수록 증가하였다. 총 임신횟수와 수유기간이 증가할수록 농도가 낮아지는 결과를 보였다. 그러나, BMI, 성장지, 낚시한 물고기 섭취여부, 생선섭취, 육류섭취, 유제품섭취와 PCB 농도와의 연관성은 뚜렷하지 않았다.

앞으로 이들 가능한 예측인자들과 농도와의 연관성에 대해 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 1) Giwercman A, Carlsen E, Keiding N, Skakkeback NE:

- Evidence for increasing of abnormalities of the human testis : A review. *Environ Health Perspectives*. **101** (suppl.2), 65-713, 1, 1993.
- 2) Carlsen E, Giwercman A, Keiding N, Skakkebaek N. E.: Evidence for decreasing quality of semen during past 50 years. *Br Med J*. **305**, 609-13, 1992.
 - 3) Sharpe R. M., Skakkebaek N. E.: Are oestrogens involved in falling sperm counts and disorders of the male reproductive tract?. *Lancet*. **341**, 1392-5, 1993.
 - 4) Sharara F. I., Seifer D. B., Flaws J. A.: Environmental toxicant and female reproduction. *Fertil Steril*. **70**, 613-224, 1998.
 - 5) Jacobson J. L., Jacobson S. W.: Intellectual impairment in children exposed to polychlorinated biphenyls in utero. *N Engl J Med*. **335**, 783-9, 1996.
 - 6) Wolff M. S., Toniolo P. G., Lee E. W., Rivera M, Dubin L: Blood levels of organochlorine residues and risk of breast cancer. *JNCI*. **85**, 648-652, 1993.
 - 7) Krieger N, Wolff M. S., Hiatt R. A., Rivera M, Vogelman J, Orentreich N.: Breast cancer and serum organochlorines; a prospective study among white, black, and Asian women. *JNCI*. **86**, 589-599, 1994.
 - 8) Hunter D. J., Hankinson S. E., Laden F, Colditz C. O., Manson J. E., Willett W. C., Speizer F. E., Wolff M. S: Plasma Organochlorine levels and the risk of breast cancer. *British Medical Journal*. **88**, 577-588, 1994.
 - 9) Laden F *et al.*: Predictors of plasma Concentrations of DDE and PCBs in a Group of U.S. Women. *Environ Health Perspect*. **107**, 75-81, 1999.
 - 10) Jensen S.: Report of a New Chemical Hazard, *New Scientist*. **32**, 612, 1996.
 - 11) Davis D. L., Telang N. T., Osborne M. P., Bradlow H. L.: Medical hypothesis; Bifunctional genetic-hormonal pathways to breast cancer. *Environ Health Perspect*. **105**(suppl 3), 571-614, 1994.
 - 12) Lawrence J, Tosine H. M.: Polychlorinated Biphenyl Concentrations in Sewage and Sludges of Some Waste Treatment Plants in Southern Ontario. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. **17**(1), 49-56, 1977.
 - 13) Alford-Stevens. A. L.: Analyzing PCBs. *Environ. Sci. Technol*. **20**, 1194-1200, 1986.
 - 14) Kok A. D., Geerdink R. B., Frei R. W.: The Use of Dechlorination in the Analysis of Polychlorinated Biphenyls and Related Classes of Compounds. *Intern. J. Environ. Anal. Chem*. **9**, 301-817, 1981.
 - 15) Lawrence J, Tosine H. M.: Polychlorinated Biphenyl Concentrations in Sewage and Sludges of Some Waste Treatment Plants in Southern Ontario. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. **17**(1), 49-56, 1977.
 - 16) Kok A. D., Geerdink R. B., Frei R. W.: The Use of Dechlorination in the Analysis of Polychlorinated Biphenyls and Related Classes of Compounds II. *Intern. J. Environ. Anal. Chem*. **9**, 801-870, 1982.
 - 17) Kok A. D., Geerdink R. B., Frei RW: Limitations in the Use of Perchlorination as a Technique for the Quantitative Analysis of Polychlorinated Biphenyls. *Intern. J. Environ. Anal. Chem*. **11**, 17-41, 1982.
 - 18) Webb R. G., Mc Call A. C.: Quantitative PCB Standards for Electron Capture Gas Chromatography. *J. Chrom. Sci*. **11**, 366-373, 1973.
 - 19) US EPA: Polychlorinated Biphenyls (PCBs); Manufacturing, Processing, Distribution in Commerce, and Use Prohibitions : Use in Closed and Controlled Waste manufacturing Processes. *Fed Regist*. **47**, 4698-9620, 1982.
 - 20) Smith L. M., Schwartz T. R., Feltz K: Determination and Occurrence of Ahh-Active Polychlorinated Biphenyls, 2,3,7,8-Tetrachloro-p-dioxin and 2,3,7,8-Tetrachloro-dibenzofuran in Lake Michigan Sediment and Biota : The Question of their Relative Toxicological Significance. *Chemosphere*. **21**, 1063-1085, 1990.
 - 21) Tanabe S, Kannan N, Wakimoto T: Method for the Determination of Three Toxic Non-Orthochlorine Substituted Coplanar PCBs in Environmental Samples at Part per Trillion Levels. *Intern. J. Environ. Anal. Chem*. **29**, 199-21324, 1987.
 - 22) Safe S, Phil D.: Polychlorinated Biphenyls(PCBs), Dibenzo-p-Dioxins(PCDDs), Dibenzofurans(PCDFs), and Related Compounds : Environmental and Mechanistic Considerations Which Support the Development of Toxic Equivalency Factors(TEFs). *Toxicology*. **22**, 52-88, 1990.
 - 23) Bowadt S, Johansson B.: Analysis of PCBs in Sulfur-Containing Sediments by Off-Line Supercritical Fluid Extraction and HRGC-ECD. *Anal. Chem*. **66**, 667-673, 1994.
 - 24) Safe S. H.: Polychlorinated Biphenyls(PCBs): Environmental Impact, Biochemical and Toxic Responses, and Implications for Risk Assessment. *Critical Rev. Toxicol*. **20**(2), 87-149, 1994.
 - 25) Huckins J. H., Schwartz T. R.: Determination, Fate, and Potential Significance of PCBs in Fish and Sediment Samples with Emphasis on Selected Ah-inducing Congeners. *Chemosphere*. **17**(10), 1995-2016, 1988.
 - 26) 박창규 : 유기염소계 살충제의 잔류분석법 ; 공단주변 하천 및 전담토 분석법. *한국농생물학회지*, **23**(1), 5829, 1980.
 - 27) 박창규, 황을철 : 서호의 수질, 저니토 중 Polychlorinated Biphenyls 및 유기염소계 살충제의 잔류평가. *한국환경위생학회지*, **1**, 105-115, 1982.
 - 28) 김정호, 문길호 : 금호강 저니토 중 Polychlorinated biphenyls(PCBs)의 잔류. *한국환경농화학학회지*, **14**(3), 272-281, 1995.
 - 29) 김돈균 : 혈중 PCB함량에 관한 조사. *한국대기보전학회지*, 9-15, 1985.