

대도시에 거주하는 여성의 모유 중 Indicator PCBs와 식이습성 및 인구통계학적 인자간의 관계

위성욱 · 김기호* · 조봉희 · 조유진 · 윤조희 · 민병윤[†]

경남대학교 환경공학과, *경남대학교 공동기기원
(2010. 4. 21. 접수/2010. 5. 29. 수정/2010. 6. 18. 채택)

The Relationship among the Indicator PCBs in Breast Milk and Dietary Habits and Demographic Factors in Women Living in Urban Areas

Sung-Ug We · Ki-Ho Kim* · Bong-Hui Cho · Yu-Jin Cho · Cho-Hee Yoon · Byung-Yoon Min[†]

Department of Environmental Engineering, Kyungnam University, Masan, Korea

*Center for Instrumental Analysis, Kyungnam University, Masan, Korea

(Received April 21, 2010/Revised May 29, 2010/Accepted June 18, 2010)

ABSTRACT

In this study, breast milk levels of indicator polychlorinated biphenyls (PCBs) were estimated, and statistics drawn, for 22 Koreans in the general population, aged 26-38, who had resided in metropolitan areas for more than 5 years without occupational exposure to organochlorine pollutants. Concentrations of indicator PCBs were measured using the isotope dilution method with a high resolution gas chromatograph/high resolution mass detector, which provided accurate and precise data for investigation of trends, and international comparisons. The geometric mean of total indicator PCB levels was 22.3 ng/g lipid, which is significantly lower than the level in individuals from European countries. Overall, the geometric mean and 95th percentile of the most abundant congener PCB 153 were 8.04 ng/g lipid and 16.4 ng/g lipid, respectively. PCB congeners 138, 153 and 180 together accounted for about 75% of the indicator congeners analyzed. Breast milk total indicator PCB concentrations were significantly associated with age and parity, but not with body mass index (BMI), rate of body weight increase, or smoking habits. The geometric mean level of PCB 153 in breast milk from mothers with a pre-pregnant BMI <21 kg/m² was significantly higher than in pre-pregnant women with a BMI of >21 kg/m² ($p < 0.05$). Women who ate more fish, meat, and milk products did not have significantly higher total indicator PCB levels than those who ate less of these products, but a significant difference in PCB 153 levels was demonstrated between the subjects consuming higher (11.45 ng/g lipid) and lower (6.79 ng/g lipid) amounts of fish ($p < 0.05$), after adjusting for confounders. These results suggest that age, parity and fish intake are the important factors affecting the concentrations of indicator PCBs in these subjects.

Keywords: indicator PCBs, breast milk, dietary habits, breast-feeding, urban areas

I. 서 론

PCBs(Polychlorinated biphenyls)는 환경 중에서 높은 잔류성과 친유성으로 먹이사슬을 통하여 생체의 지방 질 부분에 생물·농축된다. 이러한 측면에서 고지방 식

품을 많이 섭취하는 사람들은 PCBs에 노출되어 지방에 축적되기 쉬우며,¹⁾ 축적된 PCBs는 면역독성, 갑상선 호르몬 대사 방해, 신경독성과 같은 많은 생물학적 독성을 나타낸다.²⁾ 비직업적으로 노출된 여성의 모유에 대한 PCBs의 측정치는 1960년대에 시작된 이래,³⁾ 오늘날에는 먹이사슬의 모든 단계에서 검출되고 있으며, 대기를 통하여 전 세계 지역, 심지어 북극지역까지 확산되고 있는 실정이다.⁴⁾

PCBs에 대한 인체 독성은 이미 검증되어 많은 나라

[†]Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Kyungnam University
Tel: 82-55-249-2245, Fax: 82-505-999-2166
E-mail: bymin@kyungnam.ac.kr

에서 PCBs의 생산 및 사용이 금지 또는 규제되고 있기 때문에 환경 및 인체 시료에서 PCBs의 농도가 지속적으로 낮아지는 경향을 보이고 있으나 과거에 생산되었던 제품들이 아직까지 이용되고 있고 그 처리과정에서 노출된 PCBs도 환경 중 여전히 존재하므로 지속적인 인체노출의 원인이 되고 있는 실정이다.⁵⁾ 국내에서도 지난 1947년에서 1984년까지 약 5,000톤 이상이 수입되었으며, 1996년 PCBs가 금지되기 이전까지 약 4,292톤의 PCBs가 사용⁶⁾되었기 때문에 환경 중에 노출되어 있는 PCBs는 다양한 경로를 통해 혈액, 모유 등 유기체의 지방조직에 축적되었을 것으로 판단된다. 이러한 측면에서 볼 때, 산모의 지방조직에 축적되어 있는 PCBs와 같은 잔류성유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs)은 모유 수유를 통해 유아에게로 전달 될 수 있는 중요한 노출경로이기도 하다.⁷⁾ 따라서, 산모의 연령, 출산경력, 비만지수(Body mass index, BMI), 식이습관, 흡연습관 등과 같은 다양한 노출인자와 모유 내 PCBs의 축적수준에 미치는 영향과의 정량적인 상관성 분석은 산모와 유아의 위해성 평가에 대한 중요한 정보가 제공될 수 있을 것이다.

한편, PCBs의 체내 축적 및 인체노출 연구에 있어 비폐닐기에 치환된 염소수가 적은 PCBs의 경우, 분해속도가 빨라서 잔류량도 거의 없기 때문에 지표(indicator)라는 개별 이성질체의 방법이 추천되고 있다.^{8,9)} 이 indicator PCB 이성질체는 PCB -28, -52, -101, -118, -138, -153 및 -180로서 환경 중에서의 안전성으로 식품 소비를 통한 인체 노출의 좋은 지표로 인식되고 있으며, 특히, PCB-138, -153, -180 등 고염소계 PCBs는 지방이 많은 어류를 포함한 모든 고유기체에서 높은 농도로 검출된다.⁹⁾ 이와 같이 7종의 indicator PCBs는 생체 내에 축적성이 상대적으로 높고 각종 모체의 시료에서 항상 고농도로 존재하기에 유럽 연합 식품안전국에 의해 가장 중요한 이성질체로 채택되어 있다.¹⁰⁾ 또한, WHO(World health organization)의 모유 모니터링 관련 International Round Robin의 분석 항목으로 정해져 있다. 그러나 국외에서는 모유시료에 대하여 PCBs의 독성 및 인체노출에 대하여 많은 연구가 진행되고 있지만 국내의 경우 인체시료의 확보 및 경제적인 고비용으로 인하여 인체 모유에 대한 이들의 연구 자료는 거의 없다.

따라서 본 연구의 목적은 도시지역에 거주하고 있는 비직업적 일반인을 대상으로 초유 중 indicator PCBs의 농도를 측정하여 식이습성 및 산모의 노출인자와의 상관관계를 통하여 영향 인자를 파악하고 국가간의 오염수준을 비교하기 위한 정확한 정보를 제공함이다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상 및 시료채취

서울지역에서 2006년 4월부터 6월까지 인터넷과 전단지 배부를 통하여 25명의 산모가 지원하였다. 연구대상자는 대상지역에서 최소 5년 이상 거주한 건강한 산모로 PCB 화합물에 대한 직업적 노출이 없고, 수유대상 유아는 1인이며, 모유제공에 이상이 없는 건강한 산모(모유제공, 동의서 작성)를 대상으로 하였다. 본 연구 계획은 한국소비생활연구원에서 구성한 기관생명윤리심의위원회(Institutional review boards, IRB)에 의하여 승인된 방법으로 지원자의 동의를 얻고 윤리적으로 허락된 범위 안에서 채취하였으며, 시료채취 전 1회, 완료 후 1회 등 총 2회의 심사를 받았다. 모유 채취는 시료의 안전한 채취방법, 보관 및 운송방법 등에 관한 교육을 받은 모니터요원이 직접 병원과 가정을 방문하여 100 ml 용량의 갈색 유리병을 이용하여 초유, 출산 후 30일째 모유, 출산 후 60일째 모유를 각각 50~100 ml 채취하여 분석 전까지 -20°C 이하에서 냉동 보관하였다. 또한, 모유 채취와 동시에 산모의 연령, 신장, 체중, 출산경력, 출산방법, 거주환경, 식이습관 및 산모의 약물복용여부, 영유아의 성별, 체중, 수유량 등에 관한 설문조사는 모니터요원에 의한 개별 면접조사를 실시하여 확보하였다.

2. 분석방법

모유 중 indicator PCBs 분석은 25명의 연구대상자 중 모유 채취량이 충분한 22명의 시료를 선정하여 초유를 분석 하였으며, 분석방법은 HRGC/HRMS(High resolution gas chromatography/High resolution mass detector)를 이용한 동위원소희석법으로 CDC⁽¹⁾ (Centers for Disease Control)의 실험방법을 기초로 분석하였다. 요약하면, 모유 시료 50 g을 취하여 500 ml의 분액여두에 넣고 농도보정 및 회수율 산정을 위하여 정제용 내부표준물질(¹³C-labelled MBP-MXS, Wellington Labs., Canada; EC-4058, Cambridge Isotope Labs., USA)을 첨가한 후, 소량의 옥살산나트륨, 에탄올, 염화나트륨(PCB analysis grade, Wako, Japan)을 가하여 분해시켰다. 이후 *n*-헥산(Ultra residue analysis, J.T. Baker) 100 ml로 액-액 추출을 2회, 세정수 200 ml로 2회 수세하였으며, 추출액은 무수황산나트륨(PCB analysis grade, Wako, Japan)을 통과시켜 수분을 제거하였다. 추출액은 회전증발농축기(EYELA N-1000)를 이용하여 2 ml까지 농축한 다음 지질 및 방해물질을 제거하기 위하여 황산처리 하였다. 황산처리 후 잔존하는 산 성분

Table 1. HRGC/HRMS conditions for indicator PCBs

Gas chromatograph (6890 series GC system, Agilent)
Injector temperature: 290°C
Injection mode: Splitless
Injection volume: 1 µl
Column oven temperature
150°C (1 min) - 20°C/min to 185°C, 2°C/min to 245°C (3 min) 6°C/min to 290°C (hold, 1.75 min)
Analytical capillary column
DB-5MS (30 m, 0.25 mm i.d., 0.25 µm)
Carrier gas: He, 15 psi head pressure (constant flow)
Mass spectrometer (JEOL Mstation 800D MS)
Measuring mode: SIM (Selected Ion Monitoring)
Ion Source: EI (electron impact ionization)
Interface temperature: 290°C
Ion source temperature: 310°C
Ionizing Current: 500 µA
Electronic energy: 40 eV
Resolution: >10,000 (10% valley)
Acceleration voltage: 10 kV
Mass correction: Lockmass mode (PFK)

을 제거하기 위하여 hexanese정수로 2~3회 세정한 후 *n*-hexan 층은 무수황산나트륨으로 탈수하고 회전증발농축기를 이용하여 약 2 ml까지 농축한 다음 다중실리카겔 컬럼 크로마토그래피(70~230 mesh, Merck, Darmstadt, Germany), 활성 알루미늄 컬럼 크로마토그래피(활성도 1, 염기성, Sigma Aldrich) 순으로 정제과정을 거친 후에 활성탄(dioxin analysis grade, Wako, Japan) 1 g과 25% 디클로로메탄:*n*-hexan(v/v) 30 ml를 이용하여 indicator PCBs를 회수하였다. 회수된 용출액은 회전 증발 농축기와 질소농축기를 이용해 50 µl로 농축한 후 회수율 측정용 내부표준물질(¹³C-labelled PCB IS-100, Wellington Labs., Canada) 첨가하고 최종적으로 25 µl로 농축하였다. 농축된 시료는 HRGC/HRMS로 분해능 10,000이상(10% valley)에서 선택이온검출법(Selected ion monitoring, SIM) 모드로 검출하였으며, HRGC/HRMS 기기분석 조건은 Table 1과 같다.

바탕시료(blank sample) 분석은 용매나 초차로부터 방해물질 또는 오염을 검토하기 위하여 5개 시료마다 1개씩 동시에 분석하였다. 첨가된 ¹³C-labelled 이성질체의 평균 회수율은 72~114%(평균=87%)의 범위로 나타났으며, 검출한계(Limit of detection, LOD)는 0.1~0.5 ng/g의 범위였다.

3. 통계분석

모유 중 indicator PCBs 농도는 정규분포하지 않아 (Shapiro-Wilk test for normality, *p*<0.01), 로그 변환

후 indicator PCBs 농도 값을 기초 통계량으로 사용하였다. 스피어만 상관관계(Spearman's rank correlation) 분석은 indicator PCB 이성질체 사이의 상관관계의 파악하기 위하여 사용되었으며, 연령은 단순선형회귀분석을 이용하였다. 모유 중 indicator PCBs의 농도분포는 Mann-Whitney *U*-test를 통하여 BMI, 출산경력, 흡연습관, 식이습성 등에 따른 농도 차이를 검증하였고, 산모의 연령, BMI, 출산경력 등은 보정 후 그룹(예, 어패류 섭취빈도, 육류 섭취빈도, 유제품 섭취빈도)내의 관련성을 파악하기 위하여 다중선형회귀분석(Multiple linear regression)을 적용하였다. 결과 해석을 위한 자료의 통계분석은 Statistica(version 6.0, statsoft Inc., OK, USA) software system으로 수행되었으며, *p*<0.05는 통계학적으로 유의하다고 간주하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 산모의 일반적인 특성

본 연구 대상자에 대한 신장, 연령, 생활양식, 식이습성 등의 일반적인 특징들에 대하여 Table 2에 나타내었다. 본 연구에 참여한 수유부의 연령범위는 26~38세(평균 · 표준편차 32±3.1세), 임신 전 BMI 16.1~28.4 kg/m², 임신기간 중 체지방 증가비율 0.02~0.23, 그리고 지방함량은 0.8~6.1%로 초산부와 경산부 그룹 사이에 유의한 차이는 나타나지 않았다(*p*>0.05). 모든 산모가

Table 2. Maternal characteristics in this study

Subject characteristics	Mean±SD (range) or <i>n</i> (percentage)
Maternal age at delivery (years)	32±3.1 (26~38)
Lipid contents (%)	2.7±1.4 (0.8~6.1)
Maternal body height (cm)	160±5.9 (150~172)
Parity (primipara/multipara)	13/9 (59/41)
Pre-pregnancy BMI (kg/m ²)	20.6±2.7 (16.1~28.4)
Rate of body weight increase ^a	0.11±0.05 (0.02~0.23)
Fish & Shellfish intake (<2/>2 times/week)	9/13 (41/59)
Meat intake (<2/>2 times/week)	16/6 (73/27)
Milk products intake (<2/>2 times/week)	5/17 (23/77)
Smoking habit (non-smoker/ex-smoker/current smoker)	17/5/0 (77/23/0)
Change of dietary habit after pregnancy (yes/no)	6/16 (27/73)

^aRate of body weight increase was calculated as follows: (maternal weight before delivery)-(maternal weight before pregnancy)/(maternal weight before pregnancy).

비흡연자였으며, 직업적인 노출은 없었다. 임신 후 식습관에 변화가 있다고 응답한 산모는 27%이며, 유아는 모두 초유를 섭취하였다.

2. PCBs 농도분포 및 기술통계량

일반 여성 모유 중 PCB-28, 52, 118, 138, 153 및 180 등 7종의 indicator PCBs(Indicator polychlorinated biphenyls)가 대부분의 모유 시료에서 검출되었으며, 기술적 통계결과는 Table 3에 나타내었다. 7종의 indicator PCB 농도분포는 PCB-52를 제외하고 로그 정규 분포로 잘 나타났다(Shapiro-Wilk test for data in log-transformed variables, $p>0.01$).

모유 중 indicator PCBs 농도는 9.14~47.6 ng/g lipid의 범위로 중앙값은 24.9 ng/g lipid(기하평균=22.3 ng/g lipid), 상한치 95th percentile 값은 42.6 ng/g lipid이었다. 이성질체 분포패턴은 PCB 101 < 52 < 28 < 118 < 180 < 138 < 153의 순으로 PCB-153이 38.1%로 가장 높

은 조성비를 보였으며, PCB-138, 153, 180의 합은 총 indicator PCBs의 약 75%를 차지하였다. 다른 이성질체에 비하여 비교적 높은 조성비를 보인 PCB-138, 153, 180은 주로 4,4'- 위치에 염소가 치환된 이성질체들이다. 이러한 특징은 4,4'- 치환 이성질체는 인체 내에서 대사되기 어렵다는 것을 의미할 수도 있다. 또한, PCB-138, 153, 180은 Phenobarbital형으로 Cytochrom P-450 2B1(CYP2B1) 유도능력을 가지며, 현기증(phenobarbital), 진행성 종양(promote neoplasia), 간부종(hepatomegalien)과 같은 증상을 일으키는 이성질체로 보고되고 있다.¹²⁾ 일반적으로 이들 이성질체는 어류를 포함한 고유기체에서 높은 농도로 축적되어 있으며, mono-에서 deca-CBs까지 총 PCBs 농도의 약 50~80%를 차지하는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 본 연구에서도 PCB-138, 153, 180은 모든 모유시료에서 높은 농도로 검출되어 유사한 결과를 얻었다. 또한, PCB-138, 153, 180은 서로간의 상관성이 매우 높았다(Table 4). 가장 높은 상관관계는 PCB-

Table 3. Descriptive statistics of indicator PCB congeners in breast milk samples

Congeners	Arithmetic mean ^a	Standard deviation	Geometric mean	95% CI	Median	95th percentile	Range (min-max)
PCB-28	1.24	0.53	1.13	1.01~1.47	1.19	2.19	0.43~2.29
PCB-52	1.16	3.33	0.46	-0.32~2.63	0.38	1.21	0.09~16.0
PCB-101	0.58	0.26	0.53	0.47~0.70	0.51	0.97	0.16~1.25
PCB-118	3.11	1.83	2.57	2.30~3.92	2.90	6.08	0.72~7.20
PCB-138	5.46	3.56	4.50	3.88~7.04	4.90	10.1	1.35~16.7
PCB-153	9.54	6.32	8.04	6.74~12.4	8.31	16.4	2.20~32.4
PCB-180	3.57	1.62	3.23	2.85~4.29	3.25	6.34	1.33~7.45
Sum PCBs ^b	18.6	8.77	16.6	14.7~22.5	18.4	36.5	6.13~39.9
ΣPCBs ^c	24.7	10.9	22.3	19.9~29.5	24.9	42.6	9.14~47.6

CI: Confidence interval.

^aUnit: ng/g lipid weight basis.

^bSum PCB=PCB 138+PCB 153+PCB 180.

^cΣPCBs=PCB 28+PCB 52+PCB 101+PCB 118+PCB 138+PCB 153+PCB 180.

Table 4. Spearman rank correlation coefficients among lipid-adjusted breast milk concentrations of PCB congeners

Congener	Indicator PCBs							
	PCB-28	PCB-52	PCB-101	PCB-118	PCB-138	PCB-153	PCB-180	Sum PCBs
PCB-28	1							
PCB-52	0.536*	1						
PCB-101	0.366	0.602**	1					
PCB-118	0.252	0.449*	0.616**	1				
PCB-138	0.351	0.441*	0.427*	0.579**	1			
PCB-153	0.229	0.564**	0.159	0.672**	0.982***	1		
PCB-180	0.401	0.439*	0.581**	0.602**	0.835***	0.903***	1	
Sum PCBs	0.275	0.569**	0.353	0.625**	0.897***	0.942***	0.885***	1
ΣPCBs	0.467*	0.571**	0.572**	0.598**	0.947***	0.959***	0.873***	0.967***

* $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$.

138과 153사이에서 관찰되었으며($r=0.982, p<0.001$), 이어서 PCB-153과 180($r=0.903, p<0.001$), PCB-138과 180($r=0.835, p<0.001$) 순이었다. 특히, PCB-153은 총 indicator PCBs와의 사이에서도 가장 높은 상관관계($r=0.959$)를 보여 non-dioxin like PCBs 인체 배경노출에 대한 좋은 생물지표가 될 수 있을 것으로 판단되었다. 반면, 저염소계 PCBs인 PCB-28은 PCB-52와 유의한 상관성을 보였을 뿐 다른 이성질체와의 상관관계는 나타나지 않았다. PCB-153과 PCB-180은 동물 지방조직에서의 제거 반감기는 각각 453일과 6개월로 상당히 길기 때문에 생체 내에서 분해가 용이하지 않아 제거속도가 느리다.¹³⁾

한편, 본 연구에서 13.2%의 조성비를 보인 PCB-118은 다이옥신과 유사한 독성을 나타내는 mono-ortho 치환 PCBs로서 모유에서 총 dioxin-like PCBs(mono-ortho PCBs+non-ortho PCBs) 농도의 약 50% 이상을 차지한다.¹⁴⁾ 따라서 PCB-118의 농도값을 통하여 dioxin-like PCBs와 독성등량치(Toxic equivalent quantity, TEQ)의 충분한 지표가 될 것으로 판단된다.

3. PCBs 농도와 노출인자와의 관계

PCBs의 노출과 체내 축적에 따른 영향은 많은 인자가 관여할 수 있다. 또한, 많은 선행연구에서 유기오염물질의 체내 이동과 산모의 노출 인자 사이에 유의한 관계^{5,15)}를 보여줬고 이는 유기염소계화합물의 지용성과 생물·축적 가능성 때문이다.¹⁵⁾

Table 5의 선형회귀분석 결과는 연령이 indicator PCB 이성질체의 농도와 서로 관련되었음을 보여준다. 일반적으로 연령은 PCBs의 가장 중요한 예측인자로 특히, 고염소계 PCBs인 PCB-153, 180 농도와 높은 상관관계를 나타낸다.^{16,17)} 본 연구에서도 모유 중 indicator PCBs 농도와 산모의 연령사이에서 유의한 양

의 상관관계가 나타났다($p<0.001$). 더욱이 단순선형회귀분석결과 총 indicator PCBs의 농도는 연령이 증가할수록 2.56 ng/g lipid씩 증가하였으며($y=-56.53+2.56x$, y: PCBs 농도, x: 산모 연령), PCB-138, 153, 180의 농도 수준도 연령이 1세 증가할수록 각각 0.61, 1.32, 0.22 ng/g lipid씩 증가하였다. 연령과 비례하여 모유 중 indicator PCBs의 농도 증가는 연령의 증가에 따른 PCBs의 노출시간증가, 긴 반감기에 따른 배출속도의 감소 등에 의한 결과로 해석되어 진다.⁵⁾ 반면, PCB-28과 PCB-52는 연령과 아무런 상관관계가 나타나지 않았다.

체내 지방의 양은 유기염소계화합물 농도와 상관관계가 있을지도 모른다. 일부 선행연구에서 잠재적 예측인자 중 BMI를 포함하였다. Glynn 등¹⁸⁾은 BMI와 혈청 중 p,p'-DDE 농도간에 양의 상관관계를 가진다고 보고하였으며, PCBs의 경우 BMI와 상관성이 없거나¹⁹⁾ 또는, 음의 상관관계^{18,20)}를 가진다고 보고되고 있다. 이와 유사하게 본 연구에서도 PCB-153은 BMI가 높은 그룹이 낮은 그룹에 비해 유의하게 농도가 낮았으며($p<0.05$), 연령, 출산경력에 대한 통계학적 차이가 나타났다($p<0.05$). 그러나 분석된 다른 indicator PCB 이성질체에서는 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 임신기간 중의 체지방 증가 비율과도 유의한 차이는 보이지 않았다(Table 6). Wolff 등²¹⁾에 따르면 고염소계 PCBs와 BMI 사이의 음의 상관관계는 PCBs 노출진행을 반영할 수 있다. Collins 등²²⁾은 BMI가 고염소계 다이옥신의 배경농도를 평가하는데 특히, 중요하며, 연령을 함께 연구에서 감안해야 한다는 점을 지적하고 있다. 하지만 일반적으로 BMI 경향이 연령에 따라 증가하기 때문에 이것은 연령과 독립적으로 BMI의 영향을 평가하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

초산부의 모유 내 indicator PCBs 농도는 경산부보다 확연히 높았으며($p<0.01$), 특히, 저염소계 PCBs보다 PCB-138, -153, -180 등 고염소계 이성질체의 농도가 높았다($p<0.01$). 이와 같이 경산부 여성에게 PCBs의 농도가 낮게 나타나는 것은 다산에 의한 수유와 태반을 통하여 산모로부터 유아에게 지용성 오염물질인 PCBs가 배출되기 때문으로 판단된다.^{23,24)} 따라서 수유기 유아들은 이들 유기염소계화합물에 노출 될 수 있다.

4. 식이습성과 PCBs 농도와의 상관성

Table 7은 산모의 식이습성과 indicator PCBs 농도와 상관성을 분석한 결과이다. 한국인에게 유기오염물질의 체내 축적의 주요 기여 인자 중의 하나는 어패류의 섭취로 알려져 있다.^{25,26)} PCB-153의 농도는 어패류

Table 5. Regression coefficients for the levels of indicator PCBs against ages of mothers

Congener	Regression coefficients	Standard error	p-value
ln (PCB-28)	0.016	0.014	0.247
ln (PCB-52)	0.041	0.029	0.174
ln (PCB-101)	0.025	0.013	0.069
ln (PCB-118)	0.032	0.014	0.036
ln (PCB-138)	0.051	0.017	0.007
ln (PCB-153)	0.052	0.015	0.002
ln (PCB-180)	0.028	0.013	0.042
ln (Sum PCBs)	0.049	0.011	<0.001
ln (ΣPCBs)	0.046	0.011	<0.001

Table 6. Indicator PCB levels^a in the demographic parameters between two groups

	PCB-28	PCB-52	PCB-101	PCB-118	PCB-138	PCB-153	PCB-180	Sum PCBs	ΣPCBs
<i>Pre-pregnant BMI</i>									
<21 kg/m ² (n=8)	1.31	0.45	0.60	3.02	5.03	9.55	3.52	19.2	25.5
>21 kg/m ² (n=14)	0.87	0.48	0.43	1.94	3.71	5.96	2.79	12.9	17.7
<i>p</i> value ^b	0.076	0.195	0.195	0.116	0.413	0.039*	0.195	0.067	0.116
<i>p</i> value ^c	0.113	0.406	0.253	0.282	0.317	0.012*	0.128	0.094	0.167
<i>Rate of body weight increase</i>									
<0.1 (n=11)	1.14	0.40	0.51	2.59	5.53	8.88	3.43	18.8	24.2
>0.1 (n=11)	1.12	0.54	0.55	2.54	3.67	7.29	3.05	14.7	20.6
<i>p</i> value ^b	0.818	0.533	0.922	0.818	0.123	0.670	0.577	0.200	0.375
<i>p</i> value ^c	0.641	0.636	0.598	0.334	0.066	0.132	0.658	0.091	0.149
<i>Parity</i>									
Primipara (n=13)	1.15	0.50	0.52	2.76	5.83	10.5	3.98	21.7	28.1
Multipara (n=9)	1.10	0.41	0.54	2.31	3.10	5.44	2.40	11.3	16.0
<i>p</i> value ^b	0.764	0.815	0.713	0.443	0.012*	0.007**	0.007**	<0.001***	0.004**

p*<0.05; *p*<0.01; ****p*<0.001.^aGeometric mean (unit: ng/g lipid).^bWithout any adjustment.^cMaternal age and parity were adjusted by multiple linear regression.**Table 7.** The difference in indicator PCB levels^a between the different food consumption groups

	PCB-28	PCB-52	PCB-101	PCB-118	PCB-138	PCB-153	PCB-180	Sum PCBs	ΣPCBs
<i>Eating fish & shellfish</i>									
<2 times/week (n=9)	1.05	0.46	0.53	2.75	5.46	6.79	3.46	15.70	20.49
>2 times/week (n=13)	1.37	1.64	0.62	3.37	5.47	11.45	3.65	20.57	27.56
<i>p</i> value ^b	0.243	0.570	0.243	0.526	0.664	0.041*	0.867	0.333	0.117
<i>p</i> value ^c	0.602	0.750	0.735	0.635	0.072	0.003**	0.085	0.083	0.159
<i>Eating meat</i>									
<2 times/week (n=16)	1.22	0.45	0.58	3.08	5.47	8.32	3.42	17.21	22.55
>2 times/week (n=6)	1.29	3.54	0.60	3.24	5.43	13.68	4.10	23.21	31.88
<i>p</i> value ^b	0.906	0.256	0.611	0.845	0.611	0.368	0.557	0.196	0.170
<i>p</i> value ^c	0.868	0.345	0.736	0.642	0.419	0.016*	0.092	0.090	0.199
<i>Eating milk products</i>									
<2 times/week (n=5)	0.88	0.44	0.52	2.10	4.19	6.49	3.17	13.85	17.79
>2 times/week (n=17)	1.35	1.37	0.60	3.41	5.84	10.44	3.69	19.97	26.69
<i>p</i> value ^b	0.066	0.127	0.170	0.170	0.368	0.170	0.557	0.170	0.092
<i>p</i> value ^c	0.538	0.824	0.762	0.552	0.072	0.167	0.087	0.122	0.256

p*<0.05; *p*<0.01; ****p*<0.001.^aGeometric mean (unit: ng/g lipid).^bWithout any adjustment.^cMaternal age, pre-pregnant BMI, and parity were adjusted by multiple linear regression.

를 많이 소비하는 여성이 적게 소비하는 여성보다 높았으며(*p*<0.05), 산모의 연령, BMI, 출산경력에 대한 PCB-153의 농도는 높은 어패류 섭취그룹(>2 times/week)에서 통계적으로 유의하게 증가되었다(*p*<0.01). 육류 섭취빈도 또한, 연령, BMI, 출산경력에 대한 통계학

적 차이가 나타났다(*p*<0.05). 하지만 PCB-153을 제외한 PCB-26, -52, -101, -118, -138 및 -180은 어패류, 육류 및 유제품 섭취빈도에 따른 유의성은 나타나지 않았다. 이와 같이 인체 노출의 주요 기여인자와 상관성이 결여된 원인 중의 하나는 임신기간 중 식이습관의

변화로 인한 지방대사가 변화하기 때문일 것으로 판단되나 통계학적으로 많은 표본추출이 이루어지지 못한 것도 한 원인이라 사료된다.

일부 연구에서 PCBs의 체내 축적량은 어패류 또는 육류의 소비와 양의 상관성($p < 0.05$)을 갖는 것으로 보고하고 있으나²⁷⁾ 본 연구 결과에서는 indicator PCBs 농도는 어패류, 육류, 유제품의 섭취 빈도 그룹간에 유의한 상관성은 없었지만 섭취빈도가 높은 그룹에서 indicator PCBs 농도가 높게 검출되었다. 또한, PCB-153은 어패류 섭취빈도와 유의한 상관성을 나타내었으며, 산모의 연령, 출산 전 BMI, 출산경력은 어패류 섭취빈도, 육류 섭취빈도에 영향을 주는 중요한 인자로 나타났다.

한 국가에서 전반적으로 어류 소비가 적을 때, 모유에서 유기오염물질의 농도는 감소하는 것으로 보고되었으나²⁸⁾ 지금까지 국내에서는 모유 중 PCBs 농도의 감소와 어류 소비 감소간의 정량적인 관계는 발표된 바 없다. 이와 같이 비록 현재 국내에서 생물과 인체시료에서 indicator PCBs의 자료는 매우 부족하지만 PCB-153의 노출경로는 어패류 소비와 관련될 것으로 생각되며, 어패류 소비를 통한 PCB-153은 인체노출의 새로운 지표가 될 것이다.

5. PCBs 배경노출 및 농도비교

WHO에서 수행한 26개국 공동조사 결과를 Fig. 1에 나타내었다.³⁴⁾ 국내 모유 중 indicator PCBs의 중앙값은 남반구에 위치한 브라질, 피지, 필리핀, 호주, 뉴질랜드와 유사하거나 높은 수준이며, 선진 공업국인 미국, 유럽국가에 비해 낮은 수준이었다. 특히, 슬로바키아, 체코 공화국 모유 중의 indicator PCBs 농도는 각각 443 ng/g lipid, 502 ng/g lipid로 본 연구 결과보다 각각 18배, 20배 높은 수준이었다. 국가별 PCBs 소비량은 미국이 전 세계소비량의 46%를 차지하였으며, 다음으로 러시아(7.9%), 독일(7.1%), 일본(4.1%), 프랑스(4.1%) 및 캐나다(3.0%) 순으로 북미를 포함한 유럽국가에서 PCBs의 대부분이 사용하였다.⁶⁾ 국내의 경우 1996년 PCBs 사용이 금지되기 이전까지 약 4,292톤의 PCBs가 사용되어 일본(16,000~31,000톤)의 약 1/4~1/7 배 수준이었다. 한편, 일본¹⁴⁾ 여성 모유 중의 총 PCBs 평균농도는 120 ng/g lipid로서 본 연구결과에 비하여 약 5배나 높은 수준이었는데 이는 한국인과 일본인의 식이습관의 유사성으로 인하여 인체 노출경로가 유사하다 하더라도 결국 PCBs 사용량에 의해 체내 축적량이 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, 소각과정에서의 PCBs 생성에 관한 보고가 있지만 이농도 수준은 상업

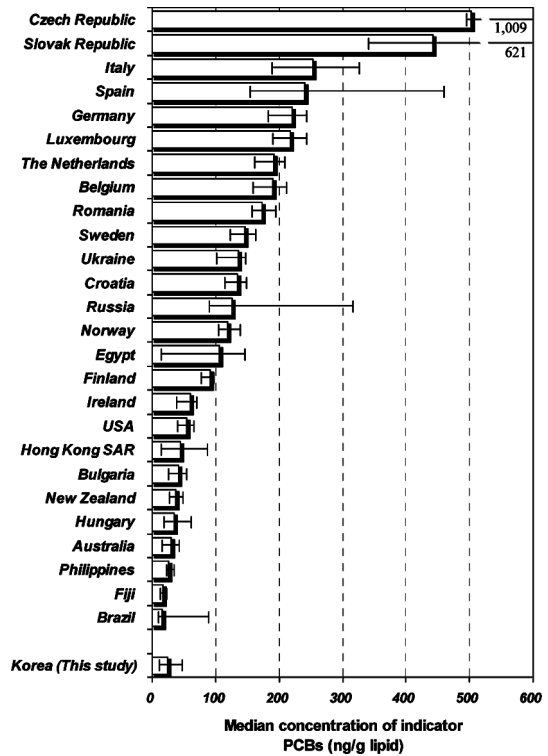


Fig. 1. Concentrations of indicator PCBs in human milk of different countries.³⁴⁾ Vertical bars show the range and median contribution of total indicator PCBs concentration.

적으로 대량으로 사용되었던 PCBs 제품(Aroclor, Kanechlor)에 의한 오염수준과 비교하면 매우 낮다. 이와 같은 상황을 종합해 볼 때, 우리나라에서의 일반인 모유 중의 PCBs 오염은 배경노출에 기인한 수준으로 판단된다.

인체시료에서 잔류성유기오염물질을 연구하는데 있어 시간경과에 따른 이들 물질 농도변화의 비교·분석은 중요한 인지임에도 불구하고²¹⁾ 시간경과에 따른 국내 모유 중 indicator PCBs 농도변화의 자료는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 서울지역 일반인 혈청시료 내 PCB-153 농도의 시간적 변화 경향을 분석하였다. 혈청 중 PCB-153의 평균농도는 2001년³⁰⁾ 62.5 ng/g lipid, 2003년³¹⁾ 39.2 ng/g lipid, 2006년³²⁾ 20.7 ng/g lipid로 점차 감소하였다. 이러한 혈청 내의 PCBs 농도의 감소 경향은 1996년부터 시작된 한국의 PCBs 사용의 강력한 규제 때문으로 판단되었다. 국외에서도 1970년대 후반부터 PCBs의 생산 및 사용이 금지되어 있어 환경 중의 농도 수준은 점점 감소하는 추세로 특히, 일본³³⁾

에서 dioxin-like PCBs의 농도 수준은 1998년부터 2002까지 뚜렷한 감소를 보이고 있다($p < 0.01$).

IV. 결 론

본 연구는 서울지역에 거주하고 있는 비직업적 일반인을 대상으로 초유 중 indicator PCBs의 농도를 측정하고 식이습성 및 산모의 노출인자간의 상관관계를 통하여 영향 인자를 조사한 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 모유 중 indicator PCBs의 중앙값은 남반구에 위치한 브라질(16 ng/g lipid), 피지(17 ng/g lipid), 필리핀(26 ng/g lipid), 호주(30 ng/g lipid), 뉴질랜드(37 ng/g lipid)와 유사하거나 높은 수준이며, 선진 공업국인 미국(54 ng/g lipid), 유럽국가에 비해 매우 낮은 수준으로 일반 배경농도에 해당하였다. 특히, 식이습성이 유사한 일본인 모유 중의 총 PCBs 평균농도 120 ng/g lipid로서 본 연구결과에 비하여 약 5배나 높은 수준이었다.

2. 이성질체 분포패턴은 PCB-101 < 52 < 28 < 118 < 180 < 138 < 153의 순으로 평가되었고 PCB-138, -153, -180의 합은 총 indicator PCBs의 약 75%를 차지하였다. 또한, 고염소계 PCBs는 서로 상관성이 매우 높은 반면, 저염소계인 PCB-28은 PCB-52와 유의한 상관성이 관찰되었을 뿐 다른 고염소계 PCBs와의 상관관계는 나타나지 않았다. 이는 연령에 따른 노출시간 증가 및 고염소계 PCBs의 느린 분해속도 때문으로 판단되었다.

3. 산모의 노출인자와 indicator PCBs 농도 사이에서 연령($p < 0.001$), 출산경력($p < 0.01$)은 유의한 상관성이 나타났으나 체중 증가비율, BMI, 흡연습관, 식이습성과는 유의한 상관성은 나타나지 않았다. 그러나 PCB-153은 어패류 섭취빈도에 따라 유의한 차이가 나타났으며, 산모의 연령, 출산 전 BMI, 출산경력에 대해 유의한 차이가 나타났다($p < 0.01$). 따라서 어패류 소비량은 indicator PCBs와의 높은 상관관계를 통하여 PCB-153은 인체노출의 새로운 지표가 될 것으로 판단되었다.

본 연구에서 얻어진 모유 중의 indicator PCBs 오염수준은 현재 한국인 산모 전체에 대한 PCBs 오염수준을 대표하기에는 분석시료수가 적고 특히, 모유 중의 PCBs의 이전 자료가 충분하지 않아 전체 한국인의 노출인자를 자세하게 평가하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구 결과는 한국인의 indicator PCBs의 인체 노출평가에 대한 국제적 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 이는 국제적 비교에 이용되는

오염물질의 정량 및 정성 분석으로 HRGC/HRMS를 이용한 동위원소희석법에 의해 측정되었기 때문이다. 이러한 측면에서 본 연구결과는 중요한 의미를 지니고 있다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 식품의약품안전청 용역연구개발사업의 연구비 지원(06132내분비436)에 의해 수행된 연구결과와 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Ahlborg, U., Hanberg, A. and Kenne, K. : Risk assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs). *Report NORD, Nordic Council of Ministers, Copenhagen*, 26, 1992.
- Brouwer, A., Longnecker, M. P., Birnbaum, L. S., Cogliano, J., Kostyniak, P. and Moore, J. : Characterization of potential endocrine-related health effects at low-dose levels of exposure to PCBs. *Environmental Health Perspectives*, **107**, 639-649, 1999.
- Jensen, S. : Report of a new chemical hazard. *New Science*, **32**, 612, 1996.
- Macdonald, R. W., Harner, T. and Fyfe, J. : Recent climate change in the Arctic and its impact on contaminant pathways and interpretation of temporal trend data. *Science of the Total Environment*, **342**, 75-86, 2005.
- Černa, M., Malý, M., Grabic, R., Batárióvá, A., Šmíd, J. and Beneš, B. : Serum concentrations of indicator PCB congeners in the Czech adult population. *Chemosphere*, **72**, 1124-1131, 2008.
- Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna J. M., Jones, K. C. : Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners - a mass balance approach. 1. Global production and consumption. *Science of the Total Environment*, **290**, 181-198, 2002.
- Szyrwińska, K. and Lulek, J. : Exposure to specific polychlorinated biphenyls and some chlorinated pesticides via breast milk in Poland. *Chemosphere*, **66**, 1985-1993, 2007.
- Glynn, A. W., Wolk, A., Aune, M., Atuma, S., Zettermark, S., Maele-Schmid, M., Darnerud, P. O., Becker, W., Vessby, B. and Adami, H. : Serum concentrations of organochlorines in men: a search for markers of exposure. *Science of the Total Environment*, **263**, 197-208, 2000.
- Wingfors, H., Selden, A. I., Nilsson, C. and Haglund, P. : Identification of markers for PCB exposure in plasma from Swedish construction workers removing old elastic sealants. *Annals of Occupational Hygiene Society*, **50**(1), 65-73, 2006.
- EFSA (European Food Safety Authority) : Opinion of

- the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the commission related to the presence of non dioxin-like PCBs in feed and food. *EFSA Journal*, **284**, 1-137, 2005.
11. CDC (Centers for Disease Control and Prevention) : Laboratory Procedure Manual Method 28 for Second National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. 2003.
 12. Vezina, C. M., Walker, N. J. and Olson, J. R. : Subchronic exposure to TCDD, PeCDF, PCB126, and PCB153: effect on hepatic gene expression. *Environmental Health Perspectives*, **112**, 1636, 2004.
 13. Phillips, D. L., Smith, A. B., Burse, W. W., Steele, G. K. and Hannon, W. H. : Half-life of polychlorinated biphenyls in occupationally exposed workers. *Arch. Environmental Health*, **44**, 351-354, 1989.
 14. Park, S. A., We, S. U., Cho, B. H., Kim, K. H., Baek, J. H., Han, S. Y. and Min, B. Y. : Levels of PCDDs/DFs and dl-PCBs in breast milk from Korean women living in Seoul and Ansan: estimation of PCDDs/DFs and dl-PCBs intake for breastfed infants. *Proceedings of Environmental Health in Asia-Pacific Region, Jeju, Korea*, 164-168, 2008.
 15. Smeds, A. and Saukko, P. : Identification and quantification of polychlorinated biphenyls and some endocrine disrupting pesticides in human adipose tissue from Finland. *Chemosphere*, **44**, 1463-1471, 2001.
 16. ATSDR : Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls, Atlanta, <www.atsdr.cdc.gov>, 2002.
 17. Schaeffer, D. J., Dellinger, J. A., Needham, L. L. and Hansen, L. G. : Serum PCB profiles in Native Americans from Wisconsin based on region, diet, age and gender: implications for epidemiology studies. *Science of the Total Environment*, **357**, 74-87, 2006.
 18. Glynn, A. W., Granath, F., Aune, M., Atuma, S., Damerud, P. O., Bjerlesius, R., Vainio, H. and Weiderpass, E. : Organochlorines in Swedish women: determinants of serum concentrations. *Environmental Health Perspectives*, **111**, 349-355, 2003.
 19. Sandanger, T. M., Brustad, M., Sandau, C. D. and Lund, E. : Levels of persistent organic pollutants in a coastal northern Norwegian population with high fishliver intake. *Journal of Environmental Monitoring*, **8**, 552-557, 2006.
 20. Apostoli, P., Magoni, M., Bergonzi, R., Carasi, S., Indelicato, A., Scarcella, C. and Donato, F. : Assessment of reference values for polychlorinated biphenyl concentration in human blood. *Chemosphere*, **61**, 413-421, 2005.
 21. Wolff, M. S., Berkowitz, G. S., Brower, S., Senie, R., Bleiweiss, I. J., Tartter, P., Pace, B., Roy, N., Wallenstein, S. and Weston, A. : Organochlorine exposures and breast cancer risk in New York City women. *Environmental Research*, **84**, 151-161, 2000.
 22. Collins, J. J., Bodner, K., Burns, C. J., Budinsky, R. A., Lamparski, L. L., Wilken, M., Martin, G. D. and Carson, M. I. : Body mass index and serum chlorinated dibenzo-*p*-dioxin and dibenzofuran levels. *Chemosphere* **66**, 1079-1085, 2007.
 23. Schechter, A., Ryan, J. J. and Papke, O. : Decrease in levels and body burden of dioxins, dibenzofurans, PCBs, DDE, and HCB in blood and milk in a mother nursing twins over a thirty-eight month period. *Chemosphere*, **37**, 1807-1816, 1998.
 24. Yua, Z., Palkovicovab, L., Drobnac, B., Petrikc, J., Kocanc, A., Trmovecc, T. and Picciottoa, I. H. : Comparison of organochlorine compound concentrations in colostrum and mature milk. *Chemosphere*, **66**, 1012-1018, 2007.
 25. Moon, C. H. and Paik, J. M. : Estimation of PCDDs/PCDFs intake for Korean children and their mothers through daily foods. *Journal of Environmental Health Sciences*, **33**(1), 11-15, 2007.
 26. Moon, H. B. and Choi, H. G. : Human exposure to PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs associated with seafood consumption in Korea from 2005 to 2007. *Environment International*, **35**, 279-284, 2009.
 27. Tsukino, H., Hanaoka, T., Sasaki, H., Motoyama, H., Hiroshima, M. and Tanaka, T. : Fish intake and serum levels of organochlorines among Japanese women. *Science of the Total Environment*, **359**, 90-100, 2006.
 28. Schuhmacher, M., Domingo, J. L., Kiviranta, H. and Vartiainen, T. : Monitoring dioxins and furans in a population living near a hazardous waste incinerator: levels in breast milk. *Chemosphere*, **57**, 43-49, 2004.
 29. Kunisue, T., Muraoka, M., Ohtake, M., Sudaryanto, A., Minh, N. H., Ueno, D., Higaki, Y., Ochi, M., Tsydenova, O., Kamikawa, S., Tonegi, T., Nakamura, Y., Shimomura, H., Nagayama, J. and Tanabe, S. : Contamination status of persistent organochlorines in human breast milk from Japan: recent levels and temporal trend. *Chemosphere*, **64**, 1601-1608, 2006.
 30. Kim, B. H., Ikonomou, M. G., Lee, S. J., Kim, H. S. and Chang, Y. S. : Concentrations of polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans, and polychlorinated biphenyls in human blood samples from Korea. *Science of the Total Environment*, **336**, 45-56, 2005.
 31. Park, H., Lee, S. J., Kang, J. H. and Chang, Y. S. : Congener-specific approach to human PCB concentrations by serum analysis. *Chemosphere*, **68**, 1699-1706, 2007.
 32. Kang, J. H., Park, H. K., Chang, Y. S. and Choi, J. W. : Distribution of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in human serum from urban areas in Korea. *Chemosphere*, **332**, 1124-1133, 2008.
 33. Uehara, R., Peng, G., Nakamura, Y., Matsuura, N., Kondo, N. and Tada, H. : Human milk survey for dioxins in the general population in Japan. *Chemosphere*, **62**, 1135-1141, 2006.
 34. Malisch, R. and Van Leeuwen, R. : PCDD/F Results of the WHO coordinated exposure study on the levels of PCBs, PCDDs and PCDFs in human milk. *Organohalogen Compounds*, **64**, 140-143, 2003.