J. Kor. Fish. Soc. 40(6), 362-366 한수지, 40(6), 362-366, 2007

동해 연안산 어류 중의 유해 중금속 함량

전준영 · 서효매 · 정인학*
강릉대학교 해양생명공학부·대학원 해양응용생명공학과

Heavy Metal Contents of Fish Collected from the Korean Coast of the East Sea (Donghae)

Joon-young JUN, Xiao-mei XU and In-hak JEONG*
Faculty of Bioscience and Technology and Department of Marine Applied Biotechnology and Engineering, Kangnung National University, Gangwon 210-702, Korea

This study determined the heavy metal contents in fish from the Korean coast of the East Sea (Donghae). The sample were divided into three parts (meat, liver, skin) and digested with acids. Then, contents of lead, cadmium, mercury, and arsenic were analyzed using atomic absorption spectrophotometry. The heavy metal contents in different parts of the fish were as follows: lead of 0.019-0.346 mg/kg (meat), 0.461-0.516 mg/kg (liver), 0.018-0.855 mg/kg (skin); cadmium of ≤0.049 mg/kg (meat), ≤1.224 mg/kg (liver), ≤0.019 mg/kg (skin); mercury of 1.018-2.751 μg/kg (meat), 3.057-7.023 μg/kg (liver), 1.068-3.940 μg/kg (skin); arsenic of 0.938-25.935 μg/kg (meat), ≤21.082 μg/kg (liver), ≤3.708 μg/kg (skin). Contents of heavy metals in the liver and skin from some fish exceeded the maximum CODEX guideline levels, although the contents in meat from all of the fish tested were much lower than the CODEX levels.

Key words: Heavy metals, Fish, Safety evaluation, CODEX

서 론

중금속은 지구표면의 자연적인 구성성분으로 파괴되거나 감소되지 않으며 식품, 물, 공기 등을 통하여 인체로 소량 유입된다. 그 중 오염된 환경에서 먹이연쇄과정을 거쳐 생물 농축된 해양생물을 지속적으로 섭취할 경우 중금속이 체내에 고농도로 축적되어 여러 가지 장애나 질병을 야기 시킨다 (Cerbrian et al., 1983, Friberg et al., 1986, Philip and Gearson, 1994). 1953년 일본에서 공장폐수 중에 포함된 수은이 바다로 유입된 후 해저의 혐기적 상태에서 메칠수은으로 변화하여 이것에 오염된 어패류를 섭취한 사람들이 집단으로 수은중독 증세를 보인 Minamata (Kurland et al., 1960), 이후 1955년 일본에서 광산폐수로 인하여 발생한 Itai-Itai (ouch-ouch)는 만성 카드늄 중독으로 체내 칼슘 손실 (decalcification)이 일어나 뼈가 부러지고 근육이 약해지는 등의 증상과 함께 막대한 인명 피해를 내어 중금속에 의한 환경오염에 대해 경각심을 불러일으킨 바 있다 (Clarkson, 1980). 1976년 FAO/WHO에서 수산식품중의 중금속 함량에 관한 국제허용 기준을 설정하기 위한 모니터링 사업 등을 시작으로 (Sung and Lee, 1993) 현재 세계 각국에서 수산식품의 오염실태와 하천이나 해안지역을 중심으로 추이변화를 모니터링 하여 허용기준을 설정하는 추세에 있다. 한편, 우리나라에서 수산식품에 관한 중금속 오염실태에 관한 보고는 다수 있으나 대부분 시중에 유통되고 있는 것에 대한 결과 (Sung and Lee, 1993; Sho et al., 2000; Hwang and Park, 2006)로 생산해역 파악이 어렵고, 서해와 남해 연안에 서식하는 어패류에 관한 보고는 다수 있으나 동해 연안에 서식하는 어패류에 관한 보고는 미비한 실정이다 (Choi et al., 1992; Ha et al., 2004; Jeoung et al., 2004). 또한, 우리나라의 동쪽 지역은 하천유역이 넓지 않아 동해로 유입되는 하천수가 많지는 않으나 일부지역은 광산이 개발된 후 아직도 광산폐수가 하천을 통하여 동해안으로 유입되고 있다.

따라서, 본 연구는 동해 연안산 어류의 식품위생학적 안전성 확보를 위한 기초자료로 활용하고자 동해 연안의 저층에 서식하는 꼼치 (*Liparis tanakai*), 뚝지 (*Aptocyclus ventricosus*), 참가자미 (*Limanda herzensteini*)와 표층에 서식하는 살오징어 (*Todarodes pacificus*)를 대상으로 성숙정도와 부위에 따른 중금속 (lead, cadmium, mercury, arsenic) 함량을 조사하였다.

재료 및 방법

재료의 구입 및 전처리

우리나라는 하절기에 강수량이 높아 육지에서 연안으로 오염원의 유입이 늘어난다. 따라서, 오염원 유입이 늘어난 시기로 생각되어지는 장마철 직후 2006년 8-10월 사이 강릉시 주문진 수협을 통하여 시료 총4종 (n=21)을 구입하였으며, 어종은 서식환경 (수심)에 따라 연안의 바닥층에 서식하는 뚝지와 참가자미, 저층에 서식하는 꼼치, 표층에 서식하는 살오징어를 지표생물로 선택하여 사용하였다 (NFRDI, 1994). 시료는 구입즉시 꼼치, 참가자미, 살오징어는 전장과 체중에 따라 소어 (small), 중어 (middle), 대어 (big)로 구분한 후 육, 간, 껍

*Corresponding author: ihjeong@kangnung.ac.kr

질로 나누었고 계절적으로 어획이 힘든 뚝지는 육, 간, 껍질로만 나누어 (Table 1) 분석 전까지 폴리에틸렌 용기에 담아 -20℃에서 보관하였다. 시료 전처리에 사용된 H_2SO_4, HNO_3, $HClO_4$는 모두 extra pure급을 사용하였고, 중금속 함량 측정에 사용된 lead, cadmium, mercury, arsenic 표준용액은 Kanto Chemical Co., Inc. (Japan)로부터 구입하였다.

중금속 분석방법

중금속 분석을 위한 시료의 분해는 습식분해 방법을 사용하였다. 즉, 시료 1-3 g을 취하여 진한 HNO_3 10 mL를 가한 후 가열하면서 갈색의 연기가 사라졌을 때 진한 H_2SO_4 3 mL를 가하고 연한황색으로 변하였을 때 천천히 60% $HClO_4$ 1 mL 가하였다. 이후 시료가 무색으로 변하면 냉각시킨 후 50 mL로 정용하고 0.45 μm membrane filter로 여과하여 분석용 시료용액으로 사용하였다. Lead, cadmium, mercury, arsenic의 분석은 Atomic absorption spectrophotometer (Perkin Elmer PK-300, USA)를 사용하여 lead과 cadmium은 air-acetylene flame technique, mercury와 arsenic은 cold vapour technique로 각각 분석하였다

수분함량과 회수율 측정

수분함량은 AOAC 방법 (AOAC, 2005)에 따라 물의 비점보다 약간 높은 온도 105℃에서 상압 건조시켜 그 감소된 량을 수분의 량으로 구하는 상압가열건조법으로 측정하였고 각 금속에 관한 회수율은 시료에 각각 세가지 농도의 표준용액을 첨가한 후 중금속 분석방법과 동일한 방법으로 측정하여 구하였다.

결과 및 고찰

원료의 구분

꼼치의 수명은 1년으로 전장 70 cm까지 자란다. 따라서 전장 40 cm 체중 1.5 kg 미만을 소어, 전장 50 cm 체중 2.7 kg에 달하는 것을 중어, 전장 66 cm 이상 체중 5 kg 이상을 대어로 구분하였고, 뚝지의 수명은 5년으로 전장 50 cm까지 자라는데 하절기에 심해로 이동하여 연안에서는 어획되지 않아 전장 32-38 cm 체중 1.5 kg 정도의 것만을 구할 수 있었다. 참가자미의 수명은 4년으로 전장 30 cm까지 자란다. 전장 15 cm 체중 30 g 미만을 소어, 전장 19 cm 체중 100 g에 달하는 것을 중어, 전장 25 cm 체중 220 g 이상을 대어로 구분하였고, 살오징어의 수명은 1년으로 최고 30 cm까지 자란다. 전장 21 cm 체중 50 g 미만을 소어, 전장 25 cm 체중 140 g에 달하는 것을 중어, 전장 30 cm 체중 250 g 이상을 대어로 구분하였다 (NFRDI, 1994).

부위별 수분함량

어종별 크기에 따른 수분함량은 다소 차이가 있을 것으로 예상 하였었다. 하지만, 시료별 (Table 1) 체중을 고려하였을 때 소어의 경우 부위에 따른 수분함량과 중금속 분석을 동시에 수행하기엔 무리가 있었다. 따라서, 중어의 부위별 수분함량을 측정하여 참고기준치를 Table 2로 나타내었다. 어류 모두 육과 껍질에서 수분함량이 간에서 보다 높은 경향을 보였다. 어류간의 수분함량의 차이는 육에서 77.07 g/100 g (살오징어) - 86.43 g/100 g (뚝지), 간에서 46.48 g/100 g (꼼치) - 65.41 g/100 g (뚝지). 껍질에서 72.35 g/100 g (참가자미) - 88.19 g/100 g (꼼치)으로 각각 나타났다.

국가별 규제기준

본 실험의 중금속 분석결과가 세계적인 허용한계량을 초과하지 않는지 알아보기 위하여 수산물의 중금속 함량에 관한 각 국가별 규제치, 코덱스의 허용한계와 가이드라인 수준을 Table 3으로 정리하였다. 수산물은 먹이연쇄 단계가 육상생물보다 길기 때문에 높은 생물농축을 하게 된다. 하지만, 현재 우리나라에서 수산물의 중금속 함량 규정은 잠정적인 규정으로 납과 수은에 관해서만 (납: 최대 허용량 2 mg/kg 이하, 총수은: 최대 허용량 0.5 mg/kg 이하) 예외적으로 정하고 있다. 선진국의 경우는 수산물의 중금속 함량에 관하여 납, 수은뿐만 아니라 보다 많은 예외적인 규정을 가지고 있다. 캐나다와 코덱스기준의 경우 카드늄 함량은 각각 최대 허용량 0.5 mg/kg 이하, 2 mg/kg 이하, 뉴질랜드와 캐나다는 비소 함량에 관하여 가이드라인 수준으로 1 mg/kg 이하, 3.5 mg/kg 이하로 각각 정하고 있다 (FAO, 1983; CFIA, 2003; US.FDA, 2004; Codex, 2006; KFDA, 2007).

Table 1. Classification by size and weight of fishes. Unit, cm (kg)

Classification	Size and Weight of Fishes			
	Liparis tanakai (n=6)	*Aptocyclus ventricosus* (n=3)	*Limanda herzensteini* (n=6)	*Todarodes pacificus* (n=6)
Small	40 (1.5)		15 (0.03)	21 (0.05)
Middle	50 (2.7)	32-38 (1.5)	19 (0.1)	25 (0.14)
Big	66 (5)		25 (0.22)	30 (0.25)

Table 2. Moisture contents by the parts of fishes. All data were expressed as mean±SD with three replications. Values within column different superscript letters are significantly different at $p<0.05$. Unit, g/100 g

Part	*Liparis tanakai*	*Aptocyclus ventricosus*	*Limanda erzensteini*	*Todarodes pacificus*
Meat	84.43 ± 1.91^{a}	86.43 ± 0.40^{a}	78.72 ± 1.38^{b}	77.07 ± 0.13^{b}
Liver	46.48 ± 2.52^{c}	65.41 ± 0.88^{a}	53.88 ± 2.71^{b}	50.48 ± 1.15^{bc}
Skin	88.19 ± 0.67^{a}	85.86 ± 0.27^{b}	72.35 ± 0.35^{c}	84.48 ± 0.48^{b}

Table 3. Maximum guidance levels of several nation and codex for contaminants in fish. ML/GL, maxium levels/guidance levels in fish; PTWI, provisional tolerable weekly intake of Codex. BW, body weight. Unit, mg/kg

	Lead	Cadmium	Mercury or methyl mercury	Arsenic
ML/GL in fish	0.3 (ML, Codex) 0.5 (ML, Germany) 1.5-2.0 (ML, USA) 2.0 (ML, Korea)	0.5 (ML, Canada) 1.0 (ML, Newzealand) 2.0 (ML, Codex)	0.3 (GL, Japan) 0.5 (ML, Korea) 0.5-1 (GL, Codex) 0.5-1 (GL, USA)	1.0 (GL, Newzealand) 3.5 (GL, Canada)
PTWI of Codex	0.025 mg/kg BW	0.007 mg/kg BW	0.005 mg/kg BW	0.015 mg/kg BW

Table 4. Heavy metals contents by the parts of fishes. S, small fish; M, middle fish; B, big fish. ND, not detected. All data were expressed as mean±SD with three replications. Recovery (%): lead, 99.67±6.66; cadmium, 97.33±3.79; mercury, 95.67±3.21; arsenic, 97.67±1.15

Species	Part	Size	Lead (mg/kg)	Cadmium (mg/kg)	Mercury (μg/kg)	Arsenic (μg/kg)
Liparis tanakai	Meat	S	0.255±0.018	0.020±0.004	2.147±0.404	25.935±3.445
		M	0.264±0.042	0.049±0.013	2.049±0.335	18.995±1.719
		B	0.300±0.001	0.049±0.005	2.735±0.667	13.472±2.575
	Liver	S	0.489±0.055	ND	5.554±1.544	21.082±10.779
		M	0.461±0.001	〃	6.878±0.755	6.877±2.570
		B	0.488±0.055	〃	7.023±0.717	3.779±2.803
	Skin	S	0.227±0.001	0.006±0.001	1.117±0.113	2.082±1.177
		M	0.255±0.018	0.011±0.004	1.313±0.116	0.216±0.131
		B	0.291±0.035	0.019±0.011	1.265±0.098	2.293±1.158
Aptocyclus ventricosus	Meat		0.019±0.001	0.042±0.004	2.751±1.331	1.414±1.258
	Liver		0.352±0.001	0.056±0.032	6.193±1.032	4.739±1.193
	Skin		0.227±0.001	0.025±0.001	1.412±0.170	ND
Limanda herzensteini	Meat	S	0.300±0.001	0.002±0.002	1.019±0.001	9.978±2.605
		M	0.282±0.021	ND	1.019±0.001	14.355±1.835
		B	0.264±0.001	〃	1.088±0.021	8.137±3.559
	Liver	S	0.489±0.055	〃	3.057±0.002	ND
		M	0.516±0.063	〃	3.496±0.295	0.835±0.385
		B	0.516±0.038	〃	4.963±1.004	2.250±0.915
	Skin	S	0.236±0.018	〃	1.068±0.098	0.104±0.048
		M	0.018±0.055	〃	3.352±0.339	3.708±0.472
		B	0.791±0.001	〃	3.940±1.020	1.805±1.183
Todarodes pacificus	Meat	S	0.227±0.001	0.002±0.001	1.118±0.113	1.087±0.336
		M	0.282±0.063	0.016±0.014	1.117±0.001	0.938±0.326
		B	0.346±0.018	0.029±0.001	1.018±0.002	4.233±1.266
	Liver	S	0.461±0.001	0.027±0.017	4.379±0.292	1.208±0.672
		M	0.466±0.001	0.062±0.043	5.847±0.564	1.804±0.552
		B	0.462±0.001	1.224±0.266	7.019±1.302	2.884±2.695
	Skin	S	0.709±0.054	ND	3.352±0.338	ND
		M	0.855±0.129	0.011±0.019	3.953±0.736	〃
		B	0.681±0.001	0.005±0.002	3.350±0.340	0.724±0.637

중금속 함량

각 금속별 회수율은 95.67±3.21 - 99.67±6.66%로 비교적 높은 편이었다. 부위별 중금속 함량은 꼼치와 참가자미의 비소 함량 등 몇몇을 제외하곤 육과 껍질보다 간에서 높은 경향을 보였고, 크기에 따라서는 어종 모두 그 차이가 미량이거나 크기에 의존하지 않는 결과를 나타내었다. 납의 함량은 꼼치, 참가자미, 살오징어의 육과 간에서 0.227±0.001 - 0.346±0.018 mg/kg, 0.461±0.001 - 0.516±0.063 mg/kg 사이로 각각 나타났으나 뚝지의 육과 간에서는 0.019±0.001 mg/kg, 0.352±0.001 mg/kg으로 비교적 낮게 나타났다. 살오징어의 껍질에서는 0.681±0.001 - 0.855±0.129 mg/kg으로 다소 높은 함량을 보였는데, 오징어의 경우 수산물 중 cholesterol함량이 높은 대표적인 수산물로 특히, 껍질부분에 cholesterol함량이 높다 (Hong and An, 2002). 또한, 납은 자연계에 2가 이온형의 수용성 납과 4가 이온형의 지용성 납이 존재하는데 (USA NIEHS, 2004), 살오징어 껍질부분에서 납의 함량이 높게 나온 것은 껍질부분의 cholesterol과 지용성 납과의 상관관계에 의한 것이 아닌가 추측되어진다. 한편, 뚝지는 복부에 흡판을 가지고 저층 바닥에 붙어서 생활하는 다년생 어류로 연안과 심해를 이동하는 생활사를 가지고 있는데, 뚝지의 육과 간의 납 함량이 연안의 표층 바닥에서 생활하는 참가자미, 꼼치에 비하여 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 동해 연안과 심해의 해양환경 조사결과와 비교하면 서식환경 또는 먹이사슬에 의한 영향인지 해석이 가능할 것으로 추측되나, 현재 동해의 해양환경조

Table 5. Heavy metals contents in edible parts of fishes. [1]The weight of fishes were calculated from provisional tolerable weekly intake of Codex. All data were expressed as mean±SD with three replications. Values within column different superscript letters are significantly different at $p<0.05$. Unit, mg/kg of wet weight (g/kg of BW)

Species	Lead	Cadmium	Mercury	Arsenic
Liparis tanakai	0.273 ± 0.014^{a} (≤91.57)[1]	0.039 ± 0.010^{a} (≤179.48)	0.002 ± 0.001^{ab} (≤2,500.00)	0.019 ± 0.004^{a} (≤789.47)
Aptocyclus ventricosus	0.190 ± 0.001^{b} (≤131.57)	0.042 ± 0.002^{a} (≤166.66)	0.003 ± 0.001^{a} (≤1,666.66)	0.002 ± 0.001^{c} (≤7,500.00)
Limanda erzensteini	0.282 ± 0.010^{a} (≤88.65)	0.001 ± 0.001^{b} (≤7,000.00)	0.001 ± 0.001^{b} (≤5,000.00)	0.011 ± 0.002^{b} (≤1,363.64)
Todarodes pacificus	0.285 ± 0.034^{a} (≤87.72)	0.016 ± 0.008^{b} (≤437.50)	0.001 ± 0.001^{b} (≤5,000.00)	0.002 ± 0.001^{c} (≤7,500.00)

사는 연안과 항만주위의 연구보고만 얻을 수 있어 동해 연안과 심해 해양환경의 체계적인 연구가 필요하다고 사료된다. 본 연구에서 조사된 모든 어종의 납의 함량은 우리나라와 미국의 허용한계량 (1.5-2.0 mg/kg 이하)보다 낮은 수준으로 나타났으나 일반적인 가식부위가 아닌 간과 살오징어의 껍질은 코덱스와 독일의 허용한계량 (0.3-0.5 mg/kg 이하)을 초과한 것으로 나타났다. 카드뮴은 소화관에서 흡수가 어렵지만, 체내 유입된 카드뮴의 반감기는 약 33년으로 보고되었으며, 소량의 유입이라도 인체내 축적되어 위해를 가할 수 있는 금속으로 알려져 있다 (Waldemar et al., 2005). 본 연구에서 카드뮴의 함량은 살오징어 대어 간에서 1.224±0.266 mg/kg으로 다소 높게 나타났으나, 그 외의 어류 모두 육, 간, 껍질에서 ≤0.049±0.013 mg/kg, ≤0.062±0.043 mg/kg, ≤0.025±0.001 mg/kg으로 나타나 캐나다, 코덱스, 뉴질랜드의 허용한계량 (0.5-2.0 mg/kg 이하)에 훨씬 못 미치는 수준이었다. 한편, 꼼치와 참가자미의 경우는 육에서 0.002±0.002 mg/kg으로 미량 검출되었고, 간에서는 검출되지 않았다. 어류 중에 축적되는 수은은 대부분이 메칠수은 형태로 무기수은에 비하여 축적도와 독성이 비교적 높은 것으로 알려져 있다 (Harmdy and Prabhu, 1978, Boudou et al., 1979). 수은의 함량은 육과 껍질보다 간에서 높은 함량을 보였으며 육에서 1.019±0.001 - 2.751±1.331 μg/kg, 간에서 3.057±0.002 - 7.023±0.717 μg/kg, 껍질에서 1.068±0.098 - 3.953±0.736 μg/kg 사이로 각각 나타났다. 우리나라에서는 총수은 0.5 mg/kg 이하, 일본과 코덱스는 가이드라인 수준으로 메칠수은 0.3 mg/kg 이하, 0.5-1.0 mg/kg 이하로 각각 규정하고 있는데 본 연구에서 수은의 함량은 기준에 훨씬 못 미치는 안전한 수준으로 나타났다. 비소의 함량은 꼼치와 참가자미 육에서 13.472±2.575 - 25.935±3.445 μg/kg, 8.137±3.559 - 14.355±1.835 μg/kg 사이로 각각 나타나 뚝지와 살오징어의 함량 ≤4.739±1.193 μg/kg보다 다소 높은 함량을 보였다. 하지만, 모든 어류의 비소 함량은 뉴질랜드와 캐나다의 가이드라인 수준 (1.0-3.5 mg/kg 이하)에 훨씬 못 미치는 수준이며, 수산물에 함유되어 있는 비소는 거의 유기형으로 생물 내 섭취되어 그 생물에 필요한 무독한 화합물 형태로 변화하기 때문에 인체에 큰 해가 없는 것으로 알려져 있다 (Bryan, 1984). 한편, 꼼치의 경우 성장한 어류일수록 육과 간에서 비소의 함량이 감소하는 경향을 보였는데 이는 성장에 따른 먹이사슬과 종 특이성으로 사료되며, 꽁치치어의 성장에 비소가 관여하고 있을 것으로 추측할 수 있다.

섭취한계량

FAO/WHO에서는 납, 카드뮴, 수은등의 금속이 인체 내 축적되는 독성 때문에 잠정주간섭취허용량 (Provisional tolerable weekly intake of Codex)을 산출하여 그 오염도를 비교하도록 권장하고 있다. 따라서, 각 어류의 육부위 중금속 함량과 코덱스의 잠정주간섭취허용량 (PTWI: Table 3)을 기준으로 본 연구에서 사용된 수산물에 대하여 일주일동안 섭취 가능한 한계량을 계산하여 Table 5로 나타내었다. 그 결과 각 어류의 일주일동안 섭취 가능한 한계량은 납의 함량에 의존하는 경향을 보였으며 꼼치 ≤91.57 g/kg body weight, 뚝지 ≤131.57 g/kg body weight, 참가자미 ≤88.65 g/kg body weight, 살오징어 ≤87.72 g/kg body weight로 각각 나타났다. 각 어류의 중금속 함량의 차이는 시료의 채취시기 및 오염원에서 방출되는 중금속량의 변화 또는 해양환경의 생물학적 활성도 변화 등의 차이에 기인하는 것으로 추측할 수 있으나 정확한 판단을 위해서는 같은 시기, 같은 장소의 중금속 함량조사의 계속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

사 사

저자 전준영과 서효매는 교육인적자원부 2단계 BK21핵심사업의 수혜학생임을 밝히며 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

AOAC. 2005. Official Method of Analysis of AOAC International. 18th ed, 39.1.02(B).

Boudou, A., A. Delarche, F. Riberyre and R. Marty. 1979. Bioaccumlation and bioamplification of mercury compounds in a second level consumer. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 22, 813.

Bryan, F.L. 1984. Disease transmitted by foods: a classification and summary. In Adverse Resctions to Foods. Anderson J.A. and D.N. Soga eds. US De-

partment of Health and Human Services, Washington D.C., Appendex, 1-101.

CFIA (Canadian Food Inspection Agency). 2003. Tolerances or Guidelines of Fish and Seafood. Canadian Food Inspection Agency, Canada.

Cerbrian, M.E., A. Albores, M. Aguilar and E. Blackeley. 1983. Chronic arsenic poisoning in the North Mexico. Human Toxicol., 23, 121-133.

Choi, H.G., J.S. Park and P.Y. Lee. 1992. Study on the heavy metal concentration in mussels and oysters from the Korean costal water. Bull Kor. Fish. Soc., 25, 495-504.

Clarkson, T.W. 1980. Disease associated with exposure to metal. Maxcy-Rosenar (11th) Public Health and Preventive Medicine, Applection-Crotts, New York, 667-669.

Codex Alimentarius Commission. 2006 Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Foods. CODEX, 1-37.

Dabrowski, W.M. and Z.E. Sikorski. 2005. Toxin in Food, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

FAO. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products, FAO Fisheries Circular No. 764.

FDA (Food and Drug Administration). 2004. FDA & EPA Safety Levels in Regulations and Guidance. FDA, USA.

Friberg, L., C.G. Elinder, T. Kjellstrom and G. Nordberg. 1986. Cadmium and Health: A Toxicological Appraisal, Vol II, Effects and Response, CRC Press, Boca Raton.

Ha, G.J., J.Y. Song and D.S. Hah. 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.

Harmdy, M.K. and N.V. Prabhu. 1978. Behavior of mercury in biosystems biotransferase of mercury through food chains, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 21, 170.

Hong, J.H. and D.J. An. 2002. Cholesterol content and formation of cholesterol oxidative products (COPs) in processed squids. Kor. J. Diet. Cult., 17, 465-472.

Hwang, Y.O. and S.G. Park. 2006. Contents of heavy metals in marine fishes sold in Seoul, Korea. Anal. Sci. Technol., 19, 342-351.

Jeoung, I.G., K.S. Ha and J.D. Choi. 2004. Heavy metals in fish and shellfish at the coastal area of Tongyeoung, Korea. J. Ins. Mar. Indust., 17, 39-46.

KFDA (Korea Food and Drug Administration). 2007. Food Code Article 5-2. Temporary Specifications for Marine Products. KFDA, Korea.

Kurland, L.T., S.N. Faro and H. Seidler. 1960. Minamata disease. World Neurol, 15, 370-395.

NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute). 1994. Illustrated Fish Book. NFRDI, Busan, Korea.

NIEHS (The National Institute of Environmental Health Science). 2004. Lead (CAS No. 7439-92-1) and Lead Compounds. Report on Carcinogens, 11th, Substance Profiles. NIEHS, USA.

Philip, A. and B. Gearson. 1994. Lead poisoning-part1: incidence, etiology and toxicokinetics. Clin, Lab, Med., 14, 423-439.

Sho, Y.S., J.S. Kim, S.Y. Chung, M.H. Kim and M.K. Hong. 2000. Trace metal content in fish and shellfishes and there safety evaluation. J. Kor. Soc Sci., 29, 549-554.

Sung, D.W. and Y.W. Lee. 1993. A study on the content of heavy metals of marine fish in Korean coastal water. Kor. J. Food Hyg., 8, 231-240.

2007년 9월 20일 접수
2007년 11월 20일 수리