한국환경보건학회지, 제38권 제2호(2012)
J Environ Health Sci, 2012: 38(2): 105-117

http://dx.doi.org/10.5668/JEHS.2012.38.2.105
[원 저]

한국인의 혈 중 PFOA와 PFOS 농도와 노출요인

서춘희 · 이채관† · 이소룡 · 박미희 · 이종태 · 손병철 · 김정호 · 김건형
인제대학교 의과대학 직업환경의학교실 & 환경 · 산업의학연구소

Concentration of PFOA and PFOS in Whole Blood and Factors Controlling Their Exposure Among Koreans

Chunhui Suh, Chae Kwan Lee†, So-Ryong Lee, Mi Hee Park, Jong Tae Lee, Byung Chul Son, Jeong Ho Kim, and Kunhyung Kim

Department of Occupational and Environmental Medicine & Institute of Environmental and Occupational Medicine, Pusan Paik Hospital, Inje University, Pusan, Korea

ABSTRACT

Objectives: This study aimed to assess the concentration of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonate (PFOS) in blood and factors controlling their exposure among Koreans.

Methods: Study subjects were selected to include 718 members of the general population residing in five metropolitan cities and the Gangwon Province area from August 2008 to January 2009. A questionnaire was administered to investigate lifestyle, socio-demographic characteristics, and other related factors. Blood samples were collected and extracted using solid-phase extraction and anion-exchange methods, and quantified by high-performance liquid chromatograph (HPLC, Agilent 1200 Series) coupled with a Triple Quad LC-MS/MS system (Agilent 6410).

Results: Geometric mean concentrations of PFOA and PFOS in the blood were measured as 1.82 and 6.06 ng/m*l*, respectively. Mean PFOA and PFOS concentrations generally increased with age in both genders. Blood PFOA concentration was significantly different according to such variables as age, family income, residential district, and province. Blood PFOS concentration was significantly different by such variables as gender, age, lifestyle factors such as regular exercise, alcohol consumption, and smoking status. Also, family income, hazardous facilities, job classification, and province contributed significantly to differences in blood PFOS concentration levels.

Conclusions: Blood PFOA and PFOS concentrations in Koreans were similar with those found in Japan, the USA, and Germany, but less than those in Australia. PFOA and PFOS exposure seems to be affected by a variety of factors in Korea. Therefore, investigation is required for each factor to assess the relative contribution of different variables.

Keywords: perfluorooctanoic acid, perfluorooctane sulfonate, blood concentration, exposure control factors

I. 서 론

Perfluorinated compounds(PFCs)란 산업용 재료를 생산 또는 사용하는 과정에서 불소계 화합물의 합성이나 분해 시 생성되는 화합물 군이다. 다른 물질과 잘 들러붙지 않는 특성을 이용하여 화학, 자동차, 전

†**Corresponding author:** Department of Occupational and Environmental Medicine & Institute of Environmental and Occupational Medicine, Pusan Paik Hospital, Inje University, Pusan 614-735, Korea, Tel: +82-51-890-6160, Fax: +82-51-895-1323, E-mail: lck3303@daum.net
Received: 26 March 2012, Revised: 30 March 2012, Accepted: 12 April 2012

자, 섬유, 건축 등 산업에서 사용하고 있으며 생활용품으로는 프라이팬, 종이컵 등 음식용기제조 등에 사용하고 있다.[1] PFCs를 포함하는 대표적인 합성수지로는 1938년 개발된 테플론이 있으며 이후 지속적으로 사용분야가 다각화 되고 제품의 종류와 사용량이 증가하였다.[2,3] PFCs는 미생물에 의한 분해 또는 자연 분해가 어렵고 환경잔류성이 강해 생활하수, 산업폐수 및 폐기물의 처리과정에서 잔류하며, 대기와 토양으로 일차 오염되면 이어서 생태계를 순환하며 지속적으로 축적된다.[4] 1990년대 이후 PFCs의 환경오염과 인체노출 및 안전성에 관한 논란이 대두되었다. 지금까지 알려진 PFCs는 perfluorooctanoic acid(PFOA), perfluorooctane sulfonate(PFOS)를 포함하여 10여 가지가 있다. 이 중 PFOS는 2009년 스톡홀름협약에서 잔류성유기오염물질(persistent organic pollutants)로 분류하였다.

사람에서 PFCs의 대표적인 노출경로는 상수원과 직업적 노출이다. 미국의 3M 공장 인접지역과 같이 오염지역의 상수원에 의한 노출은 대표적인 집단노출의 원인으로 알려졌다.[5,6] 이 후 여러 지역에서 상수원의 오염 정도와 지역주민의 혈 중 농도에 관한 연구를 수행하였다.[7] 직업적 노출은 대표적인 고농도 PFCs 노출경로 중 하나이다. 그러나 PFCs 유통 및 사용경로는 매우 복잡하여 취급업종 및 발생공정에 관한 추적이 쉽지 않다.[5,6] 그 외 노출 경로로는 거주지 주변의 환경유해시설, 흡연, 음주, 운동 등 생활습관과 식습관, 월수입 등의 사회인구학적특성 그리고 주방기구, 음식용기 등 생활용품 등으로 추정하고 있다.[8,9] 그 외에 PFCs가 어떤 경로로 환경에 유출되는지, 그리고 일반인들이 환경으로부터 어떤 경로로 PFCs에 노출되는지는 아직 명확하지 않다. 미국의 Environmental Protection Agency(EPA) 등에서는 PFCs를 포함하고 있는 제품의 소각 및 노후화에 의한 유출, 그리고 PFCs의 잠재적 발생원인 telomer의 자연분해 등을 주요한 원인으로 추정하고 있으며 음식물을 통한 인체노출 가능성 등에 대하여도 연구가 진행 중이다.

PFCs의 노출실태 및 노출기여요인에 관한 조사는 외국의 경우 2000년대 초부터 PFCs 오염지역을 중심으로 시작하였으며,[6,10] 이 후 일반국민들의 노출실태에 대한 조사도 수행하였다.[11,12] 우리나라에서도 근로자들의 직업적 노출에 대한 조사를[13,14] 시작으로 2009년부터는 일반국민들의 노출실태와 노출원에 대한 조사를 수행하였다.[15,16] 본 연구는 위와 같은 조사의 일환으로 서울, 대전, 광주, 대구, 부산, 그리고 강원도 등 6개 지역의 주민들을 대상으로 우리나라 사람의 혈 중 PFOA와 PFOS 농도현황과 특성, 그리고 주요한 노출기여요인을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사기간 및 조사대상

조사기간은 2008년 8월부터 2009년 1월까지였으며, 조사대상은 서울, 대전, 광주, 대구, 부산 그리고 강원 등 6개 지역에 대하여 120명 씩 총 720명을 섭외하였으며, 이들 중 시료가 누락된 2명을 제외한 총 718명이었다. 설문조사는 연구취지를 설명하고 동의한 사람을 대상으로 교육받은 조사원이 1:1 문답식으로 수행하였다. 설문지의 내용은 인적사항과 생활습관, 사회인구학적특성, 직업력, 식습관 등을 포함하였다. 시료는 전혈을 EDTA tube에 5 m*l* 채취하였으며, 분석 전까지 –20°C에 보관하였다. 본 연구는 인제대학교 기관생명윤리 심의위원회(Institutional review boards, IRB)의 승인을 받았다.

2. PFCs 분석

1) 시료관리 및 전처리

분석은 Karrman 등의 방법[17]을 근간으로 수행하였다. 0.5 m*l*의 혈액에 내부표준물질(1,2-$^{13}C_2$-PFOA와 1,2,3,4-$^{13}C_4$-PFOS: Wellington laboratories Inc., Guelph, ON, Canada)과 2 m*l* formic acid(Merck, Darmstadt, Germany)/water(1:1)를 가한 후 15분간 초음파 처리하고 30분간 원심분리(10,000 g)하였다. 상층액에서 solide-phase extraction(SPE: Sep=Pak, Waters, Ireland)과 anion-exchange(SAX: Isolute, Biotage) 과정을 통해 PFCs를 추출한 후 N_2 evaporator를 사용해 50°C에서 증발·건조시켰다. 잔사를 이동상(150 μ*l*)에 녹인(3 분간 vortexing) 후 원심분리 (10,000 g, 3 분))하여 상층액을 LC-MS/MS ((HPLC, Agilent 1200 series coupled with an Triple Quad LC-MS/MS system: Agilent 6410)에 주입하였다. LC-MS/MS의 운영조건은 Table 1과 같다.

Table 1. MRM condition of LC/MS/MS

Parameters		Precursor ion	Product ion	Dwell	Fragmentor	Collision Energy
Blood	PFOA*	413	369	100	100	1
	PFOS†	499	80	100	135	50

*Perfluorooctanoic acid, †perfluorooctane sulfonate

2) 검량선용 표준시료 제조

PFOA와 PFOS(Wellington lab Inc. 345 Guelph, ON, Canada) 그리고 각각의 내부표준물질(MPFOA, MPFOS) 표준시약(Wellington lab Inc. 345 Guelph, ON, Canada)을 메탄올에 각각 녹여 50 μg/m*l* 농도의 표준원액(stock solution)을 만든 후 냉동 보관하였다. 두 저장용액을 혼합한 후 acetonitrile(J. T. Baker, Phillipsburg, NJ, USA)로 단계별로 희석하여 각 시료의 최종 표준용액 농도를 0.1, 1, 5, 20, 50, 200 ng/m*l*로 제조하였다. 혈액희석은 FBS(fetal bovine serum)를 사용하였다. 전처리과정의 solide-phase extraction과 anion-exchange 과정에 사용한 카트리지 각각 10개씩을 blank로 사용하여 추출과 농축과정 중 사용된 시약과 카트리지의 오염을 확인하였다. 실험의 정확도(accuracy)를 평가하기 위하여 임의의 시료에 PFOA와 PFOS를 각각 일정량(PFOA: 2.5 ng/m*l*; PFOS: 8.0 ng/m*l*)을 첨가하여 spike test를 5회 반복 수행하였다. 분석결과에서 시료의 농도를 뺀 결과의 평균값에 대하여 첨가한 값의 비를 구하여 분석의 정확도를 제시하였다. 반복실험에 대한 정밀도(precision)는 정확도 검증에 이용된 각각의 시료를 각각 5회씩 반복 분석한 후 변이계수(Coefficient of variable, CV)로 제시하였다. 정량한계(LOQ: limit of quantitation)는 최저표준용액(0.1 ng/m*l*)과 이를 10배씩 희석한 시료를 제작한 후 5회씩 분석한 후 연구자가 임의로 설정한 정확도(오차범위 15% 이내)와 정밀도(CV 15% 이내)를 만족하는 최저농도로 정하였다(Table 2).

Table 2. Accuracy, precision and limit of quantitation (LOQ)

Parameters	PFOA*	PFOS†
Accuracy (%)	2.36/2.50(94.4)	7.66/8.00(95.8)
Precision (%)	5.3	4.7
LOQ (ng/m*l*)	0.01	0.01
r^2	0.9980	0.9997

*Perfluorooctanoic acid, †perfluorooctane sulfonate

3. 자료 분석

PFOA와 PFOS의 농도가 한쪽으로 치우진 분포를 보여 자연로그로 변환하여 통계분석을 시행하였다. 성별에 따른 PFOA, PFOS 농도 비교에는 t-test를 이용하였고, 연령(20대, 30대, 40대, 50대, 60대, 70대)에 따른 비교에는 분산분석(ANOVA)을 이용하였다. 규칙적 운동유무, 음주습관(무음주, 과거음주, 현재음주), 흡연(무흡연, 과거흡연, 현재흡연), 학력(초등학교이하, 중학교, 고등학교, 대학이상), 결혼상태(미혼, 이혼·사별·별거, 동거, 기혼), 수입(월100만원미만, 월100만원이상 300만원미만, 월300만원이상), 직업(관리자·전문가 및 관련종사자·사무종사자, 서비스종사자·판매종사자, 농림어업숙련종사자·기능원 및 관련기능종사자·장치기계조작 및 조립종사자·단순노무종사자, 군인·전업주부·무직·기타), 폐기물소각장, 폐기물매립장·공장 등 집근처 유해시설 유무, 선호음식(채식, 육류, 해산물, 알류, 기타), 거주지(농어촌, 도시, 공단), 지역(강원, 서울, 대전, 광주, 대구, 부산)에 따른 비교에서는 연령과 성을 보정하여 공분산분석(ANCOVA)을 시행하였다. 모든 통계량의 유의 수준은 0.05 이하로 하였으며, 통계 분석은 SPSS(Version 19K for Windows)를 사용하였다.

III. 결 과

1. 평균농도 및 연령과 성에 따른 혈 중 PFOA와 PFOS 농도

조사대상자 718명의 기술통계분석 결과는 Table 3과 같다. 혈 중 PFOA의 기하평균은 1.82 ng/m*l* PFOS의 기하평균은 6.06 ng/m*l*이었다. PFOA와 PFOS 두 물질 모두 20대에서 50대까지는 연령이 증가함에 따라 혈중 농도가 증가하였으나 60대 부터는 감소하였고 연령에 따라 유의한 차이가 있었다($p<0.001$). 성에 따른 PFOA 농도는 남성과 여성 간 유의한 차이는 없었다. 그러나 PFOS의 경우 여성에 비해 남

Table 3. Descriptive statistics of six province's residents (n=718) (ng/m*l*)

Variable	No	*Geometric mean of PFOA (95% CI)	*Geometric mean of PFOS (95% CI)
Blood PFOA	718	1.82 (1.74-1.90)	
Blood PFOS	718		6.06 (5.81-6.29)
Gender		p=0.693	p=0.025
Male	229	1.79 (1.66-1.94)	6.47 (6.01-6.96)
Female	489	1.83 (1.74-1.93)	5.86 (5.59-6.15)
Age (years)		p<0.001	p<0.001
20 - 29	50	1.40 (1.23-1.59)	3.36 (2.99-3.78)
30 - 39	84	1.51 (1.34-1.70)	4.45 (3.98-4.98)
40 - 49	125	1.71 (1.55-1.88)	5.47 (5.04-5.94)
50 - 59	160	2.10 (1.93-2.29)	7.34 (6.80-7.93)
60 - 69	158	2.06 (1.86-2.28)	7.33 (6.72-8.00)
70 - 89	141	1.75 (1.60-1.91)	6.33 (5.85-6.86)
Regular exercising			
No	345	1.72 (1.62-1.83)	5.55 (5.22-5.90)
Yes	372	1.92 (1.81-2.03)	6.56 (6.23-6.91)
Alcohol consumption			
Nondrinker	432	1.81 (1.71-1.91)	6.14 (5.84-6.45)
Past drinkerr	28	1.56 (1.29-1.89)	4.70 (4.04-5.48)
Current drinker	258	1.88 (1.75-2.02)	6.08 (5.66-6.54)
Smoking status			
Nonsmoker	551	1.84 (1.75-1.93)	6.16 (5.89-6.44)
Past smoker	69	1.78 (1.57-2.03)	6.41 (5.56-7.39)
Current smoker	97	1.76 (1.56-1.98)	5.26 (4.67-5.92)
Scholarship			
Illiteracy or elementary school	50	1.67 (1.41-1.98)	6.29 (5.41-7.31)
Middle school	465	1.94 (1.84-2.05)	6.49 (6.19-6.81)
High school	42	1.44 (1.23-1.67)	4.40 (3.73-5.18)
College or higher	129	1.68 (1.53-1.86)	5.73 (5.23-6.28)
Marital status			
Unmarried	54	1.53 (1.34-.74)	3.60 (3.17-4.09)
Divorce, separation, bereavment	103	1.85 (1.66-.07)	6.15 (5.56-6.80)
Cohabitation	15	2.11 (1.48-.01)	7.42 (5.16-10.66)
Married	545	1.84 (1.75-.93)	6.32 (6.04-6.61)
Income/a month (₩)			
<1,000,000	228	1.74 (1.60-.88)	6.07(5.66-6.50)
1,000,000-3,000,000	253	1.88 (1.75-.01)	6.17 (5.77-6.61)
3,000,000<	136	1.72 (1.58-.87)	5.67 (5.15-6.24)

Table 3. Continued

Variable		No	*Geometric mean of PFOA (95% CI)	*Geometric mean of PFOS (95% CI)
Residential district				
Farming or fishing		129	1.50 (1.36-.66)	6.12 (5.47-6.84)
Urbane		537	1.88 (1.80-.98)	5.98 (5.73-6.25)
Industrial complex		50	2.02 (1.71-.38)	6.55 (5.42-7.91)
Hazardous facilities				
Incineration plant	No	709	1.82 (1.74-.89)	6.01 (5.77-6.26)
	Yes	10	2.13 (1.59-.87)	9.34 (5.89-14.80)
Waste landfill	No	707	1.82 (1.74-.90)	6.01 (5.77-6.25)
	Yes	12	1.96 (1.42-.70)	8.82 (6.32-12.32)
Industrial area	No	669	1.81 (1.74-.90)	5.94 (5.71-6.19)
	Yes	50	1.90 (1.64-.20)	7.58 (6.44-8.91)
Favorite food types				
Vegetables		497	1.85 (1.76-.96)	6.33 (6.05-6.63)
Meats		102	1.70 (1.54-.87)	5.19 (4.62-5.83)
Fishes		56	1.82 (1.57-.10)	6.46 (5.52-7.56)
Eggs		18	1.46 (1.15-.87)	4.52 (3.63-5.62)
Others		41	1.95 (1.61-.36)	5.46 (4.51-6.61)
Province				
Gangwon area		119	1.16 (1.08-.24)	4.72 (4.43-5.16)
Seoul area		123	1.58 (1.46-.71)	6.24 (5.73-6.79)
Daejeon area		118	1.65 (1.48-.84)	6.27 (5.66-6.95)
Gwangju area		120	1.63 (1.50-.78)	6.55 (5.85-7.32)
Daegu area		118	2.04 (1.90-.19)	5.49 (5.02-6.01)
Busan area		121	3.58 (3.29-.89)	7.31 (6.64-8.06)
Job classification				
Management		35	1.94 (1.61-.34)	6.67 (5.64-7.90)
Professionals		63	1.56 (1.37-.77)	5.50 (4.79-6.31)
Clerks		21	1.67 (1.33-.09)	6.35 (4.55-8.85)
Service workers		39	1.99 (1.58-.51)	5.30 (4.43-6.34)
Sale workers		34	2.02 (1.62-.52)	6.08 (5.19-7.13)
Skilled agricultural, forestry and fishery workers		31	2.18 (1.70-.78)	9.50 (7.49-12.05)
Craft and related trades workers		12	1.81 (1.36-.41)	5.20 (3.88-6.95)
Plant, machine operators and assemblers		9	1.82 (1.14-.91)	6.84 (5.29-8.84)
Elementary occupations		61	1.60 (1.38-.86)	5.91 (5.17-6.75)
Armed forces		3	1.83 (0.52-.52)	6.39 (2.61-15.67)
House holder		238	1.86 (1.73-.00)	6.12 (5.72-6.55)
Unoccupation		134	1.89 (1.71-.09)	6.31 (5.76-6.91)
Others		37	1.60 (1.33-.92)	4.23 (3.58-4.99)

Age: p value using ANOVA, Gender: p value using t-test

성에서 유의하게 높았다(p=0.025). 그 외 생활습관, 사회인구학적특성, 거주지특성에 따른 결과와 6개 지역별 결과는 성과 연령을 보정하여 분석하였다.

2. 생활습관, 사회인구학적특성에 따른 혈 중 PFOA와 PFOS 농도

성과 연령을 보정한 생활습관, 사회인구학적특성에 따른 혈 중 PFOA와 PFOS 농도는 Table 4와 같다. 생활습관 중 규칙적인 운동을 하는 군이 운동을 하지 않는 군에 비하여 혈 중 PFOA와 PFOS의 농도가 높았으며 PFOS는 유의한 차이를 나타내었다(p=0.009). 음주의 경우 두 물질 모두 현재음주군에서 가장 높았고 과거음주군에서 가장 낮았으며 PFOS는 유의한 차이를 나타내었다(p=0.008). 흡연의 경우 두 물질 모두 무흡연, 과거흡연, 현재흡연 순으로 노출량이 많을수록 혈 중 농도는 낮아지는 경향을 보였으며 PFOS는 군간 유의한 차이를 보였다(p<0.001). 학력수준과 혼인상황에 따른 혈중 농도는 두 물질 모두 군간 차이가 없었다. 그러나 월수입에 따라서는 두 물질 모두 수입 증가에 따라 혈 중 농도가 유의하게 증가하였다(PFOA: p=0.013, PFOS: p<0.001).

3. 거주지역과 주변의 유해시설 유, 무에 따른 혈 중 PFOA와 PFOS 농도

거주지역(residental districts) 별 농도는 두 물질 모두 산업단지에 위치한 경우 가장 높았으며 도시, 농

Table 4. Adjusted blood PFOA and PFOS concentration according to life style, socio-demographic characteristics (ng/m*l*)

Variables	N	*Geometric mean of PFOA (95% CI)		p	*Geometric mean of PFOS (95% CI)		p
Regular exercising				0.124			0.009
No	345	1.68	(1.58-1.79)		5.36	(5.07-5.67)	
Yes	372	1.79	(1.68-1.91)		5.92	(5.60-6.26)	
Alcohol consumption				0.058			0.008
Nondrinker	432	1.67	(1.57-1.79)		5.65	(5.33-5.98)	
Past drinker	28	1.49	(1.21-1.84)		4.26	(3.54-5.11)	
Current drinker	258	1.84	(1.71-1.97)		5.79	(5.44-6.15)	
Smoking status				0.915			<0.001
Nonsmoker	551	1.75	(1.64-1.86)		6.05	(5.73-6.38)	
Past smoker	69	1.70	(1.47-1.96)		5.29	(4.68-5.99)	
Current smoker	97	1.71	(1.52-1.92)		4.62	(4.17-5.12)	
Scholarship				0.248			0.219
Illiteracy or elementary school	50	1.56	(1.30-1.86)		5.38	(4.61-6.27)	
Middle school	465	1.78	(1.65-1.91)		5.57	(5.23-5.94)	
High school	42	1.54	(1.28-1.84)		5.14	(4.39-6.01)	
College or higher	129	1.73	(1.56-1.91)		6.04	(5.53-6.59)	
Marital status				0.649			0.411
Unmarried	54	1.96	(1.56-2.45)		5.05	(4.15-6.14)	
Divorce, separation, bereavment	103	1.67	(1.45-1.91)		5.43	(4.82-6.11)	
Cohabitation	15	1.86	(1.39-2.50)		6.15	(4.76-7.94)	
Married	545	1.69	(1.59-1.81)		5.79	(5.46-6.13)	
Income/a month (₩)				0.013			<0.001
<1,000,000	228	1.54	(1.41-1.69)		4.92	(4.54-5.32)	
1,000,000-3,000,000	253	1.83	(1.70-1.97)		5.99	(5.62-6.38)	
3,000,000<	136	1.77	(1.60-1.95)		6.00	(5.50-6.54)	

*by ANCOVA adjusted for age and gender

어촌의 순이었으며, PFOA는 군간 유의한 차이를 나타내었다(p<0.001). 거주지를 중심으로 반경 2 km 이내에 폐기물소각장, 폐기물매립장 또는 공장 등 유해시설이 있는 경우가 없는 경우에 비하여 두 물질 모두 혈 중 농도가 높았으며 PFOS의 경우는 3가지 유해시설 유, 무 군간 유의한 차이를 나타내었다. 그리고 3가지의 유해시설 중 폐기물소각장의 유, 무에 따른 혈 중 농도 차이가 두 물질 모두 가장 크게 나타났다(Table 5).

4. 선호식품 종류에 따른 혈 중 PFOA와 PFOS 농도

선호하는 음식의 종류에 따른 혈 중 PFOA의 농도는 기타 선호군에서 가장 높았으며 생선류와 육류 선호군의 순이었다. PFOS의 경우 생선류 선호군이 가장 높았다. 그러나 두 물질 모두 선호식품 종류에 따라서는 군간 유의한 차이는 없었다(Table 6).

5. 지역(Province)별 혈 중 PFOA와 PFOS 농도

6개 지역별 조사대상자들의 혈 중 PFOA와 PFOS 농도는 두 물질 모두 유의한 차이를 나타내었다 (p<0.001). PFOA의 경우 부산지역이 가장 높았으며 대구지역, 광주지역의 순이었으며 강원도가 가장 낮았다. PFOS의 경우도 부산지역이 가장 높았으며 광주지역, 서울지역의 순이었으며 강원도가 가장 낮았

Table 5. Adjusted blood PFOA and PFOS concentration according to the residential district (ng/m*l*)

Variables	N	*Geometric mean of PFOA (95% CI)		p	*Geometric mean of PFOS (95% CI)		p
Residential district				<0.001			0.366
Farming or fishing	129	1.38	(1.24-1.53)		5.41	(4.93-5.92)	
Urban	537	1.79	(1.71-1.89)		5.63	(5.38-5.89)	
Industrial complex	50	1.89	(1.62-2.22)		6.08	(5.29-6.99)	
†Hazardous facilities							
Incineration plant				0.395			0.012
No	709	1.73	(1.65-1.81)		5.59	(5.36-5.83)	
Yes	10	2.02	(1.42-2.87)		8.32	(6.13-11.31)	
Waste landfill				0.863			0.050
No	707	1.73	(1.65-1.82)		5.61	(5.38-5.85)	
Yes	12	1.78	(1.29-2.47)		7.39	(5.58-9.81)	
Factory				0.683			0.001
No	669	1.73	(1.65-1.82)		5.54	(5.31-5.78)	
Yes	50	1.79	(1.53-2.10)		7.07	(6.15-8.12)	

*by ANCOVA adjusted for age and gender
†Within 2 km from home

Table 6. Adjusted blood PFOA and PFOS concentration according to favorite food types (ng/m*l*)

Favorite food types	N	*Geometric mean of PFOA (95% CI)		p	*Geometric mean of PFOS (95% CI)		p
				0.822			0.601
Vegetables	497	1.72	(1.61-1.82)		5.65	(5.35-5.95)	
Meats	102	1.76	(1.58-1.97)		5.57	(5.05-6.14)	
Fishes	56	1.79	(1.54-2.08)		6.12	(5.37-6.98)	
Eggs	18	1.60	(1.22-2.09)		5.55	(4.39-7.01)	
Others	41	1.87	(1.57-2.23)		5.18	(4.44-6.04)	

*by ANCOVA adjusted for age and gender

다. PFOA가 PFOS에 비하여 지역 간 농도차가 더 크게 나타났다(Table 7).

6. 직업분류에 따른 혈 중 PFOA와 PFOS 농도

직업분류에 따른 혈중 농도는 한국표준직업분류(통계청)의 13개 직업군(Table 3)을 근로환경의 특성(유사성)에 따라 사무관리직(management, professionals, clerks), 서비스판매직(service workers, sale workers), 농림어업숙련종사자(skilled agricultural, forestry and fishery workers), 기계장치조작 및 단순노무직(craft and related trades workers, plant, machine pperators and assemblers, elementary occupations), 기타(armed forces, house holder, unoccupation, others)군으로 재분류 한 후 연령과 성을 보정하여 분석하였다. PFOA의 경우 농림어업숙련종사자에서 가장 높았고 서비스판매직 순이었으며 기계장치조작 및 단순노무직에

Table 7. Adjusted blood PFOA and PFOS concentration of six province (ng/m*l*)

Province	N	*Geometric mean of PFOA (95% CI)		p	*Geometric mean of PFOS (95% CI)		p
				<0.001			<0.001
Gangwon area	119	1.07	(0.98-1.16)		4.03	(3.69-4.40)	
Seoul area	123	1.52	(1.41-1.65)		5.89	(5.42-6.41)	
Daejeon area	118	1.60	(1.47-1.74)		5.98	(5.49-6.53)	
Gwangju area	120	1.62	(1.49-1.76)		6.55	(6.02-7.13)	
Daegu area	118	1.90	(1.74-2.08)		4.85	(4.43-5.31)	
Busan area	121	3.38	(3.11-3.68)		6.69	(6.14-7.29)	

*by ANCOVA adjusted for age and gender

Table 8. Adjusted blood PFOA and PFOS concentration by job classification (ng/m*l*)

Job classification	N	*Geometric mean of PFOA (95% CI)		p	*Geometric mean of PFOS (95% CI)		p
				0.064			<0.001
Office and management	119	1.71	(1.54-1.91)		6.19	(5.65-6.78)	
Service and sale workers	73	1.91	(1.67-2.19)		5.33	(4.74-6.00)	
Agricultural, forestry and fishery workers	31	1.97	(1.61-2.41)		7.81	(6.56-9.30)	
Craft, machine operators and elementary occupations	82	1.50	(1.32-1.71)		4.85	(4.35-5.42)	
House holder and others	412	1.75	(1.64-1.87)		5.52	(5.22-5.84)	

*by ANCOVA adjusted for age and gender

Table 9. Correlations between PFOA and PFOS in each variables

Gender		Age (year)		Regular exercise		Income/amonth (₩)		Residential area		Province	
M	0.556*	20-29	0.385*	No	0.667*	<1,000,000	0.626*	Farming or fishing area	0.791*	Gangwon	0.579*
F	0.664*	30-39	0.547*	Yes	0.565*	1,000,000 -3,000,000	0.584*	Urbane	0.595*	Seoul	0.704*
		40-49	0.685*			3,000,000<	0.683*	Industrial area	0.553*	Daejeon	0.707*
		50-59	0.663*							Gwangju	0.776*
		60-69	0.668*							Daegu	0.499*
		70-89	0.436*							Busan	0.632*

*p value (<0.01) by Pearson's correlation

서 가장 낮았다. PFOA의 경우도 농림어업숙련종사자에서 가장 높았으며 사무관리직 순이었으며 기계장치조작 및 단순노무직에서 가장 낮았다($p<0.001$) (Table 8).

7. 혈 중 PFOA와 PFOS 농도 간의 상관성

혈 중 PFOA와 PFOS 농도에 영향을 미치는 주요 변수로 조사된 성, 연령, 주기적인 운동실시 여부, 월수입, 거주지특성 그리고 지역의 각 세부 항목에 대하여 두 물질간의 상관성을 조사한 결과 모든 항목에서 유의하게 나타났다($p<0.01$)(Table 9).

IV. 고 찰

1. 국내, 외 연구와의 평균농도 비교

최근 국내에서는 일반인들을 대상으로 수행된 PFCs 노출 실태에 관한 조사는 식품의약품안전평가원에서 시행된 과불화화합물인체노출평가[15]와 유해물질 인체모니터링을 위한 인체시료수집 및 자료분석[16] 사업을 수행하였다. 수도권과 대구시를 중심으로 수행된 과불화화합물인체노출평가[15] 결과에 의하면 혈청(serum) PFOA의 농도는 남, 녀 각 3.51 ng/m*l*와 1.89 ng/m*l*이었고 PFOS의 농도는 11.80 ng/m*l*와 8.67 ng/m*l*이었다. 그리고 우리나라 전 지역을 대상으로 수행한 유해물질 인체모니터링을 위한 인체시료수집 및 자료 분석[16] 결과에 의하면 혈청(serum) PFOA의 농도(GM)는 남, 녀 각각 3.45 ng/m*l*와 2.31 ng/m*l*이었고 PFOS의 농도는 11.62 ng/m*l*와 8.99 ng/m*l*이었다. PFCs는 대부분이 혈청에 존재하므로 본 조사의 혈 중(whole blood)의 농도를 혈청(serum)농도로 환산(x 2: PFOA 3.58/3.66 ng/m*l*, PFOS 12.12/11.72 ng/m*l*)하여 위 두 연구의 결과와 비교하면 두 물질 모두 남자에서는 비슷한 농도수준을 나타내었다. 그러나 여성의 경우 본 조사의 농도가 조금 높게 나타났다. 우리나라 사람들의 혈중 PFOA와 PFOS의 농도를 외국의 유사규모 연구결과와 비교하면 Harada 등[18]과 Olsen 등[6,10]이 조사한 일본과 미국의 일반주민들의 조사결과와 비슷한 농도였다. 그리고 Fromme 등[19]과 Holzer 등[7]이 조사한 독일의 결과와도 비슷하였다. 그러나 Karrman 등[20]이 조사한 호주의 조사결과와 비교하면 우리나라는 1/2 수준으로 낮은 농도이다. 이러한 결과들로 보아 우리나라 사람들의 혈 중 PFOA와 PFOS 농도는 조사된 다른 나라와 비교하여 비슷하거나 다소 낮은 것으로 평가된다.

2. 연령과 성에 따른 농도변화

PFCs를 포함한 환경오염물질의 연령별 노출수준은 일반적으로 연령이 증가함에 따라 증가하는 양상을 나타낸다. 퇴직 후 사회활동 감소되고 음식물 섭취량과 대사량이 줄어드는 연령대에서는 감소하는 경향을 나타낸다. 본 조사에서도 두 물질 모두 20세부터 연령대가 증가됨에 따라 50대 까지는 혈중 농도가 증가되는 경향을 나타내었으며, 60대 이후 감소되었고 연령군간 유의한 차이를 나타내었다. 연령증가에 따른 노출수준은 일반적으로 물질의 대사와 배설 기전에 따른 반감기와 관련된다. PFCs의 반감기는 종과 성별에 따라 많은 차이를 나타낸다.[21,22] 그러나 사람에서 PFCs의 대사기전은 아직 불명확하다. 직업적 PFCs 노출력이 있는 은퇴한 노동자를 대상으로 수행한 EPA의 연구에 의하면 사람의 혈청에서 PFOA의 반감기는 약 4.4년, PFOS는 8.7년이었으며 성별에 따른 반감기의 차이는 없었다.[23] 다른 환경유해물질들과 마찬가지로 상대적으로 긴 반감기는 사람에서 연령증가에 따른 혈 중 PFOA와 PFOS 농도 증가의 주요 원인으로 판단된다.

3. 생활습관 및 사회인구학적특성과의 관련성

지금까지의 연구에서 알려진 혈중 PFCs의 농도에 영향을 미치는 주요 노출요인으로는 직업적 노출과 지역(상수원)을 포함한 거주환경을 들고 있으며, 이어서 식습관을 포함한 생활습관으로 추정하고 있다.[5,6] 본 조사에서도 주요 노출기여요인으로 지역과 거주환경, 그리고 생활습관에 포함된 항목들을 조사하였다. 그러나 생활습관과 혈 중 PFCs 농도에 관한 자료는 아직 부족하고 일부 조사된 자료에서도 일정한 경향을 찾기 어렵다. 본 조사에서 규칙적적인 운동을 하는 군에서 혈 중 농도가 운동을 하지 않는 군에 비하여 두 물질모두 높게 나타났다. 이러한 결과는 유해물질 인체모니터링을 위한 인체시료 수집 및 자료분석[16]의 결과와 일치하였다. 그러나 이외에는 규칙적인 운동과 혈중 PFOA와 PFOS와의 관련성을 설명할 수 있는 자료는 찾기 어렵다. 흡연과 음주는 일반적으로 환경성유해물질의 혈중 농도를 높이는 요인으로 알려져 있다. 유해물질 인체모

니터링을 위한 인체시료수집 및 자료분석[16]에서도 혈중 PFOA와 PFOS의 농도는 과거흡연군을 포함하여 흡연군에서 비흡연군 보다 높은 농도를 나타내었다. 그리고 Melzer 등[24]이 보고한 미국의 NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey) 결과도 유사한 경향의 결과였다. 그러나 본 조사에서는 두 물질 모두 비흡연군에서 흡연군보다 유의하게 높은 혈중 농도를 나타내어 이와는 상반되는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 Eriksen 등[25]이 덴마크 사람에 대하여 조사한 연구결과와 유사하다. 음주의 경우 본 조사에서는 현재음주군이 비음주군에 비하여 두 물질 모두 높은 농도를 나타내었다. 유해물질 인체모니터링을 위한 인체시료수집 및 자료분석[16]의 경우 PFOA는 현재음주군이 높게 나타나 같은 경향을 나타내었으나 PFOS는 음주군에 비해 비음주군에서 더 높게 나타나 뚜렷한 경향을 파악하기 어렵다. 외국의 연구에서도 미국의 NHANES 결과에서는 두 물질 모두 음주와 관련하여 뚜렷한 경향을 나타내지 않았으며,[24] 덴마크의 조사[24]에서는 음주군에서 혈 중 PFOA와 PFOS 농도는 비음주군에 비해 낮게 나타났다. 이러한 결과들로 보아 음주와 흡연은 PFOA와 PFOS의 직접적인 노출기여요인으로 작용할 가능성이 낮을 것으로 생각된다. 사회인구학적특성 중 월수입이 증가할수록 혈 중 PFOA와 PFOS 농도도 증가하는 양의 상관관계를 나타내었다. 이것은 월수입이 높을수록 사회활동에 따른 노출원과의 접촉기회가 많아지기 때문일 것으로 추정된다.

4. 거주지 특성과의 관련성

거주지의 특성에 따라서는 두 물질 모두 산업단지 주변 거주자에서 가장 높은 농도를 나타내었고, 농어촌지역거주자에 비하여 도시거주자에서 높은 농도를 나타내었다. PFCs는 산업적으로 광범위하게 사용하고 있다.[1,26] 우리나라는 대표적인 PFCs 소비국 중의 하나이며 특히 산업단지와 주거지와의 구분이 명확하지 않거나 인접해 있는 곳이 많다. 따라서 산업단지 주변의 거주자는 산업단지에서 발생하는 오염물질에 노출될 가능성이 많으며 PFCs의 경우도 마찬가지일 것이다. 그리고 거주지 근처에 폐기물소각장, 폐기물매립장 그리고 공장 등 유해시설이 있는 곳에 거주하는 사람의 혈중 PFOA와 PFOS 농도가 유해시설이 없는 지역에 비하여 높았다. PFCs는 환경잔류성이 강하며 도시의 경우 쓰레기와 생활하수 처리과정, 그리고 산업단지의 경우 산업폐수 및 폐기물의 처리과정에서 대기와 토양으로 일차 오염되어 호흡기를 통하여 사람에 직접 노출되기도 하고 또는 생태계를 순환하며 음식물을 통해 사람에게 지속적으로 노출된다.[4] 최근의 연구에서는 먼지를 포함하여 일상생활 중 공기(호흡기)를 통한 PFCs 노출을 주요한 노출경로 중 하나로 추정하고 있다.[27,28] 거주지 근처에 폐기물소각장 및 매립장, 공장 등이 있다면 대기 중으로 PFCs가 오염되어 지역주민들의 공기를 통한 노출가능성이 더 높아질 것이다. 비록 본 조사에서 전체 대상자 중 거주지반경 2 km 이내에 폐기물소각장, 폐기물매립장 그리고 공장 등 유해시설이 있다고 답한 조사대상자의 수가 적어 결과의 유의성이 다소 희석되지만 최근의 연구결과들과 본 조사의 결과로 보아 거주지주변의 폐기물매립장과 소각장 그리고 공장 등 유해시설은 PFCs 노출요인 중의 하나로 생각된다.

5. 직업력 및 식습관과의 관련성

우리나라와 같은 제조업중심 산업구조를 가진 나라에서 직업은 PFCs의 중요한 노출요인 중의 하나이다. 그러나 본 조사에서는 PFOA와 PFOS 두 물질 모두 농림어업숙련종사자에서 가장 높았고 제조업근로자를 포함할 가능성이 높은 기계장치조작 및 단순노무직에서 가장 낮았다. 기계장치조작 및 단순노무직에서 가장 낮은 농도를 나타낸 것은 포함된 3가지 직종, 82명의 대상자 중 61명이 단순노무직으로 구성되어 직업적으로 노출가능성이 높은 제조업종사자의 비율이 낮았던 결과로 해석된다. 그러나 농림어업숙련종사자의 경우 대체적으로 평균연령이 높다는 사실 이외에는 그 원인을 설명하기는 어렵다. PFCs는 사용경로가 매우 다양하고 복잡하여 생산 또는 수입된 원재료의 유통 및 소비 과정을 추적하기 어렵다. 특히 본 조사와 같은 일반인 중심의 연구는 주부 및 기타직종의 비율이 높아 유의한 결과를 기대하기 어려웠다.

식습관은 PFCs 노출량을 평가하는데 중요한 요인 중의 하나이다.[29,30] 가공된 인스턴트식품은 포장지 등 직접적인 PFCs 오염 가능성이 높은 식품군으로 추정되고 있다.[31] PFCs는 환경잔류성이 강해 생택계

오염은 궁극적으로 먹이사슬을 통해 사람에게 전달된다. 따라서 최근에는 생선류 또한 주요한 노출원으로 추정되고 있다.[31] 우리나라의 경우 먹이사슬을 통한 축적은 먹이사슬이 끈긴 육상에 비하여 해양오염에 따른 먹이사슬이 사람에 미치는 영향이 더 클 것이다. 본 조사에서도 생선류 선호군에서 PFOS는 가장 높은 농도를, 그리고 PFOA는 두 번째로 높은 농도를 나타내었다. 그러나 본 조사와 같이 설문을 통해 식습관을 정확히 평가하기는 한계가 있다. 이러한 이유로 미국 등 외국에서는 각 식품에 포함된 PFCs의 농도를 조사하고 있으며,[29-31] 우리나라도 국민들이 섭취하는 식품류에 포함된 PFCs 농도를 조사하고 이를 기반으로 주요 식품의 노출기여도를 평가해야 할 것이다.

6. 지역 간 농도차이와 관련요인

본 조사에서는 강원도의 도시지역과 서울, 대전, 광주, 대구, 부산 등 6개 지역의 혈 중 PFOA와 PFOS 농도를 비교하였다. 그 결과 강원도지역이 두 물질 모두 가장 낮은 농도를 나타내었으며, 부산이 두 물질 모두 가장 높은 농도를 나타내었다. 이러한 지역별 농도차이는 각 지역별 주민들의 거주지 특성과 생활습관 및 직업력, 그리고 지역별 상수원의 PFCs 오염도 등 다양한 원인들이 작용하였을 것이다. 우리나라 4대강의 상수원 지역의 PFOA와 PFOS 농도를 조사한 연구[32]에 의하면 대구지역의 상수원인 낙동강 중류의 왜관에 비하여 부산지역의 상수원인 낙동강 하류의 PFOA와 PFOS 농도가 유의하게 높으며 한강 등 타 지역과 비하여도 가장 높은 농도를 나타내었다. 낙동강은 상류로부터 구미, 대구 등에 단계적으로 산업단지가 위치하여 영향을 많이 받는 지역이다. 그리고 상류로부터 상수원 지역의 오염실태도 조사결과 이를 잘 반영하고 있다.[32] 이러한 결과는 본 조사에서 대구지역에 비하여 부산지역 주민의 혈 중 PFOA와 PFOS 농도가 유의하게 높게 조사된 결과와도 일치한다. 본 조사는 개인별 음용수 및 조리용 물에서 수돗물의 사용 빈도와 카본필터를 포함한 정수기의 사용 여부 등을 적용하지 못한 제한점이 있다. 그러나 본 조사의 결과와 지역별 상수원의 PFOA와 PFOS 농도조사 결과[32]로 보아 우리나라에서 지역별 주민들의 혈 중 PFOA와 PFOS 농도차이는 상수원의 오염실태와 관련이 있을 것으로 추정된다.

본 연구에서는 혈액의 PFOS와 PFOS 농도와 설문조사를 통해 생활습관, 사회인구학적특성 및 상수원과 연계한 지역 및 거주지특성 등을 조사하여 우리나라 사람들의 노출수준과 노출기여요인을 조사하고자 하였다. 그러나 조사대상이 5개 광역시와 강원도로 한정되어 우리나라 사람을 대표하기에는 제한점이 있었다. 그리고 식습관이 PFCs의 주요한 노출기여요인 중의 하나로 알려져 있지만, 본 조사에서는 설문을 통해 선호하는 음식류를 중심으로 식습관을 조사하여 식습관에 의한 영향을 평가하기에는 제한점이 있었다. 그러나 본 조사에서는 우리나라 사람들의 노출실태를 평가할 수 있는 결과와 우리나라 사람에서 노출평가 시 고려해야 할 관련 요인들을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

V. 결 론

우리나라사람들의 혈 중 PFOA와 PFOS 농도와 노출기여요인을 조사하기 위하여 서울, 대전, 광주, 대구, 부산 등 5개 광역시와 강원도를 포함한 6개 지역, 718명의 조사대상자에 대하여 2008년 8월부터 2009년 1월까지 설문조사와 혈액을 통한 PFOA와 PFOS 농도를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

기하평균 농도는 PFOA가 1.82 ng/m*l*, PFOS가 6.06 ng/m*l*이었으며, 20대부터 50대까지 연령이 증가함에 따라 혈 중 농도도 증가하였고 60대부터는 감소하였다. PFOA의 농도에 영향을 미치는 요인으로는 연령, 가족의 월수입, 거주지특성(산업단지, 도시), 지역(상수원) 등이었다. 혈 청 PFOS의 농도에 영향을 미치는 요인은 성과 연령, 규칙적인 운동, 음주, 흡연, 가족의 월수입, 거주지 2 km 이내의 환경유해시설(폐기물소각장, 매립장, 공장), 지역(상수원) 등이었다.

우리나라 사람들의 평균 혈 중 PFOA와 PFOS 농도는 일본, 미국, 독일 등의 농도와 비슷하였고 호주에 비하여 낮았다. 노출 기여요인은 매우 다양하였으며 따라서 국민들의 PFCs 노출관리를 위하여 각 요인별 노출 기여수준에 관한 조사가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 2008년 교육과학기술부(학술진흥재단)

의 연구비 지원을 받아 수행하였습니다(과제명: 기초연구지원사업 일반연구자지원사업 신진교수연구, 과제번호: 331-2008-1-D00277).

참고문헌

1. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). PFCs: outcome of the 2009 Survey on the production, use and release of PFOS, PFAS, PFOA, PFCA, their related substances and products/mixtures containing these substances. Available: http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2011)1&doclanguage=en [accessed 12 January 2012].
2. Bus J. Compilation of board comments on draft PFOA panel report, *EPA Report*. February IS, 2006.
3. Kerstner-Wood C, Coward L, Gorman G. Protein binding of perfluorobutane sulfonate, perfluorohexanesulfonate, perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate to plasma (human, rat, and various human-derived plasma protein fractions. Southern Research Corporation, Study 9921.7. US EPA docket AR-226-1354. US Environmental Protection Agency, Washington, DC), 2004.
4. Fromme H, Tittlemier SA, Volkel W, Wilhelm M, Twardella D. Perfluorinated comounds - Exposure assessment for the general population in western countries. *Int J Hyg Environ Health.* 2009; 212: 239-270.
5. Emmett EA, Shofer FS, Zhang H, Freeman D, Desai C, Shaw LM. Community exposure to perfluorooctanoate: Relationships between serum concentrations and exposure sources. *JOEM.* 2006; 48: 759-770.
6. Olsen GW, Logan PW, Hansen KJ, Simpson CA, Burris JM, Burlew MM, et al. An occupational exposure assessment of a perfluorooctanesulfonyl fluoride production site: biomonitoring. *AIHAJ.* 2003; 64: 651-659.
7. Holzer J, Midasch O, Rauchfuss K, Kraft M, Reupert R, Angerer J, et al. Biomonitoring of perfluorinated compounds in children and adults exposed to perfluorooctanoate-contaminated drinking water. *Environ Health Perspect.* 2008; 116: 651-657.
8. Begley TH, White K, Honigfort P, Twaroski ML, Neches R, Walker RA. Perfluorochemicals: potential sources of and migration from food packaging. *Food Addit Contam.* 2005; 22: 1023-1031.
9. Ehresman DJ, Froehlich JW, 01sen GW, Chang SC, Butenhoff JL. Comparison of human whole blood, plasma, and serum matri,ces for the determination of pefluorooctanesulfonate (PFOS), perfluorooctanoate (PFOA), and other lluorochernicals. *Environ Res.* 2007; 103: 176-184.
10. Olsen GW, Burlew MM, Marshall JC, Burris JM, Handel JH. Analysis of episodes of care in a perfluorooctanesulfonyl fluonde production facility. *J Occup Environ Med.* 2004; 46: 837-846.
11. Kannan K, Corsolini F, Falandysz J, Fillmann G, Kumar KS, Loganathan BG, et al. Perfluorooctanesulfonate and related fluorochernicals in human blood from several countries. *Environ Sci Technol.* 2004; 38: 4489-4495.
12. Midasch O, Schettgen T, Angerer J. Pilot study on the perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoate exposure of the German general population. *Int J Hyg Environ Health.* 2006; 209: 489-496.
13. KFDA, The survey of exposure level for PFOS and PFOA in human. 2006.
14. Jang SH, Lee CK, Kim DH, Kim KB, Ahn JH, Kim HD, et al. Lifestyle and Work related Factors Associated with Serum PFOA among Workers at Manufacturing Companies. *Korean J Occup Environ Med,* 2008; 20: 233-244.
15. KFDA. Exposure assessment of major perfluorinated compounds among Koreans. 2009.
16. KFDA. Database of biological samples for human biomonitoring of hazard materials. 2010.
17. Karrman A, Ericson I, van Bavel B, Darnerud PO, Aune M, Glynn A, et al. Exposure of perfluorinated chemicals through lactation: levels of matched human milk and serum and a temporal trend, 1996-2004, in Sweden. *Environ Health Perspect.* 2007; 115: 226-230.
18. Harada K, Saito N, Inoue K, Yoshinaga T, Watanabe T, Sasaki S, et al. The influence of time, sex and geographic factors on levels of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate in human serum over the last 25 years. *J Occup Health.* 2004; 46: 141-147.
19. Fromme H, Midasch O, Twardella D, Angerer JS, Boehmer B. Occurrence of perXuorinated substances in an adult German population in southern Bavaria. *Int Arch Occup Environ Health.* 2007; 80: 313-319.
20. Karrman A, Mueller JF, van Bavel B, Harden F, Toms LM, Lindström G. Levels of 12 perfluorinated chemicals in pooled australian serum, collected 2002-2003, in relation to age, gender, and region. *Environ Sci Technol.* 2006; 40: 3742-3748.
21. Kudo N, Katakura M, Sato Y, Kawashima Y. Sex

hormone-regulated renal transport of perfluorooctanoic acid. *Chem Biol Interact*. 2002; 139: 301-316.
22. Butenhoff J, Costa G, Elcombe C, Farrar D, Hansen K, Iwai H, et al. Toxicity of ammonium perfluorooctanoate in male cynomolgus monkeys after oral dosing for 6 months. *Toxicol Sci*. 2002; 69: 244-257.
23. Kudo N, Kawashima Y. Toxicity and toxicokinetics of perfluorooctanoic acid in humans and animals. *J Toxicol Sci.* 2003; 28: 49-57.
24. Melzer D, Rice N, Depledge MH, Henley WE, Galloway TS. Association between serum perfluorooctanoic acid (PFOA) and thyroid disease in the U.S. National Health and Nutrition Examination Survey. *Environ Health Perspect*. 2010; 118: 686-692.
25. Eriksen KT, Sørensen M, McLaughlin JK, Tjønneland A, Overvad K, Raaschou-Nielsen O. Determinants of plasma PFOA and PFOS levels among 652 Danish men. *Environ Sci Technol.* 2011; 45: 8137-8143.
26. Lehmler HJ. Synthesis of environmentally relevant fluorinated surfactants-a review. Chemosphere. 2005; 58: 1471-1496.
27. Shoeib M, Harner T, M Webster G, Lee SC. Indoor sources of poly- and perfluorinated compounds (PFCS) in Vancouver, Canada: implications for human exposure. *Environ Sci Technol.* 2011; 45: 7999-8005.
28. Goosey E, Harrad S. Perfluoroalkyl compounds in dust from Asian, Australian, European, and North American homes and UK cars, classrooms, and offices. *Environ Int*. 2011; 37: 86-92.
29. Haug LS, Salihovic S, Jogsten IE, Thomsen C, van Bavel B, Lindström G, et al. Levels in food and beverages and daily intake of perfluorinated compounds in Norway. *Chemosphere*. 2010; 80: 1137-1143.
30. Clarke DB, Bailey VA, Routledge A, Lloyd AS, Hird S, Mortimer DN, et al. Dietary intake estimate for perfluorooctanesulphonic acid (PFOS) and other perfluorocompounds (PFCs) in UK retail foods following determination using standard addition LC-MS/MS. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 2010; 27: 530-545.
31. Haug LS, Thomsen C, Brantsaeter AL, Kvalem HE, Haugen M, Becher G, et al. Diet and particularly seafood are major sources of perfluorinated compounds in humans. *Environ Int.* 2010; 36: 772-778.
32. Cho CR, Eom IC, Kim EJ, Kim SJ. Evaluation of the Level of PFOS and PFOA in Environmental Media from Industrial Area and Four Major River Basin. *J Korean Soc Environ Analysis* 2009; 12: 296-306.