

유통 중인 어류의 중금속 모니터링 - 비소, 카드뮴, 구리, 납, 망간, 아연, 총수은 -

김희연 · 김진철* · 김서영¹ · 이진하² · 장영미 · 이명숙 · 박종석 · 이광호

경인지방식품의약품안전청 유해물질분석팀, ¹식품의약품안전청 영양평가팀, ²대전지방식품의약품안전청 시험분석팀

Monitoring of Heavy Metals in Fishes in Korea - As, Cd, Cu, Pb, Mn, Zn, Total Hg -

Hee-Yun Kim, Jin-Chul Kim*, Seo-Young Kim¹, Jin-Ha Lee², Young-Mi Jang,
Myoung-Sook Lee, Jong-Seok Park, and Kwang-Ho Lee

Hazard Substances Analysis Team, Center for Food and Drug Analysis, Gyeongin Regional Korea Food and Drug Administration

¹Nutrition Evaluation Team, Food and Drug Administration

²Testing & Analysis Team, Daejoen Regional Korea Food and Drug Administration

Abstract This survey was carried out to estimate the heavy metal contents of fishes (531 ocean fishes and 80 freshwater fishes) sold in and around Korea from April to October in 2006. The contents of arsenic (As), cadmium (Cd), copper (Cu), lead (Pb), manganese (Mn), zinc (Zn) and mercury (Hg) were estimated by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and a mercury analyzer. The concentrations [mean (minimum-maximum) mg/kg] of heavy metals in the ocean fishes were as follows: As=2.523 (0.140-65.543), Cd=0.017 (0.000-0.108), Cu=0.569 (0.040-5.634), Pb=0.023 (0.000-0.323), Hg=0.068 (0.002-0.754), Mn=0.395 (0.016-4.651) and Zn=6.086 (0.529-34.729). The concentrations of heavy metals in the freshwater fishes were: As=0.370 (0.024-2.231), Cd=0.011 (ND-0.086), Cu=0.628 (0.003-1.962), Pb=0.026 (ND-0.423), Hg=0.058 (0.006-0.349), Mn=1.150 (0.069-7.230) and Zn=9.980 (3.463-82.737). The weekly intakes of Cd, Hg and Pb from fish were 0.9, 1.6 and 0.9%, respectively, as compared with the Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) established by Joint FAO/WHO Expert Committee for food safety evaluation.

Key words: Fish, Heavy metal, Monitoring, PTWI

서 론

고도의 경제성장과 더불어 산업의 발달로 각종 공해가 발생하고 공장폐수 및 생활하수에 의해 하천 및 연안해수의 오염은 날로 심각해지고 있다. 연안해역에 유입된 중금속은 1차적으로 플랑크톤에 오염되어 생태계의 먹이 사슬을 통해 어·패류에 점차적으로 축적·전달되고, 이를 섭취함으로써 인체는 오염물질에 노출되고 건강에 악영향을 가져오게 된다(1). 우리나라는 최근 국민소득수준의 향상에 따라 건강증진에 대한 국민의 관심이 급속도로 높아지고 있어 육류보다는 어류를 통한 단백질 섭취가 늘어나고 있는 추세이다. 이에 따라 어류의 중금속에 대한 지속적인 관리가 필요함에도 불구하고, 어류에 함유된 미량금속 함량에 대한 자료가 부족하여 현재 중금속잔류허용 기준은 해산 어·패류(연체류 포함)와 담수어에서 총수은 0.5, 납 2.0 mg/kg 이하로만 설정되어 있는 실정이다(2). 어류의 중금속 함량에 대한 전반적인 실태조사의 필요성에 따라 2003년 국내 유통 중인 어류에

대한 미량금속 모니터링 사업을 실시한 바 있으나(3), 중금속의 기준 규격 설정을 위해서는 많은 모니터링 자료가 필요하다. 또한, 우리나라의 경우 현재 어류의 납 잔류허용기준이 2.0 mg/kg 이하로 설정되어 있으나, Codex에서 어류에 대한 납 함량 기준이 2006년도에 0.3 mg/kg로 설정되어 국제규격과의 조화도 해결해야 할 당면과제다(4).

이에 본 연구에서는 우리나라 10개 지역 등을 선정(서울, 인천, 군산, 목포, 여수, 충무, 부산, 포항, 강릉, 속초)하여 유통 중인 해산어류와 전국 내륙지방 및 주요도시의 담수어를 대상으로 총 611건을 수거하여 각 어류의 중금속 함량을 측정하였다. 중금속 원소 가운데 미량만으로도 인체에 유해한 영향을 미치고, 체내 축적성이 강하여 장기간에 걸쳐 체내에 축적되면 급·만성 질환의 건강장해를 일으키기 때문에 중요시 되고 있는 납, 카드뮴, 비소, 수은(5)과 인체에 필수적인 금속이지만 과량 노출 시 위해를 입힐 수 있는 가능성을 가진 구리, 망간, 아연의 함량과 섭취량에 대한 안전성을 평가하여 Codex 등 국제 규격과 조화를 이루는 발판을 마련하고자 한다. FAO/WHO 합동 식품규격위원회(The Joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission)에서는 식품오염물질 모니터링사업으로 수집한 각국의 식품 중 중금속 등의 오염물질 함량에 대한 모니터링 결과를 오염물질의 기준 설정에 반영하고 있다(6). 본 조사를 통해 국제기준규격과 조화를 모색하고 또한 어류 중 중금속 규격 제·개정(안)을 제시하기 위한 근거 자료로 활용하고자 한다.

*Corresponding author: Jin-Chul Kim, Hazard Substance Analysis Team, Center for Food and Drug Inspection, Gyeongin Regional Korea Food and Drug Administration, Juan-Idong, Nam-gu, Incheon, 402-835, Korea
Tel: 82-32-450-3375
Fax: 82-32-442-4622
E-mail: jc2kim@naver.com
Received March 19, 2007; accepted June 9, 2007

재료 및 방법

시료

본 실험의 재료는 2006년 4월부터 10월까지 우리나라 시중에서 유통되고 있는 해산어류와 담수어를 수거하여 사용하였다. 해산어류는 수산물 소비량 조사표에 의거하여 다소비 순으로 20종(가자미, 갈치, 고등어, 꽁어, 쾡치, 농어, 도미, 명태, 민어, 병어, 삼치, 송어, 우럭, 장어, 조기 등)을 주요 어종으로 분류하여 전국에서 총 470건 채취하였다. 지역 및 계절적 특이성을 지닌 어종(날치, 도루묵, 망둥어, 미역치, 보리멸, 복어, 상어, 서대, 장대, 전갱이, 전어, 정어리, 쥐치, 참다랑어, 홍치)은 기타 어종으로 분류하여 15종 61건을 채취하였다. 담수어는 주요 도시 및 내륙 지방(서울, 경기, 대전, 청주, 광주, 전주, 진주, 부산)을 중심으로 가물치, 메기, 미꾸라지, 민물장어, 붕어, 잉어, 향어, 송어, 은어, 산천어 등 12종의 담수어 총 80건을 채취하였다. 시료 채취는 우리나라 식품공전 식품별 검체 채취방법 중 수산물 채취방법에 따라 500 g 미만은 10마리 이상, 0.5-1.5 kg은 5마리, 1.5 kg 이상은 3마리 채취하였다(7).

시약 및 초자

분해용 시약으로는 반도체급의 질산과 과산화수소(Dongwoo Fine Chem, Iksan, Korea)를 사용하였고, 실험에 사용되는 증류수는 18.2 M Ω 수준으로 정제된 물을 사용하였다. 모든 실험초자는 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌 재질을 사용하였으며, 5% 질산에 24시간 보관한 후 초순수로 깨끗하게 씻은 상태로 사용하였다. ICP-MS 분석을 위한 표준액은 비소, 카드뮴, 구리, 납, 망간, 아연 혼합 표준액 10 μ g/mL(Perkin Elmer, Waltham, MA, USA)를 0.5 N 질산에 희석하여 사용하였고, 수은 표준용액은 수은 표준원액 5 μ g/mL(Perkin Elmer)를 사용하여 증류수로 희석하여 사용하였다.

시료의 전처리

채취된 어류는 냉장상태로 운송하여 어류도감으로 어종을 확인하고 1차 증류수로 1회, 3차 증류수로 2-3회 세척하였다. 어류의 지느러미, 뼈, 내장을 제외하고 가식부인 근육부위를 분리하여 균질기(Halde VCM-61, AB Halde Maskiner, Kista, Sweden)로 처리하여 무게 측정 후 시료로 사용하거나, 폴리에틸렌 용기에 담아 냉동(-20°C 이하)보관 후 실온에서 해동하여 무게 측정 후 시료로 사용하였다. 다만, 미꾸라지는 한국인 식습관에 따라 전 부위를 취해서 실험하였다. 시료의 분해는 습식분해법, 변형된 microwave(ETHOS Touch Control, Milestone, Vergamo, Italy) 분해법(8) 및 microwave 분해법(9) 3가지 방법을 비교하여 그 중 회수율이 가장 좋은 방법을 선택하였다. 변형된 microwave 분해법은 시료를 일정량 취해 12시간 동안 질산에 담근 후 microwave를 이용하여 분해한 방법을 말한다.

기기분석조건

1-1.5 g의 시료를 정확히 취하여 질산 7 mL와 과산화수소 1 mL를 넣어 microwave로 산분해 하였고, 비소, 카드뮴, 구리, 납, 망

Table 1. Conditions of ICP-MS

Parameter	Value		
RF power	1,400 Watts		
Lens voltage	10.50 V		
Nebulizer gas flow	0.90-0.95 L/min		
Plasma gas flow	17 mL/min		
Auxiliary gas flow	1.7 mL/min		
Dwelling time	100 sec		
Reaction gas flow	Ammonia (mL/min)	Oxygen (mL/min)	
	Mn, Pb	0.6	0
	Cu, Zn, Cd	0.35	0
	As	0	0.6

간, 아연의 중금속을 ICP-MS(ELAN DRC-II, Perkin-Elmer)를 이용하여 측정하였다. ICP-MS 분석 중 간섭현상을 최대한 줄이기 위해서 카드뮴, 구리, 망간, 납, 아연은 암모니아를 반응기체(reaction gas)로 이용하였고, 특히 비소의 경우는 어류의 특성상 시료 내 염분에 의한 Cl의 함량이 높아 $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}$ 의 형태를 이룬 경우 비소의 원자량과 일치하여, 간섭현상을 줄이기 위해 산소를 반응기체로 이용하여 측정하였으며, 기기조건은 Table 1과 같다.

시료 중 수은 함량은 가열기화금아말감법(Combustion gold amalgamation method)을 이용한 mercury analyzer(DMA80, Milestone)를 이용하여 측정하였다. 수은 표준용액은 수은 표준원액 5 μ g/mL를 사용하여 증류수로 희석하여 사용하였다. 시료는 약 0.1 g 취하여 분석하였으며, 기기 조건은 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

전처리 방법 비교

어류에서의 비소, 카드뮴, 구리, 망간, 납, 아연의 최적 분석조건을 찾기 위해 습식회화법, 변형된 microwave 분해법 및 microwave 분해법을 구분하여 비교 실험하였다. 분해방법에 따라 회수율 실험결과를 Table 3과 같다. Microwave 분해법에 의하여 측정된 각 금속의 회수율은 95-102%로 가장 높은 수치를 나타냈고, 변형된 microwave 분해법에 의한 회수율은 74-115%로 구리, 망간, 아연, 비소 등이 낮았으며 습식회화법에 의한 회수율은 80-122%로 망간, 납, 비소 등이 낮게 측정되었다. 상기의 실험결과를 종합적으로 볼 때, 지방 함량이 높은 어류의 경우 습식분해법으로 분해 시에는 72시간 이상 소요되어 공기 중 중금속, 특히 아연에 의한 오염에 대해 제어하기가 어려웠으며 비소의 회수율이 낮았다. 미국 식품의약품안전청(U.S. Food and Drug Administration, FDA) 및 국립법의화학센터(National Forensic Chemistry Center)에서는 수산물에 대한 전처리 방법으로 microwave 분해법을 제시하였다(9). Microwave 분해법을 이용하여 시료를 분해하는 경우 다른 분해법에 비해 2시간 내로 분해가 이루어져 시간단축과 산류를 적게 사용하여 시약에서 오는 오염의 문제가 적어지고 주변 환경에서 오는 오염이 줄어드는 장점이 있다. 변형

Table 2. The conditions of mercury analyzer

Drying temp.	Drying time	Decomposition temp.	Decomposition time	Purse time	Amalgamator heating time	Record time
200°C	150 sec	700°C	180 sec	60 sec	12 sec	60 sec

Table 3. Comparison of digestion methods

Elements	Recovery (%)		
	Digestion method		
	Wet ashed	Modified microwave	Microwave
As	83	85	95
Cd	91	104	98
Cu	88	74	99
Pb	82	115	99
Mn	80	77	96
Zn	122	79	102

된 microwave 분해법은 직접 microwave를 이용하는 방법에 비해 시료를 많이 취할 수 있는 장점이 있으나, 전처리 시간이 오래 걸리며 시료를 옮겨 담는 과정에서 손실을 나타내었고, 시료 간 분석치의 정밀도가 떨어지는 단점이 있었다. 습식회화법, 변형된 microwave 분해법에 비해 모든 금속에서 95% 이상의 회수율을 보인 microwave 분해법을 가장 적합한 방법으로 채택하였다.

정량 및 검출한계

수은 분석을 위한 검량선은 5 mg/kg 표준액을 이용하여 25, 50, 100, 150, 300 µg/kg으로 희석하여 측정하였고 6종 금속의 검량선은 10 mg/kg 혼합표준액을 1, 5, 10, 50, 200 µg/kg으로 희석하여 측정하였다. 수은을 제외한 6종 금속의 측정된 검량선을 이용한 검출한계(limit of detection, LOD)는 납 0.008, 카드뮴 0.002, 비소 0.002, 구리 0.006, 망간 0.003, 아연 0.008 µg/kg이었고 정량한계(limit of quantitation, LOQ)는 납 0.025, 카드뮴 0.006, 비소 0.005, 구리 0.017, 망간 0.010, 아연 0.023 µg/kg이었다. 이러한 결과는 2005년 영국에서 실시한 어류의 중금속 함량 조사에서 사용한 ICP-MS의 검출한계와 정량한계인 0.0016-0.066과 0.005-0.20 mg/kg보다 높은 감도를 나타냈다(10).

회수율과 표준인증물질 측정

수은의 분석은 표준용액을 이용하여 검량선을 작성 후, 시료에 수은 20 ng을 가하여 측정 한 회수율은 99%였고, 미국 표준과학 기술원(National Institute of Standards and Technology, NIST)에서 구입한 표준인증물질(certified reference material, CRM)을 이용하여 측정한 결과는 98%이었다(Table 4, 5). 수은을 제외한 6종 금속의 회수율은 각 시료에 3가지 농도를 사용하여 분석하였다(Table 4). 시료중의 각 중금속의 함량을 분석할 때와 동일한 방법으로 측정하여 평균값을 취하여 회수율을 구하였고, 6종 금속의 전체 회수율은 94-108%를 나타내었다. 표준인증물질 분석은 한국표준 과학연구원에서 구입한 원소분석용 쌀 분말을 이용하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. CRM의 망간 측정 결과가 인증값보다 다소 높게 측정되었으나, 전반적으로 인증값과 일치되는 측정결과를 보이고 있다.

해산어류의 중금속 함량

해산어류 35종에 대한 중금속 함량을 측정한 결과는 Table 6과 같다.

본 연구에서 조사된 비소의 평균 함량은 2.523(0.140-65.543) mg/kg으로, 개상어에서 38.417 mg/kg으로 가장 높게 나타났고, 홍치에서는 0.527 mg/kg으로 가장 낮았다. 이번 조사결과는 Lee 등(3)의 조사결과인 2.12(불검출-14.06) mg/kg, Sho 등(11)의 0.84(0.01-5.45)

Table 4. Recovery of the heavy metals (standards addition method)

Analyte	Sample weight ¹⁾ (g)	Spiked concentration (mg/kg)	Recovery concentration (mg/kg)	Recovery (%)
As	1.20±0.06	0.80	0.82	103
	1.12±0.00	1.60	1.57	98
	1.10±0.04	3.20	3.10	97
Cd	1.08±0.02	0.03	0.03	100
	1.05±0.05	0.05	0.05	100
	1.16±0.03	0.10	0.10	100
Cu	1.05±0.02	0.03	0.03	100
	1.04±0.01	0.05	0.48	96
	1.17±0.05	0.10	0.10	100
Pb	1.05±0.03	0.01	0.01	100
	1.04±0.07	0.02	0.02	100
	1.05±0.05	0.04	0.04	100
Mn	1.05±0.06	0.10	0.10	100
	1.13±0.03	0.20	0.19	95
	1.24±0.02	0.45	0.47	104
Zn	1.09±0.01	5.01	5.02	100
	1.15±0.08	10.10	10.21	101
	1.12±0.07	20.05	20.01	100
Hg	0.10±0.01	20.05 ng	19.82 ng	99

¹⁾Number of sampling = 5

Table 5. The measurement of CRM

Analyte	No.	Certified (mg/kg)	Measured (mg/kg)
CRM (KRISS ¹⁾ 108-01-002)			
As	7	2.02±0.13	1.94±0.16
Cd	7	1.32±0.24	1.23±0.06
Cu	7	4.59±0.74	4.43±0.38
Pb	7	1.18 ²⁾	1.14±0.05
Mn	7	37.1±1.1	39.85±2.05
Zn	7	22.6±1.3	21.22±1.10
CRM (NIST ³⁾ 1633b)			
Hg	10	143.1±1.8	139.87±2.38

¹⁾Korea Research Institute of Standard and Science

²⁾Reference value

³⁾National Institute of Standard and Technology

mg/kg, Hwang 등(12)의 0.24±0.22 mg/kg, Sung 등(13)의 1.31 (0.05-9.37) mg/kg보다 높은 값을 보였다. 비소 화합물 중 무기비소는 축적독성을 나타내며, 아비산(As₂O₃)은 가장 강력한 독성을 가진 것으로 보고되고 있으나(5,14), 비소의 경우 아직까지 생체 내에서의 생리작용에 대해서 구체적으로 밝혀진 바가 별로 없고, 과량 축적 시에만 신체독성을 나타내는 것으로 알려져 있다. FAO/WHO에서는 식품을 통한 비소 섭취량에 대한 안전성 평가는 독성이 강한 무기비소에 대해서만 체중 kg당 15 µg으로 정해져 있으며(15), 일반적으로 식품 중에 함유된 비소 함량은 낮으며 또한 대부분이 유기비소 형태인 것으로 알려져 있다(14).

카드뮴의 평균 함량은 0.017(0.000-0.108) mg/kg으로, 개상어가 0.038 mg/kg으로 가장 높았고, 망둥어, 미역치, 서대에서 0.002 mg/

Table 6. The trace metal contents in sea fishes

(Unit: mg/kg)

Fish name	N ¹⁾	As	Cd	Cu	Pb	Hg	Mn	Zn
Flounder	28	6.593 ²⁾ (0.928-19.120) ³⁾	0.019 (0.001-0.052)	0.286 (0.095-0.685)	0.036 (0.004-0.122)	0.054 (0.011-0.111)	0.519 (0.087-2.099)	6.038 (1.896-18.085)
Atlantic cutlassfish	29	1.293 (0.250-5.780)	0.018 (0.000-0.050)	0.322 (0.116-1.242)	0.029 (0.001-0.323)	0.082 (0.010-0.295)	0.228 (0.050-0.878)	4.165 (1.742-6.492)
Chub mackerel	29	1.794 (0.360-5.863)	0.021 (0.003-0.102)	1.429 (0.435-2.770)	0.014 (0.001-0.049)	0.097 (0.025-0.383)	0.183 (0.066-0.348)	6.953 (2.481-15.149)
Pacific saury	27	1.498 (0.348-3.307)	0.025 (0.001-0.076)	1.369 (0.193-2.772)	0.015 (0.001-0.043)	0.063 (0.015-0.167)	0.231 (0.091-0.474)	9.072 (2.846-23.960)
Flatfish	29	1.161 (0.229-4.631)	0.015 (0.001-0.054)	0.326 (0.106-0.895)	0.012 (0.002-0.034)	0.063 (0.031-0.144)	0.826 (0.094-3.892)	4.682 (1.986-11.179)
Greenling	21	1.039 (0.256-2.956)	0.019 (0.002-0.042)	0.380 (0.094-0.609)	0.031 (0.007-0.139)	0.052 (0.028-0.098)	0.891 (0.117-4.278)	5.305 (1.279-10.193)
Japanese sea perch	26	1.662 (0.374-3.939)	0.013 (0.000-0.039)	0.293 (0.063-0.818)	0.012 (0.000-0.033)	0.110 (0.066-0.216)	0.099 (0.019-0.246)	5.193 (1.562-10.162)
Red seabream	30	1.500 (0.237-5.305)	0.020 (0.000-0.076)	0.377 (0.349-0.405)	0.016 (0.000-0.057)	0.113 (0.037-0.335)	0.155 (0.016-0.824)	3.991 (1.150-9.364)
Pacific cod	17	4.238 (1.586-9.211)	0.027 (0.002-0.067)	0.480 (0.239-0.764)	0.021 (0.003-0.041)	0.063 (0.021-0.116)	0.554 (0.058-1.823)	5.274 (2.904-9.190)
Alaska pollack	27	1.574 (0.626-11.705)	0.018 (0.002-0.042)	0.809 (0.179-5.634)	0.019 (0.000-0.050)	0.027 (0.007-0.078)	0.239 (0.042-2.634)	5.508 (2.418-16.501)
Brown croaker	20	1.336 (0.140-5.571)	0.017 (0.001-0.043)	0.413 (0.040-1.586)	0.026 (0.000-0.100)	0.057 (0.020-0.188)	0.234 (0.020-1.012)	4.389 (0.529-7.966)
Butter fish	18	1.128 (0.210-3.127)	0.016 (0.002-0.100)	0.178 (0.046-0.426)	0.019 (0.002-0.047)	0.018 (0.008-0.038)	0.378 (0.022-2.161)	4.667 (2.215-9.373)
Spanish mackerel	21	1.453 (0.467-4.799)	0.020 (0.007-0.100)	0.619 (0.215-1.709)	0.016 (0.001-0.066)	0.031 (0.016-0.055)	0.176 (0.081-0.338)	6.911 (3.107-14.731)
Striped mullet	23	1.157 (0.202-2.786)	0.011 (0.001-0.042)	0.669 (0.186-1.366)	0.018 (0.006-0.041)	0.009 (0.003-0.046)	0.369 (0.052-1.234)	4.496 (2.096-9.028)
Blackmouth goosfish	23	3.078 (0.290-6.652)	0.011 (0.001-0.058)	0.342 (0.098-1.014)	0.016 (0.000-0.089)	0.112 (0.029-0.426)	0.252 (0.068-0.501)	4.990 (1.580-9.078)
Jacopever rockfish	38	2.031 (0.415-15.809)	0.018 (0.001-0.093)	0.359 (0.079-0.805)	0.022 (0.003-0.094)	0.072 (0.002-0.284)	0.347 (0.043-3.930)	7.229 (2.285-20.479)
Atka mackerel	14	1.292 (0.858-1.843)	0.019 (0.001-0.050)	0.953 (0.590-1.863)	0.018 (0.001-0.050)	0.045 (0.014-0.101)	0.282 (0.103-0.601)	5.924 (3.638-9.313)
Common conger	17	6.386 (0.278-17.317)	0.020 (0.002-0.055)	0.352 (0.110-0.882)	0.014 (0.000-0.033)	0.066 (0.042-0.112)	0.908 (0.239-4.305)	8.909 (3.167-34.792)

kg으로 가장 낮았다. 이번 조사결과는 Sho 등(11)이 보고한 0.020 (불검출-0.094) mg/kg과 유사하였고, Lee 등(3)의 0.03(불검출-2.03) mg/kg, Hwang 등(12)의 0.34±0.07 mg/kg, Sung 등(13)의 0.056 (0.009-0.092) mg/kg, Ha 등(16)의 0.07 mg/kg보다는 낮았다. Yamazoe 등(17)은 어류 중 카드뮴 함량을 조사한 결과, 성장기간이 길면 길수록 함량이 증가한다고 보고하였다. 카드뮴에 대한 외국의 규제치를 보면, 호주의 경우 어류 0.2 mg/kg, 핀란드에서는 어류 0.1 mg/kg, 덴마크는 어류 0.05 mg/kg, 홍콩에서는 2.0 mg/kg, 네덜란드는 0.05 mg/kg 등이며, 우리나라의 경우는 2000년 9월 이후부터 패류에 대하여 2.0 mg/kg으로 정하고 있다(18).

구리의 평균 함량은 0.569(0.040-5.634) mg/kg으로 정어리가 2.420 mg/kg으로 가장 높았고, 병어에서 0.178 mg/kg으로 가장 낮았다. Sho 등(11)이 보고한 0.66(0.04-3.74) mg/kg과 유사한 것으로 나타났고, Hwang 등(12)이 보고한 1.14±0.13 mg/kg보다는 낮은 결과를 보였다.

납의 평균 함량은 0.023(0.000-0.323) mg/kg으로 보리멸이 0.079 mg/kg으로 가장 높았고, 망둥어와 전갱이에서 0.004 mg/kg으로 가장 낮았다. 이번 조사결과는 Lee 등(3)이 보고한 0.05(불검출-0.72) mg/kg, Tam 등(19)의 0.03(<0.01-0.13) mg/kg과 유사하였고, Sho 등

(11)이 보고한 0.29(불검출-1.87) mg/kg, Sung 등(13)의 0.308(0.108-0.463) mg/kg보다 낮았다. 이 결과는, 굴 중 납 0.23 mg/kg을 제외 하고는 0.01 이하에서 0.09 mg/kg의 납 함량을 보인 영국의 조사 결과(10)와, 어류의 근육부분에서 평균 0.04 mg/kg을 보인 Henry 등(20)의 연구 결과와 유사하였다. 납은 축적독성이 강하여 인체 내 모든 기관(organ)과 조직에서 발견된다(21). 납은 필수금속과 경쟁하여 헤모글로빈과 같은 분자들과 결합하여 그 기능을 방해 하며, 급성 중독 시에는 식욕부진, 소화불량, 복통 등의 증상이 나타난다(22). 납에 대한 외국의 규제치를 보면, 호주의 경우 종류에 따라 1.5-5.5 mg/kg, 캐나다에서는 어류 단백질 0.5 mg/kg, 해 산, 민물 어패류가 각각 10 mg/kg, 덴마크는 어류 0.3 mg/kg, 네덜란드는 어류 0.5 mg/kg 등이며, 우리나라의 경우는 어류, 패류, 연체류에서 2.0 mg/kg으로 설정하고 있다(23).

수은의 평균 함량은 0.068(0.002-0.754) mg/kg으로, 장대가 0.116 mg/kg으로 가장 높았고, 송어에서 0.009 mg/kg으로 가장 낮았다. Lee 등(3)의 연구결과인 0.10 mg/kg과, Sho 등(11)의 0.082(0.004-0.500) mg/kg보다 다소 낮았으며, Ham 등(23)의 0.018(불검출-0.19) mg/kg보다는 높았고, Sung 등(13)의 0.07(0.01-0.16) mg/kg, Tam 등(19)이 0.06(<0.03-0.30) mg/kg로 보고한 것과 유사한 결과를 얻었

Table 6. (continued)

Fish name	N ¹⁾	As	Cd	Cu	Pb	Hg	Mn	Zn
Yellow croaker	27	1.994 ²⁾ (0.260-8.770) ³⁾	0.015 (0.000-0.108)	0.345 (0.114-0.679)	0.019 (0.001-0.053)	0.050 (0.017-0.187)	0.293 (0.064-1.698)	5.296 (1.528-11.261)
Pacific herring	6	1.876 (0.921-2.697)	0.003 (0.001-0.005)	1.233 (0.552-2.015)	0.010 (0.002-0.016)	0.080 (0.040-0.123)	0.373 (0.089-0.661)	6.271 (2.639-9.034)
Flying fish	4	9.647 (8.981-10.313)	0.005 (0.005-0.005)	0.377 (0.349-0.405)	0.005 (0.003-0.007)	0.084 (0.056-0.112)	0.437 (0.277-0.597)	5.745 (5.577-5.914)
Sailfin sandfish	10	1.442 (1.023-1.936)	0.021 (0.005-0.052)	0.604 (0.437-0.903)	0.015 (0.005-0.028)	0.077 (0.033-0.151)	0.289 (0.139-0.551)	7.578 (6.087-9.910)
shuttles	3	1.883 (1.056-2.710)	0.002 (0.002-0.002)	0.312 (0.281-0.342)	0.004 (0.002-0.006)	0.036 (0.029-0.044)	0.300 (0.190-0.411)	11.950 (10.756-13.145)
Spotted velvetfish	3	8.434 (1.511-14.214)	0.002 (0.001-0.003)	0.368 (0.289-0.493)	0.014 (0.008-0.020)	0.043 (0.024-0.056)	1.248 (0.357-2.675)	13.460 (9.767-18.660)
Sand smelt	3	2.481 (2.370-2.637)	0.007 (0.006-0.007)	0.336 (0.290-0.420)	0.079 (0.009-0.196)	0.038 (0.028-0.051)	0.394 (0.289-0.544)	6.021 (5.948-6.139)
Purple puffer	3	1.831 (0.895-3.685)	0.010 (0.001-0.016)	0.385 (0.213-0.638)	0.011 (0.001-0.022)	0.089 (0.040-0.137)	0.173 (0.124-0.217)	14.248 (6.234-20.233)
dog shark	5	38.417 (19.000-65.543)	0.038 (0.014-0.080)	0.814 (0.545-1.274)	0.008 (0.003-0.016)	0.394 (0.190-0.754)	0.501 (0.445-0.550)	8.167 (7.154-9.267)
Tongue-fish	4	8.141 (3.523-14.689)	0.002 (0.000-0.004)	0.265 (0.150-0.473)	0.020 (0.012-0.028)	0.056 (0.024-0.079)	1.386 (0.063-2.333)	5.209 (2.455-9.455)
Flathead	3	2.595 (1.060-4.521)	0.006 (0.002-0.010)	0.321 (0.132-0.584)	0.017 (0.001-0.028)	0.116 (0.044-0.217)	0.198 (0.034-0.679)	5.316 (4.063-7.703)
Horse mackerel	5	3.773 (1.204-6.878)	0.004 (0.001-0.012)	1.394 (0.384-2.264)	0.004 (0.001-0.009)	0.074 (0.021-0.222)	0.270 (0.111-0.548)	8.493 (5.600-19.005)
Gizzardshad	7	1.434 (0.648-2.902)	0.007 (0.003-0.015)	1.077 (0.459-2.343)	0.035 (0.009-0.087)	0.020 (0.009-0.041)	1.855 (0.730-4.651)	11.206 (3.693-28.154)
Pilchard	9	3.789 (3.657-3.921)	0.027 (0.024-0.029)	2.420 (2.405-2.434)	0.033 (0.023-0.043)	0.024 (0.017-0.031)	1.310 (0.335-2.286)	12.456 (10.951-13.961)
File fish	3	6.405 (2.285-14.157)	0.004 (0.001-0.009)	0.330 (0.251-0.441)	0.011 (0.000-0.021)	0.029 (0.019-0.047)	0.187 (0.118-0.273)	4.999 (4.139-5.982)
Rainbow runner	3	3.202 (1.790-4.613)	0.006 (0.000-0.013)	0.567 (0.558-0.576)	0.007 (0.005-0.009)	0.223 (0.029-0.417)	0.510 (0.344-0.676)	9.636 (8.538-10.735)
Red bulleye	3	0.527 (0.491-0.563)	0.004 (0.003-0.006)	0.378 (0.369-0.386)	0.007 (0.004-0.010)	0.055 (0.051-0.058)	0.062 (0.032-0.092)	5.494 (5.492-5.495)
Total	531	2.523 (0.140-65.543)	0.017 (0.000-0.108)	0.569 (0.040-5.634)	0.023 (0.000-0.323)	0.068 (0.002-0.754)	0.395 (0.016-4.651)	6.086 (0.529-34.729)

¹⁾N: Number of samples

²⁾Mean value

³⁾(minimum-maximum)

다. D'Itri는 오염되지 않은 어류에 있어서 수은의 바탕값(background value)은 0.2 mg/kg 이하라고 보고하였으며, WHO Regional office for Europe 보고서에서는 오염지역의 수은 함량이 0.2-0.5 mg/kg으로 나타났다고 보고하였다(24). 본 실험에서 분석된 각 어류별 수은 함량은 우리나라 해산 어패류의 총수은 잔류 허용기준인 0.5 mg/kg보다 낮은 함량분포를 보였다. 수은에 대한 외국의 규제치와 비교해 보더라도, 호주의 경우 어류 1.0 mg/kg, 덴마크에서는 민물어류 1.0 mg/kg, 프랑스에서는 어패류 0.5-0.7 mg/kg, 독일은 어류 가식부에서 1.0 mg/kg, 일본에서는 메틸수은으로써 0.3 mg/kg으로 설정하고 있어 그 함량이 낮다고 할 수 있겠다(23).

망간의 평균 함량은 0.395(0.016-4.651) mg/kg으로 전어 중 함량이 1.855 mg/kg으로 가장 높았고, 홍치에서 0.062 mg/kg으로 가장 낮았다. Lee 등(3)의 조사결과인 0.47(0.01-10.68) mg/kg과 Sho 등(11)의 0.57(불검출-7.56) mg/kg보다 다소 낮았다.

아연의 평균 함량은 6.086 (0.529-34.729) mg/kg으로 복어 내 함량이 14.248 mg/kg으로 가장 높았고 도미에서 3.991 mg/kg으로 가

장 낮았다. Lee 등(3)의 조사결과 4.59(1.13-23.16) mg/kg보다는 다소 높았으나, Sho 등(11)의 6.03(0.92-18.33) mg/kg 연구와는 유사한 결과를 나타내었다.

담수어의 중금속 함량

전국의 주요도시 및 내륙지방에서 채취한 담수어의 중금속 함량을 측정된 결과는 Table 7과 같다.

비소의 평균 함량은 0.370(0.024-2.231) mg/kg이었으며, 가장 함량이 높은 어종은 황어 1.362 mg/kg, 가장 함량이 낮은 어종은 황어 0.060 mg/kg이었다.

카드뮴의 평균 함량은 0.011(불검출-0.086) mg/kg으로 뱀장어에서 0.028 mg/kg으로 가장 높게 나타났고, 송어에서 0.001 mg/kg으로 가장 낮았다. 이러한 결과는 Kim과 Han(25)의 연구 결과 0.002(불검출-0.050)에 비해서는 높은 함량이었으나, 다른 연구(26)에서 나타난 붕어에서의 함량 0.1256-0.1935 mg/kg이나 Sheo 등(27)의 연구 결과인 0.020(0.012-0.033) mg/kg보다는 다소 낮았다.

구리의 평균 함량은 0.628(0.003-1.962) mg/kg으로 미꾸라지에서

Table 7. The trace metal contents in freshwater fishes

(Unit: mg/kg)

Fish name	N ¹⁾	As	Cd	Cu	Pb	Hg	Mn	Zn
Snake head	12	0.447 ²⁾ (0.027-1.758) ³⁾	0.009 (0.001-0.036)	0.272 (0.169-0.407)	0.015 (0.000-0.026)	0.103 (0.039-0.246)	0.173 (0.069-0.318)	5.493 (4.544-7.755)
Korean bullhead	3	0.162 (0.121-0.187)	0.005 (0.004-0.006)	0.574 (0.525-0.605)	0.008 (0.005-0.015)	0.020 (0.017-0.023)	0.322 (0.198-0.387)	7.291 (5.960-9.644)
Far Eastern catfish	12	0.367 (0.164-1.703)	0.012 (ND ⁴⁾ -0.047)	0.531 (0.339-0.691)	0.015 (0.002-0.029)	0.084 (0.020-0.349)	0.220 (0.144-0.317)	6.053 (3.978-10.186)
Chinese muddy loach	12	0.249 (0.133-0.542)	0.014 (0.001-0.049)	1.243 (0.172-1.962)	0.172 (0.026-0.423)	0.040 (0.012-0.110)	4.994 (0.196-7.230)	32.038 (4.152-82.737)
Common eel	11	0.424 (0.315-0.651)	0.028 (0.003-0.086)	0.348 (0.003-0.523)	0.016 (0.001-0.034)	0.082 (0.021-0.175)	0.646 (0.231-1.269)	16.722 (6.572-27.785)
Crucian carp	9	0.160 (0.032-0.495)	0.004 (ND-0.018)	0.590 (0.251-0.817)	0.014 (0.002-0.031)	0.024 (0.009-0.064)	0.291 (0.188-0.516)	10.975 (4.898-20.503)
River salmon	2	0.453 (0.418-0.488)	0.007 (0.001-0.013)	0.460 (0.451-0.469)	ND	0.063 (0.056-0.071)	0.249 (0.219-0.278)	5.294 (4.809-5.779)
White spotted char	3	0.378 (0.348-0.407)	0.001 (ND-0.001)	0.447 (0.342-0.552)	0.021 (0.021-0.021)	0.035 (0.032-0.040)	0.103 (0.083-0.124)	3.912 (3.463-4.361)
Sweet smelt	2	0.252 (0.235-0.269)	0.003 (0.002-0.003)	0.772 (0.755-0.789)	ND	0.033 (0.024-0.042)	0.095 (0.092-0.098)	9.294 (8.946-9.641)
Carp	9	0.111 (0.024-0.198)	0.005 (ND-0.018)	0.683 (0.549-0.858)	0.011 (0.001-0.027)	0.029 (0.006-0.088)	0.220 (0.107-0.440)	7.140 (5.578-11.013)
Leather carp	3	0.060 (0.030-0.089)	0.004 (0.001-0.007)	0.634 (0.530-0.738)	0.007 (0.000-0.014)	0.009 (0.007-0.011)	0.153 (0.107-0.198)	5.471 (5.001-5.941)
Sea rundace	2	1.362 (0.493-2.231)	0.006 (0.002-0.011)	0.847 (0.817-0.877)	0.028 (0.014-0.042)	0.079 (0.039-0.119)	0.450 (0.391-0.508)	10.078 (10.078-39.900)
Total	80	0.370 (0.024-2.231)	0.011 (ND-0.086)	0.628 (0.003-1.962)	0.026 (ND-0.423)	0.058 (0.006-0.349)	1.150 (0.069-7.230)	9.980 (3.463-82.737)

^{1),2),3)}See the Table 6⁴⁾ND: Not detected

Table 8. Comparison of average weekly intakes of heavy metals from fishes with PTWI established by FAO/WHO

Metals	PTWI ($\mu\text{g}/\text{kg b.w}^1/\text{week}$)	Daily intake of heavy metals ²⁾ ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$)	Weekly intake ³⁾ ($\mu\text{g}/\text{kg b.w}/\text{week}$)	% PTWI
Cd	7	0.50	0.06	0.9
Hg	5	0.67	0.08	1.6
Pb	25	1.91	0.22	0.9

¹⁾b.w: body weight²⁾Daily intakes of heavy metals per adult ($\mu\text{g}/\text{day}/\text{person}$) = Σ [Concentration of heavy metals in each food \times daily intakes of foods ($\text{g}/\text{person}/\text{day}$)]³⁾Weekly intake of heavy metals ($\mu\text{g}/\text{kg b.w}/\text{week}$) = [daily intakes of metals per adult ($\mu\text{g}/\text{day}/\text{person}$) \times 7 days/week]/60 (body weight per adult)

1.243 mg/kg으로 가장 높게 나타났고, 가물치에서 0.272 mg/kg으로 가장 낮았다. Kim과 Han(25)의 조사결과인 0.548(0.081-8.050) mg/kg보다는 다소 높게 나왔고, Sheo 등(27)의 조사결과인 0.352 (0.132-0.773) mg/kg보다 높았다.

납의 평균 함량은 0.026(불검출-0.423) mg/kg으로 미꾸라지에서 0.172 mg/kg으로 가장 높게 나타났고, 산천어와 은어에서 불검출이었다. 다른 연구(25,27)에서는 어류의 납 함량이 평균 0.075-0.405 mg/kg의 범위로 나타나서 본 연구결과에서 낮은 수치를 보였다.

수은의 평균 함량은 0.058(0.006-0.349) mg/kg으로 가물치에서 0.103 mg/kg으로 가장 높게 나타났고, 향어에서 0.009 mg/kg으로 가장 낮았다. Kim과 Han(25)의 0.053(불검출-0.237) mg/kg과 유사하였으며, Kim과 Han(26)의 붕어에서 0.0167-0.0407 mg/kg보다 높았고, Sheo 등(27)의 조사결과인 0.134(0.037-0.197) mg/kg, Shon 등(28)의 결과인 0.07(0.02-0.15) mg/kg보다 낮았다.

망간의 평균 함량은 1.150(0.069-7.230) mg/kg으로 미꾸라지에서

4.994 mg/kg으로 가장 높게 나타났고, 은어에서 0.095 mg/kg으로 가장 낮았다. Kim과 Han(25)의 조사결과인 1.078(불검출-31.250) mg/kg과 유사하게 나타났고, Sheo 등(27)의 조사결과인 0.508 (0.211-0.825) mg/kg보다 높았다.

아연의 평균 함량은 9.980(3.463-82.737) mg/kg으로 미꾸라지에서 32.038 mg/kg으로 가장 높게 나타났고, 송어에서 3.912 mg/kg으로 가장 낮았다. Kim과 Han(25)의 9.491(불검출-69.490) mg/kg보다 다소 높았고, Sheo 등(27)의 조사결과인 5.017(2.953-14.119) mg/kg보다 높았다.

어류를 통한 중금속 잠정주간섭취허용량(PTWI)

어류의 섭취를 통해 인체에 흡수되는 중금속에 대한 안전성을 평가하기 위해 어류를 통해 섭취되는 중금속의 양과 FAO/WHO에서 설정한 잠정주간섭취허용량인 PTWI를 비교하였다. 본 연구에서 조사된 어류의 섭취량을 2005년 국민영양조사결과보고서(29)를 근거로 살펴보면, 보고서의 어패류 중 가공하지 않은 어

류가 45종이며, 그 중 이번 연구에 속한 어류는 총 37종이었다. 이러한 어류의 섭취량은 1일 1인당 총 27.1g으로 계산되었으며, 이를 이용하여 본 조사에서 얻어진 어류 중 중금속 평균 함량을 토대로 어류 중 중금속으로부터 섭취하는 주간 섭취량을 산출하여 Table 8에 나타냈다. 우리나라에서 유통되는 어류에서 섭취되는 중금속 함량을 FAO/WHO에서 설정된 잠정 주간섭취허용량인 PTWI와 비교 시 카드뮴, 수은, 납이 각각 0.9, 1.6 및 0.9%로 나타났다(30,31). 이런 결과로 볼 때 우리나라 국민이 어류를 통해 일주일에 섭취하는 카드뮴, 수은, 납은 안전한 수준으로 판단된다.

요 약

본 연구는 우리나라에서 유통되고 있는 어류를 전국 10개 연안지역에서 수거된 해산어류 35종 531건과, 전국 내륙지방 및 주요도시에서 수거된 담수어 12종 80건을 대상으로 납, 카드뮴, 비소, 구리, 망간, 아연, 총수은 함량을 분석하였다. 전처리방법(습식분해법, 변형된 microwave 분해법, microwave 분해법)에 따른 각각의 분해조건을 비교·검토한 결과, microwave 분해법이 회수율이 가장 우수한 것으로 확인되었다. ICP-MS를 이용하여 수은을 제외한 6종 금속의 회수율을 측정된 결과 약 94-108%를 보였으며, mercury analyzer를 이용한 수은의 회수율은 99%를 나타냈다.

해산어류 중 중금속 평균 함량은 비소 2.523, 카드뮴 0.017, 구리 0.569, 납 0.023, 수은 0.068, 망간 0.395 및 아연 6.086 mg/kg으로 나타났다. 담수어 중 중금속 평균함량은 비소 0.370, 카드뮴 0.011, 구리 0.628, 납 0.026, 수은 0.058, 망간 1.150 및 아연 9.980 mg/kg으로 나타났다. 우리나라에서 유통 중인 어류에서 섭취되는 중금속 함량을 FAO/WHO에서 설정된 잠정주간섭취허용량인 PTWI와 비교한 결과 카드뮴, 수은, 납이 각각 0.9, 1.6 및 0.9%로 나타나 조사된 어류를 통한 우리나라 국민들의 중금속 섭취는 현재까지는 안전한 수준인 것으로 판단된다.

문 헌

1. Rashed MN. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environ. Int.* 27: 27-33 (2001)
2. KFDA, Food Code. Korea Food and Drug Administration. Seoul, Korea. p. 56 (2005)
3. Lee JO, Kim MH, Sho YS, Hu SJ, Park SK, Jung SY, Kang CK, Kim EJ, Lee KS. The monitoring of heavy metals in food - Heavy metal contents in fishes-. *Annu. Rep. KFDA* 7: 98-103 (2003)
4. Codex Alimentarius Commission. Draft Report of the 38th Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants. ALINORM 06/29/41, Hague, Netherlands (2006)
5. Reilly C. Metal Contamination of Food. Applied Science Publish. London, UK. (1991)
6. Kim MH, Kim JS, Sho YS, Chung SY, Lee JO. The study on heavy metal contents in various foods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 561-567 (2003)
7. KFDA, Food Code. Korea Food and Drug Administration. Seoul, Korea. p. 13 (2005)
8. Sivaperumal P, Sankar T, Nair P. Heavy metal concentrations in fish, shellfish, and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standard. *Food Chem.* 102: 612-620 (2007)

9. Sheppard B, Heitkemper D, Gaston C. Microwave digestion for the determination of arsenic, cadmium and lead in seafood products by inductively coupled plasma atomic emission and mass spectrometry. *Analyst.* 119: 1683-1686 (1994)
10. The Food Standard Agency (UK). Survey of metals and other elements in processed fish and shellfish. Available form: <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/fsis0806.pdf>. May 4, 2006
11. Sho YS, Kim J, Chung SY, Kim M, Hong MK. Trace metal contents in fishes and shellfishes and their safety evaluations. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 549-554 (2000)
12. Hwang YO, Park SG. Contents of heavy metals in marine fishes, sold in Seoul. *Anal. Sci. Tech.* 19: 342-351 (2006)
13. Sung DW, Lee YW. A study on the content of heavy metals of marine fish in Korean coastal water. *Korean J. Food Hyg.* 8: 231-240 (1993)
14. WHO. Environmental Health Criteria 18-Arsenic. World Health Organization, Geneva, Switzerland. pp. 43-50 (1989)
15. FAO. Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). International Life Science Institute, Geneva, Switzerland (1994)
16. Ha GJ, Song JY, Hah DS. Study on the heavy metal contents in fishes and shellfishes of Gyeongsangnam-do coastal area-Part 1. *J. Food Hyg. Safety* 19: 132-139 (2004)
17. Yamazoe Y, Otudo F. *Chem. Abstr.* 83: 142-147 (1975)
18. Cha YS, Ham HJ, Lee JI, Lee JJ. Heavy Metals in Fishery Products, Sold at Fish Markets in Seoul. *J. Food Hyg. Safety* 16: 315-323 (2001)
19. Tam S, Mok C. Metallic contamination in oyster and other seafood in Hong Kong. *Food Addit. Contam.* 8: 333-342 (1991)
20. Henry F, Amara R, Courcot L, Lacouture D, Bertho M-L. Heavy metal in four fish species from the french coast of the eastern English Channel and Southern Bight of the North Sea. *Environ. Int.* 30: 675-683 (2003)
21. Reilly C. Metal Contamination of Food. Blackwell Science Ltd. London, UK. pp. 81-94 (2002)
22. WHO. Environmental Health Criteria 3-Lead. World Health Organization, Geneva, Switzerland. pp. 30-40 (1977)
23. Ham HJ. Distribution of hazardous heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fishery products, sold at garak wholesale markets in Seoul. *J. Food Hyg. Safety* 17: 146-151 (2002)
24. D'Itri F. The Environmental Mercury problem. CRC Press, Cleveland, OH, USA. pp. 124-131 (1971)
25. Kim YC, Han SH. A study on heavy metal contents of the fresh water fish, and the shellfish in Korean. *J. Food Hyg. Safety* 14: 305-318 (1999)
26. Kim IS, Han SH, Ou SK. A study on the heavy metal contents in *Carassius auratus* of Jeonlabuk-do area. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 22: 484-488 (1993)
27. Sheo HJ, Hong SS, Kim CM. A study on the contents of heavy metals in freshwater fishes of Yeong san river. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 20: 615-620 (1991)
28. Shon DH, Hong SG, Song CY, Jeon SR. A study on the total mercury contents in fresh-water fishes. *Korean J. Food Sci. Technol.* 14: 168-173 (1982)
29. Ministry of Health and Welfare: 2005 National Health and Nutrition Survey Report. Ministry of Health and Welfare, Seoul, Korea (2006)
30. FAO. Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). International Life Science Institute, Geneva, Switzerland (2005)
31. Lee HS, Cho YH, Park SO, Kye SH, Kim BH, Hahm TS, Kim MH, Lee JO, Kim CI. Dietary exposure of the Korean population to arsenic, cadmium, lead, and mercury. *J. Food Compos. Anal.* 19: S31-S37 (2006)