

## 혈액 중 PCBs 이성질체별 분석에 의한 인체 노출 평가

박효근 · 이세진 · 김광수 · 강정호 · 백송이 · 장윤석\*

포항공과대학교 환경공학부

(2005. 11. 2. 접수, 2006. 1. 23. 승인)

### Evaluation of human exposure to polychlorinated biphenyls using human serum by congener-specific analysis

Hyocheon Park, Se-Jin Lee, Guang-Zhu Jin, Jung-Ho Kang, Song-E Baek and Yoon-Seok Chang\*

*School of Environmental Science & Engineering, Pohang University of Science and Technology,*

*San 31, Hyojadong, Namku, Pohang, 790-784, Korea*

(Received November 2, 2005, Accepted January 23, 2006)

**요약** : 고분해능 가스크로마토그래피/고분해능 질량분석기를 이용하여 자원회수시설 근로자와 자원회수시설 주변 지역 주민(<0.3 km), 자원회수시설과 관련이 없는 지역주민(>10 km)의 혈액으로부터 PCBs의 모든 이성질체를 분석하였다. 전체 87개의 혈액시료 중에서 PCBs의 평균농도와 다이옥신 유사 PCBs의 평균농도는 각각 242.77 ng/g lipid, 8.83 TEQ pg/g lipid 이었다. 5, 6, 7 염소 치환 동족체가 전체 농도의 80% 이상을 차지하였으며 가장 많은 농도 분포를 보이는 이성질체는 PCB153, PCB138, PCB180, PCB187, PCB118이었다. PCBs의 농도와 실문을 통해 조사된 나이, 성별, 흡연여부, 직업, BMI (Body Mass Index), 거주기간 등과 같은 변수와의 유의한 상관관계를 알기위해 통계분석을 한 결과 나이만이 혈액 내 PCBs 농도와 상관관계가 있었다. 또한, 총 PCBs 농도와 PCB153 농도( $r=0.93$ ,  $p<.0001$ ), dioxin-like PCBs와 PCB118의 농도( $r=0.98$ ,  $p<.0001$ )는 상관관계가 매우 높았다. 따라서 이 두 개의 이성질체는 인체 혈액에서 각각 PCBs 농도와 dioxin-like PCBs의 농도의 지표물질(indicator)이 될 수 있다.

**Abstract** : Blood serum concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) were measured in employees who worked at a municipal solid waste incinerator (MSWI), members of residential community who lived near the MSWI (<0.3km) and members of residential community lived far from the MSWI (>10 km). Human blood serum samples were analyzed for all PCB congeners using high-resolution gas chromatography/high-resolution mass spectrometry (HRGC/HRMS). The mean levels of total PCBs and dioxin-like PCBs in 87 serum samples were 242.77 ng/g lipid and 8.83 TEQ pg/g lipid, respectively. The PCB homologue profiles showed that penta-, hexa-, hepta-chlorinated biphenyls contributed more than 80% of the total PCBs concentration. The most abundant congeners were PCB153, PCB138, PCB180, PCB187, PCB118. A statistical analysis was performed to determine whether there were significant correlations between PCB concentrations and specific variables such as age, gender, smoking habits, occupation, BMI (Body Mass Index) and time of residence. As a result, the age was found to be strongly correlated with serum PCB concentrations. In addition, there were strong

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)54-279-2281 Fax : +82-(0)54-279-8299

E-mail: yschang@postech.ac.kr

correlations between total PCBs and PCB153 ( $r=0.93$ ,  $p<.0001$ ), dioxin-like PCBs and PCB118 ( $r=0.98$ ,  $p<.0001$ ). So these two congeners are satisfactory indicators for total PCB concentrations and dioxin-like PCBs in human blood respectively.

**Key words :** Human Blood, PCBs, HRGC/HRMS

## 1. 서 론

폴리염화바이페닐(polychlorinated biphenyls, PCBs)은 1966년부터 주요한 잔류성 환경오염물질로써 여겨지기 시작했으며 그 후 PCBs의 환경오염수준에 대한 많은 연구와 보고가 되고 있다.<sup>1,3</sup> 상업용 PCB 혼합물이 여러 나라에서 제조되었으며 지난 수 십 년간 여러 산업분야에 사용되었다. 그 비록 PCBs류의 생산과 사용은 금지되었지만 아직까지 모든 환경매체에서 PCBs가 존재한다. 또한 분해가 상대적으로 느리고 친지질성과 생물학적 안정성에 의해 먹이사슬을 통해 체내축적이 된다. 이는 PCBs를 직접 다루는 화학공장이나 실험실 등 직업적인 노출뿐만 아니라 일반 사람들에게 일반적인 노출이 가능하다는 것을 의미한다.<sup>4</sup>

미국환경청(US EPA)과 캐나다 환경부의 보고에 의하면 PCBs류는 여러 다른 오염원으로부터 환경에 방출된다.<sup>5</sup> 오염원으로는 PCBs를 의도적으로 사용한 변압기, 축전기, 전기장치에서 누출 및 방출, PCBs가 함유된 물질을 연소 및 소각할 때의 배출, 오염된 퇴적물 같은 과거 오염된 PCBs의 환경적저장소에서의 배출, 염소와 탄소를 포함하는 특정 화합물 생산과정 중에 부산물로써 우연한 생성, 폐기물의 저장 및 처리 시설에서 배출 등이 있다.

일반적으로 PCBs류의 노출에 따른 건강 위해도는 총 PCBs의 농도로 평가된다. 일반적으로 PCBs류의 총 농도는 GC-ECD를 사용하여 분석을 한다. 이러한 접근방법은 간단하고 편리한 일반적인 분석법이나 이 방법은 오염원의 특징적인 분포를 설명하지 못하고 검출한계가 크다.<sup>6</sup> PCBs는 환경 및 생물 시료에서 다양한 농도 및 이성질체의 분포로 발견되고 이러한 분포양상은 원래 사용된 혼합물과 다른 조성을 보이며 이들의 조성은 공간적, 시간적인 요인에 의해서 변화된다. 따라서 전체 PCB의 이성질체를 분석하는 것이 위해성 평가에 도움이 될 것이다.<sup>7</sup> 이성질체별 위해도 평가를 쉽게 하기 위해 독성등가계수(Toxic Equivalent Factors, TEFs) 개념이 도입되었다. 세계보건기구(WHO)는 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin(2,3,7,8-TCDD) 처

럼 Ah(Aryl hydrocarbon) 수용체와 결합을 하여 활성화시키는 다이옥신 유사 PCBs류 12종을 제안했다. PCB 이성질체의 독성은 독성등가계수가 1인 2,3,7,8-TCDD의 상대적인 독성값으로 표현된다. 독성등량(Toxic Equivalent Quantities, TEQs)은 독성등가계수를 이용하여 계산되고 독성등량은 PCBs류의 위해성 평가에 중요한 매개변수이다.<sup>8,9</sup> 그럼에도 불구하고 비다이옥신 유사 PCBs류(non-dioxin-like PCBs)에 대한 신경적, 면역적 및 다른 인체의 악영향에 대한 보고가 되고 있다. 그래서 만약 비다이옥신 유사 PCBs를 간과한다면 PCB의 위험을 과소평가할 가능성이 있다.<sup>6</sup> 그래서 이 연구의 주목적은 사람의 혈액에 각각의 PCB 이성질체의 참고농도 정립과 주요한 이성질체를 찾는 것이다. 각각의 PCB 이성질체는 구조적인 차이(염소원자의 수와 위치) 때문에 다른 반감기를 가지므로<sup>10,11</sup> 생물학적 반감기가 긴 PCBs류에 대해서 관심을 가졌다. 부가적으로 사람의 PCBs 노출에 소각의 영향을 조사하기 위해 소각장 주변의 거주자와 소각장으로부터 멀리 떨어진 거주자 집단을 비교하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 연구대상자

자원회수시설이 있는 서울의 세 지역을 연구대상지역으로 선정하였으며 지원자로부터 혈액 시료를 채취하였다. 자원회수시설 현장 근로자 25명(Worker), 자원회수시설로부터 반경 300 m 이내에 장기 거주(5년 이상)한 지역주민 52명(Resident), 자원회수시설이 미설치된 지역의 주민 10명(Resident B)을 연구대상자로 선정하였다. 이 연구에 참여한 모든 대상자는 직업적으로 또는 우연에 의한 PCBs류에 대한 노출이 없다고 가정했다. 연구대상자들에게 성별, 나이, 흡연여부, 병력사항, 식습관 등에 관한 설문조사를 실시하였으며 키와 몸무게는 체혈할 때 측정하였다. 대상자들은 공복상태로 채혈을 하였으며 혈액에 항응고제를 넣지 않았다. 각각의 시료는 혈청과 혈병으로 분리하여 혈청부분을 멸균된 튜브에 담고 분석할 때까지 -20°C에

서 냉동보관을 하였다.

2.2. 분석 절차

무게를 측정된 혈액 시료를 1000 mL 분별깔때기에 담고 <sup>13</sup>C<sub>12</sub>으로 치환된 non-ortho PCBs, mono-ortho PCBs를 각각 1 ng, di-ortho PCBs 2 ng을 내부표준물질로 넣었다. 200 mL의 acetone:hexane(2:1)의 추출용매를 넣고 격렬히 흔들어서 액체:액체추출을 한 후 층이 분리될 때까지 정치시켰다. 2개의 층으로 구별되어지고 상층은 염을 포함한 헥산층이고 나머지는 물, 염, 아세톤이 섞인 층이었다. 상층인 유기층은 따로 모으고 하층은 다시 분별깔때기에 넣어 100 mL의 acetone:hexane(2:1) 추출용매로 재 추출하였다. 재 추출된 유기층을 앞에서 모은 유기층에 합하였다. 하층을 다시 100 mL의 추출용매를 이용하여 다시 추출을 하고, 총 3회에 걸쳐서 추출을 하였다. 모아진 유기층을 농축하여 부피를 줄이고, 깔때기에 여과지와 무수황산나트륨을 넣은 후 농축된 시료를 통과시켜 수분과 염을 제거하였다. 지방량 측정을 위해 시료를 5 mL정도로 농축시킨 후 무게 변화가 없을 때까지 후드안에서 자연건조시킨 다음 중량을 측정하였다.

정량된 시료를 헥산에 다시 녹여 실리카칼럼, 알루미나칼럼, HPLC를 이용한 활성탄 칼럼을 적용하였다. 활성탄 칼럼은 250 mm×4.6 mm의 스텐리스 스틸 칼럼에 균일하게 섞은 활성탄:거름종이(1:12) 혼합물이 충전된 것으로 HPLC를 적용하여 4개의 분액으로 분

리한다. 칼럼 정제 및 분리에 관해서는 이전에 발표된 자료에 자세히 소개되어있다.<sup>12</sup> 각각의 분액을 농축시킨 뒤, GC용 vial에 옮겨 질소로 농축을 하였다. <sup>13</sup>C<sub>12</sub>으로 치환된 회수용 표준물질을 non-ortho, mono-ortho PCBs는 1 ng, di-ortho PCBs는 2 ng을 넣었다. 실험에 사용된 내부표준 물질 및 회수용 표준물질은 Table 1에 나타내었다.

각각의 분액은 고분해능 질량분석기(high resolution mass spectrometer, HRMS, Micromass, Autospec Ultima)로 분석하였다. GC 칼럼은 DB5 60 m (80°C (2분)→150°C(8°C/분)→300°C(4°C/분, 2분)), CP-Sil 5/C18 50 m (75°C(2분)→150°C(15°C/분)→255°C (1.5°C/분)→295°C(20°C/분, 2분)), CP-Sil 19 CB 60 m (100°C (2분)→200°C(20°C/분)→267.5°C(1.5°C/분)→280°C (12.5°C/분, 2분))을 사용하였다. 3개의 칼럼을 이용하여 같은 시간에 용출되는 이성질체를 최대한 분리하였으며 피크가 겹칠 경우에는 용출시간을 Mullin, *et al*<sup>13</sup>과 George Frame<sup>14</sup>의 상대용출시간(RRT, relative retention time)을 이용하여 계산하였다. 고분해능 질량 분석기는 10,000 이상의 분리능을 유지하며 EI 38 eV, 이온화 온도 300°C, 인터페이스 온도 300°C로 설정하였다. 선택이온검출(selected ion monitoring, SIM)방식에 의해 각 동족체에서 M<sup>+</sup>, [M+2]<sup>+</sup>, [M+4]<sup>+</sup> 이온 중 2개를 선택하여 크로마토그램을 얻었고 내부표준물질을 이용한 상대검량선법과 검량선 작성용 표준물질을 사용하여 얻은 상대반응계수를 적용하여

Table 1. Internal and recovery standard of PCBs

PCBs	Internal standard	Recovery standard
Non-ortho	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -4,4'-CB(PCB15)	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,2',4,5,5'-CB(PCB101)
	D <sub>5</sub> -3,4,5-CB(PCB38)	
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -3,3',4,4'-CB(PCB77)	
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -3,3',4,4',5-CB(PCB126)	
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -3,3',4,4',5,5'-CB(PCB169)	
Mono-ortho	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,4,4'-CB(PCB28)	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,2',4,5,5'-CB(PCB101)
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3',4,4',5-CB(PCB118)	
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3,3',4,4'-CB(PCB105)	
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3,3',4,4',5-CB(PCB156)	
Di/tri/tetra-ortho	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,2',5,5'-CB(PCB52)	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,3,3',5,5'-CB(PCB111)
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,2',4,5,5'-CB(PCB101)	
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,2,3,3',4,4'-CB(PCB128)	
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,2',3,4,4',5,5'-CB(PCB180)	
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,2',3,3',4,4',5,5'-CB(PCB194)	
	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,2',3,3',4,5',6,6'-CB(208)	
<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-CB(PCB209)		

정량하였다. 65%의 평균회수율을 보였으며 MDL (minimum detection limit)범위는 0.04~0.10 pg/g이었다.

### 2.3. 통계분석

혈중 PCBs 데이터를 기술하기 위해 기술통계를 이용하였다. 검출한계(limit of detection) 이하의 결과 값은 검출한계의 1/2값으로 대체되었다. 혈중 PCBs의 농도와 연령간의 관계를 알아보기 위해 스피어만 상관계수와 회귀분석이 사용되었다. t-test와 일원분산분석(one way analysis of variance, ANOVA)은 직업, 흡연여부, 성별 등과 같은 다양한 범주 변수들 중에 통계적으로 유의한 농도 차이가 있는지 알아보기 위해 사용하였다. 모든 통계적 분석은 SAS ver. 8을 이용하였고 모든 분석에서 0.05의 유의수준을 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. PCBs의 혈액 내 분포 특성

#### 3.1.1 동족체 분포 특성

혈중 PCBs 분석결과를 각 동족체별로 전체 농도에 대한 비율로 계산을 하였고 이를 Fig. 1에 나타내었다. Resident B, Resident, Worker는 각각 소각장이 없는 지역 주민, 소각장이 있는 지역 주민, 소각장 근로자 집단의 평균분포를 나타낸다. 이들 세 집단은 모두 동족체 분포에 유의한 차이가 없었다. 6 염소 치환 동족체(HxCBs)가 전체의 45%를 나타내며 7염소 치환 동족체(HpCBs)는 25%를 차지하는 등 5,6,7 염소 치환 동족체(PeCBs, HxCBs, HpCBs)가 전체의 80% 이상을 차지하는 분포이다. 이러한 분포는 체내 축적 경향성을 반영하는 일반적인 분포이다. PCBs의  $\log K_{ow}$  값

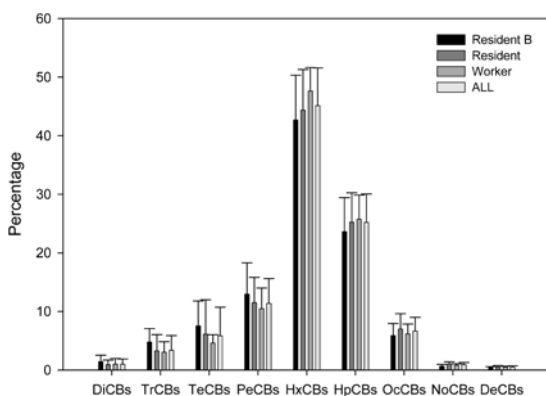


Fig. 1. Homologue distribution of PCBs in Korean human serum.

은 4.7에서 8.3 수준으로 치환된 염소수가 증가할수록 큰 값을 갖는 경향을 보인다.<sup>15</sup> 특히 5,6 염소 치환 동족체는 6에서 7사이의  $\log K_{ow}$  값을 가지고 있어서 이론적으로 체내에 축적되기 쉽다.<sup>16</sup> 따라서 5, 6, 7 염소 치환 동족체의 비율이 전체 분포의 80% 이상을 보이는 혈중 PCB 분포는 체내 축적 경향성에 의한 분포이다.

### 3.1.2 이성질체 분포 특성

총 209개의 PCB 이성질체 중 1 염소 치환 동족체를 제외한 206개의 PCB를 분석한 결과 실험 대상 세 집단 사이의 농도분포에 따른 이성질체별 유의한 차이는 없었다. 부록에 모든 실험대상자(세 집단)의 이성질체 분포를 나타냈다. 이들 이성질체 중에서 IPUAC PCB12, PCB14, PCB21, PCB23, PCB36, PCB39, PCB42, PCB50, PCB54, PCB62/65, PCB69, PCB75, PCB104, PCB106, PCB107, PCB109, PCB116, PCB140, PCB143, PCB145, PCB150, PCB160, PCB161, PCB173, PCB182, PCB186, PCB192는 모든 시료에서 한 번도 검출되지 않았다. 혈액 중에 가장 많이 분포하는 이성질체는 PCB153으로 전체의 약 22%를 차지하였다. PCB153과 더불어 PCB138/163, PCB180, PCB187, PCB118은 전체의 56% 이상을 차지하고 이전에 발표된 다른 나라의 결과와 유사하다.<sup>17-20</sup> 혈액 중에서 주로 분포하는 10개의 이성질체는 총 PCBs의 농도 중에서 약 70%를 차지한다. 이들은 동족체 분포에서 가장 큰 분포를 보였던 5, 6, 7 염소원자를 가진 이성질체로 특히, 가장 많은 PCB138, PCB153, PCB180은 상업용 PCB 혼합물(Aroclor 1260)에서 10.8, 12.3, 10.2 mol%의 분포를 보이는 등 상업용 PCB mixture의 구성요소이다.<sup>21</sup> 이러한 이성질체들은 biphenyl ring의 메타(meta-) 또는 파라(para-) 위치에 염소원자를 가지고 있어 대사가 어려우며 체내에 쉽게 축적이 된다.<sup>10,22</sup> 각각 PCB 이성질체는 반감기가 PCB153 경우는 12.4년, PCB28은 1.4년 등으로 차이가 있으며 상업용 mixture인 경우 2~6년으로 추정된다.<sup>11</sup>

따라서 혈액 중 주로 존재하는 이성질체는 5, 6, 7 염소 치환 이성질체이며 이들의 물리 화학적 특성상 체내 축적이 용이하며 또한 반감기가 길다. 그래서 체내에 축적이 되면 오랜 기간 지속적으로 누적되어 상대적으로 다른 이성질체에 비해 쉽게 줄어들지 않는다. Fig. 2는 이성질체 중 전체 농도의 0.1% 이상을 보이는 이성질체만 표시하여 이들 이성질체의 전체 농도에 대한 비율을 나타냈다.

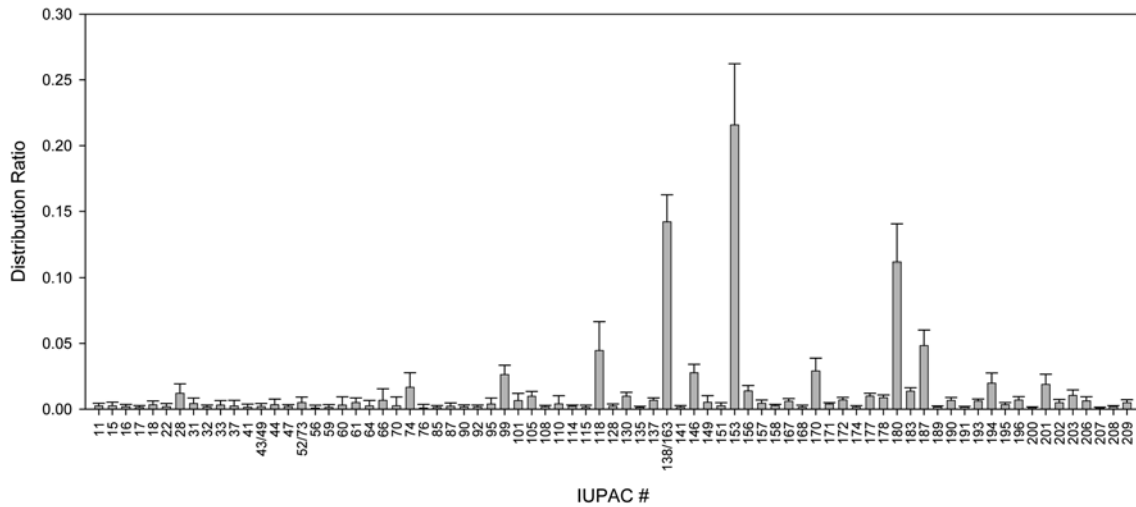


Fig. 2. Distribution of PCB congeners.

Table 2. Arithmetic mean of PCB concentrations(ng/g lipid) by stratified age group

	21-30 years(n=14)	31-40 years(n=20)	41-50 years(n=32)	>50 years(n=21)	Total(n=87)
Dioxin-like PCBs	8.29	12.27	19.51	31.03	18.57
DiCBs	1.43	1.78	1.99	1.49	1.73
TrCBs	5.30	5.71	8.45	6.59	6.86
TeCBs	7.94	8.51	14.95	20.68	13.72
PeCBs	14.71	19.10	26.71	35.72	25.20
HxCBs	49.20	69.83	109.97	193.46	111.12
HpCBs	24.19	34.69	60.36	121.06	63.29
OcCBs	6.08	8.42	16.12	35.81	17.48
NoCBs	0.63	1.23	2.17	4.50	2.27
DeCBs	0.45	0.70	1.08	1.89	1.09
Total PCBs	109.93	149.97	241.80	421.20	242.77

3.2. PCBs 농도 및 Dioxin-like PCBs의 농도

생물학적 PCB농도는 혈청의 지방함량에 큰 영향을 받는다. 이 때문에 집단 간 비교를 위해 농도를 통상 지방량으로 조정을 하여 나타내고 본 연구에서도 농도를 지방량으로 표시하였다. 앞의 결과에서 세 집단의 분포는 통계적 차이가 없었고 주로 존재하는 동족체 및 이성질체가 체내 축적 경향을 나타내므로 Table 2에 연령대별로 PCBs의 농도 및 dioxin-like PCBs의 농도를 표시했다.

PCBs의 농도와 dioxin-like PCBs의 농도는 연령대별로 증가하는 경향이 있고 PCBs의 평균농도는 242.77 ng/g lipid 이고 dioxin-like PCBs의 평균농도는 18.57 ng/g lipid 이었다. Dioxin-like PCBs의 농도 분포는 PCB118, PCB156이 12종의 dioxin-like PCBs 중에서 약 70%를 차지했지만 독성등가계수를 적용하면

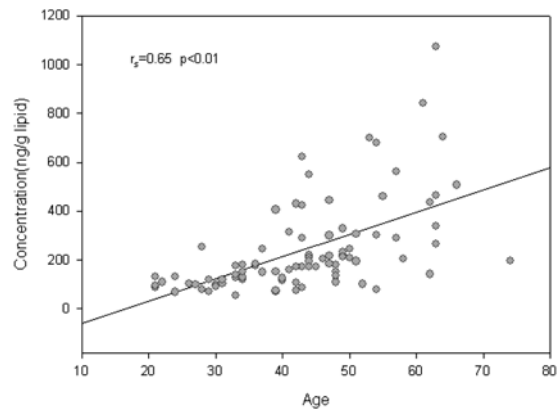


Fig. 3. Scatterplot for human blood PCBs concentrations as a function of age. Regression curve, Spearman rank correlation coefficient and p value are shown.

Table 3. Mean concentrations in lipid-adjusted serum levels and significance of the correlation

	Levels	Total PCBs		Dioxin-like PCBs	
		Mean(ng/g lipid)	p-value	Mean(ng/g lipid)	p-value
Gender	female(n=40)	188.12	0.0127	17.35	0.3817
	male(n=47)	289.28		19.61	
Smoking Habit	smoker(n=22)	216.94	0.4648	14.6	0.0706
	non-smoker(n=65)	251.52		19.92	
Occupation	IW <sup>a</sup> (n=25)	214.87	0.0253	15.59	0.0039
	IR <sup>b</sup> (n=52)	280.96		21.71	
	BR <sup>c</sup> (n=10)	113.92		9.72	
Status <sup>d</sup>	normal(n=56)	261.76	0.3336	19.55	0.4528
	overweight(n=27)	219.15		12.66	
	obesity(n=4)	136.47		17.42	

a: incinerator worker, b: resident nearby incinerator, c: resident apart from(10 km>) incinerator

d: it means outcomes of BMI test.(underweight<18.5, normal weight < 24.9, overweight < 29.9 obesity > 30)

PCB126이 총 TEQ농도의 54%이상을 나타냈다. 이는 mono-ortho 이성질체보다 non-ortho 이성질체의 TEF 값이 100배 정도 크기 때문이다. 본 연구대상자들의 평균 TEQ농도는 8.83 TEQ pg/g lipid로 이미 발표된 한국에서 혈중 다이옥신과 PCBs TEQ 농도수준과 비슷하다.<sup>23,24</sup> 외국의 경우<sup>18-20</sup>와 비교하면 상대적으로 낮은 배경농도 수준에 해당한다. 따라서 본 연구 대상자들의 혈액 중 PCBs 오염은 배경노출 수준에 해당한다고 할 수 있다.

### 3.3. 통계분석

#### 3.3.1 PCBs 농도 결정 인자

본 연구에서는 PCBs의 농도에 영향을 주는 요인을 확인하기 위해 연구대상자들로부터 받은 설문을 기초로 하여 성별, 나이, BMI(Body Mass Index), PBF(Percentage Body Fat), 흡연여부, 직업, 소각장 주변 거주기간 등의 인자로 하여 상관분석 및 분산분석을 하였다. 나이와 같은 비범주 변수인 경우 상관분석을 범주형 변수인 경우에 분산분석을 이용하였다.

상관분석으로 스피어만 등위 상관계수(Spearman rank correlation coefficient)를 이용하였다. 나이, BMI, PBF, 소각장 주변 거주기간과 혈액중 PCBs 농도의 관계는 나이를 제외한 다른 변수는 상관관계가 없었다. 나이( $r_s=0.65$ ,  $p<0.01$ )와 PCBs농도의 관계는 혈액에 주로 존재하는 PCBs의 이성질체 및 동족체가 체내축적이 잘되고 반감기가 길어 나이가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이는 외국의 이전 결과와 동일하고<sup>18-20</sup> 나이와 PCBs농도의 상관관계 분포를

Fig. 3에 나타냈다. Dioxin-like PCBs의 농도 역시 나이와 상관( $r_s=0.72$ ,  $p<0.01$ )이 있으며 염소수가 증가할수록, 혈액 중에 많이 존재하는 동족체 일수록 나이의 상관관계는 증가함을 확인할 수 있었다.

범주형 변수들 간의 비교를 위해 t-test 및 분산분석을 PCBs의 농도 및 dioxin-like PCBs 농도로 나누어서 실시하였고 Table 3에 나타냈다. 흡연습관은 흡연자와 비흡연자 사이의 통계적으로 유의한 차이가 없었다. BMI 값을 근거로 하여 저체중, 정상, 과체중, 비만으로 분류 시 본 연구 집단 내에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 이는 BMI값이 PCBs농도와 상관성이 없었고 이를 가지고 분류를 한 결과 역시 PCBs의 농도와 상관성이 없음을 알 수 있었다.

직업에서는 PCBs농도 및 dioxin-like PCBs농도 모두 유의한 차이가 있었다. 소각과정에서의 PCBs 생성에 관한 보고가 있었기 때문에<sup>5</sup> 자원회수시설 근로자, 자원회수시설 반경 300 m이내에 거주하고 있는 주민은 소각장의 영향을 받는 집단으로 가정을 하고 반경 10 km이내에 자원회수시설이 없는 지역 주민을 소각장의 영향을 받지 않는 집단이라 가정을 했다. 이들 세 집단 중 어느 집단이 서로 다른지 알아보기 위해 분산분석 후 다중 비교(multiple comparison)를 하였다. 비교 집단의 크기가 서로 다르기 때문에 Scheffe's test를 이용하였고 Duncan test로 확인을 하였다. 회수시설 근로자와 회수시설 지역주민은 같은 집단으로 분류가 되고 회수시설이 없는 지역주민은 다른 집단으로 분류가 되었다. 이러한 결과는 고염화 동족체의 농도 차이에 의한 것이었으나 Fig. 1에는 집단 간 각 동족체들 사이의 분포차이가 없었다. 만약 소각장의 영

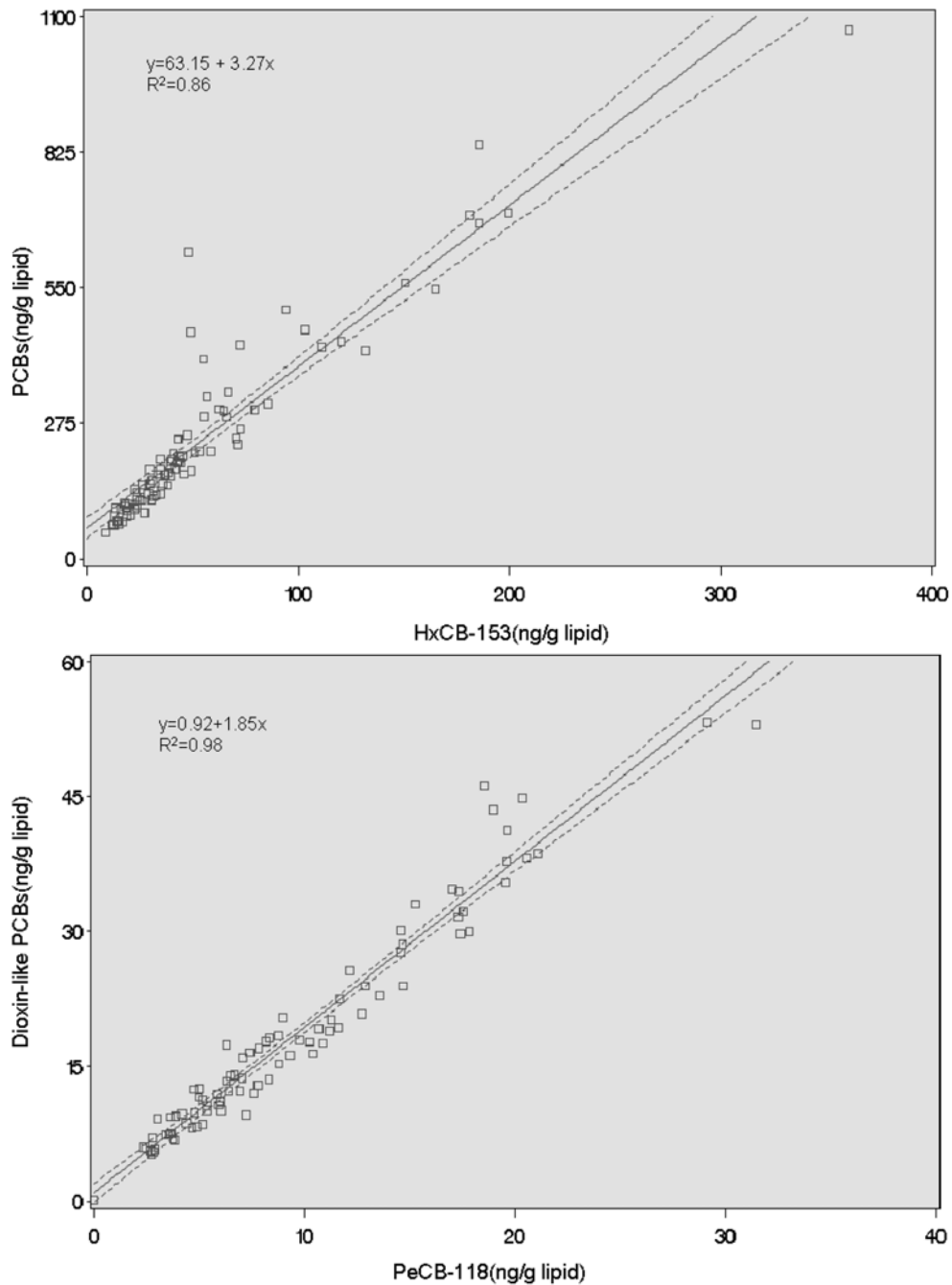


Fig. 4. Scatterplots for (a) PCBs versus PCB 153, (b)dioxin-like PCBs versus PCB 118. Regression curve, regression equation and  $R^2$  value are shown.

향이 있다면 소각장 배출가스나 주변 토양에서 주로 분포하는 저염화 동족체의 특성이 있어야 한다.<sup>7</sup> 하지만 저염화 동족체가 노출된 특징이 없고 PCBs와 나

이와의 상관관계를 고려하여 직업이란 변수에 나이를 같이 고려하였더니 이들 사이의 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 각 집단들의 평균나이가 회수시설

근로자는 38세, 회수시설 지역 주민은 48세, 회수 시설이 없는 비교 지역 주민은 28세로 이들 집단들 사이의 통계적 차이는 나이에 의한 차이임을 알 수 있었다.

성별의 경우는 dioxin-like PCBs의 농도에서는 유의한 차이가 없으나 PCBs의 농도의 경우에는 유의한 차이가 있었다. 이들 역시 고염화 동족체들의 농도 차이에 의해 남녀간의 유의한 차이를 보였다. 남, 녀의 평균 나이는 각각 44세, 43세로 큰 차이가 없었다. 하지만 남성 집단에서 PCBs의 농도가 본 연구대상자의 평균농도(242.77 ng/g lipid)보다 훨씬 큰 1000 ng/g lipid 수준을 보이는 3명이 있었다. 이는 미국 알라바마주의 PCBs를 생산하는 화학공장 주변의 주민들의 농도수준보다는<sup>18</sup> 낮지만 이탈리아나 일본의 일반 주민을 대상으로 한 결과보다는 높다.<sup>19,20</sup> 설문조사에서 이들이 사고나 우연에 의한 PCBs 노출이 있었는지 알 수는 없었지만 3명의 대상자를 제외하면 남녀 집단 간의 유의한 차이가 없었다.

### 3.3.2 PCBs 농도 지표물질

PCB 153은 혈액 중에서 가장 많이 분포하는 이성질체이다. 본 연구에서는 전체 농도의 22.7% 차지하는 등 2,2',4,4',5,5' 위치에 염소가 치환되어 대사가 잘 되지 않고  $\log K_{ow}$  값에 의해 체내 축적이 잘되는 이성질체임을 확인했다. PCBs는 209개의 이성질체가 존재하고 그 중에서 혈액 중에 주로 분포하는 이성질체는 10여개 정도이다. 본 연구에서는 PCBs를 고분해능 질량분석기를 이용하여 이성질체별로 분석을 하였고 이성질체의 농도와 총 PCBs농도와의 상관관계를 알아봤다. PCB153의 경우 상관계수가  $r=0.93(p<.0001)$ 으로 높게 나타났다. 또한 PCB118은 dioxin-like PCBs의 농도와의 상관계수가  $r=0.98(p<.0001)$ 로 나타났다. Fig. 4는 PCB153와 총 PCBs 농도와의 관계 및 PCB118과 dioxin-like PCBs의 농도와의 관계를 그래프로 나타냈다. TEQ농도의 경우에는 PCB126이 높은 상관관계( $r=0.96, p<.0001$ )를 보였다. 하지만 PCB126의 혈중 평균농도는 47 pg/g lipid 수준으로 고분해능 질량분석기를 이용하여야 정확하게 분석할 수 있는 반면 PCB153과 PCB118은 각각 약 50 ng/g lipid, 10 ng/g lipid 수준으로 저분해능 질량분석기로 분석이 가능하다. 따라서 PCB153은 이전의 결과와 같이 총 PCBs농도의 지표물질(indicator)로,<sup>23</sup> PCB118은 dioxin-like PCBs의 농도의 지표물질(indicator)로써 사용할 수 있을 것이다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 자원회수시설 근로자, 자원회수시설 지역 주민 그리고 자원회수시설과 관련이 없는 지역 주민의 혈액 시료에서 PCBs를 고분해능질량분석기를 이용하여 이성질체별로 분석을 하였다. 이전의 GC-ECD나 GC-MS방법보다 정확한 농도를 측정하였고 국내에서 처음으로 혈액 중 이성질체별 분석을 하였다.

연구 집단 내에서 PCBs의 평균농도는 242.77 ng/g lipid 수준이고 독성등가계수를 적용한 TEQ 농도는 8.83 TEQ pg/g lipid 수준으로 다른 나라의 농도 수준(429 ng/g lipid, 52.3 TEQ pg/g lipid)<sup>9</sup>에 비해 낮은 수준이었다. 5, 6, 7 염소 치환 동족체가 전체 농도의 80% 이상을 차지하며 2-, 4-, 5- 위치에 염소가 치환된 PCB153, PCB138, PCB180, PCB187, PCB118 등이 혈액 중에 존재하는 주요한 이성질체였다. 이런 분포는 이들 이성질체의 구조적인 특성 의하여 체내 대사가 어려워 반감기가 길며 체내에 농축이 잘 되고, 또한 이들 이성질체가 상업용 PCBs에 주로 존재하는 특성에 기인한다.

본 연구에서는 PCBs의 농도에 영향을 미치는 요인이 나이를 제외한 다른 요인은 없었다. 유기염소 화합물의 체내 축적특성과 체내에 주로 존재하는 PCBs 이성질체의 특성에 의하여 노출되는 시간이 길수록, 즉 나이가 많을수록 PCBs의 농도가 증가하는 추세를 보였다. PCBs가 1970년대 후반에 국내 및 국제적으로 사용 및 생산이 금지되어 환경중의 수준은 감소하는 추세이지만<sup>25</sup> 아직까지 PCBs가 사용된 제품이 남아있고 PCBs의 잔류성으로 인한 인체에 미치는 영향이 있어 나이에 따른 증가추세를 보인다. PCBs의 노출경로는 다양하다. PCBs 함유 제품의 소각에 의한 노출 또는 소각시 비의도적인 합성에 의한 노출보고가<sup>5</sup> 있는 등 소각도 PCBs의 노출경로 중의 하나이다. 하지만 본 연구에서는 소각장 지역주민과 소각장과 관련이 없는 지역주민간의 통계적으로 유의한 차이가 없었으며 소각장 배출가스 및 주변 토양의 PCBs 분포특성과 혈중 PCBs의 분포특성<sup>7</sup> 또한 상이하여 소각장의 PCBs 배출로 주민에게 미치는 영향이 없음을 알 수 있었다.

PCB153은 혈액 중 PCBs 전체 농도의 22%이상을 차지하고 PCB118은 dioxin-like PCBs 농도의 50%이상을 차지한다. 이 두 이성질체는 각각 PCBs농도와 dioxin-like PCBs의 농도와 상관관계가 매우 높게 나타났다. 이들의 높은 양의 상관관계에서 얻은 회귀 방

정식을 이용한다면 PCBs농도의 지표물질로 이용할 수 있을 것이다.

### 감사의 글

이 연구는 교육 인적 자원부의 고등 인력 양성사업인 “Brain Korea 21”에 의하여 수행되었습니다. 혈액 시료채취는 연세대학교 신동천 교수님이 도움을 주셨습니다.

### 참고문헌

- Jensen, S., *New Sci.* **32**, 612-615(1966).
- J. S. Waid, “PCBs and Environment”, CRC press, Boca Raton, FL. USA (1986).
- R. D. Kingbrough, and A.A. Jensen, “Halogenated Biphenyls, Terphenyls, Napthalenes, Dibenzodioxins and Related Products” 2nd rev. ed., 518, Elsevier, Amsterdam, Netherlands (1989).
- S. Skerfving, B. G. Svensson, L. Asplund and L. Hagmar, *Clin.Chem.*, **40**(7), 1409-1415(1994).
- EPA and Environment Canada, Binational Toxic Strategy. PCB sources and regulations Background Report. 1999 Draft, <http://www.epa.gov/grtlakes/bns/pcb/step-pcb.html>
- J. P. Giesy and K. Kannan, *Crit. Rev. Toxicol.*, **28**(6), 511-569(1998).
- Y. S. Chang, S. B. Kong and M. G. Ikonomou, *Chemosphere*, **39**(15), 2629-2640(1999).
- M. van den Berg, L. Birnbaum, A.T.C. Bosveld, B. Brunström, P. Cook, M. Feely, J. P. Giesy, A. Hanberg, R. Hasegawa, S. W. Kennedy, T. Kubiak, J. C. Larsen, F. X. R. van Leeuwen, A. K. D. Liem, C. Nolt, R. E. Peterson, L. Poellinger, S. Safe, D. Schrenk, D. Tillit, M. Tysklind, M. Younes, F. Waern and T. Zacharewski, *Environ. Health Perspect.*, **106**, 775-792(1998).
- World Health Organization, *Organohalogen Compounds*, **34**, 237(1994).
- J. F. Jr. Brown, *Environ. Sci. Technol.*, **28**, 2295-2305(1994).
- J. F. Jr. Brown, R. W. Lawton and C. B. Morgan, *Chemosphere*, **29**, 2287-2294(1994).
- M. G. Ikonomou, T. L. Fraser, N. F. Crewe, M. B. Fischer, I. H. Rogers, T. He, P. J. Sather and R. F. Lamb, *Can. Data Rep. Fish Aquat. Sci.*, **3389**, 1-95(2001).
- M. D. Mulline, C. M. Pochini, S. McCrindle, M. Romkes, S. H. Safe and L. M. Safe, *Environ. Sci. Technol.*, **18**, 468-476(1984).
- G. M. Frame, *Fresenius J. Anal. Chem.*, **357**, 701-713(1997).
- M. D. Erickson, “Analytical Chemistry of PCBs”, 2nd Ed., 17, CRC/Lewis Publ., Boca Raton, Fla., USA, 1997.
- M. G. Barron, *Environ. Sci. Technol.*, **24**, 1612-1618 (1990).
- H. E. B. Humphery, J. C. Gardiner, J. R. Pandya, A. M. Sweeney, D. M. Gasior, R. J. McCaffrey and S. L. Schantz, *Environ. Health Perspect.*, **108**, 167-172(2000).
- K. G. Orloff, S. Dearwent, S. Metcalf, S. Kathman and W. Turner, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **44**, 125-131(2003).
- T. Turci, G. Mariani, A. Marinaccio, C. Balucci, M. Bettinelli, R. Fanelli, S. Nichetti and C. Minoia, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **18**, 421-434(2004).
- T. Hirai, Y. Fujimine, S. Watanabe and T. Nakano, *Environ. Geochem. Health*, **27**, 65-73(2005).
- D. L. Bedard and R. J. May, *Environ. Sci. Technol.*, **30**, 237-245(1996).
- L. G. Hansen, *Environ. Health Perspect.*, **106**(sup 1), 171-189(1998).
- B. H. Kim, M. G. Ikonomou, S. J. Lee, H. S. Kim and Y. S. Chang, *Sci. Total Environ.*, **336**, 45-56(2005).
- C. S. Moon, Y. S. Chang, B. H. Kim, D. C. Shin and M. Ikeda, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, **78**, 205-210(2005).
- R. J. Fensterheim, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **18**, 181-201(1993).

## 부 록

Table Congener specific analysis of serum samples

	Mean		Max		95° percentile		% Detection	Rank
	ratio	ng/g lipid	ratio	ng/g lipid	ratio	ng/g lipid		
DiCB-4	0.11%	0.203	0.53%	2.145	0.36%	0.506	78.16%	82
DiCB-5	0.05%	0.089	0.34%	0.738	0.20%	0.403	42.53%	107
DiCB-6	0.04%	0.082	0.58%	0.984	0.20%	0.579	29.89%	109
DiCB-7	0.02%	0.039	0.29%	0.492	0.10%	0.290	19.54%	134
DiCB-8	0.27%	0.464	1.77%	3.863	1.13%	1.983	43.68%	52
DiCB-9	0.09%	0.155	0.88%	1.932	0.52%	0.845	25.29%	90
DiCB-10	0.00%	0.000	0.02%	0.014	0.00%	0.000	1.15%	171
DiCB-11	0.24%	0.388	1.32%	1.144	0.54%	0.860	98.85%	61
DiCB-13	0.03%	0.055	0.19%	0.290	0.10%	0.151	89.66%	120
DiCB-15	0.26%	0.429	1.43%	1.921	0.82%	1.180	97.70%	55
TrCB-16	0.19%	0.338	0.87%	2.855	0.50%	0.873	91.95%	69
TrCB-17	0.14%	0.255	0.67%	2.099	0.40%	0.672	86.21%	78
TrCB-18	0.33%	0.581	1.37%	5.010	0.87%	1.447	93.10%	46
TrCB-19	0.03%	0.055	0.20%	0.672	0.12%	0.175	59.77%	119
TrCB-20	0.03%	0.064	0.26%	1.606	0.07%	0.099	97.70%	113
TrCB-22	0.19%	0.412	1.83%	11.375	0.46%	0.770	94.25%	57
TrCB-24	0.00%	0.005	0.03%	0.055	0.01%	0.018	43.68%	153
TrCB-25	0.03%	0.059	0.16%	0.987	0.10%	0.139	75.86%	115
TrCB-26	0.06%	0.117	0.25%	1.583	0.19%	0.253	88.51%	95
TrCB-27	0.02%	0.047	0.16%	0.559	0.09%	0.158	56.32%	126
TrCB-28	1.20%	2.462	4.17%	20.677	2.27%	5.085	98.85%	15
TrCB-29	0.00%	0.002	0.01%	0.048	0.01%	0.010	14.94%	159
TrCB-30	0.00%	0.007	0.08%	0.100	0.03%	0.048	13.79%	151
TrCB-31	0.43%	0.859	2.39%	14.884	1.14%	1.777	96.55%	39
TrCB-32	0.16%	0.292	0.75%	2.464	0.44%	0.754	94.25%	74
TrCB-33	0.31%	0.657	2.64%	16.473	0.78%	1.058	97.70%	43
TrCB-34	0.00%	0.000	0.01%	0.006	0.00%	0.000	1.15%	174
TrCB-35	0.01%	0.025	0.09%	0.549	0.03%	0.047	73.56%	137
TrCB-37	0.24%	0.624	3.30%	15.232	0.65%	0.769	98.85%	45
TrCB-38	0.00%	0.001	0.01%	0.017	0.00%	0.007	11.49%	166
TeCB-40	0.05%	0.133	0.64%	3.467	0.13%	0.228	74.71%	94
TeCB-41	0.15%	0.370	1.62%	10.102	0.37%	0.633	93.10%	63
TeCB-43/49	0.20%	0.462	1.88%	11.708	0.46%	0.795	96.55%	53
TeCB-44	0.34%	0.790	3.35%	20.865	0.73%	1.469	98.85%	41
TeCB-45	0.04%	0.090	0.43%	2.705	0.12%	0.187	70.11%	106
TeCB-46	0.02%	0.039	0.24%	1.500	0.06%	0.101	42.53%	133
TeCB-47	0.20%	0.403	0.80%	4.968	0.44%	0.915	96.55%	58
TeCB-48	0.03%	0.055	0.11%	0.682	0.06%	0.110	96.55%	117
TeCB-51	0.01%	0.021	0.10%	0.635	0.04%	0.057	41.38%	141
TeCB-52/73	0.51%	1.061	2.86%	17.828	1.16%	2.466	98.85%	33
TeCB-53	0.04%	0.076	0.28%	1.767	0.12%	0.182	71.26%	111
TeCB-55	0.01%	0.022	0.26%	1.184	0.02%	0.015	18.39%	140
TeCB-56	0.10%	0.275	1.72%	7.955	0.22%	0.397	97.70%	76
TeCB-57	0.00%	0.001	0.02%	0.108	0.00%	0.000	4.60%	163

Table Congener specific analysis of serum samples

	Mean		Max		95° percentile		% Detection	Rank
	ratio	ng/g lipid	ratio	ng/g lipid	ratio	ng/g lipid		
TeCB-58	0.00%	0.001	0.02%	0.053	0.00%	0.002	6.90%	165
TeCB-59	0.14%	0.336	1.53%	9.519	0.35%	0.535	93.10%	70
TeCB-60	0.31%	0.849	5.33%	24.598	0.46%	0.915	98.85%	40
TeCB-61	0.50%	1.126	2.35%	5.179	1.04%	3.266	98.85%	31
TeCB-63	0.03%	0.067	0.20%	0.916	0.07%	0.149	82.76%	112
TeCB-64	0.25%	0.635	2.78%	17.310	0.63%	1.085	94.25%	44
TeCB-66	0.67%	1.661	7.64%	35.271	1.25%	3.158	98.85%	22
TeCB-67	0.01%	0.028	0.25%	1.161	0.02%	0.019	34.48%	136
TeCB-68	0.05%	0.102	0.58%	1.294	0.15%	0.250	82.76%	102
TeCB-70	0.26%	0.750	5.63%	25.993	0.63%	1.302	97.70%	42
TeCB-71	0.03%	0.077	0.34%	2.096	0.08%	0.131	88.51%	110
TeCB-72	0.00%	0.003	0.08%	0.060	0.01%	0.024	13.79%	157
TeCB-74	1.66%	3.687	6.63%	14.761	3.33%	10.390	98.85%	11
TeCB-76	0.10%	0.288	2.16%	9.986	0.24%	0.520	96.55%	75
TeCB-77	0.04%	0.105	0.82%	3.787	0.11%	0.122	93.10%	101
TeCB-78	0.00%	0.000	0.00%	0.013	0.00%	0.000	1.15%	172
TeCB-79	0.00%	0.000	0.00%	0.011	0.00%	0.000	2.30%	173
TeCB-80	0.12%	0.201	0.75%	1.057	0.45%	0.637	85.06%	84
TeCB-81	0.00%	0.008	0.05%	0.218	0.01%	0.015	70.11%	150
PeCB-82	0.03%	0.097	0.48%	2.457	0.26%	0.302	19.54%	103
PeCB-83	0.05%	0.108	0.69%	1.792	0.27%	0.522	39.08%	100
PeCB-84	0.02%	0.048	0.08%	0.384	0.06%	0.137	86.21%	124
PeCB-85	0.14%	0.325	0.68%	3.737	0.49%	1.114	94.25%	72
PeCB-86	0.05%	0.146	0.56%	3.176	0.38%	0.484	64.37%	91
PeCB-87	0.22%	0.534	1.15%	6.753	0.81%	1.194	86.21%	48
PeCB-88	0.02%	0.047	0.11%	0.291	0.07%	0.129	51.72%	125
PeCB-89	0.08%	0.205	0.89%	5.516	0.49%	0.683	52.87%	81
PeCB-90	0.17%	0.388	0.81%	4.833	0.50%	0.890	100.00%	62
PeCB-91	0.03%	0.083	0.33%	2.075	0.15%	0.283	51.72%	108
PeCB-92	0.18%	0.399	0.56%	3.200	0.45%	1.142	93.10%	59
PeCB-93	0.00%	0.011	0.14%	0.658	0.00%	0.000	4.60%	145
PeCB-94	0.00%	0.001	0.01%	0.077	0.00%	0.000	2.30%	164
PeCB-95	0.40%	0.907	2.67%	16.652	1.15%	1.868	97.70%	38
PeCB-96	0.00%	0.003	0.03%	0.184	0.00%	0.000	3.45%	158
PeCB-97	0.04%	0.112	0.43%	2.433	0.29%	0.371	65.52%	99
PeCB-98	0.00%	0.001	0.01%	0.027	0.00%	0.005	8.05%	168
PeCB-99	2.63%	5.758	4.24%	17.411	3.89%	13.241	100.00%	8
PeCB-100	0.00%	0.001	0.01%	0.038	0.00%	0.000	2.30%	169
PeCB-101	0.64%	1.450	3.04%	18.059	1.86%	3.099	100.00%	27
PeCB-102	0.00%	0.011	0.14%	0.658	0.00%	0.000	4.60%	145
PeCB-103	0.00%	0.002	0.01%	0.068	0.00%	0.006	10.34%	162
PeCB-105	0.97%	2.150	2.33%	6.514	1.60%	4.831	98.85%	19
PeCB-108	0.18%	0.417	0.47%	1.487	0.36%	1.012	95.40%	56
PeCB-110	0.40%	0.991	3.22%	17.147	1.95%	2.491	98.85%	34
PeCB-111	0.01%	0.019	0.07%	0.150	0.03%	0.075	35.63%	143
PeCB-112	0.00%	0.001	0.01%	0.051	0.00%	0.000	1.15%	170
PeCB-113	0.00%	0.002	0.01%	0.044	0.01%	0.010	6.90%	161

Table Congener specific analysis of serum samples

	Mean		Max		95 <sup>o</sup> percentile		% Detection	Rank
	ratio	ng/g lipid	ratio	ng/g lipid	ratio	ng/g lipid		
PeCB-114	0.23%	0.501	0.50%	1.620	0.36%	1.094	98.85%	51
PeCB-115	0.14%	0.340	0.74%	4.301	0.52%	0.761	82.76%	68
PeCB-117	0.02%	0.055	0.18%	0.610	0.14%	0.296	22.99%	118
PeCB-118	4.45%	9.567	13.58%	31.459	8.37%	20.144	98.85%	5
PeCB-119	0.02%	0.061	0.11%	0.584	0.09%	0.271	49.43%	114
PeCB-120	0.02%	0.054	0.20%	0.272	0.05%	0.172	68.97%	121
PeCB-121	0.00%	0.001	0.01%	0.076	0.00%	0.000	1.15%	167
PeCB-122	0.00%	0.005	0.06%	0.147	0.02%	0.013	6.90%	152
PeCB-123	0.08%	0.172	0.32%	0.889	0.17%	0.431	90.80%	87
PeCB-124	0.01%	0.024	0.11%	0.458	0.08%	0.086	31.03%	138
PeCB-125	0.05%	0.116	0.34%	0.950	0.28%	0.598	26.44%	96
PeCB-126	0.02%	0.048	0.06%	0.198	0.05%	0.117	86.21%	123
PeCB-127	0.03%	0.044	0.33%	0.410	0.09%	0.117	80.46%	128
HxCB-128	0.23%	0.503	0.83%	3.252	0.56%	1.568	97.70%	50
HxCB-129	0.03%	0.114	0.19%	0.771	0.07%	0.498	64.37%	97
HxCB-130	0.99%	2.350	1.86%	14.931	1.42%	6.032	98.85%	17
HxCB-131	0.00%	0.010	0.18%	0.358	0.01%	0.061	6.90%	147
HxCB-132	0.09%	0.224	0.22%	1.469	0.13%	0.718	96.55%	80
HxCB-133	0.08%	0.143	0.45%	1.323	0.33%	0.812	31.03%	92
HxCB-134	0.02%	0.048	0.20%	0.831	0.06%	0.175	37.93%	122
HxCB-135	0.12%	0.296	0.48%	3.021	0.28%	0.891	87.36%	73
HxCB-136	0.07%	0.201	0.81%	5.023	0.40%	0.681	66.67%	83
HxCB-137	0.68%	1.631	1.07%	9.501	1.00%	4.173	98.85%	23
HxCB-138/163	14.20%	34.004	18.06%	166.618	16.60%	85.284	100.00%	2
HxCB-139	0.00%	0.011	0.05%	0.139	0.03%	0.068	17.24%	144
HxCB-141	0.15%	0.358	0.71%	3.025	0.32%	1.136	94.25%	66
HxCB-142	0.00%	0.010	0.18%	0.358	0.01%	0.061	6.90%	147
HxCB-144	0.04%	0.096	0.16%	0.985	0.11%	0.378	83.91%	104
HxCB-146	2.76%	6.932	5.59%	52.306	3.76%	20.655	100.00%	7
HxCB-147	0.07%	0.169	0.23%	1.367	0.14%	0.407	90.80%	88
HxCB-148	0.00%	0.004	0.10%	0.181	0.00%	0.011	8.05%	154
HxCB-149	0.52%	1.226	2.88%	17.978	1.52%	3.361	98.85%	30
HxCB-151	0.26%	0.509	0.95%	2.650	0.67%	1.614	75.86%	49
HxCB-152	0.11%	0.357	1.16%	7.219	0.56%	1.798	22.99%	67
HxCB-153	21.57%	54.904	33.53%	360.531	28.92%	176.139	100.00%	1
HxCB-154	0.02%	0.039	0.09%	0.248	0.05%	0.135	55.17%	132
HxCB-155	0.01%	0.020	0.12%	0.283	0.05%	0.102	33.33%	142
HxCB-156	1.38%	3.224	2.57%	12.264	2.22%	8.092	98.85%	13
HxCB-157	0.45%	0.988	2.19%	5.348	0.71%	2.566	97.70%	35
HxCB-158	0.26%	0.567	0.50%	2.043	0.46%	1.510	98.85%	47
HxCB-159	0.00%	0.003	0.05%	0.047	0.01%	0.022	13.79%	156
HxCB-162	0.02%	0.057	0.09%	0.321	0.07%	0.147	67.82%	116
HxCB-164	0.08%	0.196	0.18%	0.962	0.12%	0.492	97.70%	85
HxCB-165	0.00%	0.004	0.03%	0.144	0.00%	0.000	4.60%	155
HxCB-166	0.05%	0.139	0.12%	0.586	0.09%	0.385	81.61%	93
HxCB-167	0.60%	1.375	1.04%	4.409	0.93%	3.157	98.85%	28
HxCB-168	0.15%	0.363	0.96%	3.881	0.35%	1.103	88.51%	64

Table Congener specific analysis of serum samples

	Mean		Max		95 <sup>o</sup> percentile		% Detection	Rank
	ratio	ng/g lipid	ratio	ng/g lipid	ratio	ng/g lipid		
HxCB-169	0.02%	0.044	0.05%	0.204	0.03%	0.104	91.95%	129
HpCB-170	2.90%	7.007	6.53%	32.237	4.40%	18.381	100.00%	6
HpCB-171	0.39%	0.975	0.66%	4.595	0.53%	2.850	97.70%	36
HpCB-172	0.70%	1.807	1.18%	9.974	0.96%	5.903	98.85%	20
HpCB-174	0.15%	0.335	0.67%	2.726	0.40%	0.841	100.00%	71
HpCB-175	0.07%	0.163	0.12%	1.035	0.10%	0.454	86.21%	89
HpCB-176	0.01%	0.040	0.16%	0.934	0.07%	0.162	35.63%	131
HpCB-177	0.99%	2.392	1.72%	13.072	1.32%	6.397	100.00%	16
HpCB-178	0.88%	2.224	1.44%	10.785	1.23%	6.348	100.00%	18
HpCB-179	0.08%	0.182	0.41%	2.304	0.21%	0.502	88.51%	86
HpCB-180	11.15%	28.424	21.69%	182.659	16.15%	83.757	100.00%	3
HpCB-181	0.02%	0.043	0.09%	0.349	0.05%	0.108	94.25%	130
HpCB-183	1.36%	3.413	2.19%	18.471	1.72%	9.337	100.00%	12
HpCB-184	0.02%	0.033	0.08%	0.268	0.07%	0.101	52.87%	135
HpCB-185	0.01%	0.024	0.11%	0.450	0.06%	0.125	26.44%	139
HpCB-187	4.84%	12.324	7.93%	62.070	6.61%	39.592	100.00%	4
HpCB-188	0.00%	0.000	0.00%	0.003	0.00%	0.000	1.15%	175
HpCB-189	0.16%	0.390	0.34%	1.827	0.27%	1.118	88.51%	60
HpCB-190	0.66%	1.603	1.36%	7.374	1.07%	4.215	100.00%	24
HpCB-191	0.15%	0.361	0.26%	1.447	0.24%	0.899	95.40%	65
HpCB-193	0.62%	1.550	1.22%	10.304	0.87%	4.066	100.00%	26
OcCB-194	1.98%	5.209	5.16%	43.426	3.34%	15.374	100.00%	9
OcCB-195	0.34%	0.936	1.15%	9.717	0.58%	2.688	95.40%	37
OcCB-196	0.69%	1.764	1.48%	12.577	1.16%	4.398	100.00%	21
OcCB-197	0.02%	0.046	0.09%	0.374	0.05%	0.131	66.67%	127
OcCB-198	0.04%	0.112	0.10%	0.824	0.09%	0.311	77.01%	98
OcCB-199	0.00%	0.010	0.08%	0.172	0.02%	0.048	21.84%	149
OcCB-200	0.11%	0.270	0.28%	2.076	0.22%	0.781	87.36%	77
OcCB-201	1.88%	5.023	4.65%	39.194	3.45%	14.044	100.00%	10
OcCB-202	0.50%	1.309	1.27%	9.431	0.92%	3.762	96.55%	29
OcCB-203	1.05%	2.711	2.28%	19.328	1.78%	6.758	100.00%	14
OcCB-204	0.00%	0.002	0.06%	0.142	0.00%	0.000	2.30%	160
OcCB-205	0.04%	0.091	0.10%	0.683	0.09%	0.274	72.41%	105
NoCB-206	0.63%	1.586	2.15%	11.838	1.20%	4.496	97.70%	25
NoCB-207	0.10%	0.238	0.22%	1.016	0.17%	0.584	90.80%	79
NoCB-208	0.19%	0.446	0.41%	2.406	0.34%	1.123	96.55%	54
DeCB-209	0.49%	1.086	1.79%	4.536	0.78%	2.554	100.00%	32