

한국 연안산 해산 무척추동물의 중금속 함량

목종수^{1†} · 이가정¹ · 삼길보² · 이태식³ · 송기철¹ · 김지회²

¹국립수산과학원 식품안전과

²국립수산과학원 남동해수산연구소

³국립수산과학원 서해수산연구소

Contents of Heavy Metals in Marine Invertebrates from the Korean Coast

Jong-Soo Mok^{1†}, Ka-Jeong Lee¹, Kil-Bo Shim², Tae-Seek Lee², Ki-Cheol Song¹, and Ji-Hoe Kim²

¹Food & Safety Research Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea

²Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Gyeongnam 650-943, Korea

³West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Incheon 400-420, Korea

Abstract

To measure the heavy metal contents of marine invertebrates, we collected 239 individuals representing 52 species from the eastern (Pohang), western (Gunsan), and southern (Tongyeong) coasts of Korea: 34 species of molluscan shellfish (Gastropoda and Bivalvia), 6 species of Cephalopoda, 8 species of Crustacea, and 4 other species. The mean levels of the heavy metals in the samples taken from the edible portion of each Gastropoda were high in the order of Zn (21.471 µg/g), Cu (4.115 µg/g), Mn (0.868 µg/g), Ni (0.254 µg/g), Pb (0.238 µg/g), Cd (0.154 µg/g), and Cr (0.110 µg/g). The heavy metals in the Bivalvia were high in the order of Zn (35.655 µg/g), Mn (5.500 µg/g), Cu (3.129 µg/g), Cd (0.423 µg/g), Ni (0.402 µg/g), Cr (0.233 µg/g), and Pb (0.232 µg/g). The heavy metals in the Cephalopoda were high in the order of Zn (18.380 µg/g), Cu (3.594 µg/g), Mn (0.630 µg/g), Cr (0.150 µg/g), Pb (0.068 µg/g), Cd (0.034 µg/g), and Ni (0.030 µg/g). The heavy metals in the Crustacea were high in the order of Zn (25.333 µg/g), Cu (9.042 µg/g), Mn (0.659 µg/g), Cr (0.592 µg/g), Cd (0.207 µg/g), Pb (0.126 µg/g), and Ni (0.094 µg/g). Therefore, the mean levels of the harmful heavy metals (Cd and Pb) in marine invertebrates were high in the order of Bivalvia>Crustacea>Gastropoda>Cephalopoda. The average daily intakes of the heavy metals from the fisheries products were as follows: Cd (6.88 µg), Cr (19.13 µg), Cu (137.02 µg), Mn (156.13 µg), Ni (11.39 µg), Pb (7.01 µg) and Zn (1,025.94 µg). The average weekly intakes of Cd, Cu, Pb and Zn from the fisheries products were 11.47%, 0.46%, 3.27% and 1.71% respectively, as compared with PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intakes) established by FAO/WHO Expert Committee for Food Safety Evaluation.

Key words: marine invertebrates, heavy metal, daily average intake, provisional tolerable weekly intakes

서 론

우리나라는 일본과 더불어 세계적으로 1인당 수산물 소비량이 많은 국가이며, 최근 국민소득 수준의 향상에 따라 건강증진에 대한 국민의 관심이 급속도로 높아지고 있어 육류보다는 수산물을 통한 단백질 섭취가 늘어나고 있는 추세이다(1). 특히, 바다에 서식하는 수산물에는 인체 필요한 단백질, 지방, 미네랄 등의 영양성분은 물론 다양한 기능성 물질들이 함유되어 있는 것으로 밝혀지고 있다(2-4).

농림수산식품부의 수산통계(5)에 의하면 수산물 생산량은 2003년에는 249만 톤, 2004년에는 252만 톤, 2005년에는 271만 톤, 2006년에는 303만 톤, 2007년에는 327만 톤으로

증가하는 추세이다. 또한, 2005년도 국민건강영양조사 결과 보고서(6)에 의하면 우리 국민이 섭취하는 식품의 총량은 1인 1일 평균 1,291.4 g(식물성 1,012.8 g 및 동물성 278.6 g)이었으며, 이중 수산물은 76.2 g(5.9%)으로 어류 48.5 g, 패류 6.3 g, 해조류 8.5 g 및 기타 11.9 g을 섭취한다고 보고하였다.

중금속은 비중이 4 이상 되는 금속원소로서 인류가 금속을 이용하기 시작하면서 인체에 대한 위해인자로 대두되기 시작하였다. 특히, 우리나라는 급속한 산업발전에 따라 각종 생활오수, 산업폐수 등에 의하여 하천 및 연안 해역 등의 환경오염이 가속화되고 있다. 육상에서 연안 수역으로 유입된 금속원소는 생태계의 먹이사슬을 통하여 농축되므로, 대부분 연안에서 서식하고 있는 수산물은 오염의 우려가 있어

[†]Corresponding author. E-mail: mjs0620@nfrdi.go.kr
Phone: 82-51-720-2642, Fax: 82-51-720-2619

식품 위생상 문제가 될 수 있다(7). 중금속은 미량으로 인체에 필수 불가결한 것(Fe, Zn, Cu 등), 극히 미량일지라도 인체에 나쁜 영향을 미치는 것(As, Cd, Cr, Pb, Hg 등)이 있다. 두 번째 범주에 속하는 중금속은 생물체 본래의 구성성분이 아니고 동식물의 생육과정이나 식품의 가공, 제조 중에 외부에서 오염되어 들어가는 이른바 환경오염성 중금속이라고 부르며, 이들은 인체에 비교적 독성이 강하기 때문에 식품안전성에 문제가 된다(8). 또한, Codex에서는 어류에 대한 납 함량기준을 2006년도에 0.3 mg/kg으로 설정하는 등 기준규격을 강화하는 추세이다(9).

한편, 지금까지 수산물에 관한 중금속 오염실태에 관한 보고서는 다수 있으나, 대부분 시중에 유통되고 있는 것이나(1,10-13), 특정한 지역이나 품종에 대한 보고서(14-19)일 뿐 전국 연안의 다양한 수산물의 중금속 함량에 대해서는 자세히 알려져 있지 않다. 또한 수산물의 중금속에 대한 지속적인 관리를 위해서는 다양한 수산물의 중금속 함량 모니터링 자료가 필요하다. 이에 전국 연안에 서식하는 해조류(20,21) 및 어류(22)에 대한 중금속 실태를 조사하여 안전성 평가한 바 있으며, 본 연구에서는 국내 연안산 해산무척추동물의 중금속 함량을 조사하여 이를 통한 식품위생학적 안전성을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

시료

우리나라의 바다를 동·서·남해로 크게 구분할 수 있는데, 각 해역별 연안환경, 수온 및 수심 등 그 특성이 뚜렷하다. 이러한 특성으로 각 해역마다 생산되는 해산무척추동물의 종류도 각기 달라 다양한 품종에 대한 조사를 실시하고자 2003년부터 2004년 사이에 동해, 서해 및 남해 연안에서 채취하여 판매되고 있는 패류, 두족류, 갑각류 등의 해산 무척추동물을 포함, 군산 및 통영 시장에서 직접 구입하여 시료로 사용하였다. 구입한 시료는 초순수로 깨끗이 세척한 후 가식부만 채취하여 분석에 사용하였다. 즉, 패류는 껍질을 제거한 다음 종류에 따라 내장부위를 섭취하는 것은 통째로, 내장부위를 섭취하지 않는 것은 내장부위를 제거하고 근육만을 시료로 사용하였다. 또한, 두족류는 내장을 제거하고, 갑각류는 갑각을 제거하고 나머지 부위를 모두 시료로 사용하였다.

패류(복족류 및 이매패류) 및 두족류는 신원색한국패류도감(23)에 따라 Table 2~6과 같이 분류하여 나타내었다. 패류는 총 34종으로 이중 복족류는 전복(*Nordotis discus*), 소라(*Batillus cornutus*), 큰구슬우렁(*Neverita didyma*), 호리호리털팔뱅이(*Fusitriton galea*), 피빨고둥(*Rapana venosa*), 갈색띠메물고둥(*Neptunea arthritica cumingii*), 물레고둥(*Buccinum striatissimum*), 털달고둥(*Hemifusus ternatanus*), 군소(*Paroctopus dofleini*) 등 9종이며, 이매패류는 피조개(*Scapharca broughtonii*), 큰이랑피조개(*Scapharca satowi*),

꼬막(*Tegillarca granosa*), 진주담치(*Mytilus edulis*), 홍합(*Mytilus coruscus*), 키조개(*Atrina pinnata*), 파래가리비(*Chlamys farreri farreri*), 비단가리비(*Chlamys farreri*), 큰가리비(*Patinopecten yessoensis*), 굴(*Crassostrea gigas*), 토굴(*Ostrea denselamellosa*), 개랑조개(*Macra chinensis*), 동죽(*Macra veneriformis*), 북방대합(*Spisula sachalinensis*), 돼지가리맛조개(*Solecurtus divaricatus*), 맛조개(*Solen stric-tus*), 붉은맛조개(*Solen gordonis*), 대맛조개(*Solen grandis*), 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 행달조개(*Paphia euglypta*), 민들조개(*Gomphina melanaegis*), 개조개(*Saxidomus purpuratus*), 떡조개(*Dosinorbis japonicus*), 백합(*Meretrix lusoria*), 우럭(*Mya arenaria oonogai*) 등 25종이었다. 또한, 두족류는 6종으로 갑오징어(*Sepia esculenta*), 꼴뚜기(*Loligo beka*), 살오징어(*Todarodes pacificus*), 낙지(*Octopus minor*), 주꾸미(*Octopus ocellatus*), 문어(*Enter-octopus dofleini*) 등이었다.

갑각류는 8종으로 참새우(*Palaemon macrodactylus*), 꽃새우(*Trachysalmbria curvirostris*), 대하(*Fenneropenaeus chinensis*), 도화새우(*Pandalus hypsinotus*), 대게(*Chionoecetes opilio*), 꽃게(*Portunus trituberculatus*), 민꽃게(*Charybdis japonica*), 갯가재(*Squilla oratoria*) 등이었으며, 기타 개불(*Urechis unicinctus*), 우렁챙이(*Halocynthia roretzi*), 미더덕(*Styela clava*), 해삼(*Stichopus japonicus*) 등이었다.

시약 및 표준물질

분해용 시약으로는 질산(supra-pure grade, Merck, Darmstadt, Germany) 및 과염소산(supra-pure grade, Merck)을 사용하였고, 시험에 사용되는 물은 초순수장치(Milli-Q Biocel, Millipore, Billerica, MA, USA)로 18 M Ω 이상 수준으로 정제한 초순수를 사용하였다. 모든 초자기구는 5% 질산용액에 24시간 이상 침지시킨 후 초순수로 깨끗이 씻어 건조시켜서 사용하였다. 중금속 분석을 위한 표준액은 혼합 표준액(Merck)을 사용하여 초순수로 희석하여 사용하였다.

중금속 분석

해산 무척추동물의 중금속 함량은 Standard Methods for Marine Environment(24)에 따라 습식회화법으로 측정하였다. 즉, 시료를 균질화한 후 약 10 g을 취하여 동결 건조시킨 다음 코니칼 비커(250 mL)에 넣고, 질산을 일정량 가하여 실온에서 4시간 이상 반응시킨다. 그리고 가열판으로 100 \pm 5°C에서 가열하여 노란색을 띠는 맑은 용액이 될 때까지 분해시킨다. 만일 용액이 완전히 분해되지 않을 경우 이 용액을 실온까지 냉각시키고 진한 과염소산 일정량 첨가한 후 가열하여 분해시킨다. 완전히 분해시킨 후 용액을 증발시키고, 0.2 N 질산용액으로 재용출하여 100 mL로 정용하였다. 시료용액 중의 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 아연(Zn), 크롬(Cr), 망간(Mn) 및 니켈(Ni)은 Inductively Coupled Plasma Spectrometer(P-401, HITACHI, Tokyo, Japan)로, 납(Pb)은

ICP-MS(Elan 6000, Perkin-Elmer, Wellesley, MA, USA)로 그 함량을 측정하여 생물중량으로 나타내었다. 또한, 각 금속별 회수율은 시료와 동일한 방법으로 인증표준물질(certified reference material, CRM) Mussel tissue(BCR-CRM 278-R, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 측정하여 확인하였다.

중금속 섭취량 및 안전성 평가

수산물을 통하여 섭취되는 중금속의 섭취량 및 안전성 평가를 하기 위하여 수산물을 통해 섭취되는 중금속의 주간섭취량과 FAO/WHO(25)에서 설정한 잠정주간섭취허용량(PTWI, Provisional Tolerable Weekly Intake)을 비교하였다. 즉, 본 연구에서 수행한 해산 무척추동물의 중금속 함량, 주요 식품 해조류를 통한 중금속 섭취량(21) 및 어류를 통한 중금속 섭취량(22), 그리고 2005년도 국민건강영양조사 결과보고서(6)의 1일 평균 수산물 섭취량 자료를 토대로 우리나라 국민의 수산물을 통한 1일 중금속 섭취량을 나타내었으며, 각 중금속별 주간 섭취량(60 kg 성인기준)은 FAO/WHO의 PTWI와 비교하여 안전성 평가를 실시하였다.

결과 및 고찰

인증표준물질의 회수율

인증표준물질은 중금속 분석용 Mussel tissue를 구입하여 사용하였으며, 6종의 중금속에 대한 회수율의 결과는 Table 1과 같이 86.3~104.6%이었다. 즉, 카드뮴은 89.6%, 구리는 104.6%, 망간 96.3%, 납 86.30%, 아연은 99.1%이었

Table 1. Recovery ratio of heavy metals from CRM¹⁾ (n=3)

Heavy metals	Certified (µg/g)	Measured (µg/g)	Recovery (%)
Cd	0.348±0.007	0.312±0.014	89.6±4.2
Cr	0.780±0.06	0.816±0.023	104.6±2.9
Cu	9.450±0.13	9.104±0.619	96.3±6.6
Mn	7.690±0.23	7.083±0.369	92.1±4.8
Pb	2.000±0.04	1.725±0.055	86.3±2.8
Zn	83.10±1.7	82.33±1.81	99.1±2.2

¹⁾Mussel tissue reference material (BCR-CRM 278-R) was purchased from Sigma-Aldrich (USA).

다. Codex(26)에서는 0.1~10 µg/g 범위에서는 80~110%의 회수율을, 0.01 µg/g 및 0.001 µg/g에서는 각각 60~115% 및 40~120%의 회수율을 요구하고 있으므로 이에 부합되는 것으로 확인되었다.

연안산 패류의 중금속 함량

우리나라 연안산 패류(복족류 및 이매패류)에 대한 중금속 함량(생물기준)을 분석한 결과는 Table 2, 3과 같다. 복족류 9종 50개체의 중금속 함량은 아연 21.471±10.794 µg/g, 구리 4.115±2.565 µg/g, 망간 0.868±0.593 µg/g, 니켈 0.254±0.418 µg/g, 납 0.238±0.220 µg/g, 카드뮴 0.154±0.170 µg/g, 크롬 0.110±0.082 µg/g 순이었다(Table 2). 한편, 이매패류 25종 87개체의 중금속 함량은 아연 35.655±46.978 µg, 망간 5.500±9.943 µg, 구리 3.129±5.979 µg, 카드뮴 0.423±0.345 µg/g, 니켈 0.402±0.379 µg, 크롬 0.233±0.234 µg/g, 납 0.232±0.216 µg/g 순이었다(Table 3). 패류 중에서 이매패류는 복족류보다 카드뮴, 크롬, 망간, 니켈, 아연 등을 많이

Table 2. Contents of heavy metals in Gastropoda from the Korean coast

Scientific name (Korean name)	No ¹⁾	Heavy metals (µg/g)						
		Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
<i>Nordotis discus</i> (Jeon-bok)	9	0.041±0.021 ²⁾ (0.020~0.084)	0.121±0.121 (<0.001~0.390)	4.389±1.856 (2.149~6.876)	0.301±0.184 (0.040~0.706)	0.976±0.545 (0.237~1.726)	0.339±0.262 (0.014~0.793)	11.209±2.940 (8.439~18.009)
<i>Batillus cornutus</i> (So-ra)	12	0.093±0.135 (<0.001~0.407)	0.132±0.061 (<0.001~0.239)	3.709±1.463 (2.020~6.371)	0.576±0.308 (0.019~1.266)	0.114±0.110 (<0.001~0.301)	0.200±0.185 (0.024~0.646)	27.858±5.882 (15.918~38.971)
<i>Neverita didyma</i> (Keun-gu-seul-u-reong)	3	0.119±0.133 (<0.001~0.263)	0.078±0.098 (0.002~0.189)	4.834±1.035 (3.639~5.452)	2.081±0.739 (1.492~2.910)	0.110±0.140 (<0.001~0.268)	0.279±0.235 (0.102~0.545)	26.743±8.231 (20.801~36.138)
<i>Fusitriton galea</i> (Ho-ri-ho-ri-teol-gol-baeng-i)	1	0.066	0.126	6.679	1.634	0.040	0.118	19.165
<i>Rapana venosa</i> (Pi-ppul-go-dung)	6	0.209±0.137 (0.057~0.411)	0.035±0.046 (<0.001~0.116)	1.028±0.758 (<0.001~2.306)	1.024±0.314 (0.507~1.330)	0.073±0.093 (<0.001~0.245)	0.251±0.268 (0.030~0.655)	32.799±20.581 (13.446~58.996)
<i>Neptunea arthritica cumingii</i> (Gal-saek-tti-mae-mul-go-dung)	9	0.230±0.137 (0.064~0.427)	0.119±0.078 (0.004~0.264)	5.186±2.549 (1.745~10.105)	1.069±0.359 (0.613~1.690)	0.096±0.112 (<0.001~0.347)	0.228±0.228 (0.012~0.792)	18.880±5.125 (12.966~28.249)
<i>Buccinum striatissimum</i> (Mul-re-go-dung)	8	0.213±0.216 (0.011~0.642)	0.116±0.077 (<0.001~0.235)	3.429±2.025 (0.943~7.479)	0.927±0.693 (0.334~2.221)	0.103±0.137 (<0.001~0.309)	0.216±0.239 (0.035~0.595)	18.829±2.954 (13.672~22.739)
<i>Hemifusus ternatanus</i> (Teol-tab-go-dung)	1	0.721	0.065	14.069	1.405	0.051	0.094	17.724
<i>Paroctopus dofleini</i> (Gun-so)	1	0.054	0.181	6.210	1.306	0.034	0.105	3.915
Total or mean	50	0.154±0.170 (<0.001~0.721)	0.110±0.082 (<0.001~0.390)	4.115±2.565 (<0.001~14.069)	0.868±0.593 (0.019~2.910)	0.254±0.418 (<0.001~1.726)	0.238±0.220 (0.012~0.793)	21.471±10.794 (3.915~58.996)

¹⁾No: Number of individuals. ²⁾Mean value±SD.

Table 3. Contents of heavy metals in *Bivalvia* from the Korean coast

Scientific name (Korean name)	No ¹⁾	Heavy metals ($\mu\text{g/g}$)						
		Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
<i>Scapharca broughtonii</i> (Pi-jo-gae)	7	0.903 \pm 0.286 ²⁾ (0.286~1.195)	0.105 \pm 0.106 (<0.001~0.311)	0.995 \pm 0.669 (<0.001~1.931)	3.161 \pm 1.340 (1.295~4.848)	0.077 \pm 0.108 (<0.001~0.273)	0.327 \pm 0.266 (0.035~0.690)	20.811 \pm 5.237 (15.007~30.141)
<i>Scapharca satowi</i> (Keun-i-rang-pi-jo-gae)	1	0.939	0.265	3.296	3.994	0.292	0.698	20.151
<i>Tegillarca granosa</i> (Kko-mak)	1	0.918	0.138	1.377	11.629	0.107	0.367	16.831
<i>Mytilus edulis</i> (Jin-ju-dam-chi)	4	0.211 \pm 0.156 (0.026~0.409)	0.255 \pm 0.082 (0.146~0.345)	1.298 \pm 0.397 (0.936~1.854)	2.199 \pm 0.464 (1.791~2.725)	0.116 \pm 0.041 (0.056~0.147)	0.301 \pm 0.199 (0.041~0.525)	23.652 \pm 10.162 (11.242~35.592)
<i>Mytilus coruscus</i> (Hong-hab)	5	0.725 \pm 0.315 (0.234~0.999)	0.125 \pm 0.050 (0.080~0.207)	2.410 \pm 0.823 (1.757~3.733)	1.648 \pm 0.561 (1.134~2.345)	0.219 \pm 0.101 (0.088~0.330)	0.182 \pm 0.128 (0.031~0.373)	18.521 \pm 8.366 (10.908~32.725)
<i>Atrina pinnata</i> (Ki-jo-gae)	7	0.718 \pm 0.376 (0.261~1.074)	0.090 \pm 0.096 (<0.001~0.267)	1.061 \pm 0.739 (<0.001~1.945)	1.277 \pm 1.409 (0.450~4.373)	0.060 \pm 0.096 (<0.001~0.246)	0.264 \pm 0.205 (0.028~0.546)	120.158 \pm 73.215 (37.568~238.256)
<i>Chlamys farreri</i> <i>farreri</i> (Pa-rae-ga-ri-bi)	1	0.382	0.139	0.711	0.762	0.036	0.316	22.132
<i>Chlamys farreri</i> (Bi-dan-ga-ri-bi)	2	0.903 \pm 0.070 (0.853~0.952)	0.110 \pm 0.156 (<0.001~0.221)	1.053 \pm 0.203 (0.910~1.196)	4.590 \pm 2.833 (2.586~6.593)	0.104 \pm 0.009 (0.098~0.110)	0.195 \pm 0.240 (0.026~0.365)	48.010 \pm 22.451 (32.134~63.885)
<i>Patinopecten</i> <i>yessoensis</i> (Keun-ga-ri-bi)	3	0.799 \pm 0.067 (0.756~0.876)	0.111 \pm 0.031 (0.080~0.142)	0.956 \pm 0.842 (<0.001~1.584)	0.557 \pm 0.292 (0.345~0.890)	0.381 \pm 0.157 (0.262~0.559)	0.152 \pm 0.036 (0.111~0.182)	23.171 \pm 2.466 (21.487~26.002)
<i>Crassostrea gigas</i> (Gul)	5	0.713 \pm 0.288 (0.309~0.969)	0.156 \pm 0.123 (<0.001~0.289)	21.590 \pm 14.608 (6.858~43.069)	8.773 \pm 2.887 (5.720~13.447)	0.040 \pm 0.056 (<0.001~0.116)	0.198 \pm 0.167 (0.019~0.415)	141.329 \pm 63.175 (86.352~249.056)
<i>Ostrea</i> <i>denselamellosa</i> (To-gul)	1	0.494	0.069	16.979	3.758	0.083	0.208	140.971
<i>Macra chinensis</i> (Gae-ryang-jo-gae)	3	0.145 \pm 0.085 (0.063~0.232)	0.233 \pm 0.081 (0.140~0.289)	2.846 \pm 2.606 (1.154~5.847)	2.278 \pm 0.587 (1.600~2.618)	0.417 \pm 0.257 (0.214~0.706)	0.037 \pm 0.018 (0.016~0.049)	17.803 \pm 3.490 (13.986~20.831)
<i>Macra veneriformis</i> (Dong-juk)	4	0.206 \pm 0.100 (0.064~0.300)	0.624 \pm 0.439 (0.293~1.271)	1.418 \pm 0.385 (1.006~1.935)	43.818 \pm 21.340 (27.349~74.154)	0.230 \pm 0.192 (0.056~0.488)	0.241 \pm 0.135 (0.112~0.428)	16.603 \pm 4.502 (13.510~23.289)
<i>Spisula sachalinensis</i> (Buk-bang-dae-hab)	2	0.052 \pm 0.003 (0.050~0.054)	0.091 \pm 0.095 (0.024~0.158)	1.795 \pm 1.226 (0.928~2.662)	0.582 \pm 0.386 (0.310~0.855)	0.564 \pm 0.583 (0.151~0.976)	0.271 \pm 0.375 (0.006~0.536)	9.192 \pm 0.120 (9.107~9.278)
<i>Solecurtus divaricatus</i> (Dwae-ji-ga-ri-mat-jo-gae)	1	0.161	0.089	1.564	6.813	0.264	0.042	16.389
<i>Solen strictus</i> (Mat-jo-gae)	1	0.023	0.090	0.630	2.136	0.059	0.224	15.607
<i>Solen gordonis</i> (Bulg-eun-mat-jo-gae)	1	0.030	0.090	0.758	3.337	0.036	0.017	13.005
<i>Solen grandis</i> (Dae-mat-jo-gae)	1	0.048	0.305	1.280	2.551	<0.001	0.033	28.538
<i>Ruditapes</i> <i>philippinarum</i> (Ba-ji-rak)	10	0.245 \pm 0.141 (<0.001~0.524)	0.216 \pm 0.152 (<0.001~0.544)	2.434 \pm 2.380 (0.090~8.302)	4.893 \pm 2.430 (2.624~11.524)	0.730 \pm 0.312 (0.410~1.199)	0.155 \pm 0.160 (0.025~0.515)	17.041 \pm 4.137 (12.604~24.960)
<i>Paphia euglypta</i> (Haeng-dal-jo-gae)	1	0.492	0.221	1.154	3.363	0.839	0.126	10.719
<i>Gomphina melanaegis</i> (Min-deul-jo-gae)	1	0.566	0.197	1.757	1.181	0.137	0.115	16.788
<i>Saxidomus purpuratus</i> (Gae-jo-gae)	12	0.123 \pm 0.039 (0.048~0.199)	0.491 \pm 0.321 (0.145~0.968)	2.001 \pm 0.991 (<0.001~3.585)	1.592 \pm 0.644 (0.761~2.690)	0.701 \pm 0.283 (0.198~1.049)	0.259 \pm 0.201 (0.045~0.560)	17.140 \pm 5.344 (13.026~32.608)
<i>Dosinorbis japonicus</i> (Ddeok-jo-gae)	1	0.119	0.831	1.607	1.526	0.438	0.192	24.349
<i>Meretrix lusoria</i> (Baek-hab)	11	0.330 \pm 0.150 (0.080~0.576)	0.179 \pm 0.106 (0.019~0.324)	2.694 \pm 2.416 (<0.001~8.036)	7.498 \pm 5.156 (1.347~17.623)	0.843 \pm 0.375 (<0.001~1.320)	0.314 \pm 0.359 (0.004~0.931)	18.779 \pm 3.853 (13.445~25.390)
<i>Mya arenaria oonogai</i> (U-reok)	1	0.145	0.084	0.759	0.897	0.340	0.048	9.443
Total or mean	87	0.423 \pm 0.345 (<0.001~1.195)	0.233 \pm 0.234 (<0.001~1.271)	3.129 \pm 5.979 (<0.001~43.069)	5.500 \pm 9.943 (0.310~74.154)	0.402 \pm 0.379 (<0.001~1.320)	0.232 \pm 0.216 (0.004~0.931)	35.655 \pm 46.978 (9.107~249.056)

¹⁾No: Number of individuals. ²⁾Mean value \pm SD.

함유하고 있었으며, 특히 카드뮴, 망간, 크롬은 2배 이상 높았다.

Mok 등(22)은 우리나라 연안산 어류 총 53종 177개체에 대한 중금속 함량을 조사한 결과, 아연이 $8.981 \pm 4.835 \mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았으며, 다음으로 구리 $0.755 \pm 0.507 \mu\text{g/g}$, 망간 $0.433 \pm 0.699 \mu\text{g/g}$, 크롬 $0.206 \pm 0.181 \mu\text{g/g}$, 니켈 $0.081 \pm 0.110 \mu\text{g/g}$, 납 $0.038 \pm 0.046 \mu\text{g/g}$, 카드뮴 $0.017 \pm 0.023 \mu\text{g/g}$ 순이었다고 보고하였다. 또한, Mok 등(21)은 우리나라 전국 연안의 주요 식용해조류 총 176건에 대한 중금속 함량(건물 기준)을 조사한 결과, 아연 $36.19 \pm 27.14 \mu\text{g/g}$, 망간 $28.75 \pm 28.03 \mu\text{g/g}$, 구리 $6.82 \pm 7.62 \mu\text{g/g}$, 크롬 $1.54 \pm 2.07 \mu\text{g/g}$, 니켈 $1.29 \pm 2.57 \mu\text{g/g}$, 납 $0.89 \pm 1.11 \mu\text{g/g}$, 카드뮴 $0.72 \pm 0.80 \mu\text{g/g}$ 순이었다고 보고하였다. 따라서 해조류에 대한 중금속 함량은 건물기준인 것을 감안하면, 우리나라 수산물중의 중금속 함량은 패류>해조류>어류 순으로 많이 함유하고 있는 것으로 판단되며, 다만 어류나 해조류에 많이 함유되어 있는 것은 패류에도 많이 함유되어 있었다.

카드뮴은 복족류 중에서는 털참고둥($0.721 \mu\text{g/g}$), 물레고둥($0.213 \pm 0.216 \mu\text{g/g}$), 갈색띠매물고둥($0.230 \pm 0.137 \mu\text{g/g}$), 피빨고둥($0.209 \pm 0.137 \mu\text{g/g}$) 등에서 높게 검출되었고, 이매패류 중에서는 큰이랑피조개($0.939 \mu\text{g/g}$), 피조개($0.903 \pm 0.286 \mu\text{g/g}$), 꼬막($0.918 \mu\text{g/g}$) 홍합($0.723 \pm 0.315 \mu\text{g/g}$), 키조개($0.718 \pm 0.376 \mu\text{g/g}$), 비단가리비($0.903 \pm 0.070 \mu\text{g/g}$), 큰가리비($0.799 \pm 0.067 \mu\text{g/g}$), 굴($0.713 \pm 0.288 \mu\text{g/g}$) 등에서 높게 검출되었다. 그리고 본 연구에서의 패류 중 카드뮴 함량($0.325 \pm 0.320 \mu\text{g/g}$)은 Sho 등(11)이 보고한 $0.51(0.02 \sim 1.93) \mu\text{g/g}$ 보다는 다소 낮고, Cha 등(10)이 보고한 $0.182(\text{ND} \sim 1.905) \mu\text{g/g}$ 보다는 다소 높았다. 우리나라는 패류에 대한 카드뮴 잔류허용기준은 $2.0 \mu\text{g/g}$ 로(27), 본 연구에서 이 기준을 초과하는 시료는 없었다. 외국의 패류에 대한 카드뮴 잔류허용기준을 살펴보면, Codex에서는 패류(굴, 가리비 제외)에 대하여 $2.0 \mu\text{g/g}$ 으로 설정하고 있고(9), 미국의 경우 굴, 홍합, 대합조개에 대해서만 $4.0 \mu\text{g/g}$ 로 설정하고 있으며(28), EU는 이매패류에 한하여 $1.0 \mu\text{g/g}$ 로 정하고 있다(29).

크롬은 복족류보다 이매패류에 높게 검출되어 있으며, 이매패류 중에서 떡조개($0.831 \mu\text{g/g}$), 동죽($0.624 \pm 0.439 \mu\text{g/g}$), 개조개($0.491 \pm 0.321 \mu\text{g/g}$), 대맛조개($0.305 \mu\text{g/g}$) 등에서 높게 검출되었다. 또한, 납은 복족류 중에서는 전복($0.339 \pm 0.262 \mu\text{g/g}$), 큰구슬우렁($0.279 \pm 0.235 \mu\text{g/g}$), 피빨고둥($0.251 \pm 0.268 \mu\text{g/g}$) 등에서 다소 높게 검출되었으며, 이매패류 중에서는 피조개($0.327 \pm 0.266 \mu\text{g/g}$), 큰이랑피조개($0.698 \mu\text{g/g}$), 진주담치($0.301 \pm 0.199 \mu\text{g/g}$), 꼬막($0.367 \mu\text{g/g}$), 파래가리비($0.316 \mu\text{g/g}$), 백합($0.314 \pm 0.359 \mu\text{g/g}$) 등에서 높게 검출되었다. 그리고 본 연구에서의 패류 중 납 함량($0.234 \pm 0.217 \mu\text{g/g}$)은 Sho 등(11)이 보고한 $0.38(0.01 \sim 1.51) \mu\text{g/g}$ 보다는 다소 낮고, Cha 등(10)이 보고한 $0.137(0.013 \sim 0.462) \mu\text{g/g}$ 보다는 다소 높았다. 우리나라의 패류에 대한 납 잔류허용

기준은 $2.0 \mu\text{g/g}$ 으로(27), 본 연구에서는 이 기준을 초과하는 시료는 없었다. 또한, 외국의 패류에 대한 납 잔류허용기준을 살펴보면, 미국은 패류 중에서는 굴, 홍합, 대합조개에 대해서만 $1.5 \mu\text{g/g}$ (28), EU는 패류 중 이매패류에 한하여 $1.5 \mu\text{g/g}$ 로 정하고 있다(29).

연안산 두족류, 갑각류 등의 중금속 함량

우리나라 연안산 두족류, 갑각류 등 18종 102개체에 대한 중금속 함량(생물기준)을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 두족류 6종 32개체의 중금속 함량은 아연 $18.380 \pm 5.479 \mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았으며, 다음으로 구리 $3.594 \pm 1.823 \mu\text{g/g}$, 망간 $0.630 \pm 0.603 \mu\text{g/g}$, 크롬 $0.150 \pm 0.115 \mu\text{g/g}$, 납 $0.068 \pm 0.066 \mu\text{g/g}$, 카드뮴 $0.034 \pm 0.046 \mu\text{g/g}$, 니켈 $0.030 \pm 0.047 \mu\text{g/g}$ 순이었다. 또한, 갑각류 8종 28개체의 중금속 함량은 아연 $25.333 \pm 9.608 \mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았으며, 다음으로 구리 $9.042 \pm 8.895 \mu\text{g/g}$, 망간 $0.659 \pm 0.412 \mu\text{g/g}$, 크롬 $0.592 \pm 2.172 \mu\text{g/g}$, 카드뮴 $0.207 \pm 0.204 \mu\text{g/g}$, 납 $0.126 \pm 0.094 \mu\text{g/g}$, 니켈 $0.094 \pm 0.110 \mu\text{g/g}$ 순이었다. 그리고 갑각류가 두족류보다 대체로 중금속 함량이 높았으며, 특히, 구리, 크롬, 카드뮴, 니켈 등이 3배 이상 높았다. 한편, 개불, 명게, 미더덕 및 해삼 등 4종 42개체의 중금속 함량은 아연 $28.393 \pm 26.599 \mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았으며, 다음으로 망간 $4.273 \pm 4.368 \mu\text{g/g}$, 구리 $3.089 \pm 3.170 \mu\text{g/g}$, 니켈 $0.207 \pm 0.457 \mu\text{g/g}$, 크롬 $0.180 \pm 0.250 \mu\text{g/g}$, 카드뮴 $0.134 \pm 0.162 \mu\text{g/g}$, 납 $0.088 \pm 0.080 \mu\text{g/g}$ 순이었다.

Cha 등(10)은 갑각류 12종 91개체의 카드뮴 함량은 $0.080(0.002 \sim 1.113) \mu\text{g/g}$, 납 함량은 $0.111(0.006 \sim 0.510) \mu\text{g/g}$ 이라고 하였고, 두족류 7종 및 기타 3종 등 총 10종 123개체에 대한 카드뮴 함량은 $0.033(0.001 \sim 0.214) \mu\text{g/g}$ 이며, 납 함량은 $0.118(0.010 \sim 0.877) \mu\text{g/g}$ 이라고 하였다. 우리나라는 연체류(두족류 포함) 및 패류에 카드뮴 기준은 $2.0 \mu\text{g/g}$ 로 설정되어 있고(27), 본 연구의 두족류, 갑각류 등에서는 이 기준의 초과하는 시료는 없었다. 외국의 두족류 및 갑각류에 대한 카드뮴 잔류허용기준을 살펴보면, Codex에서는 두족류에 대해서만 $2.0 \mu\text{g/g}$ 으로 설정하고 있고(9), 미국은 갑각류에 대해서만 $3.0 \mu\text{g/g}$ 로 설정하고 있으며(28), EU는 두족류에 대하여 $1.0 \mu\text{g/g}$, 갑각류에 대하여는 $0.5 \mu\text{g/g}$ 로 정하고 있다(29). 한편, 우리나라는 납 잔류허용기준은 연체류(두족류 포함) 및 패류에 대하여는 $2.0 \mu\text{g/g}$ 으로 설정되어 있어(27), 본 연구에서는 이 기준을 초과하는 시료는 없었다. 또한, 외국의 두족류 및 갑각류의 납 잔류허용기준을 살펴보면, 미국은 갑각류에 대해서만 $1.7 \mu\text{g/g}$ (28), EU는 두족류에 대하여 $1.0 \mu\text{g/g}$, 갑각류에 대하여는 $0.5 \mu\text{g/g}$ 으로 정하고 있다(29).

수산물을 통한 중금속 섭취량 및 안전성 평가

미국 FDA(30,31)는 카드뮴과 납 등 유해중금속은 환경에서는 저 농도로 광범위하게 분포하고 있으며, 인간의 노출원은 공기, 물, 식품 및 담배 등이고 주된 섭취원 식품이라고

Table 4. Contents of heavy metals in Cephalopoda, Crustacea and other species from the Korean coast

Scientific name (Korean name)	No ¹⁾	Heavy metals (µg/g)						
		Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Cephalopoda								
<i>Sepia esculenta</i> (Gab-o-jing-eo)	1	0.083	0.091	2.132	0.175	0.017	0.014	16.014
<i>Loligo beka</i> (Kkol-ttu-gi)	2	0.113±0.048 ²⁾ (0.079~0.147)	0.184±0.062 (0.140~0.228)	4.880±0.968 (4.196~5.565)	1.089±1.217 (0.228~1.950)	0.034±0.010 (0.027~0.041)	0.105±0.080 (0.048~0.162)	12.496±2.119 (10.998~13.994)
<i>Todarodes pacificus</i> (Sal-o-jing-eo)	7	0.054±0.073 (0.001~0.164)	0.260±0.141 (0.069~0.453)	3.279±1.441 (1.299~5.563)	0.344±0.208 (0.151~0.725)	0.081±0.090 (<0.001~0.208)	0.082±0.094 (0.020~0.263)	16.165±6.515 (6.472~24.648)
<i>Octopus minor</i> (Nak-ji)	8	0.008±0.010 (<0.001~0.022)	0.098±0.055 (0.008~0.154)	4.148±2.437 (0.707~8.165)	0.919±0.833 (0.211~2.809)	0.018±0.022 (<0.001~0.052)	0.056±0.037 (0.016~0.119)	19.087±4.498 (14.477~26.636)
<i>Octopus ocellatus</i> (Ju-kku-mi)	5	0.043±0.034 (0.003~0.076)	0.092±0.070 (0.009~0.194)	3.499±1.347 (1.748~4.838)	0.942±0.568 (0.292~1.821)	0.015±0.018 (<0.001~0.036)	0.042±0.030 (0.023~0.093)	17.256±2.885 (13.646~20.160)
<i>Enteroctopus dofleini</i> (Mun-eo)	10	0.018±0.027 (<0.001~0.085)	0.154±0.128 (<0.001~0.428)	3.278±1.926 (1.165~6.971)	0.367±0.223 (0.021~0.780)	0.018±0.024 (<0.001~0.074)	0.079±0.081 (0.024~0.266)	21.119±6.231 (11.922~34.007)
Total or mean	32	0.034±0.046 (<0.001~0.164)	0.150±0.115 (<0.001~0.453)	3.594±1.823 (0.707~8.165)	0.630±0.603 (0.021~2.809)	0.030±0.047 (<0.001~0.208)	0.068±0.066 (0.014~0.266)	18.380±5.479 (6.472~34.007)
Crustacea								
<i>Palaemon macrodactylus</i> (Cham-sae-u)	1	0.006	0.144	5.434	0.626	0.025	0.076	13.160
<i>Trachysalsmbria curvirostris</i> (Kkot-sae-u)	1	0.064	0.050	2.276	0.197	0.019	0.054	7.962
<i>Fenneropenaeus chinensis</i> (Dae-ha)	6	0.093±0.161 (<0.001~0.411)	0.203±0.089 (0.108~0.321)	4.174±1.713 (1.763~6.242)	0.808±0.471 (0.230~1.390)	0.047±0.094 (<0.001~0.238)	0.063±0.029 (0.017~0.095)	16.652±3.115 (13.415~21.103)
<i>Pandalus hypsinotus</i> (Do-hwa-sae-u)	2	0.242±0.273 (0.049~0.435)	5.856±8.208 (0.052~11.660)	3.403±1.394 (2.417~4.388)	0.301±0.331 (0.067~0.535)	0.057±0.030 (0.035~0.078)	0.106±0.040 (0.077~0.134)	15.304±10.035 (8.209~22.400)
<i>Chionoecetes opilio</i> (Dae-ge)	6	0.078±0.132 (<0.001~0.328)	0.214±0.156 (<0.001~0.449)	3.779±1.861 (1.659~6.648)	0.295±0.333 (<0.001~0.891)	0.075±0.069 (0.007~0.167)	0.222±0.140 (0.049~0.391)	27.980±5.478 (18.552~34.868)
<i>Portunus trituberculatus</i> (Kkot-ge)	6	0.308±0.202 (<0.001~0.550)	0.219±0.136 (0.085~0.426)	8.799±4.158 (5.550~15.896)	0.921±0.238 (0.501~1.240)	0.118±0.148 (<0.001~0.385)	0.127±0.056 (0.040~0.181)	34.166±5.919 (25.655~41.425)
<i>Charybdis japonica</i> (Min-kkot-ge)	2	0.210±0.037 (0.184~0.236)	0.113±0.026 (0.094~0.131)	20.663±15.817 (9.478~31.847)	0.762±0.727 (0.248~1.276)	0.038±0.001 (0.037~0.038)	0.119±0.114 (0.038~0.199)	38.743±0.462 (38.416~39.069)
<i>Squilla oratoria</i> (Gaet-ga-jae)	4	0.491±0.046 (0.440~0.550)	0.157±0.041 (0.109~0.210)	24.204±6.958 (16.703~33.514)	0.841±0.110 (0.713~0.961)	0.237±0.093 (0.167~0.373)	0.116±0.073 (0.027~0.183)	26.835±3.457 (22.267~29.725)
Total or mean	28	0.207±0.204 (<0.001~0.550)	0.592±2.172 (<0.001~11.660)	9.042±8.895 (1.659~33.514)	0.659±0.412 (<0.001~1.390)	0.094±0.110 (<0.001~0.385)	0.126±0.094 (0.017~0.391)	25.333±9.608 (7.962~41.425)
Others								
<i>Urechis unicinctus</i> (Gae-bul)	12	0.198±0.204 (<0.001~0.771)	0.201±0.126 (<0.001~0.445)	1.450±1.091 (<0.001~3.623)	2.189±1.511 (0.911~6.299)	0.162±0.237 (<0.001~0.689)	0.099±0.078 (0.013~0.279)	17.343±4.891 (9.611~26.019)
<i>Halynthia roretzi</i> (Meong-ge)	14	0.187±0.163 (0.005~0.567)	0.147±0.124 (<0.001~0.379)	6.678±2.893 (3.202~12.954)	6.891±4.388 (2.717~18.162)	0.192±0.113 (0.069~0.500)	0.074±0.077 (0.012~0.310)	61.706±18.121 (28.112~89.773)
<i>Styela clava</i> (Mi-deo-deok)	3	0.023±0.019 (0.009~0.044)	0.098±0.055 (0.058~0.160)	2.752±1.696 (1.755~4.711)	9.193±5.149 (5.291~15.029)	0.088±0.035 (0.060~0.127)	0.110±0.117 (0.041~0.244)	11.390±5.665 (6.160~17.408)
<i>Stichopus japonicus</i> (Hae-sam)	13	0.044±0.062 (<0.001~0.203)	0.215±0.421 (<0.001~1.442)	0.815±0.595 (<0.001~2.475)	2.242±3.865 (0.203~11.328)	0.292±0.797 (<0.001~2.934)	0.087±0.083 (0.009~0.264)	6.641±5.719 (1.914~23.737)
Total or mean	42	0.134±0.162 (<0.001~0.771)	0.180±0.250 (<0.001~1.442)	3.089±3.170 (<0.001~12.954)	4.273±4.368 (0.203~18.162)	0.207±0.457 (<0.001~2.934)	0.088±0.080 (0.009~0.310)	28.393±26.599 (1.914~89.773)

¹⁾No: Number of individuals. ²⁾Mean value±SD.

하였다. 카드뮴은 신체 중 주로 신장과 간에 축적되며, 사람의 신체에 흡수된 카드뮴은 서서히 제거되며 생물학적 반감기는 10~30년으로 보고되고 있다(30). 남은 혈액, 연부조직, 혈액이 있는 골 조직에 분포하고, 특히 뼈는 저장소로 알려져 있으며, 혈액에서 반감기는 약 35일이나 뼈에서는 뼈의 위치와 형에 따라서 5년에서 수십 년에 이르는 것으로 보고되고 있다(31). 2005년도 국민건강영양조사 결과보고서(6)에 의하면 우리 국민이 섭취하는 수산물은 76.2 g이며, 이중

어류가 48.5 g, 패류 6.3 g, 해조류 8.5 g 및 기타 11.9 g이라고 보고하였다.

수산물을 통하여 섭취되는 중금속의 섭취량 및 안전성 평가를 하기 위하여 2005년도 국민건강영양조사 결과보고서(6)의 1일 평균 수산물 섭취량 자료를 토대로 우리나라 국민의 수산물을 통한 1일 중금속 섭취량을 Table 5에 나타내었으며, 각 중금속별 주간 섭취량(60 kg 성인기준)은 FAO/WHO의 잠정주간섭취허용량(PTWI)과 비교하여 안전성을

Table 5. Daily average intake of heavy metals through fisheries products

Trace metals	Average daily intake (µg/person/day) ¹⁾				
	Fish ²⁾	Shellfish	Seaweed ³⁾	Other	Fisheries products
Cd	0.81	2.51	2.10	1.46	6.88
Cr	9.98	1.18	4.59	3.38	19.13
Cu	36.63	21.98	20.32	58.09	137.02
Mn	21.01	24.00	85.68	25.44	156.13
Ni	3.93	2.19	3.84	1.43	11.39
Pb	1.84	1.48	2.60	1.09	7.01
Zn	435.58	192.01	107.85	290.50	1,025.94

¹⁾The average daily intake of fisheries products is obtained from National Health and Nutrition Survey of Korea (2) for this study.

²⁾The heavy metal contents in the fishes are obtained from Mok et al. (22) for this study.

³⁾The heavy metal contents in the seaweeds are obtained from Mok et al. (21) for this study.

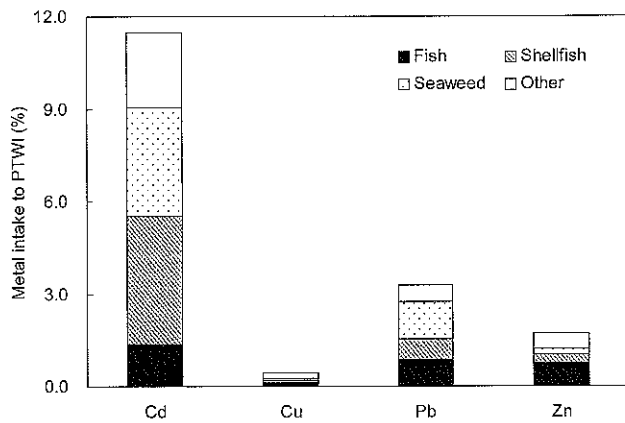


Fig. 1. Proportions of heavy metal intake through fisheries products to provisional tolerable weekly intakes (PTWI) of trace elements by FAO/WHO (25).

평가하였다(Fig. 1).

우리나라 국민의 수산물을 통한 중금속의 1일 섭취량은 각각 카드뮴 6.88 µg, 크롬 19.13 µg, 구리 137.02 µg, 망간 156.13 µg, 니켈 11.39 µg, 납 7.01 µg 및 아연 1,025.94 µg이었다. 이는 FAO/WHO에서 설정한 PTWI과 비교해 보면, 카드뮴(7 µg/kg body weight/week)의 11.47%, 구리(3,500 µg/kg body weight/week)의 0.46%, 납(25 µg/kg body weight/week)의 3.27% 및 아연(7,000 µg/kg body weight/week)의 1.71% 수준이었다. 수산물 통한 카드뮴의 섭취량은 패류>해조류>기타 수산물>어류를 통하여 많이 섭취하였으며, 납의 경우는 큰 차이는 없으나 해조류>어류>패류>기타 수산물을 통하여 많이 섭취되는 것으로 나타났다. Lee와 Lee(8)에 의하면 우리나라 국민이 식품을 통한 1일 중금속 섭취량(60 kg 성인기준)은 카드뮴 27.4 µg 및 납 181.7 µg이라고 보고하여 수산물을 통한 이들 중금속 섭취량은 전체 식품의 카드뮴 25.1%, 납 3.9% 수준으로 추정된다. 또한 이들은 우리 국민의 식품을 통한 카드뮴과 납의 섭취량은 FAO/WHO

에서 설정한 PTWI의 50~80% 수준으로 허용량보다도 낮은 수치였다고 보고하였다(8).

Sho 등(11)은 우리 국민이 어패류를 통한 섭취하는 수은, 카드뮴, 납의 함량은 PTWI의 각 12%, 15%, 11%로 우리의 결과보다 다소 높았으나, 다른 나라와 비교할 때는 안전한 수준이라고 보고하였다. 한편, Chung 등(32)은 국내에서 생산된 채소류 15종 620건에 대한 중금속 함량은 자연 함유량 수준이라고 하였으며, 이들 채소류를 통한 수은, 카드뮴, 납 등의 주간섭취량은 PTWI의 2~7%를 차지하고 있다고 하였다. Lee와 Lee(8)는 우리 국민에 의한 수은, 카드뮴 및 납의 식이섭취량은 미국, 일본 및 유럽국가 등 다른 외국의 여러 국가들과 비교해 볼 때 중위권에 속하는 것으로 나타났다고 보고하여 식품을 통한 유해 중금속 섭취량은 아직 안전한 수준으로 사료된다. 그러나 다량 오염된 특정식품을 많이 섭취하는 극단소비량으로 계산하면 PTWI를 초과할 수 있으므로 보다 심도 있는 평가가 요구되며, 또한 유해 중금속에 대하여 법적기준이 설정되어 있지 않은 식품에 대하여는 시급히 법적기준을 설정하여 유해 중금속에 의한 오염 진행을 감시해야 할 것이다.

요 약

본 연구에서는 2003년부터 2004년까지 동해, 서해 및 남해 연안에서 채취하여 위판장에서 판매되고 있는 연안산 패류(복족류 및 이매패류), 두족류, 갑각류 등의 해산무척추동물 52종 239개체에 대한 중금속 함량을 분석하였다. 인증표준물질(certified reference material, CRM)을 사용한 각 중금속에 대한 회수율은 평균 86.3~104.6%로 Codex에서 요구하고 있는 수준에 부합하였다. 우리나라 연안산 복족류의 중금속 함량은 아연 21.471±10.794 µg/g, 구리 4.115±2.565 µg/g, 망간 0.868±0.593 µg/g, 니켈 0.254±0.418 µg/g, 납 0.238±0.220 µg/g, 카드뮴 0.154±0.170 µg/g, 크롬 0.110±0.082 µg/g 순이었고, 이매패류의 경우는 아연 35.655±46.978 µg, 망간 5.500±9.943 µg, 구리 3.129±5.979 µg, 카드뮴 0.423±0.345 µg/g, 니켈 0.402±0.379 µg, 크롬 0.233±0.234 µg/g, 납 0.232±0.216 µg/g 순이었다. 또한, 두족류는 아연 18.380±5.479 µg/g으로 가장 높았으며, 다음으로 구리 3.594±1.823 µg/g, 망간 0.630µg.0.603 µg/g, 크롬 0.150±0.115 µg/g, 납 0.068±0.066 µg/g, 카드뮴 0.034±0.046 µg/g, 니켈 0.030±0.047 µg/g 순이었고, 갑각류의 경우 아연 25.333±9.608 µg/g으로 가장 높았으며, 다음으로 구리 9.042±8.895 µg/g, 망간 0.659±0.412 µg/g, 크롬 0.592±2.172 µg/g, 카드뮴 0.207±0.204 µg/g, 납 0.126±0.094 µg/g, 니켈 0.094±0.110 µg/g 순이었다. 따라서 카드뮴, 납 등 유해 중금속의 함량은 이매패류>갑각류=복족류>두족류 순으로 높게 함유하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 우리나라 국민의 수산물을 통한 중금속의 1일 섭취량은 각각 카드뮴 6.88 µg, 크롬 19.13 µg,

구리 137.02 µg, 망간 156.13 µg, 니켈 11.39 µg, 납 7.01 µg 및 아연 1,025.94 µg이었다. 이는 FAO/WHO에서 설정한 잠정주간섭취허용량인 PTWI와 비교해 보면, 카드뮴의 11.47%, 구리의 0.46%, 납의 3.27% 및 아연의 1.71% 수준이었다. 따라서 우리나라민이 수산물을 통하여 섭취하는 카드뮴 및 납 등 유해 중금속 합량은 매우 안전한 수준인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물과학원 (RP-2010-FS-02)의 지원에 의해 수행되었습니다.

문헌

- Kim HY, Kim JC, Kim SY, Lee JH, Jang YM, Lee MS, Park JS, Lee KH. 2007. Monitoring of heavy metals in fishes in Korea. *Korean J Food Sci Technol* 39: 353-359.
- Jeong BY, Choi BD, Lee JS. 1998. Proximate composition, cholesterol and α-tocopherol content in 72 species of Korean fish. *J Korean Fish Soc* 31: 160-167.
- Jeong BY, Choi BD, Moon SK, Lee JS, Jeong WG, Kim PH. 1999. Proximate composition and sterol content of 35 species of marine invertebrates. *J Korean Fish Soc* 32: 192-197.
- Mok JS, Lee DS, Yoon HD, Park HY, Kim YK, Wi CH. 2007. Proximate composition and nutritional evaluation of fisheries products from the Korean coast. *J Korean Fish Soc* 40: 259-268.
- MIFAFF (The Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2008. Fishery Statistics. http://badasori.momaf.go.kr/matrix/momaf/trans/trans.jsp?filename=4-1-0&h_category=MA. 2009/10/2.
- MOHW (Korea Ministry of Health & Welfare). 2006. Report on 2005 National Health and Nutrition Survey of Korea. p 1-782.
- Rashed MN. 2001. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environ Int* 27: 27-33.
- Lee SR, Lee MG. 2001. Contamination and risk analysis of heavy metals in Korean foods. *J Food Hyg Safety* 16: 324-332.
- Codex Alimentarius Commission. 2006. Draft Report of the 38th Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants. ALINORM 06/29/41, Hague, Netherlands.
- Cha YS, Ham HJ, Lee JI, Lee JJ. 2001. Heavy metals in fishery products, sold at fish markets in Seoul. *J Food Hyg Safety* 16: 315-323.
- Sho YS, Kim JS, Chung SY, Kim MH, Hong MK. 2000. Trace metal contents in fishes and shellfishes and their safety evaluation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 549-554.
- Sung DW, Lee YW. 1993. A study on the content of heavy metals of marine fish in Korean coastal water. *Korean J Food Hyg* 8: 231-240.
- Hwang YO, Park SG. 2006. Contents of heavy metals in marine fishes sold in Seoul, Korea. *Anal Sci Technol* 19: 342-351.
- Cho DM, Kim DS, Lee DS, Kim HR, Pyeun JH. 1995. Trace components and functional saccharides in seaweed-1. Changes in proximate composition and trace elements according to the harvest season and places. *Bull Korean Fish Soc* 28: 49-59.
- Choi SN, Lee SU, Chung KH, Ko WB. 1998. A study of heavy metals contents of the seaweeds at various area in Korea. *Korean J Soc Food Sci* 14: 25-32.
- Ha GJ, Song JY, Hah DS. 2004. Study on the heavy metal contents in fishes and shellfishes of Gyeongsangnam-do coastal area-part 1. *J Food Hyg Safety* 19: 132-139.
- Jeoung IG, Ha KS, Choi JD. 2004. Heavy metals in fish and shellfish at the coastal area of Tongyeong, Korea. *J Ins Mar Indust* 17: 39-46.
- Jun JY, Xu XM, Jeong IH. 2007. Heavy metal contents of fish collected from the Korean coast of the East Sea (DongHae). *J Korean Fish Soc* 40: 362-366.
- Lee JH, Sung NJ. 1980. The content of minerals in algae. *J Korean Soc Food Nutr* 9: 51-58.
- Kim JH, Mok JS, Park HY. 2005. Trace metal contents in seaweeds from Korean coastal area. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 1041-1051.
- Mok JS, Park HY, Kim JH. 2005. Trace metal contents of major edible seaweeds and their safety evaluation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 1464-1470.
- Mok JS, Shim KB, Cho MR, Lee TS, Kim JH. 2009. Contents of heavy metal in fishes from Korean coast. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 517-524.
- Kwon OK, Min DK, Lee JR, Lee JS, Je JG, Choe BL. 2001. *Korean mollusks with color illustration*. Hanguel, Busan, Korea. p 1-332.
- MOMAF (Ministry of Maritime Affairs & Fisheries). 2002. Standard Methods for Marine Environmental. p 1-330.
- FAO. 1994. Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). International Life Science Institute, Geneva, Switzerland. p 36-59.
- Codex Alimentarius Commission. 2008. Report of the thirty-first session, ALINORM 08/31/REP, Geneva, Switzerland.
- KFDA (Korea Food and Drug Administration). 2008. Food code. KFDA. Seoul, Korea.
- USFDA. (U.S. Food & Drug Administration). 2001. Fish and Fisheries Products. Hazards and Controls Guidance. Third Edition. June 2001. USA.
- EU (European Union). 2005. Commission Regulation (EC) No 78/2005 as regards heavy metals. http://europa.eu/index_en.htm.
- USFDA (United States Food and Drug Administration). 1993a. Guidance Document for Cadmium in Shellfish. p 1-44.
- USFDA (United States Food and Drug Administration). 1993b. Guidance Document for Lead in Shellfish. p 1-45.
- Chung SY, Kim MH, Sho YS, Won KP, Hong MK. 2001. Trace metal contents in vegetable and their safety evaluations. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 32-36.

(2010년 3월 5일 접수; 2010년 4월 28일 채택)