

한국 연안산 어류의 중금속 함량

목종수^{1*} · 심길보² · 조미라¹ · 이태식² · 김지희²

¹국립수산과학원 식품안전연구과

²국립수산과학원 양식환경연구센터

Contents of Heavy Metals in Fishes from the Korean Coasts

Jong-Soo Mok^{1*}, Kil-Bo Shim², Mi-Ra Cho¹, Tae-Seek Lee², and Ji-Hoe Kim²

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

²Aquaculture Environment Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Gyeongnam 650-943, Korea

Abstract

We collected 177 fishes representing 53 species of fish from the eastern (Pohang), western (Gunsan), and southern (Tongyeong) coasts of Korea, and measured their heavy metal contents. The mean recoveries of the heavy metals extracted from cod muscle (certified reference material, CRM) were 88.7~100.6%. The mean levels of the heavy metals in the samples taken from the edible portion of each fish were high in the order of Zn ($8.981 \pm 4.835 \mu\text{g/g}$), Cu ($0.755 \pm 0.507 \mu\text{g/g}$), and Mn ($0.433 \pm 0.699 \mu\text{g/g}$), which are necessary metals in the human body, and then followed by Cr ($0.206 \pm 0.181 \mu\text{g/g}$), Ni ($0.081 \pm 0.110 \mu\text{g/g}$), Pb ($0.038 \pm 0.046 \mu\text{g/g}$), Cd ($0.017 \pm 0.023 \mu\text{g/g}$). The average daily intakes of the heavy metals by the fishes were as follows: Cd ($0.81 \mu\text{g}$), Cr ($9.98 \mu\text{g}$), Cu ($36.63 \mu\text{g}$), Mn ($21.01 \mu\text{g}$), Ni ($3.93 \mu\text{g}$), Pb ($1.84 \mu\text{g}$) and Zn ($435.58 \mu\text{g}$). The average weekly intakes of Cd, Cu, Pb and Zn by the fishes were 1.35%, 0.12%, 0.86%, and 0.73% respectively, as compared with PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intakes) established by FAO/WHO Expert Committee for Food Safety Evaluation.

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

서 론

농림수산식품부의 수산통계(1)에 의하면 수산물 생산량은 2003년에는 249만 톤, 2004년에는 252만 톤, 2005년에는 271만 톤, 2006년에는 303만 톤, 2007년에는 327만 톤으로 증가하는 추세이다. 또한, 2005년도 국민건강 영양조사 결과 보고서(2)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. 어류 중에서는 고등어(7.5 g), 조기(4.8 g), 명태(4.6 g), 멸치(3.9 g) 등을 많이 식용하며, 고등어와 조기는 월 2~4회(약 25%) 및 1~3회(약 20%)로 섭취하는 비율이 가장 높았다. 우리나라는 일본과 더불어 세계적으로 1인당 수산물 소비량이 많은 국가이며, 최근 국민소득수준의 향상에 따라 건강증진에 대한 국민의 관심이 급속도로 높아지고 있어 육류보다는 수산물을 통한 단백질 섭취가 늘어나고 있는 추세이다(3). 특히, 바다에 서식하는 수산물에는 인체에 필요한

단백질, 지방, 미네랄 등의 영양성분은 물론 다양한 기능성 물질들이 함유되어 있는 것으로 밝혀지고 있다(4-6).

그러나 최근 우리나라는 급속한 산업발전에 따라 각종 생활오수, 산업폐수 등에 의하여 하천 및 연안 해역 등의 환경오염이 가속화되고 있다(7). 육상에서 연안 수역으로 유입된 유해 미량금속 등의 오염물질들은 생태계의 먹이사슬을 통하여 농축되므로, 대부분 연안에서 서식하고 있는 수산물은 오염의 우려가 있어 식품위생상 문제가 될 수 있다(7). 또한, Codex에서는 어류에 대한 납 함량기준을 2006년도에 0.3 mg/kg으로 설정하는 등 기준규격을 강화하는 추세이다(8). 한편, 지금까지 우리나라에서 수산물에 관한 중금속 오염실태에 관한 보고는 다수 있으나, 대부분 시중에 유통되고 있는 것을 대상으로 하였거나(3,9-12), 특정한 지역이나 품종에 대한 보고(13-18)일 뿐 전국 연안의 다양한 수산물의 중금속 함량에 대해서는 자세히 알려져 있지 않다.

이에 따라 수산물의 중금속에 대한 지속적인 관리를 위해서는 전국 연안에 대한 다양한 수산물의 중금속 함량 모니터링 자료가 필요하다. 저자들은 전국 연안에 서식하는 해조류

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

에 대한 중금속 오염실태를 조사하여 안전성을 평가한 바 있으며(19,20), 본 연구에서는 우리나라 연안산 어류의 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, 수심 등 그 특성이 뚜렷하며, 이러한 특성으로 각 해역마다 생산되는 어류의 종류도 각기 다르다. 이에 다양한 품종에 대한 조사를 실시하고자 2003년부터 2004년까지 동해, 서해 및 남해 연안에서 채취하여 위판장에서 판매되고 있는 것을 포함, 군산 및 통영 시장에서 직접 구입하였다. 구입한 시료는 초순수로 깨끗이 세척한 후 껍질과 내장을 제거하고, 가식부인 근육만을 채취하여 분석에 사용하였다.

분석에 사용된 어류는 총 53종으로 한국해산어류도감(21)에 따라 Table 1, 2와 같이 분류하여 나타내었다. 즉, 먹장어(*Eptatretus burgeri*), 두툽상어(*Scyliorhinus torazame*), 까치상어(*Triakis scyllium*), 홍어(*Raja kenogei*), 노랑가오리(*Dasyatis akajei*), 붕장어(*Conger myriaster*), 갯장어(*Muraenesox cinereus*), 청어(*Clupea pallasii*), 멸치(*Engraulis japonica*), 전어(*Konosirus punctatus*), 은연어(*Onchorhynchus kisufch*), 대구(*Gadus macrocephalus*), 아귀(*Lophiomus setigerus*), 숭어(*Mugil cephalus*), 콩치(*Cololabis saira*), 학공치(*Hemiramphus sajori*), 송뱅이(*Sebastes marmoratus*), 쭈기미(*Inimicus japonicus*), 불락(*Sebastes inermis*), 조피불락(*Sebastes schlegeli*), 탁자불락(*Sebastes taczanowskii*), 불불락(*Sebastes thompsoni*), 성대(*Chelidonichthys spinosus*), 양태(*Platycephalus indicus*), 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*), 노래미(*Hexagrammos agrammus*), 임연수어(*Pleurogrammus azonus*), 삼새기(*Hemitripterus villosus*), 꼼치(*Liparis tanaiai*), 게르치(*Scombrops boops*), 방어(*Seriola quinqueradiata*), 전갱이(*Trachurus japonicus*), 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*), 참돔(*Pagrus major*), 민어(*Miichthys miiuy*), 참조기(*Larimichthys polyactis*), 피도라치(*Chirolophis japonicus*), 까나리(*Ammodytes personatus*), 고등어(*Scomber japonicus*), 갈치(*Trichiurus lepturus*), 병어(*Pampus argenteus*), 도다리(*Pleuronichthys cornutus*), 참가자미(*Limanda herzensteini*), 갈가자미(*Tanakius kitaharai*), 참서대(*Cynoglossus joyneri*), 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*), 말쥐치(*Navodon modestus*), 줄복(*Takifugu pardalis*), 검복(*Takifugu porphyreus*), 자주복(*Takifugu rubripes*), 까칠복(*Takifugu stictonotus*), 국매리복(*Takifugu vermicularis*), 까치복(*Takifugu xanthopterus*) 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 표준물질은 혼합 표준액(Merck)을 사용하여 초순수로 희석하여 사용하였다.

중금속 분석

어류의 중금속 함량은 Standard Methods for Marine Environment(22)에 따라 습식회화법으로 측정하였다. 즉, 시료를 균질화한 후 약 10 g을 취하여 동결 건조시킨 후 질산 및 과염소산을 사용하여 분해시킨 다음 용액을 증발시키고, 0.2 N 질산용액으로 재용출하여 100 mL로 정용하였다. 시료 용액 중의 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 아연(Zn), 크롬(Cr), 망간(Mn) 및 니켈(Ni)은 Inductively Coupled Plasma Spectrometer(HITACHI, P-401, Tokyo, Japan)로, 납(Pb)은 ICP-MS(Perkin-Elmer, Elan 6000, Wellesley, MA, USA)로 그 함량을 측정하여 생물중량으로 나타내었다. 또한, 각 금속별 회수율은 시료와 동일한 방법으로 인증표준물질(certified reference material, CRM) Cod muscle(BCR-CRM 422, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 사용하여 측정하여 확인하였다.

결과 및 고찰

인증표준물질의 회수율

인증표준물질은 미량금속 분석용 대구 근육을 구입하여 사용하였으며, 6종의 중금속에 대한 회수율의 결과는 Table 1과 같이 88.7~100.6%이었다. 즉, 카드뮴은 88.7%, 구리는 100.6%, 망간 98.5%, 납 94.0%, 아연은 90.0%이었다. Codex(23)에서는 0.1~10 $\mu\text{g/g}$ 범위에서는 80~110%의 회수율을, 0.01 $\mu\text{g/g}$ 및 0.001 $\mu\text{g/g}$ 에서는 각각 60~115% 및 40~120%의 회수율을 요구하고 있으므로 우리의 결과는 이에 부합되는 것으로 확인되었다.

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

Heavy metals	Certified (mg/kg)	Measured (mg/kg)	Recovery (%)
Cd	0.017±0.002	0.015±0.001	88.7±7.2
Cu	1.050±0.070	1.056±0.044	100.6±4.2
Mn	0.543±0.028	0.535±0.019	98.5±3.5
Pb	0.085±0.015	0.080±0.006	94.0±7.4
Zn	19.600±0.500	0.599±0.542	90.0±7.5

¹⁾Cod muscle reference material (BCR-CRM 422) was purchased from Sigma-Aldrich (USA).

우리나라 연안산 어류의 중금속 함량

우리나라 연안산 어류 총 53종 177개체에 대한 중금속 함량(생물기준)을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 중금속 함량은 아연이 8.981±4.835 µg/g으로 가장 높았으며, 다음으로 구리 0.755±0.507 µg/g, 망간 0.433±0.699 µg/g, 크롬 0.206±0.181 µg/g, 니켈 0.081±0.110 µg/g, 납 0.038±0.046 µg/g, 카드뮴 0.017±0.023 µg/g 순이었다. Mok 등(20)은 우리나라 전국 연안의 주요 식용해조류(김, 미역, 다시마, 파래) 총 176건에 대한 중금속 함량(건물기준)을 조사한 결과,

수은 0.01±0.02 µg/g, 카드뮴 0.72±0.80 µg/g, 크롬 1.54±2.07 µg/g, 구리 6.82±7.62 µg/g, 망간 28.75±28.03 µg/g, 니켈 1.29±2.57 µg/g, 납 0.89±1.11 µg/g 그리고 아연 36.19±27.14 µg/g로, 아연, 망간, 구리 순으로 우리 체내에서 없어서는 안 되는 필수 성분들의 함량이 높았으며, 다음으로 크롬, 니켈, 납, 카드뮴, 수은 순이었다고 보고하였다. 따라서 해조류에 대한 중금속 함량은 건물기준인 것을 감안하면, 어류가 해조류보다 낮은 농도의 중금속을 함유하고 있는 것으로 판단되며, 다만 해조류에 많이 함유되어 있는 것은 어

Table 2. Contents of heavy metals in fishes from the Korean coasts

Scientific name (Korean name)	No ¹⁾	Heavy metals (µg/g)						
		Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Ze
<i>Eptatretus burgeri</i> (Meok-jang-eo)	4	0.007~0.065 (0.027±0.026) ²⁾	0.083~0.307 (0.202±0.092)	0.906~1.427 (1.189±0.223)	<0.001~0.412 (0.232±0.172)	<0.001~0.271 (0.137±0.116)	0.008~0.022 (0.015±0.007)	15.588~22.773 (18.217±3.188)
<i>Scyliorhinus torazame</i> (Du-tub-sang-eo)	1	0.083	0.404	1.322	1.391	0.080	0.014	16.221
<i>Triakis scyllium</i> (Kka-chi-sang-eo)	1	<0.001	0.100	0.570	0.151	0.016	0.022	4.072
<i>Raja kenoei</i> (Hong-eo)	5	<0.001~0.021 (0.007±0.010)	0.091~0.495 (0.236±0.163)	0.310~2.629 (0.924±0.964)	0.536~2.131 (1.268±0.569)	<0.001~0.073 (0.018±0.032)	0.004~0.154 (0.069±0.064)	5.297~9.886 (6.863±1.901)
<i>Dasyatis akajei</i> (No-rang-ga-o-ri)	2	0.020~0.023 (0.021±0.002)	<0.001~0.225 (0.112±0.159)	0.367~1.475 (0.921±0.784)	0.991~1.136 (1.064±0.102)	<0.001~0.031 (0.016±0.022)	0.036~0.197 (0.116±0.114)	9.611~10.261 (9.936±0.460)
<i>Conger myriaster</i> (Bung-jang-eo)	5	0.002~0.091 (0.039±0.033)	0.233~0.404 (0.308±0.075)	0.569~1.242 (0.775±0.274)	0.925~4.776 (2.692±1.670)	0.065~0.250 (0.135±0.074)	0.015~0.104 (0.039±0.044)	11.473~16.794 (13.747±2.143)
<i>Muraenesox cinereus</i> (Gaet-jang-eo)	5	<0.001~0.071 (0.021±0.029)	0.058~0.241 (0.176±0.077)	<0.001~1.738 (0.923±0.679)	0.242~2.625 (1.152±0.922)	<0.001~0.105 (0.041±0.056)	0.010~0.100 (0.038±0.037)	4.785~13.770 (8.339±3.912)
<i>Clupea pallasii</i> (Cheong-eo)	4	<0.001~0.074 (0.031±0.034)	<0.001~0.260 (0.177±0.119)	0.543~1.153 (0.855±0.252)	<0.001~0.401 (0.233±0.171)	0.126~0.513 (0.323±0.158)	0.016~0.027 (0.020±0.005)	8.326~15.083 (12.180±2.889)
<i>Engraulis japonica</i> (Myeol-chi)	1	<0.001	0.135	2.261	1.119	0.344	0.016	16.168
<i>Konosirus punctatus</i> (Jeon-eo)	12	<0.001~0.079 (0.026±0.029)	<0.001~0.364 (0.160±0.116)	0.352~1.499 (1.006±0.364)	0.007~1.581 (0.973±0.432)	<0.001~0.368 (0.105±0.123)	0.013~0.096 (0.027±0.026)	0.121~12.138 (7.927±3.642)
<i>Onchorhynchus kisufch</i> (Eun-yeon-eo)	1	<0.001	0.123	0.311	<0.001	<0.001	0.003	3.308
<i>Gadus macrocephalus</i> (Dae-gu)	5	0.001~0.065 (0.028±0.024)	<0.001~0.330 (0.168±0.152)	0.313~1.475 (0.797±0.488)	0.011~0.307 (0.194±0.112)	0.006~0.315 (0.080±0.131)	0.014~0.028 (0.021±0.007)	3.828~11.152 (8.040±3.011)
<i>Lophiomus setigerus</i> (A-gwi)	10	<0.001~0.047 (0.013±0.017)	<0.001~1.516 (0.228±0.459)	<0.001~1.340 (0.573±0.436)	0.040~0.381 (0.241±0.117)	<0.001~0.109 (0.021±0.035)	0.002~0.026 (0.014±0.010)	3.583~9.501 (6.239±2.068)
<i>Mugil cephalus</i> (Sung-eo)	5	<0.001~0.061 (0.016±0.027)	0.072~0.457 (0.169±0.163)	0.243~1.238 (0.940±0.401)	<0.001~0.141 (0.070±0.051)	<0.001~0.288 (0.064±0.126)	0.002~0.015 (0.008±0.006)	3.457~14.470 (6.854±4.474)
<i>Cololabis saira</i> (Kkong-chi)	4	<0.001~0.071 (0.032±0.037)	0.214~0.388 (0.313±0.078)	<0.001~1.751 (1.053±0.786)	0.152~0.365 (0.265±0.088)	<0.001~0.254 (0.119±0.113)	0.011~0.025 (0.016±0.008)	11.611~17.613 (14.298±2.592)
<i>Hemiramphus sajori</i> (Hak-gong-chi)	1	<0.001	0.011	0.543	0.186	<0.001	0.063	17.650
<i>Sebastes marmoratus</i> (SSom-baeng-i)	1	<0.001	0.075	0.283	0.080	<0.001	0.002	3.923
<i>Inimicus japonicus</i> (Ssu-gi-mi)	3	<0.001	0.059~0.098 (0.077±0.020)	<0.001~0.387 (0.249±0.216)	0.168~0.668 (0.386±0.256)	<0.001~0.013 (0.008±0.007)	0.004~0.079 (0.033±0.041)	3.172~5.109 (4.089±0.973)
<i>Sebastes inermis</i> (Bol-lak)	3	0.007~0.020 (0.014±0.006)	0.072~0.336 (0.182±0.138)	0.353~1.026 (0.577±0.389)	0.003~0.113 (0.053±0.056)	0.049~0.287 (0.183±0.122)	0.012~0.019 (0.015±0.005)	6.529~7.516 (6.899±0.538)
<i>Sebastes schlegeli</i> (Jo-pi-bol-lak)	8	<0.001~0.025 (0.008±0.010)	<0.001~0.953 (0.221±0.304)	<0.001~1.374 (0.526±0.532)	<0.001~0.318 (0.178±0.107)	<0.001~0.088 (0.033±0.039)	0.004~0.107 (0.029±0.035)	4.498~13.055 (7.985±3.437)

Table 2. Continued

Scientific name (Korean name)	No ¹⁾	Heavy metals ($\mu\text{g/g}$)						
		Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Ze
<i>Sebastes taczanowskii</i> (Tak-ja-bol-lak)	1	<0.001	0.061	0.198	<0.001	<0.001	0.059	3.669
<i>Sebastes thompsoni</i> (Bul-bol-lak)	2	<0.001~0.008 (0.004 \pm 0.006) ²⁾	0.253~0.291 (0.272 \pm 0.027)	0.527~1.185 (0.856 \pm 0.466)	0.028~0.076 (0.052 \pm 0.034)	<0.001~0.305 (0.153 \pm 0.216)	0.010~0.223 (0.117 \pm 0.151)	6.577~10.409 (8.493 \pm 2.710)
<i>Chelidonichthys spinosus</i> (Seong-dae)	1	<0.001	0.042	0.727	0.170	0.054	0.021	6.191
<i>Platycephalus indicus</i> (Yang-tae)	6	<0.001~0.029 (0.010 \pm 0.013)	<0.001~0.275 (0.178 \pm 0.128)	0.410~0.804 (0.577 \pm 0.202)	<0.001~0.334 (0.144 \pm 0.123)	<0.001~0.111 (0.028 \pm 0.048)	0.002~0.112 (0.042 \pm 0.054)	4.990~10.843 (6.861 \pm 2.390)
<i>Hexagrammos otakii</i> (Jwi-no-rae-mi)	1	<0.001	0.104	0.399	0.122	0.029	0.102	4.046
<i>Hexagrammos agrammus</i> (No-rae-mi)	1	0.016	0.243	0.596	0.529	0.309	0.045	8.490
<i>Pleurogrammus azonus</i> (Im-yeon-su-eo)	3	<0.001	0.265~1.052 (0.529 \pm 0.453)	<0.001~0.779 (0.456 \pm 0.406)	0.063~0.230 (0.157 \pm 0.085)	<0.001~0.067 (0.034 \pm 0.033)	0.004~0.079 (0.040 \pm 0.038)	4.739~12.115 (8.878 \pm 3.770)
<i>Hemirhamphus villosus</i> (Sam-sae-gi)	3	<0.001~0.017 (0.010 \pm 0.009)	<0.001~0.189 (0.108 \pm 0.097)	0.281~0.975 (0.532 \pm 0.385)	0.044~0.095 (0.073 \pm 0.026)	<0.001~0.298 (0.106 \pm 0.167)	0.018~0.163 (0.097 \pm 0.073)	6.348~10.397 (7.910 \pm 2.178)
<i>Liparis tanakai</i> (Kkom-chi)	5	<0.001~0.005 (0.001 \pm 0.002)	0.060~0.193 (0.133 \pm 0.058)	<0.001~0.860 (0.530 \pm 0.320)	0.017~0.874 (0.306 \pm 0.331)	<0.001~0.015 (0.003 \pm 0.007)	0.001~0.064 (0.027 \pm 0.025)	4.626~11.160 (6.935 \pm 2.699)
<i>Scombrops boops</i> (Ge-reu-chi)	1	0.033	0.121	0.554	0.277	0.059	0.006	12.301
<i>Seriola quinqueradiata</i> (Bang-eo)	3	<0.001~0.065 (0.027 \pm 0.034)	0.296~0.377 (0.332 \pm 0.041)	0.719~1.348 (0.942 \pm 0.352)	0.126~0.233 (0.165 \pm 0.059)	0.200~0.286 (0.257 \pm 0.050)	0.011~0.027 (0.019 \pm 0.008)	8.483~18.308 (12.891 \pm 4.990)
<i>Trachurus japonicus</i> (Jeon-gaeng-i)	4	<0.001~0.080 (0.039 \pm 0.045)	0.155~0.291 (0.210 \pm 0.059)	0.452~1.324 (0.923 \pm 0.377)	0.083~0.140 (0.121 \pm 0.026)	<0.001~0.338 (0.200 \pm 0.152)	0.010~0.094 (0.043 \pm 0.038)	6.434~11.472 (9.597 \pm 2.189)
<i>Acanthopagrus chlegeli</i> (Gam-seong-dom)	2	<0.001	0.115~0.133 (0.124 \pm 0.013)	0.201~1.036 (0.619 \pm 0.591)	<0.001~0.132 (0.066 \pm 0.094)	0.012~0.050 (0.031 \pm 0.027)	0.025~0.065 (0.045 \pm 0.028)	3.037~5.621 (4.329 \pm 1.827)
<i>Pagrus major</i> (Cham-dom)	9	<0.001~0.086 (0.017 \pm 0.029)	0.076~0.493 (0.268 \pm 0.130)	<0.001~1.117 (0.512 \pm 0.315)	<0.001~0.237 (0.119 \pm 0.094)	<0.001~0.275 (0.074 \pm 0.083)	0.016~0.176 (0.070 \pm 0.060)	2.233~15.361 (6.884 \pm 4.239)
<i>Miichthys miuiy</i> (Min-eo)	1	0.030	<0.001	1.548	0.087	0.024	0.010	8.534
<i>Larimichthys polyactis</i> (Cham-jo-gi)	1	<0.001	0.074	0.780	0.062	<0.001	0.062	3.661
<i>Chirolophis japonicus</i> (Goe-do-ra-chi)	1	<0.001	0.089	0.593	0.606	<0.001	0.008	6.905
<i>Ammodytes personatus</i> (Kka-na-ri)	2	<0.001~0.014 (0.007 \pm 0.010)	0.194~0.533 (0.363 \pm 0.240)	1.414~1.441 (1.428 \pm 0.019)	1.353~4.503 (2.928 \pm 2.228)	0.016~0.267 (0.142 \pm 0.178)	0.002~0.040 (0.021 \pm 0.027)	17.129~37.053 (27.091 \pm 14.08)
<i>Scomber japonicus</i> (Go-deung-eo)	8	<0.001~0.015 (0.003 \pm 0.006)	0.095~0.468 (0.262 \pm 0.148)	<0.001~1.863 (1.012 \pm 0.625)	0.041~0.338 (0.181 \pm 0.106)	<0.001~0.323 (0.092 \pm 0.119)	0.002~0.055 (0.019 \pm 0.018)	6.434~19.260 (11.486 \pm 4.338)
<i>Trichiurus lepturus</i> (Gal-chi)	1	0.008	0.323	0.325	0.066	0.098	0.009	19.978
<i>Pampus argenteus</i> (Byeng-eo)	7	<0.001~0.057 (0.020 \pm 0.019)	<0.001~0.349 (0.198 \pm 0.153)	0.187~1.282 (0.623 \pm 0.422)	0.053~0.490 (0.253 \pm 0.172)	<0.001~0.239 (0.052 \pm 0.091)	0.004~0.078 (0.030 \pm 0.026)	4.778~12.459 (7.714 \pm 2.632)
<i>Pleuronichthys cornutus</i> (Do-da-ri)	3	<0.001~0.029 (0.010 \pm 0.017)	0.115~0.303 (0.195 \pm 0.097)	0.208~1.249 (0.778 \pm 0.527)	0.014~0.284 (0.174 \pm 0.142)	0.019~0.055 (0.038 \pm 0.018)	0.025~0.104 (0.071 \pm 0.041)	2.334~4.452 (3.705 \pm 1.189)
<i>Limanda herzensteini</i> (Cham-ga-ja-mi)	8	0.026~0.087 (0.053 \pm 0.022)	<0.001~0.466 (0.227 \pm 0.135)	0.218~1.464 (0.624 \pm 0.370)	0.110~0.689 (0.337 \pm 0.216)	<0.001~0.432 (0.117 \pm 0.151)	0.005~0.084 (0.025 \pm 0.025)	6.890~17.563 (10.334 \pm 3.433)
<i>Tanakius kitaharai</i> (Gal-ga-ja-mi)	2	0.007~0.034 (0.020 \pm 0.019)	<0.001~0.222 (0.111 \pm 0.157)	<0.001~1.319 (0.660 \pm 0.933)	0.350~0.371 (0.361 \pm 0.015)	<0.001~0.037 (0.018 \pm 0.026)	0.176~0.266 (0.221 \pm 0.063)	4.526~8.408 (6.467 \pm 2.745)
<i>Cynoglossus joyneri</i> (Cham-seo-dae)	8	<0.001~0.032 (0.008 \pm 0.012)	0.053~0.317 (0.157 \pm 0.102)	0.225~3.050 (0.754 \pm 0.948)	0.037~1.648 (0.378 \pm 0.530)	<0.001~0.154 (0.038 \pm 0.054)	0.014~0.122 (0.061 \pm 0.041)	3.099~10.161 (6.532 \pm 2.780)
<i>Stephanolepis cirrhifer</i> (Jwi-chi)	1	<0.001	0.198	0.207	0.642	0.241	0.019	7.635

Table 2. Continued

Scientific name (Korean name)	No. ¹⁾	Heavy metals (µg/g)						
		Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Ze
<i>Navodon modestus</i> (Mal-jwi-chi)	2	0.003~0.007 (0.005±0.002) ²⁾	0.305~0.485 (0.395±0.127)	1.140~1.329 (1.235±0.134)	0.019~0.116 (0.068±0.069)	<0.001~0.193 (0.097±0.137)	0.008~0.014 (0.011±0.005)	8.117~14.254 (11.185±4.340)
<i>Takifugu pardalis</i> (Jol-bok)	2	<0.001~0.034 (0.017±0.024)	0.086~0.183 (0.135±0.069)	0.718~1.029 (0.873±0.220)	0.038~0.154 (0.096±0.082)	<0.001~0.326 (0.163±0.230)	0.012~0.045 (0.028±0.023)	10.874~15.119 (12.996±3.002)
<i>Takifugu porphyreus</i> (Geom-bok)	2	0.004~0.014 (0.009±0.008)	0.068~0.434 (0.251±0.259)	0.505~0.610 (0.558±0.074)	<0.001~0.140 (0.070±0.099)	0.010~0.086 (0.048±0.054)	0.016~0.129 (0.072±0.080)	7.664~24.858 (16.261±12.15)
<i>Takifugu rubripes</i> (Ja-ju-bok)	2	<0.001~0.004 (0.002±0.003)	0.110~0.234 (0.172±0.088)	0.385~0.488 (0.436±0.073)	<0.001~0.196 (0.098±0.139)	<0.001	0.004~0.039 (0.021±0.025)	5.687~8.965 (7.326±2.319)
<i>Takifugu stictonotus</i> (Kka-chil-bok)	1	0.004	0.284	0.614	0.295	0.058	0.015	10.914
<i>Takifugu ermicularis</i> (Guk-Mae-ri-bok)	1	0.011	0.180	0.436	0.134	0.054	0.069	8.910
<i>Takifugu xanthopterus</i> (Kka-chi-bok)	1	<0.001	0.290	0.621	<0.001	0.023	0.004	6.439
Total	177	<0.001~0.091 (0.017±0.023)	0.001~1.516 (0.206±0.181)	<0.001~3.050 (0.755±0.507)	<0.001~4.776 (0.433±0.699)	<0.001~0.513 (0.081±0.110)	0.001~0.266 (0.038±0.046)	0.121~37.053 (8.981±4.835)

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

류에도 많이 함유되어 있었다.

카드뮴의 평균함량은 0.017±0.023(<0.001~0.091) µg/g이며 두툽상어가 0.083 µg/g으로 가장 많이 함유하고 있었고, 참가자미(0.053±0.027 µg/g), 봉장어(0.039±0.033 µg/g), 전갱이(0.039±0.045 µg/g), 게르치(0.033 µg/g), 풍치(0.032±0.037 µg/g), 청어(0.031±0.034 µg/g) 등에서 높게 검출되었다. 본 연구에서의 어류 중 카드뮴 조사결과는 Kim 등(3)이 보고한 0.017(0.000~0.108) µg/g, Sho 등(10)의 0.020(불검출~0.094) µg/g, Cha 등(9)의 0.014(0.001~0.120) µg/g와 유사하였고, Sung과 Lee(11)의 0.056(0.009~0.092) µg/g, Hwang과 Park(12)의 0.34±0.07 µg/g보다는 낮았다. 우리나라는 어류 중에서 카드뮴 잔류허용기준은 설정하고 있지 않으며, 패류에 대하여는 2.0 µg/g로 설정되어 있다(24). Codex에서도 어류에 대한 카드뮴 기준은 설정하고 있지 않으며, 패류(굴, 가리비 제외) 및 두족류에 대하여 2.0 µg/g으로 설정하고 있다(8). 외국의 어류 중에서 카드뮴 잔류허용기준을 살펴보면, 호주의 경우 0.2 µg/g, 핀란드는 0.1 µg/g, 덴마크는 0.05 µg/g, 네덜란드 0.05 µg/g, 홍콩 2.0 µg/g 등이며(3), EU의 경우는 자연 함량이 높은 11종(0.1 µg/g)에 제외하고 0.05 µg/g로 정하고 있다(25). 미국 FDA(26)는 카드뮴은 환경에서는 저 농도로 광범위하게 분포하고 있으며, 인간의 노출원은 공기, 물, 식품 및 담배 등이고 주된 섭취원은 식품이라고 하였다. 또한, 카드뮴은 신체 중 주로 신장과 간에 축적되며, 사람의 신체에 흡수된 카드뮴은 서서히 제거되며 생물학적 반감기는 10~30년으로 보고되고 있다(26).

크롬의 평균함량은 0.206±0.181(0.001~1.516) µg/g이며 이면수어가 0.529±0.453 µg/g로 가장 높게 검출되었고, 두툽상어(0.404 µg/g), 말퀴치(0.395±0.127 µg/g), 까나리(0.363±0.240 µg/g), 방어(0.332±0.041 µg/g), 갈치(0.323 µg/g),

풍치(0.313±0.078 µg/g), 봉장어(0.308±0.075 µg/g) 등에서 높게 검출되었다. 또한, 구리의 평균함량은 0.755±0.507(<0.001~3.050) µg/g이며 멸치가 2.261 µg/g로 가장 높게 검출되었고, 민어(1.548 µg/g), 까나리(1.428±0.019 µg/g), 두툽상어(1.322 µg/g), 말퀴치(1.235±0.134 µg/g), 멍장어(1.189±0.223 µg/g), 풍치(1.053±0.786 µg/g), 고등어(1.012±0.625 µg/g), 전어(1.006±0.364 µg/g) 등에서 높게 검출되었다. 본 연구에서의 조사결과는 Kim 등(3)이 보고한 0.569(0.040~5.634) µg/g, Sho 등(10)의 0.66(0.04~3.74) µg/g 보다는 다소 높았으며, Hwang과 Park(12)의 1.14±0.13 µg/g 보다는 다소 낮았다.

망간의 평균함량은 0.433±0.699(<0.001~4.776) µg/g이며 까나리가 2.928±2.228 µg/g로 가장 높게 검출되었고, 봉장어(2.692±1.670 µg/g), 두툽상어(1.391 µg/g), 홍어(1.268±0.569 µg/g), 갯장어(1.152±0.922 µg/g), 멸치(1.119 µg/g), 노랑가오리(1.064±0.102 µg/g) 등에서 높게 검출되었다. 본 연구에서의 조사결과는 Kim 등(3)이 보고한 0.395(0.016~4.651) µg/g와 유사하였으며, Sho 등(10)의 0.57(불검출~7.56) µg/g 보다는 다소 낮았다. 또한, 니켈의 평균함량은 0.081±0.110(<0.001~0.513) µg/g이며 멸치가 0.344 µg/g로 가장 높았고, 청어(0.323±0.158 µg/g), 노래미(0.309 µg/g), 방어(0.257±0.050 µg/g), 쥐치(0.241 µg/g), 전갱이(0.200±0.152 µg/g) 등에서 높게 검출되었다.

납의 평균함량은 0.038±0.046(0.001~0.266) µg/g이며 Kim 등(3)이 보고한 0.023(0.000~0.323) µg/g과 유사하였으나, Cha 등(9)의 0.111(0.015~0.4999) µg/g, Sho 등(10)의 0.29(불검출~1.87) µg/g, Sung과 Lee(11)의 0.308(0.108~0.463) µg/g 보다는 낮았다. 우리나라는 어류 중에서 납 잔류허용기준을 0.5 µg/g으로 연체류 및 패류에 대하여는 2.0 µg/g

으로 설정되어 있어(24), 본 연구에서는 어류의 기준을 초과하는 시료는 한개도 없었다. 또한, Codex에서는 어류에 대해서만 0.3 µg/g으로 설정하고 있으며(8), 캐나다의 경우 어류 단백질 0.5 µg/g, 해산 및 민물 어패류를 10 µg/g, 덴마크는 어류 0.3 µg/g, 네덜란드 어류 0.5 µg/g 등이며(3), EU의 경우는 자연 함량이 높은 9종(0.4 µg/g)에 제외하고 0.2 µg/g로 정하고 있다(25). 미국 FDA(27)에서는 납은 광범위하게 분포하고 있으며, 환경에서 납의 오염은 제조업, 페인트와 색소, 자동차로부터 공기로의 방출, 고형 폐기물의 소각, 석탄의 연소 등 각종 발생원으로부터 증가하고 있다. 또한, 사람에게 있어서 납 섭취의 제 1원은 식품(음용수 포함)이며, 성인은 섭취한 납의 약 5~15%가 흡수되는 반면 어린이는 약 50%가 흡수된다. 납은 혈액, 연부조직, 혈액이 있는 골 조직에 분포하며, 특히 뼈는 저장소로 알려져 있다. 따라서 혈액에서 반감기는 약 35일이나, 뼈에서는 뼈의 위치와 형에 따라서 5년에서 수십 년에 이르는 것으로 보고되고 있다(27).

아연의 평균함량은 $8.981 \pm 4.835 (0.121 \sim 37.053)$ µg/g이며, 어류 중 아연의 함량은 까나리(27.091 ± 14.088 µg/g), 떡장어(18.217 ± 3.188 µg/g), 학공치(17.650 µg/g), 검복(16.261 ± 12.158 µg/g), 두툽상어(16.221 µg/g), 멸치(16.168 µg/g), 쫄치(14.298 ± 2.592 µg/g), 봉장어(13.747 ± 2.143 µg/g), 줄복(12.996 ± 3.002 µg/g), 방어(12.891 ± 4.990 µg/g), 게르치(12.301 µg/g), 청어(12.180 ± 2.889 µg/g), 고등어(11.486 ± 4.338 µg/g), 말쭉치(11.185 ± 4.340 µg/g), 까칠복(10.914 µg/g), 참가자미(10.334 ± 3.433 µg/g) 등의 순으로 많이 함유되어 있었다. 본 연구에서의 조사결과는 Kim 등(3)이 보고한 $6.086 (0.529 \sim 34.729)$ µg/g 및 Sho 등(10)이 보고한 $6.03 (0.92 \sim 18.33)$ µg/g보다는 다소 높았다. 그리고 아연은 까나리, 학공치, 멸치, 쫄치 등 백색어보다는 적색어에서 대체로 높았으며, 특이하게 검복, 줄복, 까칠복 등 복어류에서 많이 함유되어 있었다. 아연이 결핍되면 동물실험에서는 정자의 감소나 태아의 발육 부진, 중추신경계의 기형 등이 발생되고, 사람의 경우에는 식욕감퇴, 미각의 변화, 성장지연, 피부변화, 면역기능의 저하 등이 나타난다고 보고되고 있다(28).

어류를 통한 중금속 섭취량 및 안전성 평가

카드뮴, 납 등의 중금속에 대한 인간의 노출원은 공기, 물, 식품 및 담배 등이며, 가장 주된 섭취경로는 식품으로 알려져 있다(26,27). 2005년도 국민건강 영양조사 결과에 의하면 우리 국민은 수산물을 1인 1일 평균 76.2 g(5.9%)을 섭취하며, 이중 어류 48.5 g, 패류 6.3 g, 해조류 8.5 g 및 기타 11.9 g을 섭취한다고 보고하였다(2).

어류를 통하여 섭취되는 중금속에 대한 안전성을 평가하기 위하여 어류를 통해 섭취되는 중금속의 주간섭취량과 FAO/WHO(29)에서 설정한 잠정주간섭취허용량(PTWI, Provisional Tolerable Weekly Intake)을 비교하였다. 본 연구에서 수행한 어류의 중금속 함량 모니터링 결과와 2005년

도 국민건강 영양조사 결과보고서(2)의 1일 평균 어류 섭취량 자료(48.5 g)를 토대로 조사한 우리나라 국민의 어류를 통한 1일 중금속 섭취량은 Table 3과 같으며, 각 중금속별 주간 섭취량(60 kg 성인기준)은 FAO/WHO의 PTWI와 비교하여 안전성을 평가하였다(Fig. 1). 우리나라 국민의 어류를 통한 카드뮴의 1일 섭취량은 평균 0.81 µg이었으며, 이는 PTWI(7 µg/kg body weight/week)의 1.35% 수준이었다. 또한, 납의 1일 섭취량은 평균 1.84 µg이었으며, 이는 PTWI(25 µg/kg body weight/week)의 0.86% 수준이었다(Table 3, Fig. 1).

Kim 등(3)은 우리 국민이 어류를 통해 일주일에 섭취하는 수은, 카드뮴, 납 등의 함량은 PTWI의 1.6, 0.9, 0.9%라고 보고하여 우리의 결과와 유사하였다. 또한, Mok 등(20)은 우리 국민이 해조류를 통해 일주일에 섭취하는 수은, 카드뮴, 납 등의 함량은 PTWI의 0.07~3.57% 수준이라고, Sho 등(10)은 어패류를 통한 이들 중금속의 함량이 PTWI의 1~13%로 다른 나라와 비교할 때 안전한 수준이라고 보고하였다. 한편, Chung 등(30)은 국내에서 생산된 채소류 15종 620건에 대한 중금속 함량은 자연 함유량 수준이라고 하였으며, 이들 채소류를 통한 수은, 카드뮴, 납 등의 주간섭취량은

Table 3. Daily average intake of heavy metals through fishes

Trace metals	Average concentration ¹⁾ (µg/g)	Average daily intake ²⁾ (µg/person/day)
Cd	0.017	0.81
Cr	0.206	9.98
Cu	0.755	36.63
Mn	0.433	21.01
Ni	0.081	3.93
Pb	0.038	1.84
Zn	8.981	435.58

¹⁾Average concentration was obtained from the heavy metal contents of fishes as shown in Table 2.

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

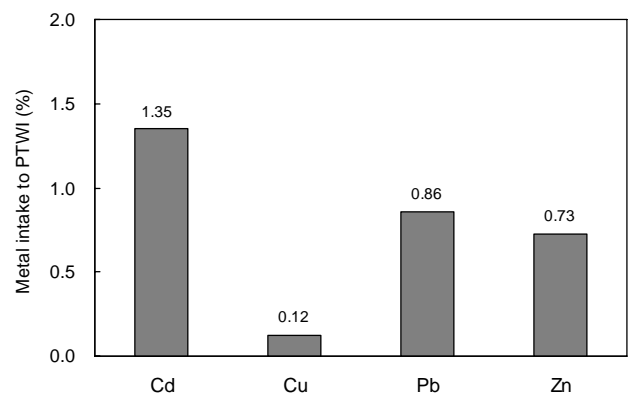


Fig. 1. Proportions of heavy metal intake through fishes to provisional tolerable weekly intakes (PTWI) of trace elements by FAO/WHO (29).

PTWI의 2~7%를 차지하고 있다고 하였다. 이상의 결과로 볼 때 우리나라 국민이 어류를 통하여 섭취하는 유해 중금속의 섭취량은 안전한 수준인 것으로 판단된다.

Lee와 Lee(31)에 의하면 우리나라 국민의 식품을 통한 중금속 평균 섭취량은 카드뮴 3.20, 납 21.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight/week이라고 보고하여 어류를 통한 이들 중금속 섭취량은 전체 식품의 카드뮴 2.95%, 납 1.01% 수준으로 추정된다. 또한, 이들은 공단지역에서 납의 노출매체별 섭취량은 대기 20%, 음용수 5% 및 식품 75%로 공단지역에서도 식품이 대부분을 차지한다고 하였으며, 우리 국민의 식품을 통한 비소 및 수은의 평균 섭취량은 PTWI의 6~8%, 카드뮴과 납은 50~80% 수준으로 모두 허용량보다는 낮은 수치라고 보고하였다(31). 그리고 우리 국민에 의한 수은, 카드뮴 및 납의 식이 섭취량은 미국, 일본 및 유럽국가 등 다른 외국 여러 국가들과 비교해 볼 때 중위권에 속한다고 보고(31)하여 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.

어류를 통한 망간의 1일 섭취량은 평균 21.01 μg 이었다. 어류를 통한 구리의 1일 섭취량은 평균 36.63 μg 이었으며, 이는 PTWI(3,500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight/week)의 0.12% 수준이었다. 아연의 1일 섭취량은 평균 435.58 μg 이었으며, 이는 PTWI(7,000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight/week)의 0.73% 수준이었다(Table 3, Fig. 1). Mok 등(20)은 해조류를 통한 구리의 1일 섭취량은 평균 20.32 μg , 망간은 85.68 μg , 아연은 107.85 μg 수준이라고 하였다. 그리고 구리, 아연, 망간 등은 우리 체내에 없어서는 안 되는 필수 미네랄 성분이며, 우리나라 여대생(32) 및 여중생(33)의 1일 평균 구리 섭취량은 기준치에 약간 미치지 못하는 수준이고, 아연은 50%정도의 수준으로 매우 적게 섭취하고 있으므로 어류, 해조류 등의 수산물을 통하여 과잉 섭취에 의한 위해 염려는 없을 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 2003년부터 2004년까지 동해, 서해 및 남해 연안에서 채취하여 위판장에서 판매되고 있는 연안산 어류 총 53종 177개체에 대한 중금속 함량을 분석하였다. 인증표준물질(certified reference material, CRM)을 사용한 각 중금속에 대한 회수율은 평균 88.7~100.6%로 Codex에서 요구하고 있는 수준에 부합하였다. 어류의 중금속 함량(생물기준)은 아연이 $8.981 \pm 4.835 \mu\text{g}/\text{g}$ 으로 가장 높았으며, 다음으로, 구리 $0.755 \pm 0.507 \mu\text{g}/\text{g}$, 망간 $0.433 \pm 0.699 \mu\text{g}/\text{g}$, 크롬 $0.206 \pm 0.181 \mu\text{g}/\text{g}$, 니켈 $0.081 \pm 0.110 \mu\text{g}/\text{g}$, 납 0.038 ± 0.046

$\mu\text{g}/\text{g}$, 카드뮴 $0.017 \pm 0.023 \mu\text{g}/\text{g}$ 순이었다. 한편, 우리나라 국민의 어류를 통한 중금속의 1일 섭취량은 각각 카드뮴 0.81 μg , 크롬 9.98 μg , 구리 36.63 μg , 망간 21.01 μg , 니켈 3.93 μg , 납 1.84 μg 및 아연 435.58 μg 이었다. 이는 FAO/WHO에서 설정한 잠정주간섭취허용량인 PTWI와 비교해 보면, 카드뮴 1.35%, 구리 0.12%, 납 0.86% 및 아연 0.73% 수준이었다. 따라서 우리나라 국민이 어류를 통해 일주일에 섭취하는 카드뮴 및 납의 함량은 PTWI의 0.86~1.35%에 해당되며, 이들 유해 중금속 함량은 매우 안전한 수준인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물과학원(RP-2009-FS-01)의 지원에 의해 수행되었습니다.

문 헌

- 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
- MOHW (Korea Ministry of Health & Welfare). 2006. Report on 2005 National Health and Nutrition Survey of Korea. p 1-782.
- 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. *Kor 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.
- Rashed MN. 2001. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environ Int* 27: 27-33.
- 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. *Kor 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 element ac-

- cording to the harvest season and places. *Bull Kor Fish Soc* 28: 49-59.
14. Choi SN, Lee SU, Chung KH, Ko WB. 1998. A study of heavy metals contents of the seaweeds at various area in Korea. *Kor J Soc Food Sci* 14: 25-32.
 15. Ha GJ, Song JY, Hah DS. 2004. Study on the heavy metal contents in fishes and shellfishes of Gyeongsangnam-do coastal area-part. *J Food Hyg Safety* 19: 132-139.
 16. Jeung 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.
 17. Jun JY, Xu XM, Jeong IH. 2007. Heavy metal contents of fish collected from the Korean coast of the East Sea (DongHae). *J Kor Fish Soc* 40: 362-366.
 18. Lee JH, Sung NJ. 1980. The content of minerals in algae. *J Korean Soc Food Nutr* 9: 51-58.
 19. Kim JH, Mok JS, Park HY. 2005. Trace metal contents in seaweeds from Korean coastal area. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 1041-1051.
 20. 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.
 21. Kim YU, Myoung JG, Kim YS, Han KH, Kang CB, Kim JG. 2001. *The Marine Fishes of Korea*. Hanguel, Busan, Korea. p 1-382.
 22. MOMAF (Ministry of Maritime Affairs & Fisheries). 2002. Standard Methods for Marine Environmental. p 1-330.
 23. Codex Alimentarius Commission. 2008. Report of the Thirty-first session, ALINORM 08/31/REP, Geneva, Switzerland.
 24. KFDA (Korea Food and Drug Administration). 2008. Food code. Seoul, Korea.
 25. EU (European Union). 2005. Commission Regulation (EC) No 78/2005 as regards heavy metals, http://europa.eu/index_en.htm.
 26. USFDA (United States Food and Drug Administration). 1993a. Guidance Document for Cadmium in Shellfish. p 1-44.
 27. USFDA (United States Food and Drug Administration). 1993b. Guidance Document for Lead in Shellfish. p 1-45.
 28. Lee JS, Lee YN, Kim ES. 2000. Study on zinc and copper intaker of breast-fed infants. *Kor J Nutr* 33: 857-863.
 29. 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.
 30. 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.
 31. Lee SR, Lee MG. 2001. Contamination and risk analysis of heavy metals in Korean foods. *J Food Hyg Safety* 16: 324-332.
 32. Kim CH, Paik HY, Joung HJ. 1999. Evaluation of zinc and copper status in Korean college women. *Kor J Nutr* 32: 227-286.
 33. Kim MH, Lee YS, Lee DH, Park HS, Sung CJ. 2001. The study of relation among serum, copper, zinc, leptin and lipids of middle-school girls. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 540-546.

(2009년 1월 30일 접수; 2009년 3월 11일 채택)