

국내 혈액에서의 PCDD/Fs 및 PCBs 분석과 오염원 특성에 관한 연구

양 윤희·김병훈·장윤석*

포항공과대학교 환경공학부

(2000. 12. 6 접수)

Analysis of PCDD/Fs and PCBs in Human Blood and Characteristics of Contamination Sources

Yoon Hee Yang, Byung Hoon Kim and Yoon Seok Chang*

School of Environmental Science and Engineering, Pohang University of

Science & Technology, Hyoja-dong, Namgu, Pohang, 790-784, Korea

(Received December 6, 2000)

요약: 고분해능 가스크로마토그래프/고분해능 질량분석기를 이용하여 시화공단 지역 근로자와 일반주민의 혈액에서 다이옥신류를 분석하였다. 평균 다이옥신류의 농도는 근로자가 일반주민보다 높았다. 근로자와 일반주민의 평균 다이옥신 TEQ 농도는 각각 40.3 pg I-TEQ/g lipid, 16.6 pg I-TEQ/g lipid였고, 전체 PCBs 농도는 각각 174.1 ng/g lipid, 151.0 ng/g lipid였다. 주성분분석을 한 결과, 근로자와 일반주민의 다이옥신 이성질체 분포는 구별되었지만, 모두 식품류에서의 분포와 유사하였다. 각 개인의 일일 다이옥신 섭취량을 계산했을 때 40%만이 WHO에서 제시한 1-4 pg I-TEQs/kg bw/day의 허용범주를 만족하였다.

Abstract: Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs), dibenzofurans (PCDFs), and biphenyls (PCBs) were analyzed by HRGC/HRMS in human blood samples from the Siwha industrial area in Korea. The PCDD/F and PCB concentrations in workers were higher than those in residents. The average TEQ concentrations of PCDD/Fs in workers and residents were 40.3 pg I-TEQs/g lipid and 16.6 pg I-TEQs/g lipid, respectively, and the total PCB concentrations were 174.1 ng/g lipid and 151.0 ng/g lipid, respectively. When applied to principal component analysis, the PCDD/F congener distributions of workers were differentiated from those of residents. But, all of them were similar to the distribution in several Korean foods. Estimated daily intake (EDI) of each person was calculated, and then only 40% to the total people were within the tolerable daily intake range (1-4 pg I-TEQ/kg bw/day) suggested by WHO (1997).

Key words: human blood, PCDDs, PCDFs, PCBs, HRGC/HRMS

1. 서 론

다이옥신류 (PCDDs: polychlorinated dibenzo-*p*-di-

oxins, PCDFs: polychlorinated dibenzofurans)는 폐기물의 소각 공정과 유기 염소가 사용되는 화학 공정 중에 부산물로 발생된다. PCDDs와 PCDFs는 염소가 치환된 위치와 개수에 따라 각각 75개, 135개의 이성질체가 존재할 수 있다. 이들 중 2,3,7,8 위치에 염소가 치환되어 비교적 평면구조를 갖는 이성질체들은 구조적으로 세포 안에서 Ah receptor (Aryl hydrocarbon

* Corresponding author

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

E-mail : yschang@postech.ac.kr

receptor)와 결합이 용이하여 독성을 유발한다. 그러므로 이러한 17가지 이성질체가 분석의 주요 대상이 되고 있다.

인체가 PCDD/Fs에 노출되는 경우는 환경 배경농도에 의한 노출과, 관련 사고 및 직업에 의한 노출로 나눌 수 있다. 배경농도에 의한 노출은 약 90% 이상이 음식섭취에 의한 간접 노출로 생축적 과정을 통해 일반적으로 유사한 이성질체 분포를 갖는다. 반면 관련 사고 및 직업에 의한 노출은 직접 노출로 높은 농도의 PCDD/Fs가 검출되거나 특정 이성질체가 상대적으로 높은 분포를 갖게 된다.^{1,2} 1992년에 O. Päpke 등은 PCDD/Fs 생성과 관계 있는 trichlorophenol, pentachlorophenol, 제초제 제조공정과 금속 회수공정에 종사하는 근로자와 특정 노출이 없는 일반 주민들의 혈액 및 지방조직에서 PCDD/Fs의 분포를 조사하였다.³ 그 결과 관련된 생산공정을 반영하는 특징적인 PCDD/Fs 분포가 나타났다. 즉 PCDD/Fs의 농도 수준과 이성질체의 분포 형태를 고찰하는 것을 통해 오염원의 특성을 파악하는 것이 가능하다.

한편, 분석결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 일반적으로 많은 수의 시료 분석이 요구된다. 그러나 혈액, 모유, 지방조직 등의 인체시료는 확보하기가 어렵고, 특히 PCDD/Fs 분석은 시간과 노력을 비롯한 경제적인 비용이 많이 들며 숙달된 전문가가 요구된다는 어려움 때문에 많은 수의 시료를 분석하는 것이 쉽지 않다. 그러므로 최적의 측정 과정 및 실험 과정을 선택하고, 얻어진 화학적 자료를 분석하여 최대한의 정보를 제공할 수 있도록 수학 및 통계학의 방법들을 사용하는 계량분석화학은 PCDD/Fs 분석에서의 어려움에 대해 보완책이 될 수 있다. 주성분분석(principal component analysis)은 자료를 압축 요약하는 다변량 통계 방법의 일종인 인자분석 모형 중 한 가지에 해당된다. 많은 수의 변수들 사이의 관련성을 분석하여 이면에 깔린 인자들을 판명하고 그 인자들을 통하여 변수들을 설명한다. 주성분분석은 가능한 많은 정보를 최소 숫자의 인자에 집약시키기 위해 주로 사용된다. 주성분분석을 통해 얻어지는 서로 상보적인 결과인 score plot과 loading plot을 이용하여 변수의 분포 특성과 인자간의 관계를 파악할 수 있다. 최근 몇 년간 PCDD/Fs 분포특성 및 오염원 파악을 위한 연구에 주성분분석을 적용하는 경우가 증가하고 있다.^{1,4}

인체가 다이옥신에 노출된 양을 평가하기 위해서는

크게 두 가지 방법이 적용된다. 첫째, 일상생활에서 섭취되는 음식물을 비롯하여 주변 환경시료를 분석하는 것으로 위험도를 평가할 수 있다. 둘째로는 인체 내에 축적된 정도를 측정하는 것이다. 혈액, 모유, 지방조직 시료는 인체가 환경중의 오염물질에 대하여 노출된 정도를 평가하는데 주로 사용된다. 모유시료는 수유과정을 통해 아기에게 전달될 수 있는 PCDD/Fs 양을 평가할 수 있지만 대상이 산모로 제한되므로 전반적인 인체노출평가에는 적용할 수 없다. 지방조직은 수술과정을 통하여 얻을 수 있으므로 시료 채취에 어려움이 있다. 혈액시료의 경우는 혈중 지방량으로 보정된 PCDD/Fs의 농도가 인체내의 여러 조직에서의 PCDD/Fs 농도와 높은 상관관계를 보이며,⁵ 체지방 및 모유 지방에서의 PCDD/Fs 농도와도 유사한 수준으로 보고되므로,⁶ 일반적인 인체 노출 평가에 주로 이용되고 있다.

다이옥신은 일반 환경에서 수 ppt 단위(10^{-12}) 이하의 낮은 농도로 존재하지만 매우 안정한 화합물로 인체 내에서의 반감기가 2, 3, 7, 8-TCDD의 경우 7에서 9년으로^{7,8} 매우 긴것으로 보고되고 있다. 따라서 인체 부하량은 환경 농도에 비해 고농도로 검출된다. 일반 주민 혈액에서의 PCDD/Fs 농도가 유럽에서는 14-43 pg TEQs/g lipid, 북아메리카에서는 19-27 pg TEQs/g lipid, 일본에서는 20-22 pg TEQs/g lipid 등의 수준으로 보고되었다.²

PCDD/Fs 및 PCBs의 독성 및 농도 수준에 대해서는 많은 연구가 행해지고 있지만 국내에서 인체에 대한 연구는 부족한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 HRGC/HRMS를 이용하여 시화공단지역에 거주하는 근로자와 일반주민의 혈액에서 PCDD/Fs 및 PCBs를 분석함으로써 비록 한정된 지역에서지만 국내 오염수준을 밝히고, 이성질체 및 동족체의 농도와 분포 형태를 통해 오염원의 특성을 고찰하였다. 또한, 지방량으로 보정된 혈중 농도와 각 개인에 대한 자료를 통해 다이옥신 유사물질의 1일 섭취량을 계산하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

시화공단지역 근로자 10명과 일반주민 10명으로부터 혈액을 채취하여 혈청부분만 분리한 후 분석할 때 까지 -20°C에서 보관하였다. 근로자는 W로 일반주민

은 R로 표기하였다. 근로자 중에서 1명(W-9, 4개월 근무)을 제외하고는 평균 6년(2-15년)간 폐기물 처리 업체에서 근무하고 있는 사람들이고 9명 모두 남성이었다. 일반주민은 평균 3년(1-4년)간 시화공단지역에 거주하고 있는 사람들이고, R-6을 제외한 9명이 모두 여성하였다. 시료 채취시, 대상자의 나이, 신장, 몸무게, 식습관, 병력, 흡연, 결혼여부, 직장환경 등에 관한 설문조사를 함께 수행하였다.

2.2. 시 약

추출 용매 및 컬럼 전개액 등으로 n-hexane, aceton, dichloromethane, toluene (pesticide grade, Merck)의 유기용매를 사용하였다. 액-액 추출 단계에서 지질과 단백질 등에 흡착되어 있는 유기오염물질의 탈착을 돋기 위해 수산나트륨(ACS grade, Fisher Scientific)을 사용하였다. 분석에 방해가 되는 물질들을 제거하기 위해 황산(CMOS grade, J. T. Baker)을 사용하였다. 황산 처리 후 시료를 중화시키기 위해 사용된 중류수는 3차 중류수에 5-10% (v/v)의 n-hexane을 분별 깔대기에 함께 넣어 shaker를 이용하여 30분간 격렬히 흔들어준 뒤, 충분히 정착시키는 방법으로 2회 세척된 것을 사용하였다. 정제과정에서 극성방해물질을 제거하기 위한 실리카겔(column chromatography grade, 70-

230 mesh, Merck), 비극성 방해물질을 제거하기 위한 알루미나(standard grade, 100-150 mesh, Aldrich)와 수분을 제거하기 위한 무수황산나트륨(pesticide residue analysis grade, Kanto)은 사용하기 전에 세척 여부를 결정하기 위한 실험을 하였다. Dichloromethane 용매를 이용하여 속슬렛 추출 또는 초음파 추출 방식에 의해 세척된 것과, 세척하지 않은 것의 세 종류로 각각 나누어서 130°C(실리카겔), 180°C(알루미나), 450°C(무수황산나트륨)에서 16시간 이상 활성화시킨 후 실제 시료 분석과정을 적용시킨 시료를 HRGC/HRMS로 분석하였다. 분석결과, 세척 방법에 상관없이 PCDD/Fs가 검출되지 않았다. 이 후로는 용매세척은 하지 않고 해당온도에서 활성화시킨 후 사용하였다. 산성 실리카겔은 진한 황산을 이용하여 44% (w/w)로, 염기성 실리카겔은 1 N aq. NaOH를 만들어서 39% (w/w)로 만들었다. 사용된 PCDD/Fs 및 PCBs 내부 표준물질과 회수용 표준물질의 종류는 Table 1에 나타내었다.

2.3. 추출 및 정제과정

무게를 잴 혈액시료를 분별 깔대기에 옮긴 후 ^{13}C 으로 치환된 내부 표준물질 PCDD/Fs와 non-ortho PCBs를 각각 1 ng, mono-ortho PCBs와 di-ortho PCBs

Table 1. Internal and recovery standards of PCDD/Fs and PCBs

	Internal standard	Recovery standard.		Internal standard	Recovery standard.
Non-ortho CBs	$^{13}\text{C}-4,4'\text{-CB}$	$^{13}\text{C}-2,2',4,5,5'\text{-CB}$	TCDD	$^{13}\text{C}-2,3,7,8$	$^{13}\text{C}-1,2,3,4\text{-TCDD}$
	$^{13}\text{C}-3,4,5\text{-CB}$		PeCDD	$^{13}\text{C}-2,3,7,8$	
	$^{13}\text{C}-3,3',4,4'\text{-CB}$		HxCDD	$^{13}\text{C}-1,2,3,4,7,8$	$^{13}\text{C}-1,2,3,7,8,9\text{-HxCDD}$
	$^{13}\text{C}-3,3',4,4',5\text{-CB}$			$^{13}\text{C}-1,2,3,6,7,8$	
	$^{13}\text{C}-3,3',4,4',5,5'\text{-CB}$		HpCDD	$^{13}\text{C}-1,2,3,4,6,7,8$	
Mono-ortho CBs	$^{13}\text{C}-2,4,4'\text{-CB}$	$^{13}\text{C}-2,2',4,5,5'\text{-CB}$	OCDD	$^{13}\text{C}-1,2,3,4,6,7,8,9$	
	$^{13}\text{C}-2,3',4,4',5\text{-CB}$		TCDF	$^{13}\text{C}-2,3,7,8$	
	$^{13}\text{C}-2,3,3',4,4'\text{-CB}$		PeCDF	$^{13}\text{C}-1,2,3,7,8$	$^{13}\text{C}-2,3,4,7,8$
	$^{13}\text{C}-2,3,3',4,4',5\text{-CB}$		HxCDF	$^{13}\text{C}-1,2,3,4,7,8$	
	$^{13}\text{C}-2,2',5,5'\text{-CB}$			$^{13}\text{C}-1,2,3,6,7,8$	
	$^{13}\text{C}-2,3,3',5,5'\text{-CB}$			$^{13}\text{C}-1,2,3,7,8,9$	
	$^{13}\text{C}-2,2',4,5,5'\text{-CB}$			$^{13}\text{C}-2,3,4,6,7,8$	
	$^{13}\text{C}-2,2',3,3',4,4'\text{-CB}$		HpCDF	$^{13}\text{C}-1,2,3,4,6,7,8$	
	$^{13}\text{C}-2,2',3,4,4',5,5'\text{-CB}$			$^{13}\text{C}-1,2,3,4,7,8,9$	
	$^{13}\text{C}-2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'\text{-CB}$				
	$^{13}\text{C}-2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'\text{-CB}$				

를 각각 2 ng씩 넣었다. 수산나트륨 과포화 용액 100 mL를 넣고 약간 흔들어 준 뒤, 200 mL의 acetone : hexane (2 : 1) 추출용매를 넣고 격렬히 흔들었다. 2개의 층이 명확히 구별되는 blank를 제외하고, 혈액시료는 층 구별이 뚜렷하지 않으나 상층은 염을 포함한 헥산 층이고 나머지는 물, 염, 아세톤이 섞인 층이었다. 상층을 제외하고는 따로 모아서 보관하였다. 200 mL의 acetone : hexane (2 : 1)을 분별 깔대기에 첨가하여 잘 흔들어 주고 층이 분리 될 때까지 정치시켰다. 상층인 유기 층만을 따로 모으고 하층을 다시 분별 깔대기에 넣어 100 mL의 acetone : hexane (2 : 1)으로 재 추출하였다. 재 추출된 유기 층을 앞에서 모은 유기 층에 합하였다. 첫 번째 추출과정에서 보관했던 하층 부분을 다시 분별 깔대기에 넣고 100 mL의 acetone : hexane (2 : 1)으로 추출하였다. 세 번에 걸쳐 모아진 유기 층을 농축시켜 부피를 줄이고, 깔대기에 여과지 (Whatman No.1)와 무수황산나트륨을 넣은 후 농축된 시료를 통과시켜 수분과 염을 제거하였다. 지방량 측정을 위해 위의 시료를 약 5 mL 정도로 농축시킨 후 후드 안에서 무게의 변화가 없을 때까지 자연 전조시켰다. 추출된 지방의 무게를 측정하고 헥산에 다시 녹인 후 정제 및 분리를 위해 실리카겔 컬럼, 알루미나 컬럼, HPLC를 순서대로 적용하였다. 컬럼 정제 및 분리에 관해서는 이전에 발표된 논문⁹에 자세히 소개되었다.

2.4. HRGC/HRMS에 의한 분석

HRGC 컬럼은 DB-5 (60 m, 0.25 mm ID × 0.1 μm film thickness, J & W Scientific)를 사용하였고 시료는 282°C에서 splitless 방식으로 주입하였다. 고분해농질량분석기 (high resolution mass spectrometer; HRMS, JMS 700-T)는 10,000 이상의 분리능을 유지하며 EI 35 eV, 이온화원 온도 300°C, 인터페이스 온도 300°C로 설정하였다. 분석은 각 동족체에서 2개의 이온을 선택하는 선택이온검출(selected ion monitoring) 방식으로 하였고, 내부표준물질을 이용한 상대검량선법과 검량선 작성용 표준물질을 사용하여 얻은 상대반응계수를 적용하여 정량하였다. 회수율은 저염소 물질이 상대적으로 낮은 경향을 보였는데, PCDD/Fs는 평균 80% (50-110%), PCBs는 평균 60% (25-108%)의 회수율을 보였다. 또한 MDL (minimum detection limit) 범위는 PCDD/Fs의 경우 0.05-0.14 pg/g, PCBs는 0.04-

0.10 pg/g이었다.

2.5. 주성분분석

근로자 10명과 일반주민 10명의 표준화된 17가지 PCDD/Fs 이성질체 농도를 변수로 하여 주성분분석에 적용하였다. 주성분분석을 할 때, 농도 값을 표준화시키기 위해 일반적으로 g/g 단위에서 전체 농도에 대한 상대적인 % 농도를 구한다. 그러나 17가지의 PCDD/Fs 이성질체는 분자량이 약 304인 TCDFs에서 456인 OCDD까지 다양한 분자량을 갖고 있으므로 본 연구에서는 분자량의 차이에 따른 이성질체 분포의 과대 또는 과소 평가를 방지하기 위해 mol % 단위를 적용하였다. 즉 g/g 농도단위를 우선 mol/g 단위로 변환하고 나서 상대적인 % 함량을 구하였다. 근로자와 일반 주민간의 주성분분석에서 유효한 주성분의 개수를 결정하기 위해 cross-validation¹⁰을 적용했을 때 6개의 주성분이 얻어졌지만 네 번째 주성분부터는 전체 변동의 10% 미만에 해당되었다. 그래서 임의적으로 2.0 이상의 고유값을 가지는 주성분을 선택하였다. 3개의 주성분이 선택되었는데 각각 전체변동의 36.8%, 20.2%, 13.5%에 해당되어 전체의 70.5%의 변동에 해당되었다.

한편 PCDD/Fs 오염원의 영향을 고찰하기 위해, 국내에서 보고된 환경 및 식품에서의 분석결과와 본 연구의 혈액결과를 모아 주성분분석을 하였다. 적용한 대상은 Table 2에 나타내었다. 인용한 분석결과도 혈액 결과와 마찬가지로 농도 값을 표준화시키기 위해 mol % 단위로 바꾸었다. 유효한 주성분의 개수는 위의 경우와 마찬가지로 2.0 이상의 고유값을 갖는 것으로 제한하였다. 결정된 두 개의 주성분은 순서대로 전체 변동의 46.8%, 18.2%에 해당되었다. 본 연구에서는 Simca-P 7.01 프로그램(Umetrics, Sweden)을 사용하여 주성분분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 독성 PCDD/Fs 이성질체의 분포

2,3,7,8 위치에 염소가 치환된 독성이 있는 17가지 PCDD/Fs 이성질체의 농도를 평균값(mean)과 95% 신뢰구간에서의 범위로 Table 3에 나타내었다. PCDD/Fs 이성질체의 농도(pg/g lipid)는 근로자의 경우가 일반 주민에 비해 최저 1.3배(OCDD의 경우)에서 최고 20

Table 2. Emission sources and retail foods database of Korea

Code	No. samples	Identification	Reference
HW	1	stack gas from hospital waste incinerator	11
IW	1	stack gas from industrial waste incinerator	11
MSWI	11	stack gas from municipal solid waste incinerators	11
SW	3	stack gas from small size incinerators	11
FHW	1	fly ash from hospital waste incinerator	12
FIW	1	fly ash from industrial waste incinerator	12
FMSWI	11	fly ash from municipal solid waste incinerators	12
FSW	2	fly ash from small size incinerators	12
CM	4	commercial milk	9
Fish	3	pollack, oyster, anchovy	13
Meat	5	beef, pork, chicken	13
Milk	1	milk	13
Bean	1	bean	13
Cereal	3	corn, rice, wheat	13
Potato	1	potato	13
Fruit	3	tangerine, apple, orange	13
Vegetable	2	radish, chinese cabbage	13

<Reference>

11 : J. E. Oh et al., 12 : K. J. Shin and Y. S. Chang, 9 : 양윤희 등, 13 : 김종국 등

Table 3. Congener distribution of 2,3,7,8-substituted PCDD/Fs in human blood

PCDD/F congeners	I-TEFs	Workers (n = 10)		Residents (n = 10)		P-value
		Mean (95% C.I.) (pg/g lipid; ppt)	pg I-TEQs /g lipid	Mean (95% C.I.) (pg/g lipid; ppt)	pg I-TEQs /g lipid	
2,3,7,8-TCDD	1	2.0 (0.5-3.6)	2.04	0.1 (ND-0.4)	0.15	0.008
1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	8.2 (4.5-12.0)	4.12	4.2 (1.4-7.0)	2.09	0.419
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	4.9 (2.6-7.2)	0.49	2.3 (0.7-3.9)	0.23	0.076
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	90.5 (37.3-143.7)	9.05	39.0 (20.4-57.6)	3.90	0.022
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	46.5 (17.4-75.6)	4.65	16.0 (4.1-27.8)	1.60	0.035
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	92.5 (53.9-131.1)	0.93	43.5 (30.9-56.2)	0.44	0.007
OCDD	0.001	541.0 (212.2-869.9)	0.54	425.7 (264.5-586.9)	0.43	0.181
2,3,7,8-TCDF	0.1	10.5 (3.4-17.5)	1.05	4.8 (1.4-8.3)	0.48	0.047
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	8.9 (2.9-15.0)	0.45	0.5 (ND-1.2)	0.03	0.002
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	17.8 (10.1-25.6)	8.92	9.2 (7.3-11.1)	4.61	0.001
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	26.2 (14.4-38.0)	2.62	10.5 (4.3-16.8)	1.05	0.044
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	23.9 (13.9-33.9)	2.39	9.0 (4.4-13.5)	0.90	0.021
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	13.4 (7.9-19.0)	1.34	2.1 (0.3-3.8)	0.21	0.002
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	2.2 (0.7-3.7)	0.22	0.2 (ND-0.7)	0.02	0.008
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	108.0 (56.4-159.7)	1.08	27.8 (11.7-43.7)	0.28	0.008
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	18.0 (11.3-24.8)	0.18	12.4 (10.8-14.0)	0.12	0.001
OCDF	0.001	207.2 (67.4-347.0)	0.21	91.4 (74.1-108.7)	0.09	0.006
t-PCDDs		785.7 (419.9-1151.6)	21.81	530.8 (379.0-682.6)	8.83	0.038
t-PCDFs		436.2 (205.3-667.1)	18.45	167.9 (135.0-200.8)	7.80	0.006
t-PCDD/Fs		1,221.9 (641.5-1802.2)	40.26	698.7 (551.9-845.6)	16.62	0.021

배 (2, 3, 7, 8-TCDD의 경우) 높았다. 두 집단간의 PCDD/Fs 이성질체 농도 차이를 보다 정확히 비교하기 위해 t-test에 의한 p-value를 Table 3의 마지막 항에 나타내었다. 1, 2, 3, 7, 8-PeCDD와 1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDD, OCDD를 제외하고는 모두 95% 이상의 신뢰 구간에서 두 집단의 이성질체 분포 차이가 인정되었다. 특히 근로자 대 일반주민의 total PCDDs 농도 비는 1.48인데 total PCDFs 농도 비는 2.50으로 근로자 집단이 상대적으로 PCDFs가 많은 분포에 해당되었다. 한편, 1988년 NATO에서 제안한 국제적으로 가장 많이 사용되고 있는 국제 독성등가계수(international-toxic equivalency factors; I-TEFs)¹⁴에 의해 환산된 독성등가치(toxic equivalencies ; TEQs)를 Table 3에 근로자와 일반주민 각각의 경우로 나타내었다.

3.2. PCDD/Fs 동족체의 분포와 2,3,7,8

치환체의 함유량

Table 4에는 PCDD/Fs 동족체 농도를 나타냈다. Table 3의 경우와 마찬가지로 평균값(mean)과 95% 신뢰구간에서의 범위 및 두 집단에 대한 t-test 결과를 함께 제시하였다. 동족체의 평균농도는 근로자가 일반 주민보다 모든 동족체에서 최저 1.1배 (TCDD의 경우), 최고 6.9배 (PeCDD) 높았다. P-value를 통해 95% 이상의 신뢰도에서 OCDD와 TCDF를 제외하고 모든 동족체의 농도 분포가 구별됨을 알 수 있었다.

Table 3에 제시된 17가지 이성질체들의 평균값을 이용하여 각 동족체에서 2,3,7,8 위치에 염소가 치환된 이성질체가 차지하는 정도를 Table 4의 '% of 2,3,7,8-congeners' 항에 나타내었다. TCDD에서는 두 집단 모두에서 매우 낮은 2,3,7,8-congeners 함량을 보였다. 그러나 TCDD와 근로자 집단에서의 PeCDD, HxCDD를 제외하고는 각 동족체에서 2,3,7,8-congeners가 58.2%에서 88.9%으로 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 한편, TCDD와 HpCDF에서는 근로자의 경우가 2,3,7,8-congeners의 상대적인 함량이 일반주민에 비해 다소 높고, HxCDF에서는 두 집단이 비슷한 수준이다. 그러나 나머지 5가지 동족체에서는 근로자의 2,3,7,8-congeners의 상대적인 함량이 더 낮은 것을 알 수 있다. 일반적으로 인체시료를 비롯한 생체시료에서 검출되는 PCDD/Fs 대부분이 2,3,7,8 위치에 염소가 치환된 이성질체들이다. 이들 17가지 이성질체들은 Ah receptor에 의해 세포 안으로 유도되는 정도가 상대적으로 크며, 일단 세포 안으로 들어온 이성질체는 분해되기 어려우므로 다른 이성질체들에 비해 생체시료에서의 축적이 증가하게 된다. 특정 오염원이 없는 일반적인 생체시료의 경우 음식물 섭취를 통한 간접 노출이 전체 노출 양의 90% 이상에 해당되므로 먹이사슬에 의한 축적결과 2,3,7,8-congeners가 대부분을 차지하는 변형된 체내 분포를 갖게되는 것이다. 그러므로 2,3,7,8-congeners의 함량이 상대적으로 낮

Table 4. The distribution of PCDD/Fs homologue in human blood

PCDD/F Homologues	Worker (n=10)		Resident (n=10)		P-value
	Mean (95% C.I.) (pg/g lipid)	*% of 2,3,7,8	Mean (95% C.I.) pg/g lipid	*% of 2,3,7,8	
TCDD	11.1 (7.3-14.9)	17.6	10.0 (8.1-11.9)	1.4	0.034
PeCDD	42.2 (16.8-67.6)	26.4	6.1 (1.1-11.1)	84.5	0.009
HxCDD	527.8 (167.1-888.4)	31.4	144.0 (7.2-280.9)	59.1	0.021
HpCDD	161.6 (85.2-238.0)	60.5	62.6 (36.9-88.3)	76.1	0.012
OCDD	541.0 (212.2-869.9)	100.0	425.7 (264.5-586.9)	100.0	0.181
TCDF	17.8 (5.9-29.8)	59.5	6.4 (1.4-11.4)	88.9	0.068
PeCDF	34.5 (18.9-50.1)	73.5	9.7 (7.6-11.9)	100.0	0.001
HxCDF	89.4 (53.7-125.0)	72.9	30.4 (18.3-42.6)	71.6	0.003
HpCDF	167.7 (99.8-235.7)	73.7	66.9 (49.1-84.6)	58.2	0.002
OCDF	207.2 (67.4-347.0)	100.0	91.4 (74.1-108.7)	100.0	0.006
Total PCDD	1281.0 (731.7-1830.2)	62.8	648.4 (471.0-825.8)	83.8	0.006
Total PCDF	516.6 (263.7-769.4)	82.6	204.7 (166.1-243.4)	82.4	0.007

* % of 2,3,7,8 : the percentage of 2,3,7,8-substituted congeners in each homologue

은 분포인 경우 오염된 토양, 대기 등의 환경매체에 많이 노출되었거나, 오염된 음식물을 섭취했을 가능성이 있다. 특히, PCDD/Fs의 주된 생성과정인 소각과정에서 채취한 시료에서는 대부분의 이성질체가 검출되는데, 근로자 집단에 속하는 사람들 중에 6명이 폐기물업체 종사자로 소각장으로부터 50 m 이내의 위치에서 근무하고 있었고, 나머지 4명도 소각장으로부터 100 m 이내에 있는 인근지역의 직장에서 근무하고 있었다. 소각장이라는 오염원의 영향으로 단정지울 수는 없지만, 근로자 집단에 속하는 사람들이 2, 3, 7, 8-congeners를 제외한 이성질체 함량이 일반 주민들에 비해 상대적으로 더 높다는 것을 확인 할 수 있었다.

3.3. PCDD/Fs 이성질체의 분포 특징 고찰

Table 3과 Table 4를 통해 근로자와 일반주민 혈액에서의 PCDD/Fs의 농도수준은 서로 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 한편, 시료채취상의 어려움과 공단 지역이라는 지역 특수성으로 인해 본 연구의 시료 제공자가 근로자 10명 중 9명이 남성이고 1명은 미혼여성이며, 일반주민 10명 중 9명이 기혼여성이고 1명이 남성이라는 특수 요인이 있다. 기혼여성의 경우 출산 및 수유과정을 통해 PCDD/Fs가 직접 배출되므로 이 전과는 변형된 농도수준과 분포형태를 가지게 된다. 그렇다면, 근로자와 일반주민의 PCDD/Fs 농도 차이는 폐기물 업체와 관련된 직업적 노출에 기인한 것인지 여성의 출산 및 수유로 인한 배출에 의한 것인지를 고찰하기 위해 PCDD/Fs 동족체 및 이성질체의 상대적인 분포를 비교해 보았다.

두 집단은 모두 PCDFs에 비해 PCDDs가 많은 분포로 2, 3, 7, 8-congeners 분포에서 근로자는 64%, 일반주민은 76%가 PCDDs에 해당되었고, 동족체 분포에서도 근로자는 71%, 일반주민은 76%가 PCDDs에 해당되었다. 국내에서 판매되는 식품류(어패류, 육류, 우유, 과류, 과일류, 채소류)에서 PCDD/Fs를 분석한 결과에 의하면 PCDDs가 전체 다이옥신의 80% 내지는 그 이상을 차지하였다.¹³

혈액시료에서 이성질체의 분포 특성을 고찰하기 위해 17가지 2, 3, 7, 8-congeners를 변수로 하는 주성분 분석에서 얻은 처음 두 개의 주성분에 대한 score plot 을 Fig. 1에 나타내었다. 적용된 시료는 총 19개로 R-2에 해당되는 시료는 95% 신뢰구간에서 Hotelling T²에 의해 outlier가 되어 주성분분석에서 제외되었다.

제외된 R-2는 일반주민 중에서 특이하게 매우 높은 PCDD/Fs 농도를 갖는 경우였다(Table 6 참조). Fig. 1의 score plot에서는 I(W-3, W-4, W-5), II(R-3, R-4, R-5, R-7, R-8, R-9, R-10), III(W-1, W-2, W-6, W-7, W-8, W-10, R-6)의 세 집단으로 나누어 볼 수 있다. 각 집단의 평균 이성질체 분포를 Fig. 1에 함께 나타내었다. R-1과 W-9는 어느 집단에도 포함되지는 않았지만 집단 I과 집단 II에 유사하였다. Fig. 1에서 남성은 명암상자로 구별되게 나타내었는데 주성분 1에 의해 남성과 여성, 또는 근로자와 일반주민으로 구별되는 것을 볼 수 있다. 첫 번째 주성분(PC 1)에 대해 음의 값에 해당하는 집단 II는 모두 일반주민이고, OCDD가 대부분을 차지하는 이성질체의 분포를 갖는다. 첫 번째 주성분에 대해 양의 값에 해당하는 집단 I, III에 해당하는 사람들은 R-6을 제외하고는 모두 근로자에 해당되지만, R-6은 일반주민 중에 유일한 남성이다. 특히 집단 I은 근로자 중에서 예외적으로 폐기물 업체가 아닌 곳에 근무하고 있는 사람들로 집단 II에 비해 OCDD의 분포량은 낮아지고 1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDD, 1, 2, 3, 7, 8, 9-HxCDD, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDD, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF가 높아진 분포를 갖는다. 집단 III은 집단 II에 비해 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF를 중심으로 PCDFs 이성질체 함량이 다소 증가된 분포를 보인다. 이와 같이 이성질체 분포에 의해 구분된 집단과 관련하여 설문조사결과를 토대로 상관관계를 갖는 요인을 찾아보았다. 폐기물업체라는 직장을 고려하여 근무형태(관리, 영업, 근로, 전문), 근무기간, 실외거주시간 등과 비교해 보았으나 상관관계가 발견되지 않았다. 그러나 흡연습관과 비교하였을 때 주성분 1에 대해 비교적 큰 양의 값을 갖는 사람들(W-5, W-7, W-8, R-6; 단 W-2는 비흡연자)은 하루에 평균 열 개비의 담배를 피우는 흡연자들이었고, 그 외 사람들 중에서는 R-8이 하루에 두 개비의 담배를 피우는 흡연자일 뿐. 나머지 12명(W-4 제외함; 흡연여부에 대한 자료 없음)은 비흡연자들이었다. 본 연구의 시료 개수는 이와 같은 경향에 대해 결론을 내리기에 충분치 않으므로 이에 대한 앞으로 보다 폭넓은 조사가 필요하겠다.

Fig. 2는 국내에서 보고된 환경 및 식품에서의 PCDD/Fs 분석결과와 본 연구의 혈액결과를 변수로 하는 주성분분석을 통해 얻은 score plot이다. 인용한 시료는 PCDD/Fs의 주된 생성원에 해당하는 소각과정에서 발생되는 시료와, 국내에서 시판되는 식품류에

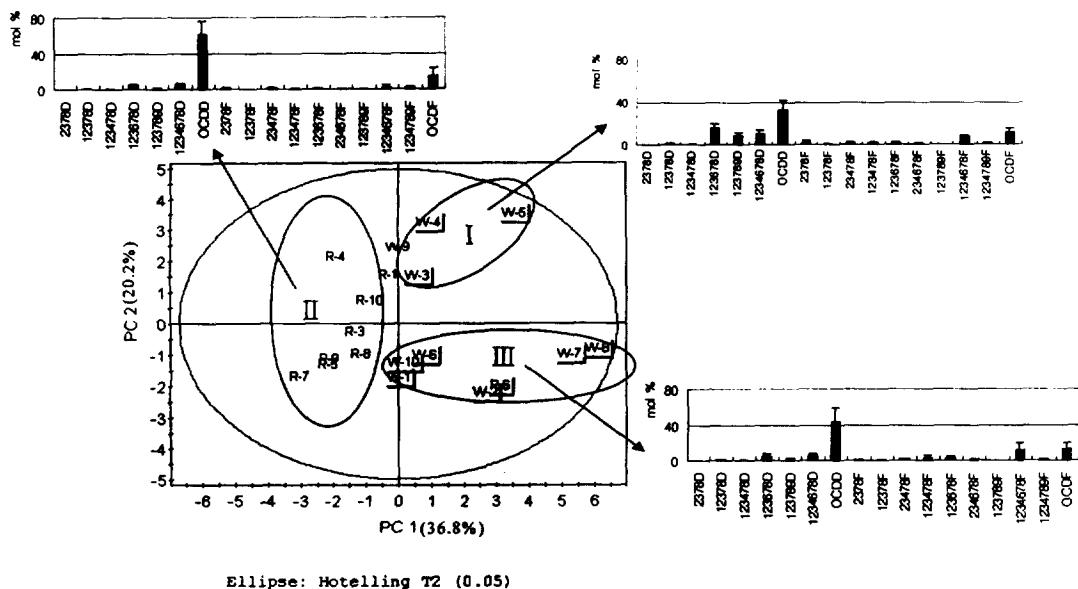


Fig. 1. Two-dimensional principal components score plots and distributions of normalized 2, 3, 7, 8-substituted congeners in human blood.

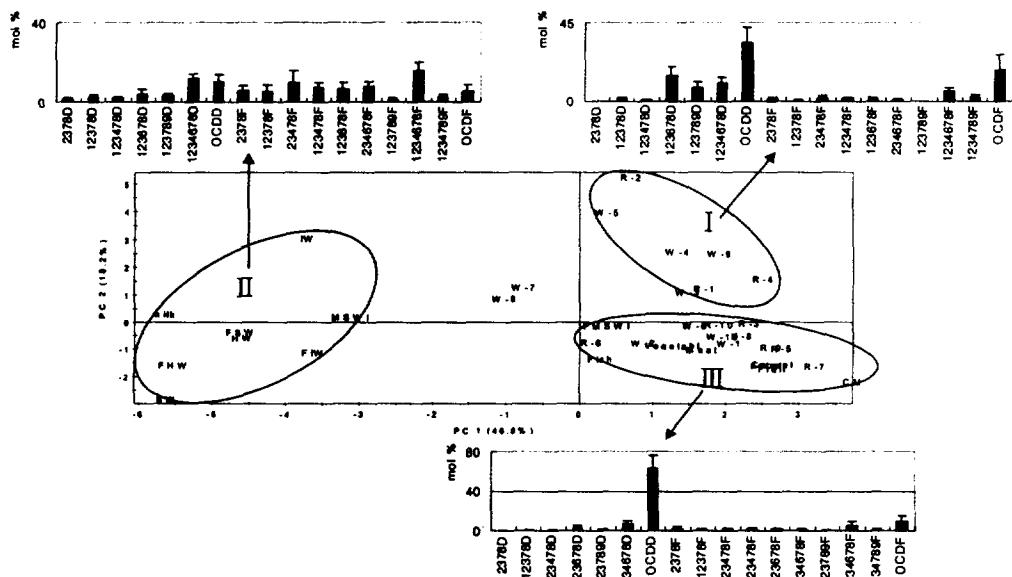


Fig. 2. Two-dimensional principal components score plots and distributions of normalized 2, 3, 7, 8-substituted congeners in referenced samples and human blood.

해당되는 것으로 Table 1에 자세히 나타내었다. Table 1에서 나타낸 시료는 종류에 따라 이성질체의 분포가

유사하였으므로 Fig. 2에는 인용된 시료 각 종류마다의 평균 이성질체 분포를 적용한 score plot을 나타내

었다. Fig. 2에서 집단 I은 네 명의 근로자와 세 명의 일반주민이 속한 집단으로 집단 III과 유사하지만 상대적으로 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,7,8,9-HxCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD가 높아진 분포를 갖는다. 집단 II는 대부분이 PCDD/Fs의 주된 생성원과 관계된 시료로 국내의 각종 소각장의 배기ガ스와 비산재에 해당되며, 이성질체 분포가 집단 I, III과 구별되는 분포를 보인다. 집단 III은 milk(집단 II에 속함)를 제외한 모든 종류의 식품류가 속하는 집단으로 대부분의 혈액 시료가 속한 집단으로 OCDD가 특징적인 이성질체의 분포를 갖는다. 도시고형소각장의 비산재 시료가 특징적으로 집단 III에 속하지만 같은 집단 내의 다른 시료와 달리 PC 1, 2에 대해 0에 근접한 위치에 있어 다소 구별된다. W-8과 W-7은 집단 I과 유사한 이성질체 분포를 보였다. 이와 같은 고찰을 통해 본 연구의 혈액 시료는 오염원에 대한 직접적인 영향보다는 주로 음식섭취를 통한 간접적인 영향이 주된 것으로 보인다.

인체시료에서의 분석결과를 주성분분석을 사용할 때 분포 특성과 영향력 있는 오염원의 규명에 있어서 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다. 우선 주성분분석에 의한 결과가 특징적인 분포를 나타낼 때는 설문조사결과 등을 통하여 영향력 있는 오염원을 추정할 수 있다. 둘째, 인체에 영향을 줄 수 있는 오염원의 결과

와 인체시료의 결과가 주성분분석에 함께 적용된다면, 인체에 영향을 주는 오염원을 규명하는 데 바람직 할 것이다.

3.4. PCBs의 분포 특징

Table 5에서는 PCBs 이성질체 중에서 체내에서 다이옥신과 같은 독성을 나타내는 이성질체들의 농도와 전체 PCBs 농도를 함께 나타내었다. PCBs의 경우는 WHO에서 1997년에 제안한 12가지 이성질체에 대한 독성동가계수¹⁵를 적용하여 독성 동가치를 계산하였다. PCBs의 TEQ 값은 근로자가 7.32 pg TEQs/g lipid로 일반주민 7.20 TEQs/g lipid에 비해 약간 높았다. 전체 PCBs 농도 평균은 151, 174 ng/g lipid 수준으로 0.8, 1.8 ng/g lipid 수준인 (Table 4) 전체 PCDD/Fs 농도 평균에 비해 상당히 고농도로 존재하고 있음을 알 수 있다. 근로자와 일반주민간의 상대적인 차이는 PCDD/Fs의 경우보다는 작지만 근로자가 높았다. PCBs의 주된 오염원으로는 1930년대 이후 대량 생산되어 사용된 Aroclor류의 상품들이다. 그러나 1970년대 후반부터 국내 및 세계적으로 생산 및 사용이 금지되어 있어 환경중의 수준은 점점 감소하는 추세이다.¹⁶ 소각과정에서의 PCBs 생성에 관한 보고가 있지만 이 수준은 대량으로 사용되었던 PCBs 상품에 의한 오염과 비교하면 매우 낮은 수준이다. 본 혈액 시료에서의

Table 5. PCB concentrations in human blood

PCBs congeners	TEFs	Workers (n=10)		Residents (n=10)	
		Mean (95% C.I.) pg/g lipid; ppt	pg TEQs /g lipid	Mean (95% C.I.) pg/g lipid; ppt	pg TEQs /g lipid
3,3',4,4'-TeCB (77)	0.0001	213.5 (ND-437.5)	0.02	133.8 (56.0-211.6)	0.01
3,4,4',5-TeCB (81)	0.0001	16.4 (4.5-28.2)	0.00	17.2 (7.0-27.4)	0.00
3,3',4,4',5-PeCB (126)	0.1	44.8 (31.3-58.4)	4.48	43.9 (36.0-51.8)	4.39
3,3',4,4',5,5'-HxCB (169)	0.01	41.8 (31.8-51.7)	0.42	38.8 (26.1-51.5)	0.39
2,3,3',4,4'-PeCB (105)	0.0001	1,846.6 (1210.0-2483.1)	0.18	2,140.2 (1573.0-2707.4)	0.21
2,3,4,4',5-PeCB (114)	0.0005	302.3 (220.7-383.8)	0.15	397.4 (167.4-627.5)	0.20
2,3',4,4',5-PeCB (118)	0.0001	6,702.7 (4592.0-8813.3)	0.67	7,326.5 (5180.5-9472.6)	0.73
2',3,4,4',5-PeCB (123)	0.0001	180.6 (119.6-241.6)	0.02	179.2 (103.1-255.2)	0.02
2,3,3',4,4',5-HxCB (156)	0.0005	2,090.2 (1528.5-2651.9)	1.05	1,923.4 (951.5-2895.4)	0.96
2,3,3',4,4',5'-HxCB (157)	0.0005	582.2 (428.5-735.9)	0.29	543.6 (317.7-769.5)	0.27
2,3',4,4',5,5'-HxCB (167)	0.00001	627.9 (455.4-800.3)	0.01	553.1 (349.7-756.5)	0.01
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (189)	0.0001	285.9 (209.6-362.1)	0.03	84.7 (59.4-109.9)	0.01
Total TEQs			7.32		7.20
Total PCBs (ng/g lipid)		174.1 (102.6-245.5)		151.0 (118.2-183.9)	

PCBs 농도는 외국의 경우¹⁷와 비교해 볼 때 일반 배경농도에 해당된다. 이와 같은 상황을 종합해 볼 때, 본 혈액시료에서의 PCBs 오염은 배경농출에 기인한 수준으로 여겨진다.

3.5. 다이옥신 유사물질의 1일 섭취량

1997년 세계보건기구(WHO)에서는 인체의 PCDD/Fs 배경 폭로 양을 10-30 pg I-TEQ/g lipid로 제시하였다. 본 연구의 혈액 분석 결과는 40.26 pg I-TEQ/g lipid(근로자 평균)와 16.62 pg I-TEQ/g lipid(일반주민 평균)로 근로자의 경우 WHO에서 권장하는 배경 폭로 양의 범주보다 다소 높음을 알 수 있다.

한편, 혈중 지방에 함유되어있는 PCDD/Fs는 체내에서 각 장기로 이동되므로 지방량으로 보정된 혈중 PCDD/Fs 농도를 이용하면 다음 식을 통해 인체 부하량(Body Burden)을 산출할 수 있다.

Body Burden (ng TEQ/kg bw)

$$= C_{\text{blood}} (\text{ppt TEQ, lipid}) \times fI$$

C_{blood} (ppt TEQ, lipid): concentration in blood

fI : percentage of body fat¹⁸

$$\text{males} : fI = 1.264 \times \{\text{weight (kg)}/\text{height}^2 (\text{m}^2)\}$$

$$- 13.305$$

$$\text{females} : fI = 1.030 \times \{\text{weight (kg)}/\text{height}^{1.5} (\text{m}^{1.5})\}$$

$$- 0.835$$

위의 식에 위에서 구한 인체 부하량을 1998년 WHO 보고서¹⁹에서 적용한 다음 식에 적용하여 PCDD/Fs 1일 섭취량(estimated daily intake : EDI)을 산출할 수 있다.

Under steady state condition, Intake (ng/kg bw/day)

$$= \text{Body Burden (ng/kg)} \times \{\ln(2)/\text{half-life}\}/f$$

an estimated half-life for TCDD: 7.5 years

Table 6. Estimated body burden and daily intake of PCDD/Fs and PCBs

Sample	age	sex	weight (kg)	PCDD/Fs		PCBs	
				body burden (ng I-TEQ/ kg bw)	daily intake (pg I-TEQ/ kg bw/day)	body burden (ng I-TEQ/ kg bw)	daily intake (pg I-TEQ/ kg bw/day)
W-1	46	m	58	16.44	8.33	2.19	1.11
W-2	43	m	65	15.56	7.88	3.63	1.84
W-3	29	m	68	3.64	1.84	1.13	0.57
W-4	34	m	63	16.41	8.31	2.45	1.24
W-5	25	m	60	17.27	8.75	1.49	0.75
W-6	32	m	73	3.96	2.01	1.30	0.66
W-7	39	m	54	2.98	1.51	0.89	0.45
W-8	29	m	77	8.19	4.15	1.41	0.71
W-9	23	f	50	10.81	5.48	1.84	0.93
W-10	43	m	80	11.10	5.62	3.75	1.90
mean (SD)	34 (8)		65 (10)	10.64 (5.71)	5.39 (2.89)	2.01 (1.00)	1.02 (0.51)
R-1	32	f	49	7.06	3.58	2.85	1.44
R-2	42	f	49	17.52	8.87	3.31	1.68
R-3	35	f	47	8.78	4.45	2.73	1.38
R-4	38	f	53	3.86	1.96	4.51	2.28
R-5	38	f	50	8.33	4.22	6.25	3.16
R-6	41	m	58	4.17	2.11	0.99	0.50
R-7	39	f	55	5.80	2.94	2.70	1.37
R-8	39	f	64	5.84	2.96	3.73	1.89
R-9	40	f	58	6.27	3.18	3.25	1.65
R-10	37	f	57	8.70	4.41	3.93	1.99
mean (SD)	38 (3)		54 (5)	7.63 (3.88)	3.87 (1.97)	3.43 (1.36)	1.73 (0.69)

f: the fraction of dose absorbed and is assumed to be 50% for absorption from food for human

계산된 PCDD/Fs 인체부하량(ng I-TEQ/kg bw)과 1일 섭취량($\text{pg I-TEQ/kg bw/day}$)을 근로자(W)와 일반주민(R) 각각의 나이, 성별, 체중, 자료와 함께 Table 6에 나타내었다. 1990년 WHO에서는 PCDD/Fs 1일 허용섭취량(TDI)을 $10 \text{ pg I-TEQ/kg bw/day}$ 수준으로 규제할 것을 권장하였으나 1997년에 이를 $1\text{-}4 \text{ pg I-TEQ/kg bw/day}$ 수준으로 낮추어 제안하였다. Table 6의 결과를 보면 근로자의 평균 1일 섭취량($5.39 \text{ pg I-TEQ/kg bw/day}$)은 일반주민의 평균값($3.87 \text{ pg I-TEQ/kg bw/day}$)보다 약 1.4배 높다. 그리고 20명 모두 1990년도에 세계보건기구에서 제안했던 $10 \text{ pg I-TEQ/kg bw/day}$ 이내에 해당되지만 단지 9명만이 1997년에 제시된 권장 범위를 만족하고 있다.

Table 6에는 PCDD/Fs 뿐만 아니라 PCBs의 TEQs 값으로도 1일 섭취량을 산출하였다. 비록 PCBs가 다이옥신류의 1일 섭취량에 기여하는 정도는 근로자 평균 16% (8-25%)이고 일반주민 평균 31% (16-54%)이고, R-4를 제외하고는 대부분 PCDD/Fs에 비해 낮은 수준으로 기여하고 있지만 다이옥신의 1일 섭취량을 산출할 때 다이옥신과 유사특성을 나타내는 PCBs도 고려해야 할 것이다.

4. 결 론

시화공단 지역에 거주하는 근로자와 일반주민의 혈액시료에서 모든 동족체 및 이성질체에 대한 PCDD/Fs 및 PCBs를 HRGC/HRMS를 이용하여 분석하였다.

독성을 갖는 17가지 PCDD/Fs 이성질체의 평균 농도(pg/g lipid)는 근로자의 경우가 일반주민 농도의 최저 1.3배에서 최대 20배로 높게 나타났다. 전체 PCDD/Fs 동족체의 평균 농도 또한 근로자의 경우가 최저 1.1배에서 최대 6.9배 높게 나타났다.

두 집단간의 농도가 차이 나는 원인을 고찰하기 위해, 첫째로 각 동족체에서 2,3,7,8-congeners의 함유율을 비교해 보았다. 일반적으로 먹이사슬의 상위로 갈수록 생체시료에서는 주로 2,3,7,8-congeners들만 검출된다. 그런데 근로자의 경우 상대적으로 낮은 2,3,7,8-congeners의 함유율을 보였다. 둘째로, 주성분 분석 방법을 이용하여 2,3,7,8-congeners의 분포 특

성에 따른 차이를 고찰하였다. 독성을 갖는 PCDD/Fs 이성질체의 분포와 설문조사를 근거로 해당 사람들과의 관계를 살펴보았다. 전체변동의 36.8%에 해당하는 첫 번째 주성분에 의해 크게 남성과 여성 혹은 근로자와 일반주민으로 구분되었다. 이성질체의 분포는 서로 크게 구별되지는 않았지만 집단 II에 해당하는 사람들이 OCDD가 주된 분포를 보인 반면, 집단 I, III에 해당하는 사람들은 OCDD 분포가 상대적으로 낮아지고 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,7,8,9-HxCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF가 비교적 높아진 분포를 보였다. 한편, 첫 번째 주성분에 대해 큰 양의 값을 갖는 사람일수록 흡연정도와 양의 상관관계를 보였다. PCDD/Fs의 주된 생성원이 되는 소각장의 배기ガ스 및 비산재와 국내에서 시판되는 식품류에서 보고된 2,3,7,8-congeners의 분포와 혈액시료에서의 이성질체 분포를 주성분분석을 통해 고찰한 결과, 본 연구의 혈액시료에서 PCDD/Fs 분포는 생성원의 분포와는 구별되면서 식품류와 비슷한 분포를 보였다. 그러므로 2,3,7,8-congeners의 농도차이는 음식물 섭취 정도에 기인된 것이 주된 것으로 고려된다. 그러나 2,3,7,8-congeners 분포가 일반주민과 근로자 모두 식품류와 유사하게 나타났지만 근로자 집단의 상대적으로 낮은 2,3,7,8-congeners 함량을 고려할 때 두 집단의 농도차이의 원인을 보다 정확히 규명하기 위해서는 2,3,7,8-congeners 이외의 다른 이성질체에 대한 고찰이 요구된다. 또한 일반주민 10명 중 9명이 기혼 여성이고, 근로자 10명 중 9명이 남성이므로 여성의 출산 및 수유를 통한 배출 정도에 대한 연구가 앞으로 필요하겠다.

마지막으로 혈중 지방량으로 보정된 PCDD/Fs 및 PCBs 농도를 이용하여 인체 부하량 및 1일 섭취량을 계산하였다. 계산 결과 전체 대상자의 45%만이 1997년 WHO에서 제시한 $1\text{-}4 \text{ pg I-TEQ/kg bw/day}$ 의 허용범주를 만족하였다.

감사의 글

본 연구는 환경부 주관 국립환경연구원의 G-7 프로젝트(내분비계 장애물질의 검색법 개발) 2차년도 사업의 일환으로 수행되었습니다. 혈액시료채취는 연세대학교 신동천 교수님이 도움을 주셨습니다.

참고문헌

1. M. Hansson, T. Grimstad and C. Rappe, *Occup. Environ. Med.*, **52**, 823 (1995).
2. S. Kumagai, S. Koda, T. Miyakita, H. Yamaguchi, K. Katagi and N. Yasuda, *Occup. Environ. Med.*, **57**, 204 (2000).
3. O. Päpke, M. Ball and A. Lis, *Chemosphere*, **25**(7-10), 1101 (1992).
4. A. Tepper, S. Burt, L. Piacitelli and D. G. Patterson, Jr., *Chemosphere*, **34**(5-7), 1587 (1997).
5. T. Iida, H. Hirakawa, T. Matsueda, J. Nagayama and T. Nagata, *Chemosphere*, **38**(12), 2767 (1999).
6. U. Ewers, J. Wittsiepe, P. Schrey and F. Selenka, *Toxicol. Lett.*, **88**, 327 (1996).
7. D. Flesch-Janys, H. Becher, P. Gurn, D. Jung, J. Konietzko, A. Manz and O. Päpke, *J. Toxicol. Environ.*, **47**, 363 (1996).
8. F. Pollitt, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **30**, S63 (1999).
9. 양윤희, 장윤석, 김병훈, 양지연, 신동천, *분석과학*, **13**(4), 520 (2000).
10. S. Wold, *Technometrics*, **20**, 397 (1987).
11. J. E. Oh, K. T. Lee, J. W. Lee and Y. S. Chang, *Chemosphere*, **38**(9), 2097 (1999).
12. K. J. Shin and Y. S. Chang, *Chemosphere*, **38**(11), 2655 (1999).
13. 김종국, 김경심, 이병호, *한국환경분석학회지*, **2**(3), 167 (1999).
14. F. W. Kutz, D. G. Barnes, E. W. Bretthauer, D. P. Bottimore and H. Greim, *Toxicol. Environ. Chem.*, **26**, 99 (1990).
15. M. V. den Berg, L. Birnbaum, A. T. C. Bosveld, B. Brunström, P. Cook, M. Feeley, 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. Tillitt, M. Tysklind, M. Younes, F. Wærn and T. Zacharewski, *Environ. Health Perspect.*, **106**(12), 775 (1998).
16. R. J. Fensterheim, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **18**(2), 181 (1993).
17. A. K. D. Liem, U. G. Ahlborg, H. Beck, F. Haschke, M. Nygren, M. Younes and E. Yrjänheikki, *Organohalogen Comp.*, **30**, 268 (1996).
18. J. J. Knapik, R. L. Burse and J. A. Vogel, *Aviat. Space Environ. Med.*, **54**, 223 (1983).
19. WHO European Centre for Environment and Health International Programme on Chemical Safety, Assessment of the health risk of dioxins: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI), Executive Summary, WHO consultation, May 25-29, Switzerland (1998).