

제조업 근로자들의 혈청 Perfluorooctanoic Acid (PFOA) 농도와 생활습관 및 직업적 관련요인

인제대학교 부산백병원 산업의학과, 환경·산업의학연구소, 인제대학교 약물유전체연구센터¹⁾

장상환 · 이채관 · 김대환 · 김권복¹⁾ · 안진홍 · 김휘동 · 이창희 · 김정호 · 이종태

— Abstract —

Lifestyle and Work related Factors Associated with Serum PFOA among Workers at Manufacturing Companies

Sang Hwan Jang, Chae Kwan Lee, Dae Hwan Kim, Kwon-Bok Kim¹⁾, Jin Hong Ahn,
Hwi Dong Kim, Chang Hee Lee, Jeong Ho Kim, Jong Tae Lee

*Department of Occupational and Environmental Medicine & Institute of Environmental and
Occupational Medicine, BusanPaik Hospital, Inje University,
Department of Pharmacology and Pharmacogenomics Research Center, Inje University¹⁾*

Objectives: The objective of this study was to determine serum perfluorooctanoic acid (PFOA) concentrations and to investigate the relationship of lifestyle, health status and work-related factors among workers at manufacturing companies with possible occupational exposure to PFOA.

Methods: The study subjects were 315 workers (male 203, female 112) of manufacturing companies with possible exposure to PFOA from August to December, 2007. A questionnaire was administered to investigate lifestyle and work-related factors. Serum PFOA concentrations were analyzed by LC-MS/MS, and liver function and total cholesterol were also tested.

Results: Serum PFOA concentrations ranged from 1.0 to 40.9 ng/mL (mean 8.0 ng/mL). Serum PFOA concentrations increased with age. Male workers had higher PFOA concentration than female workers (male 9.0 ng/mL; female 6.3 ng/mL). According to stepwise multiple regression analysis, factors significantly associated with PFOA concentration were male, being older, higher total cholesterol, and lower body mass index. Adjusted for age and gender by logistic regression, dyeing and finishing textiles had significantly higher odds ratio (OR) of 6.16, and moulding patterns, moulds and industrial patterns (OR=4.84), sections for ships (OR=3.87), and plastics synthetic leather (OR=10.05) had marginally significantly high odds ratios.

Conclusions: This study demonstrated the factors affecting serum PFOA concentration of workers at manufacturing companies. Further study is needed to ensure the effect of occupational exposure on serum PFOA concentration.

Key Words: PFOA, Related factors, Workers, Manufacturing companies

〈접수일: 2008년 7월 24일, 채택일: 2008년 8월 7일〉

교신저자: 이 채 관 (Tel: 051-890-6160) E-mail: lck3303@hanmail.net

* 이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00221).

서 론

과불화화합물(perfluorochemicals; PFCs)은 인공화합물이며 우리 주변에서 프라이팬의 코팅제인 테플론의 원료, 카펫이나 의류의 방수 마감재 등으로 광범위하게 사용된다. 그리고 각종 포장지와 건축자재의 표면마감재, 냉장고의 냉매, 화장품, 샴푸, 주방재료, 반도체 등에도 사용되며, 자동차, 기계, 화학, 전자, 의약 등 거의 모든 산업분야에 사용되고 있으며 추정되는 노출빈도 또한 높은 편이다.

Perfluorooctanoic acid (PFOA)는 대표적인 과불화화합물 중 하나로써 화학적으로 안정성이 높고 생체 내에서 대사율이 낮아 쉽게 축적될 수 있다. 동물실험에서는 간과 췌장 및 고환 등에서 선종이 발생하였고, 발암성 및 생식발생독성 등도 보고되었다¹⁾. PFOA는 경구 및 호흡기를 통해 주로 흡수되며, 피부 흡수는 적게 일어난다. 생체 내에 흡수된 후에는 간과 혈장에 주로 분포하며, 일부는 신장과 폐에 분포한다. 인체의 약물역동학적 기전은 아직까지 자세히 밝혀져 있지 않으나 인체 내에서 90% 이상의 PFOA가 혈청 알부민과 결합된 상태로 존재하며²⁾ 혈장내 반감기는 약 3.8년으로 알려져 있다³⁾.

인체의 PFOA의 주요한 노출 경로는 식음용수를 통한 노출, PFOA를 함유한 생활용품을 통한 노출, 그리고 직업적 노출 등이다. 여러 국가들에서 일반인들보다 직업적 노출 근로자들에서 더 높은 농도의 혈청 PFOA가 검출되었고⁴⁻⁷⁾, 노출 양 및 기간과 관련이 있었다⁸⁾. 미국과 유럽 및 아시아의 수 개국을 비교한 Kannan 등⁵⁾의 연구에서는 한국인 여성의 혈청 PFOA 농도가 상대적으로 높게 검출된 바 있다.

대표적인 PFOA 함유제품인 테플론의 제조회사 중 하나였던 3M사의 조사에 의하면 PFOA 제조 부서에서 10년 이상 종사한 근로자들에서 PFOA 관련이 없는 부서의 근로자들보다 전립선암의 발생빈도가 증가하였고, 남성에서 생식호르몬의 작용을 교란시킬 가능성이 있는 것으로 추정하였다⁹⁾. 직업적 노출자들의 간 및 혈청지질에 관한 Olsen 등¹⁰⁾과 Emmett 등¹¹⁾의 단면적 연구에서는 PFOA 노출과 간독성 사이에 유의한 차이가 없다고 보고한 바 있다. 그러나 최근 Sakr 등⁷⁾의 연구에서는 PFOA 노출과 혈청 콜레스테롤 및 간 효소 사이에 양의 상관성이 있는 것으로 조사되어 상반된 결과를 제시하였다.

지금까지 국내에서 PFOA 노출과 인체영향에 관한 연구는 부족한 실정이며, 특히 직업적 노출 근로자들을 대상으로 한 연구는 거의 이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 PFOA에 노출이 가능한 제조업 사업장의 근로자들을 대상으로 혈청 PFOA의 농도와 생활습관 및 직업적 노출 관련 요인, 간기능 검사 및 지질검사결과와

의 관련성 등을 조사하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 2007년 8월부터 12월까지 부산지역 1개 대학병원 산업의학과에서 근로자 건강진단을 받은 제조업 사업장 근로자 남자 203명, 여자 112명의 총 315명을 대상으로 하였다. 대상 사업장은 문헌고찰^{12, 13)}을 통하여 PFOA에 노출될 가능성이 있는 업종 중에서 선정하였다. 업종 분류는 한국표준산업분류 (통계청)에 따랐으며, 금속원료 재생업(recovery of metal waste and scrap), 기타 방적업(spining of other textile fibers), 기타 전자부품 제조업(other electronic components), 도장 및 기타 피막처리업(plastic laminating, coating and other surface processing products), 동물용 사료 및 조제식품 제조업(livestock feeds and prepared animal feeds), 방송 및 무선 통신장비 제조업(broadcasting and wireless telecommunication apparatuses), 분사기 및 소화기 제조업(spraying, projecting and dispersing machines), 선박 구성부분품 제조업(sections for ships), 섬유제품 염색, 정리 및 마무리 가공업(dyeing and finishing textiles), 신발부분품 제조업(parts of footwear), 인쇄업(printing), 자동차 부품 제조업(parts and accessories for motor vehicles and engines), 전자부품 제조업(electronic components), 주형 및 금형 제조업(moulding patterns, moulds and industrial patterns), 플라스틱 적층, 도포 및 기타 표면처리 제품 제조업(coating and similar treatment of metals), 플라스틱 합성피혁 제조업(plastics synthetic leather), 합성고무 및 플라스틱 물질 제조업(synthetic rubber and of plastics in primary forms), 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업(synthetic resin and other plastic materials) 등의 18개 업종의 26개 사업장이었다¹⁴⁾.

2. 연구방법

1) 설문 조사

설문지는 사회인구학적 특성, 직업적 노출요인 및 비직업적 노출요인 등으로 구성하였는데, 사회 인구학적 요인에는 성별, 연령, 흡연 및 음주여부 등의 변수를, 직업적 노출요인으로서는 업종, 취급물품, 근무 부서 및 근무 기간 등의 변수를, 그리고 비직업적 노출요인으로 생활습관 및

생활용품 사용에서 PFOA 노출과 관련이 있는 인스턴트 식품 섭취빈도, 종이컵, 컵라면 등의 1회용 음식용기 사용 빈도 및 모발용 샴푸 사용 빈도 등을 포함하였다. 설문조사는 사전에 훈련된 설문조사자가 연구 취지를 설명하고 근로자의 동의를 받은 후 개별적으로 직접 설문 조사하였다.

2) 혈청 간기능 및 지질 검사

혈청 PFOA 농도와 간기능 및 지질에 대한 인체 영향과의 관련성을 조사하기 위하여 aspartate amino-transferase (AST, IU/L), alanine aminotransferase (ALT, IU/L), gamma glutamyl transferase (γ -GTP, IU/L) 및 total cholesterol (mg/dL) 등을 검사하였다.

3) 체질량 지수(body mass index: BMI)

체질량지수는 2002년 세계보건기구(WHO)의 IOTF (International Obesity Task Force)에 의해 작성된 아시아태평양기준¹⁵⁾에 따라 정상(BMI<23), 과체중(23≤BMI<25) 및 비만(BMI≥25)으로 범주화하여 분석하였다.

4) 혈청 PFOA 농도의 분석

PFOA의 분석은 Fromme 등(2007)과 Midasch 등(2006)의 방법에 따라 시행하였다^{4,16)}. 250 μ L의 적출한 혈청에 700 μ L의 아세토니트릴(acetonitrile)용액과 내부 표준 용액을 가하고 혼합한 후 원심분리(1,500 g, 15 min)한 후 30 μ L의 상층액을 LC-MS/MS (API Qtrap 4000)에 주입하였다. LC-MS/MS 운영조건은 Table 1과 같다.

그 외 검량선 작성과 정도 관리를 위해 PFOA 농도

0.5 ng/mL 이하인 소 태아 혈청(fetal bovine serum)을 사용하였으며, 검량선 범위는 1-500 ng/mL, $r^2>0.9999$ 이었다.

3. 자료분석

연구대상자의 사회인구학적 요인, 생활습관 요인, 그리고 업종별로 혈청 PFOA의 농도를 비교하였다. 혈액검사 결과 혈청지질 및 간기능 검사와 혈청 PFOA 농도와 관계를 파악하기 위하여 PFOA 농도를 사분위수로 범주화하여 경향성이 있는지에 관해 ANOVA를 시행하였다. 그리고 혈청 PFOA 농도에 영향을 주는 요인들을 조사하기 위하여 각 특성 별로 통계적인 유의성이 있는 요인들을 선별하였고, 이 요인들을 포함하는 모델을 구축하여 다중회귀분석을 시행하였다. 업종별 노출수준의 차이를 조사하기 위하여 혈청 PFOA 농도의 중앙값을 기준으로 이분화하여 종속변수로 설정하고, 업종을 독립변수로 하여 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 통계 분석은 SPSS 14K 프로그램을 이용하였으며, 통계적 유의수준은 0.05로 하였다.

결 과

1. 혈청 PFOA 농도와 사회인구학적 요인 및 생활습관과의 관련성

조사대상의 혈청 PFOA 농도의 산술평균은 전체가 8.0 ng/mL(범위: 1.0~40.9 ng/mL)이었으며, 남자가 9.0 ng/mL(범위: 1.0~40.9 ng/mL), 여자가 6.3 ng/mL(범위: 2.4~15.0 ng/mL)로 남자가 여자보다 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.001$)(Fig. 1).

Table 1. Analytical condition of PFCs

Column	Eclipse Zorbax XDB-C8 analytical column (Agilent Technology Palo Alto, CA USA, 4.5 × 150 mm ²)		
Gradient	Retention time	Mobile phase	Flow rate
	-2 min	75% acetonitrile, 24% water, 1% acetic acid, v/v in water	0.3 mL/min
	2-7 min	1% acetic acid, 75% acetonitrile, 24% water	0.3 mL/min
		99% acetonitrile, 1% acetic acid	
	7-11 min	99% acetonitrile, 1% acetic acid	1.0 mL/min
	11-13 min	75% acetonitrile, 24% water, 1% acetic acid	1.0 mL/min
Detection	13-15 min	75% acetonitrile, 24% water, 1% acetic acid	0.3 mL/min
	Negative ionization MS/MS mode, multiple reaction monitoring (MRM).		
	PFOA: m/z 413→69 (C ₃ F ₇ ⁻) PFOS: m/s 499→0(SO ₃ ⁻) 1, 2- ¹³ C ₂ -PFOA, m/z 415→70 (C ₆ F ₁₃ - ¹³ CF ₂ ⁻).		

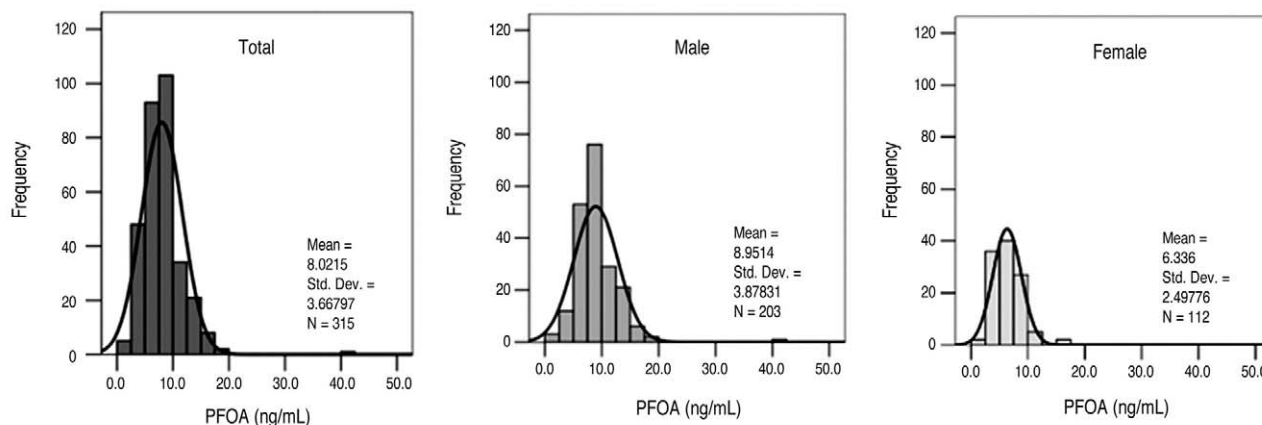


Fig. 1. Distribution of serum PFOA concentration

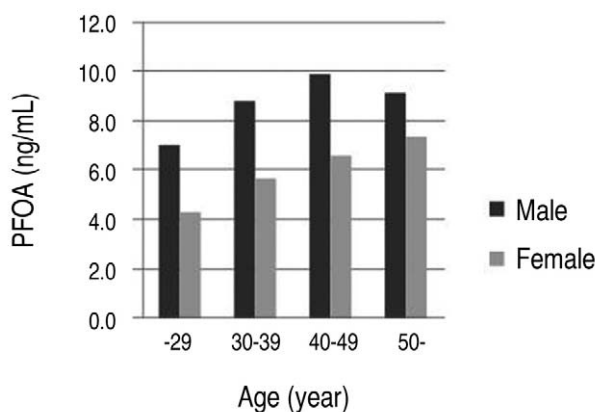


Fig. 2. Distribution of serum PFOA concentration by age and gender

연령별 및 근무기간별 혈청 PFOA의 농도분포 결과는 Table 2와 같았으며, 성과 연령별 PFOA 농도 분포는 Fig. 2와 같았다. 연령이 증가함에 따라 혈청 PFOA 농도가 증가하는 경향을 보였으며($p=0.002$). 남녀를 층화하여 분석하였을 경우도 유사한 결과를 나타내었다 (남자, $p=0.003$ 여자, $p=0.001$). 근무기간이 증가함에 따라 혈청 PFOA 농도가 증가하였으며($p<0.001$), 남녀를 층화하여 분석하였을 때에도 유사한 결과를 나타내었다 (남자, $p<0.001$; 여자, $p=0.017$).

사회인구학적 요인, PFOA 노출과 관련이 있는 생활용품 사용 빈도, 그리고 BMI와 혈청 PFOA농도와와의 관련성 분석 결과는 Table 3과 같았다. 전체 조사대상자에서 현재 흡연자의 혈청 PFOA 농도가 비흡연자보다 높았으나($p=0.002$), 남녀를 층화하여 분석할 경우 통계적인 유의성이 없었다. 알코올 섭취의 경우에도 유사한 결과를 나타내었다. 인스턴트 식품 섭취 빈도의 경우 유의한 차이가 없었다. 1회용 포장용기 사용의 경우도 사용빈도에 따른 혈청 PFOA 농도의 차이를 발견할 수 없었다. 모발용 샴푸 사용의 경우, 사용 빈도가 낮은 군에서 혈청

PFOA 농도가 높게 나타났으나($p=0.001$), 남녀를 층화한 후에는 통계적 유의성이 없었다.

체질량 지수가 높을 경우 혈청 PFOA의 농도가 통계적으로 유의하게 낮았다($p=0.049$). 남녀를 층화한 후 남자에서 통계적 유의성이 있었으며($p=0.042$), 여자의 경우 유의성이 없었다.

2. 혈청 PFOA농도와 간기능 및 혈청 지질 농도와의 관련성

혈청 PFOA 농도와 혈청 지질 및 간기능 검사결과와의 관련성을 조사하기 위하여 혈청 PFOA 농도를 분포에 따라 사분위수로 나누어 분석한 결과는 Table 4와 같았다. 혈청 PFOA 농도가 증가함에 따라 γ -GTP만이 유의한 차이가 있었으며($p<0.001$), 총 콜레스테롤, AST 및 ALT는 유의한 차이가 없었다. 성별로 나누어 층화분석한 결과 여자의 경우 혈청 PFOA농도가 증가함에 따라 총 콜레스테롤($p=0.004$)과 γ -GTP ($p=0.002$)가 통계적으로 유의하게 증가하였으나, 남자에서는 유의한 차이가 없었다.

위 결과를 근거로 혈청 PFOA의 농도에 영향을 주는 요인들을 파악하기 위해 다중회귀분석을 수행한 결과는 Table 5와 같았다. 독립변수로는 연령, 성별, 흡연여부, 음주여부, 근무기간, 모발용 샴푸의 사용 빈도, 체질량지수, 지질검사 (총 콜레스테롤) 및 간기능검사(ALT, AST, γ -GTP) 등을 포함하여 모델 선정 방법을 입력(enter)방법으로 분석하였다. 그 결과 혈청 PFOA의 농도에 영향을 주는 요인들은 연령, 성, 체질량지수 등이 통계적인 유의성이 있었으며, 총 콜레스테롤은 경계역의 통계적 유의성을 나타내었고, 모델의 설명력은 18.4%이었다. 모델 선정 방법을 단계선택으로 하여 다중회귀분석을 시행한 결과는 최종적으로 성, 연령, 체질량지수, 총 콜레스테롤 등이 선정되었으며, 이들의 설명력은 20% 이

Table 2. Serum PFOA concentration by gender according to age and work duration

	Male					Female					Total				Unit: ng/mL
	N	Mean (SD)	Median	Range	p-value	N	Mean (SD)	Median	Range	p-value	N	Mean (SD)	Median	Range	p-value
Age (years)					0.003					0.001					0.002
20-29	37	7.0 (2.8)	6.6	1.6-18.3		13	4.3 (1.2)	4.5	2.8- 6.5		50	6.3 (2.8)	5.8	1.6-18.3	
30-39	63	8.9 (3.3)	8.5	1.4-16.6		26	5.7 (2.1)	5.3	2.7-10.0		89	8.0 (3.3)	7.7	1.4-16.6	
40-49	68	9.9 (4.8)	9.5	1.0-40.9		49	6.7 (2.7)	6.3	2.4-15.0		117	8.6 (4.4)	7.9	1.0-40.9	
50-	35	9.2 (3.1)	8.6	2.9-19.4		24	7.4 (2.3)	7.7	3.5-10.8		59	8.5 (2.9)	8.3	2.9-19.4	
Work duration (years)					<0.001					0.017					<0.001
0-4	42	7.1 (2.6)	6.9	1.0-12.5		68	5.9 (2.2)	5.5	2.7-15.0		110	6.4 (2.4)	6	1.0-15.0	
5-9	45	8.4 (3.3)	8.2	1.4-18.3		18	6.6 (3.4)	5.3	2.4-15.0		63	7.9 (3.4)	7.7	1.4-18.3	
10-	116	9.8 (4.2)	9.3	2.8-40.9		25	7.3 (2.3)	7.2	3.3-10.8		141	9.4 (4.0)	8.9	2.8-40.9	
Total	203	9.0 (3.9)	8.4	1.0-40.9		112	6.3 (2.5)	5.7	2.4-15.0		315	8.0 (3.7)	7.7	1.0-40.9	<0.001

p-value by ANOVA(test for trend) and t-test

었다. 즉, 성별로는 여성보다 남성에서, 연령이 많을수록, 총 콜레스테롤이 높을수록, 체질량지수가 낮을수록 혈청 PFOA의 농도가 통계적으로 유의하게 높았다.

3. 업종별 혈청 PFOA 농도 비교

PFOA 노출 가능성이 있는 18개 업종에 대하여 업종별로 혈청PFOA 농도의 평균과 표준편차를 구하였다 (Table 6). 평균 혈청 PFOA 농도가 높았던 업종들은 섬유제품 염색, 정리 및 마무리 가공업 (평균 10.5 ng/mL), 분사기 및 소화기 제조업 (평균 10.2 ng/mL), 선박 구성부분품 제조업 (평균 10.1 ng/mL) 등 이었으며, 낮았던 업종들은 기타 전자부품 제조업 (평균 5.3 ng/mL), 동물용 사료 및 조제식품 제조업 (평균 5.6 ng/mL), 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업 (평균 6.0 ng/mL) 등 이었다.

업종별 노출농도의 차이를 조사하기 위하여 혈청 PFOA 농도의 중앙값(7.7 ng/mL)을 기준으로 이분화하여 종속변수로 설정하고, 업종을 독립변수로 하여 로지스틱 회귀분석을 실시하여 성과 연령을 보정한 교차비를 산출하였다(Table 7). 혈청 PFOA의 평균농도가 가장 낮게 조사되었던 기타 전자부품 제조업을 기준으로 하였을 때, 섬유제품 염색, 정리 및 마무리 가공업의 교차비가 6.16 (95% CI: 1.07-35.58)으로 유의하게 높았다. 주형 및 금형 제조업(OR 4.84, 95% CI: 0.97-24.21)과 선박 구성부분품 제조업(OR: 3.87, 95% CI: 0.95-15.81), 플라스틱 합성피혁 제조업(OR 10.05, 95% CI: 0.89-113.20)의 경우는 교차비가 상대적으로 높았으나 통계적인 유의성은 없었다.

고 찰

PFOA는 과불화화합물의 하나로 동물실험 등을 통해 발암성 등 생체에서의 유해성이 알려지면서 미국과 유럽 등에서는 과불화화합물 제조업체 근로자 등 대표적인 직업적 노출자들에 대한 조사가 수행되어왔다. 우리나라에서도 과불화화합물은 산업장에서 광범위하게 사용되고 있으나 아직까지 PFOA의 노출실태와 인체영향에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 우리나라에서 직업적으로 PFOA 노출 가능성이 있는 업종의 근로자들을 대상으로 생활습관 및 직업적 특성이 혈청 PFOA의 농도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 혈청 PFOA, 간기능, 혈청 지질을 분석하고, 사회인구학적인 특성과 직업적 특성 및 비직업적 과불화 화합물 노출인자들에 관하여 설문조사를 실시하여 비교분석하였다. 성별로는 여성보다 남성에서, 연령이 많

Table 3. Serum PFOA concentration by life style and BMI

Variables	Male				Female				Total				Unit: ng/mL
	N	Mean (SD)	Range	p-value	N	Mean (SD)	Range	p-value	N	Mean (SD)	Range	p-value	
Smoking													
Non- and ex-smoker	77	9.1 (4.7)	1.4-40.9	0.704	109	6.4 (2.5)	2.4-15.0	0.406	186	7.5 (3.8)	1.4-40.9	0.002	
Current smoker	126	8.9 (3.3)	1.0-19.4		3	5.2 (1.7)	3.4-6.9		129	8.8 (3.3)	1.0-19.4		
Alcohol drinking													
None	100	8.7 (4.5)	1.0-40.9	0.310	89	6.5 (2.6)	2.4-15.0	0.595	189	7.7 (3.9)	1.0-40.9	0.011	
≤1/week	37	8.5 (2.4)	3.4-14.6		15	5.9 (2.0)	3.1-9.4		52	7.7 (2.6)	3.1-14.6		
>1/week	66	9.5 (3.4)	2.9-19.4		8	5.8 (2.0)	3.3-8.9		74	9.1 (3.5)	2.9-19.4		
Instant food intake													
<1/week	53	8.5 (2.7)	1.0-16.0	0.276	44	6.9 (2.6)	2.8-15.0	0.045	97	7.8 (2.8)	1.0-16.0	0.430	
≥1/week	150	9.1 (4.2)	1.4-40.9		68	6.0 (2.4)	2.4-15.0		218	8.1 (4.0)	1.4-40.9		
Disposables use													
None	57	8.5 (5.0)	1.0-40.9	0.208	50	6.7 (2.5)	2.7-15.0	0.596	107	7.7 (4.1)	1.0-40.9	0.594	
<1/day	46	9.2 (3.7)	1.6-18.3		23	6.1 (2.7)	2.9-15.0		69	8.1 (3.7)	1.6-18.3		
1-2/day	59	9.7 (3.3)	3.1-19.4		34	6.0 (2.6)	2.4-12.1		93	8.4 (3.5)	2.4-19.4		
≥3/day	41	8.2 (2.9)	2.8-16.0		5	6.1 (1.5)	3.7-7.5		46	8.0 (2.8)	2.8-16.0		
Hair shampoo use													
None	60	9.8 (5.2)	2.9-40.9	0.147	0			0.510	60	9.8 (5.2)	2.9-40.9	0.001	
0-6 per week	41	8.5 (3.2)	3.1-18.3		41	6.1 (3.0)	2.4-15.0		82	7.3 (3.3)	2.4-18.3		
≥7 per week	102	8.7 (3.1)	1.0-16.6		71	6.5 (2.2)	2.8-12.1		173	7.8 (2.9)	1.0-16.6		
BMI(kg/m ²)													
Normal (BMI<23)	111	9.5 (4.4)	1.0-40.9	0.042	68	6.3 (2.5)	2.4-15.0	0.139	179	8.3 (4.1)	1.0-40.9	0.049	
Overweight (23≤BMI<25)	46	8.7 (3.0)	1.6-16.6		22	6.8 (2.6)	2.7-15.0		68	8.1 (3.0)	1.6-16.6		
Obesity (BMI≥25)	39	7.7 (2.8)	2.9-13.7		18	5.3 (2.1)	2.4-9.1		57	6.9 (2.8)	2.4-13.7		

p-value by ANOVA(test for trend) and t-test

Table 4. Quartile distribution of serum cholesterol, AST, ALT and γ -GTP by gender

	Q1			Q2			Q3			Q4			p-value
	N	Mean (SD)	N	Mean (SD)	N	Mean (SD)	N	Mean (SD)	N	Mean (SD)	N	Mean (SD)	
Male													
Total Cholesterol (mg/dL)	49	174.8 (34.0)	51	186.8 (39.0)	50	189.7 (31.7)	45	185.4 (35.6)					0.173
AST (IU/L)	50	27.1 (11.9)	51	27.4 (14.6)	50	26.8 (14.7)	50	27.2 (8.4)					0.997
ALT (IU/L)	50	33.7 (33.8)	51	28.4 (23.2)	50	27.0 (13.7)	50	27.9 (18.5)					0.487
γ -GTP (IU/L)	50	40.3 (37.7)	51	39.3 (45.9)	50	52.7 (53.7)	50	54.4 (60.3)					0.287
Female													
Total Cholesterol (mg/dL)	28	181.1 (23.7)	28	192.9 (35.4)	27	187.2 (21.9)	25	209.4 (32.0)					0.004
AST (IU/L)	28	22.1 (13.4)	28	18.2 (4.4)	27	20.1 (4.8)	28	23.7 (7.1)					0.076
ALT (IU/L)	28	18.2 (13.9)	28	15.0 (5.8)	27	16.9 (8.6)	28	21.0 (10.9)					0.179
γ -GTP (IU/L)	28	17.1 (10.0)	28	15.2 (8.1)	27	13.6 (5.6)	28	24.8 (17.7)					0.002
Total													
Total Cholesterol (mg/dL)	77	184.0 (31.5)	78	184.7 (35.8)	78	189.4 (32.0)	70	190.6 (35.9)					0.539
AST (IU/L)	78	23.6 (12.7)	78	23.7 (10.0)	79	25.6 (13.8)	77	26.9 (9.3)					0.228
ALT (IU/L)	78	25.5 (29.4)	78	23.0 (16.1)	79	24.8 (17.2)	77	27.5 (16.5)					0.586
γ -GTP (IU/L)	78	23.9 (23.2)	78	31.0 (40.9)	79	37.7 (42.6)	77	53.0 (55.2)					<0.001

p-value by ANOVA (test for trend)

을수록, 총 콜레스테롤이 높을수록, 체질량지수가 낮을수록 혈청 PFOA의 농도가 통계적으로 유의하게 높았다. 업종별로는 섬유제품 염색, 정리 및 마무리 가공업이 다른 업종에 비하여 유의하게 혈청 PFOA 농도가 높았고, 선박 구성부분품 제조업, 주형 및 금형제조업과 플라스틱 합성피혁 제조업 등에서 상대적으로 높았다.

직업적 노출자들에 관한 연구는 근로자들의 혈청 PFOA 농도와 건강검진 자료와의 관련성에 관한 역학 연구 위주로 수행되었다^{6,7,11,17,18)}. PFOA 제조업체 근로자들에서 혈청 PFOA 농도는 노출 수준 및 노출 기간과 연관이 있었다⁸⁾. 혈청 PFOA 농도는 노출 수준에 따라 차이가 있었는데, Olsen 등^{6,17)}이 PFOA 제조공정 근로자들을 대상으로 수행한 연구들에서 평균이 1,780 및 2,210 ng/mL이었고, Emmett 등¹¹⁾이 수행한 연구에서는 PFOA 생산부서 근로자 18명의 평균은 824 ng/mL, 잠재적 노출이 있는 근로자 48명의 평균은 406 ng/mL이었다. 본 연구에서의 혈청 PFOA 농도의 평균은 8.0 ng/mL (범위 1.0~40.9 ng/mL)으로 PFOA 생산부서 근로자들을 대상으로 한 위의 연구들에 비하면 상대적으로 매우 낮게 검출되었다. 국내의 한 연구에서 산업체 근로자 평균이 2.19 ng/mL, 일반 인구의 평균이 1.55 ng/mL로 보고한 결과보다는 높게 검출되었다¹⁹⁾. Olsen 등^{6,17)}과 Emmett 등¹¹⁾의 연구에서는 PFOA를 직접 제조하는 사업장의 근로자들과 오염된 주변지역의 거주자들을 대상으로 하여 PFOA에 고농도로 노출될 수 있는 반면에, 본 연구는 국내에서 PFOA의 화학적 중간생성물 (chemical intermediate)로 취급함으로써 상대적으로 저농도에 노출되는 근로자들을 대상으로 하여 그 노출 정도의 차이가 클 것이므로 이러한 결과를 직접 비교하기는 어렵다고 생각된다.

Emmett 등¹¹⁾이 PFOA 제조공장 주변의 지역주민들을 대상으로 혈청 PFOA의 농도를 조사한 결과 20세 이상에서 연령이 증가함에 따라 평균 혈청 PFOA 농도가 증가하였고, 특히 60세 이상에서 혈청 PFOA의 농도가 높았다. 본 연구 결과에서도 연령이 증가함에 따라 평균 혈청 PFOA 농도가 통계적으로 유의하게 증가하여 Emmett 등의 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 남녀를 층화하여 분석한 결과 남자의 경우 40~49세에서 가장 높았고, 여자의 경우 연령이 증가함에 따라 혈청 PFOA의 농도도 증가하여 50세 이상에서 가장 높았다. 반면 Olsen 등²⁰⁾이 미국의 적십자 헌혈자 645명 (연령 20~69)을 대상으로 실시한 연구에서 혈청 PFOA 농도와 연령은 유의한 관계가 없다고 보고하였으며, Midasch 등¹⁶⁾도 독일의 남부에 거주하는 직업력을 알지 못하는 105명의 비흡연자들 (남자 51명, 여자 54명 연령 5~84세)을 대상으로 실시한 연구에서 연령에 따른 혈청

Table 5. Multiple regression analysis of factors associated with serum PFOA concentration

Method	Variables	Beta	Std. Error	p-value	R-square
Enter	BMI (kg/m ²)	-0.182	0.070	0.010	0.184
	Total Cholesterol (mg/dL)	0.012	0.006	0.058	
	AST (IU/L)	-0.001	0.027	0.982	
	ALT (IU/L)	-0.005	0.015	0.724	
	γ -GTP (IU/L)	0.004	0.006	0.438	
	Age (year)	0.063	0.025	0.011	
	Gender (male/female)	2.678	0.587	0.000	
	Shampoo use (frequency)	-0.007	0.065	0.910	
	Smoking (smoker/nonsmoker)	-0.088	0.418	0.833	
	Alcohol (drinking/non-drinking)	0.036	0.425	0.932	
	Work duration (year)	0.048	0.035	0.170	
Stepwise	Gender (male/female)	3.000	0.398	<0.001	0.200
	Age (year)	0.082	0.021	<0.001	
	BMI (kg/m ²)	-0.181	0.066	0.007	
	Total Cholesterol (mg/dL)	0.012	0.006	0.042	

Table 7. Adjusted Odds Ratios by type of manufacturing companies

Type of manufacturing companies	OR*	p-value	95% CI.
Other electronic components	1.000		
Dyeing and finishing textiles	6.164	0.042	1.07-35.58
Moulding patterns, moulds and industrial patterns	4.837	0.055	0.97-24.21
Sections for ships	3.867	0.060	0.95-15.81
Plastics synthetic leather	10.052	0.062	0.89-113.2
Livestock feeds and prepared animal feeds	0.137	0.067	0.02-1.15
Parts and accessories for motor vehicles and engines	2.146	0.299	0.51-9.06
Broadcasting and wireless telecommunication apparatuses	0.333	0.309	0.04-2.76
Plastic laminating, coating and other surface processing	1.800	0.502	0.32-10.00
Recovery of metal waste and scrap	1.740	0.548	0.29-10.59
Synthetic resin and other plastic materials	0.629	0.568	0.13-3.09
Printing	1.505	0.608	0.32-7.18
Coating and similar treatment of metals	0.662	0.618	0.13-3.35
Spinning of other textile fibers	1.410	0.667	0.29-6.76
Electronic components	0.778	0.758	0.16-3.82
Synthetic rubber and of plastics in primary forms	1.170	0.857	0.21-6.44
Spraying, projecting and dispersing Machines	1.181	0.871	0.16-8.74
Parts of footwear	1.036	0.970	0.17-6.20

*: adjusted for gender and age by logistic regression analysis

PFOA의 농도가 유의한 차이가 없다고 보고한 바 있다. 지금까지의 연구 결과에서는 직업적 노출군과 잠재적 노출군을 대상으로 한 연구에서는 혈청 PFOA의 농도와 연령과의 관련이 있었으나, 비직업적 노출군에서는 관련성을 확인할 수 없었다. 본 연구는 연령과 혈청 PFOA 농도가 관련이 있는 것으로 조사되었다.

앞서 언급된 Olsen 등²⁰⁾의 연구에서 성별 PFOA 농도를 비교한 결과 혈청 PFOA 농도가 남자(n=332)에서 여자(n=313)보다 높았으며, Harada 등²¹⁾의 연구에서도 일

본의 긴키 지역 거주자 34명의 자료에서 남자(n=14)가 여자(n=20)보다 혈청 PFOA 농도가 높았다. Jin 등²²⁾과 Midasch 등¹⁶⁾이 각각 중국과 독일의 일반인을 대상으로 수행한 연구에서도 남자가 여자보다 혈청 PFOA 농도가 높게 나타났다. 본 연구에서도 남자가 여자에 비하여 혈청 PFOA 농도가 유의하게 높았다. PFOA의 가능한 노출원은 음식물, 식수 섭취 및 오염된 분진의 흡입 등으로 알려져 있으며²³⁻²⁵⁾, Midasch 등¹⁶⁾은 일반인에서 PFOA 농도의 성별에 따른 차이는 아직 그 명확한 원인을 알 수

Table 6. Serum PFOA concentration by type of manufacturing companies

Type of manufacturing companies	Male			Female			Total		
	N	Mean (SD)	Range	N	Mean (SD)	Range	N	Mean (SD)	Range
Other electronic components	4	6.7 (2.4)	3.5-8.6	19	5.0 (1.7)	2.8-9.1	23	5.3 (1.9)	2.8-9.1
Livestock feeds and prepared animal feeds	10	5.9 (1.9)	2.9-8.4	1	2.9 (-)	2.9-2.9	11	5.6 (2.0)	2.9-8.4
Synthetic resin and other plastic materials	3	7.1 (4.3)	3.1-11.6	18	5.8 (2.0)	2.7-10.0	21	6.0 (2.4)	2.7-11.6
Coating and similar treatment of metals	2	7.6 (1.4)	6.7-8.6	19	6.1 (2.7)	3.4-15.0	21	6.3 (2.6)	3.4-15.0
Broadcasting and wireless telecommunication apparatuses	9	6.6 (1.1)	5.5-8.4				9	6.6 (1.1)	5.5-8.4
Parts of footwear	6	7.8 (2.3)	5.4-11.2	4	5.5 (2.5)	2.4-8.6	10	6.9 (2.5)	2.4-11.2
Electronic components	8	8.1 (3.3)	5.1-14.3	10	6.5 (1.6)	4.5-8.9	18	7.2 (2.6)	4.5-14.3
Spinning of other textile fibers	4	9.6 (1.7)	8.0-11.6	12	6.7 (1.9)	4.2-10.0	16	7.4 (2.2)	4.2-11.6
Printing	16	8.4 (2.7)	2.8-13.7	5	4.3 (1.1)	3.1-5.5	21	7.4 (3.0)	2.8-13.7
Synthetic rubber and of plastics in primary forms	8	8.0 (3.2)	5.5-13.3	3	6.0 (2.2)	3.6-7.9	11	7.4 (3.0)	3.6-13.3
Plastic laminating, coating and other surface processing	13	8.1 (0.8)	7.0-9.6	2	8.2 (0.0)	8.1-8.2	15	8.1 (0.8)	7.0-9.6
Parts and accessories for motor vehicles and engines	21	9.0 (3.5)	3.8-19.4	7	7.8 (4.0)	2.4-12.1	28	8.7 (3.6)	2.4-19.4
Recovery of metal waste and scrap	14	9.2 (2.8)	5.3-16.2				14	9.2 (2.8)	5.3-16.2
Plastics synthetic leather	4	9.2 (5.3)	1.4-13.6	3	9.7 (0.9)	8.8-10.4	7	9.4 (3.8)	1.4-13.6
Moulding patterns, moulds and industrial patterns	24	9.8 (2.4)	6.9-16.0				24	9.8 (2.4)	6.9-16.0
Sections for ships	33	10.4 (6.9)	1.0-40.9	6	8.7 (0.8)	7.3-9.3	39	10.1 (6.3)	1.0-40.9
Spraying, projecting and dispersing Machines	7	10.2 (3.8)	5.5-16.5				7	10.2 (3.8)	5.5-16.5
Dyeing and finishing textiles	17	10.5 (2.7)	4.5-16.1	3	10.3 (4.1)	7.5-15.0	20	10.5 (2.8)	4.5-16.1
Total	203	9.0 (3.9)	1.0-40.9	112	6.3 (2.5)	2.4-15.0	315	8.0 (3.7)	1.0-40.9

는 없으나, 남녀간의 식이 및 생활습관의 차이 때문으로 추정하였으며, 음주와 흡연의 경우에는 혈청 PFOA 농도와 관련성이 없는 것으로 보고하였고, 본 연구에서도 음주 및 흡연이 PFOA 농도와 관련성이 없었다.

PFOA의 독성에 관한 동물실험에서 간암 및 간손상 등이 보고됨에 따라 인체에서도 간이 표적장기일 가능성이 제시되었으며²⁶⁻²⁸⁾, 이에 따라 직업적 노출자들을 대상으로 인체에서의 PFOA의 간기능에 대한 연구들이 우선적으로 수행되었다. Ubel 등⁸⁾은 1976년부터 3년간 PFOA 제조 공장의 근로자들을 대상으로 PFOA의 건강 영향에 관하여 조사한 결과 혈청 PFOA 농도가 높은 군에서 γ -GTP가 증가함을 보고하면서 혈청 γ -GTP는 알코올 섭취에 민감도가 높았기 때문에 혈청 PFOA 농도와 관련이 있다고 결론 내리기는 어렵다고 하였다. Gilliland 등²⁹⁾의 연구에서는 비만 근로자들에서 PFOA 농도가 증가함에 따라 AST와 ALT의 농도가 증가하였다. 반면 Emmett 등³⁰⁾이 PFOA 제조 공장 부근의 주민들을 대상으로 수행한 연구에서는 AST, ALT 및 γ -GTP 등의 간 효소 수치는 혈청 PFOA 농도와 상관관계가 없다고 보고하였다. 본 연구에서는 혈청 AST와 ALT는 혈청 PFOA 농도와 통계적으로 유의한 관련이 없었으며 γ -GTP 또한 연령 및 성별과 BMI 등의 관련교란요인들을 보정하였을 때 Emmett 등의 연구와 유사하게 PFOA 농도와 관련이 없었다.

중성지방과 혈청 PFOA 농도 사이의 관련성에 관한 Olsen 등⁶⁾의 연구에서 양의 상관관계가 있었으며, Sakr 등⁷⁾이 PFOA 제조공장 근로자들을 대상으로 수행한 단면연구에 의하면 총 콜레스테롤도 PFOA와 상관관계가 있었다. 또한 Sakr 등¹⁸⁾이 같은 회사의 근로자들을 대상으로 수행한 코호트 연구에 의하면 연령, 성별, BMI, 알코올 섭취 등의 교란요인들을 보정하였을 때 혈청 PFOA가 1 ppm 증가하면 총 콜레스테롤이 1.06 mg/dL 증가하였으나 혈청 PFOA 농도와 중성지방과 저밀도 지단백 및 고밀도지단백의 농도와는 상관성이 없었다. 본 연구에서는 총 콜레스테롤 농도에 대하여 연령과 성, BMI 등의 교란요인들을 보정한 결과 혈청 PFOA 농도가 증가함에 따라 총 콜레스테롤이 증가하였다.

본 연구에서 혈청 PFOA의 농도에 영향을 줄 수 있는 교란요인들을 보정한 결과 인스턴트 식품의 섭취, 1회용 음식용기 및 모발용 샴푸의 사용은 혈청 PFOA 농도와 상관성이 없었다. 이는 실제 조리 상황의 프라이팬 및 조리기구에서 PFOA가 검출되지 않았다는 기존 연구들과 부합하는 소견이었다³¹⁻³³⁾.

Emmett 등¹¹⁾이 직업적 노출과 관련하여 PFOA 제조 공장 주변의 거주자들을 대상으로 직업적 노출이 없는 군, 잠재적인 노출군 (소방수, 불화중합체 제조공장의 비

생산직 근로자, 카펫 청소부, 카펫 재처리 기사, 전문적인 카펫 설치 기사)과 제조공장 근로자의 3군으로 분류하여 혈청 PFOA의 농도를 조사한 연구에서 혈청 PFOA 농도는 직업적 노출이 없는 군에서 가장 낮았고, 잠재적 노출군, 제조공장 근로자 순으로 높게 나타나 직업적 노출과 혈청 PFOA와의 상관성을 보고한 바 있다. 본 연구에서는 PFOA에 대한 노출 가능성이 있는 18개 업종의 생산직 근로자들을 대상으로 연령과 성별을 보정하여 업종별 혈청 PFOA 농도를 비교하기 위하여 혈청 PFOA 농도가 가장 낮게 조사되었던 기타 전자부품 제조업을 기준으로 교차비를 산출한 결과 섬유제품 염색, 정리 및 마무리 가공업이 6.16배로 유의하게 높았으며, 주형 및 금형 제조업이 4.84배, 선박 구성부분품 제조업이 3.87배, 플라스틱 합성피혁 제조업이 10.05배로 나타났으나 통계적인 유의성은 없었다.

본 연구의 제한점은 설문지를 이용하여 훈련된 면접자가 직접면담을 통하여 정보를 수집하였으나 그 과정에서 응답자의 회상편견(recall bias)이 작용할 수 있으며, 현재 직업에 종사하고 있는 사람들만을 대상으로 하였으므로 건강근로자효과의 가능성이 있다는 점이다. 또한 혈청 PFOA 농도에 대해 주요한 환경인자로 음용수와 식이 및 다양한 생활습관 등이 영향을 미칠 수 있으므로 향후에는 이러한 점들을 보완한 조사가 필요할 것이다.

지금까지 국내에서 직업적 PFOA 노출 실태에 대한 조사가 제대로 이루어지지 않았다. 이에 본 연구는 PFOA에 노출이 가능한 제조업 근로자들을 대상으로 혈청 PFOA의 농도와 생활습관, 직업적 관련 요인, 간기능 검사 및 지질검사와 관련성 등을 조사하였고, 업종별로 혈청 PFOA농도의 차이를 제시함으로써 향후 PFOA의 인체 위해성을 평가하는 기초자료로 활용 가치가 있을 것으로 기대된다.

요 약

목적: PFOA에 노출이 가능한 제조업 근로자들을 대상으로 혈청 PFOA농도를 조사하고 생활습관, 직업적 요인, 간기능 및 혈청 지질과의 관련성을 연구하고자 하였다.

방법: 2007년 8월부터 12월까지 부산지역 1개 대학병원 산업의학과에서 건강진단을 받은 PFOA노출 가능성이 있는 제조업 사업장 근로자 남자 203명과 여자112명의 총315명을 대상으로 하였다. 생활습관 및 직업적 요인을 설문조사 하였고, 혈청 PFOA 농도를 LC-MS/MS로 분석하였으며, 간기능 및 혈청 지질 검사를 실시하였다.

결과: 혈청 PFOA 농도의 평균은 전체가 8.0 ng/mL이었으며, 남자가 9.0 ng/mL, 여자가 6.3 ng/mL로

남자가 여자보다 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.001$). 다중회귀분석을 시행한 결과 성, 연령, 체질량지수, 총 콜레스테롤 등이 유의하게 나타났다. 성별로는 남성에서, 연령이 많을 수록, 총 콜레스테롤이 높을 수록, 체질량지수가 낮을 수록 혈청 PFOA의 농도가 통계적으로 유의하게 높았다. 로지스틱 회귀분석을 실시하여 성과 연령을 보정한 교차비를 산출한 결과, 섬유제품 염색, 정리 및 마무리 가공업(OR 6.16)이 통계적으로 유의하게 높았고, 주형 및 금형 제조업(OR 4.84), 선박 구성부분품 제조업(OR 3.87), 플라스틱 합성피혁 제조업(OR 10.05) 등이 상대적으로 높았다.

결론: 제조업 근로자들의 혈청 PFOA 농도는 성, 연령 및 총 콜레스테롤 등과 관련성이 있었고, 업종별로는 섬유제품 염색, 정리 및 마무리 가공업에서 높은 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 PFOA의 인체 위해성을 조사하기 위한 기초자료로 활용가치가 있을 것이다.

참 고 문 헌

- Hundley SG, Sarraf AM, Kennedy GL. Absorption, distribution, and excretion of ammonium perfluorooctanoate (APFO) after oral administration to various species. *Drug Chem Toxicol* 2006;29(2):137-45.
- Han X, Snow TA, Kemper RA, Jepson GW. Binding of perfluorooctanoic acid to rat and human plasma proteins. *Chem Res Toxicol* 2003;16(6):775-81.
- Olsen GW, Burris JM, Ehresman DJ, Froehlich JW, Seacat AM, Butenhoff JL, Zobel LR. Half-life of serum elimination of perfluorooctanesulfonate, perfluorohexanesulfonate, and perfluorooctanoate in retired fluorocarbon production workers. *Environ Health Perspect* 2007;115(9):1298-305.
- Fromme H, Midasch O, Twardella D, Angerer J, Boehmer S, Liebl B. Occurrence of perfluorinated substances in an adult German population in southern Bavaria. *Int Arch Occup Environ Health* 2007;80(4):313-9.
- Kannan K, Corsolini S, Falandysz J, Fillmann G, Kumar KS, Loganathan BG, Mohd MA, Olivero J, Van Wouwe N, Yang JH, Aldoust KM. Perfluorooctanesulfonate and related fluorocarbon chemicals in human blood from several countries. *Environ Sci Technol* 2004;38(17):4489-95.
- Olsen GW, Burris JM, Burlew MM, Mandel JH. Epidemiologic assessment of worker serum perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) concentrations and medical surveillance examinations. *J Occup Environ Med* 2003;45(3):260-70.
- Sakr CJ, Kreckmann KH, Green JW, Gillies PJ, Reynolds JL, Leonard RC. Cross-sectional study of lipids and liver enzymes related to a serum biomarker of exposure (ammonium perfluorooctanoate or APFO) as part of a general health survey in a cohort of occupationally exposed workers. *J Occup Environ Med* 2007;49(10):1086-96.
- Ubel FA, Sorenson SD, Roach DE. Health status of plant workers exposed to fluorocarbon chemicals--a preliminary report. *Am Ind Hyg Assoc J* 1980;41(8):584-9.
- Gilliland FD, Mandel JS. Mortality among employees of a perfluorooctanoic acid production plant. *J Occup Med* 1993;35(9):950-4.
- Olsen GW, Burris JM, Burlew MM, Mandel JH. Plasma cholecystokinin and hepatic enzymes, cholesterol and lipoproteins in ammonium perfluorooctanoate production workers. *Drug Chem Toxicol* 2000;23(4):603-20.
- Emmett EA, Shofer FS, Zhang H, Freeman D, Desai C, Shaw LM. Community exposure to perfluorooctanoate: relationships between serum concentrations and exposure sources. *J Occup Environ Med* 2006;48(8):759-70.
- Olsen GW, Logan PW, Hansen KJ, Simpson CA, Burris JM, Burlew MM, Vorarath PP, Venkateswarlu P, Schumpert JC, Mandel JH. An occupational exposure assessment of a perfluorooctanesulfonyl fluoride production site: biomonitoring. *AIHA J (Fairfax, Va)* 2003;64(5):651-9.
- Kennedy GL, Jr., Butenhoff JL, Olsen GW, O'Connor JC, Seacat AM, Perkins RG, Biegel LB, Murphy SR, Farrar DG. The toxicology of perfluorooctanoate. *Crit Rev Toxicol* 2004;34(4):351-84.
- Lee CH. Manufacturing. In: Korean Standard Industrial Classification (2008). National Statistical Office, Daejeon. 2008. pp. 28-64, 154-404. (Korean)
- Weisell RC. Body mass index as an indicator of obesity. *Asia Pac J Clin Nutr* 2002;11 Suppl 8:S681-4.
- 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(6):489-96.
- Olsen GW, Zobel LR. Assessment of lipid, hepatic, and thyroid parameters with serum perfluorooctanoate (PFOA) concentrations in fluorocarbon production workers. *Int Arch Occup Environ Health* 2007;81(2):231-46.
- Sakr CJ, Leonard RC, Kreckmann KH, Slade MD, Cullen MR. Longitudinal study of serum lipids and liver enzymes in workers with occupational exposure to ammonium perfluorooctanoate. *J Occup Environ Med* 2007;49(8):872-9.
- Kim YJ. The survey of exposure level for PFOS and PFOA in human. KFDA, Seoul. 2006. pp. 1-115. (Korean)
- Olsen GW, Church TR, Miller JP, Burris JM, Hansen KJ, Lundberg JK, Armitage JB, Herron RM, Medhizadeh-kashi Z, Nobiletti JB, O'Neill EM, Mandel JH, Zobel LR. Perfluorooctanesulfonate and other fluorocarbon chemicals in the

- serum of American Red Cross adult blood donors. *Environ Health Perspect* 2003;111(16):1892-901.
- 21) Harada K, Saito N, Inoue K, Yoshinaga T, Watanabe T, Sasaki S, Kamiyama S, Koizumi A. 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(2):141-7.
- 22) Jin YH, Dong GH, Shu WQ, Ding M, Zhai C, Wang L, Liu X, Saitou N, Sasaki K. Comparison of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctane acid in serum of non-occupational human from Shenyang and Chongqing areas. *Wei Sheng Yan Jiu* 2006;35(5):560-3.
- 23) Kubwabo C, Stewart B, Zhu J, Marro L. Occurrence of perfluorosulfonates and other perfluorochemicals in dust from selected homes in the city of Ottawa, Canada. *J Environ Monit* 2005;7(11):1074-8.
- 24) Moriwaki H, Takatah Y, Arakawa R. Concentrations of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in vacuum cleaner dust collected in Japanese homes. *J Environ Monit* 2003;5(5):753-7.
- 25) Saito N, Harada K, Inoue K, Sasaki K, Yoshinaga T, Koizumi A. Perfluorooctanoate and perfluorooctane sulfonate concentrations in surface water in Japan. *J Occup Health* 2004;46(1):49-59.
- 26) Abdellatif AG, Preat V, Vamecq J, Nilsson R, Roberfroid M. Peroxisome proliferation and modulation of rat liver carcinogenesis by 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid, perfluorooctanoic acid and nafenopin. *Carcinogenesis* 1990;11(11):1899-902.
- 27) Cook JC, Murray SM, Frame SR, Hurtt ME. Induction of Leydig cell adenomas by ammonium perfluorooctanoate: a possible endocrine-related mechanism. *Toxicol Appl Pharmacol* 1992;113(2):209-17.
- 28) Biegel LB, Hurtt ME, Frame SR, O'Connor JC, Cook JC. Mechanisms of extrahepatic tumor induction by peroxisome proliferators in male CD rats. *Toxicol Sci* 2001;60(1):44-55.
- 29) Gilliland FD, Mandel JS. Serum perfluorooctanoic acid and hepatic enzymes, lipoproteins, and cholesterol: a study of occupationally exposed men. *Am J Ind Med* 1996;29(5):560-8.
- 30) Emmett EA, Zhang H, Shofer FS, Freeman D, Rodway NV, Desai C, Shaw LM. Community exposure to perfluorooctanoate: relationships between serum levels and certain health parameters. *J Occup Environ Med* 2006;48(8):771-9.
- 31) Powley CR, Michalczyk MJ, Kaiser MA, Buxton LW. Determination of perfluorooctanoic acid (PFOA) extractable from the surface of commercial cookware under simulated cooking conditions by LC/MS/MS. *Analyst* 2005;130(9):1299-302.
- 32) Sinclair E, Kim SK, Akinleye HB, Kannan K. Quantitation of gas-phase perfluoroalkyl surfactants and fluorotelomer alcohols released from nonstick cookware and microwave popcorn bags. *Environ Sci Technol* 2007;41(4):1180-5.
- 33) 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(10):1023-31.