

서울에 유통 중인 해산 어류의 부위별 중금속 분석

황영옥* · 박석기

보건환경연구원

(2006. 5. 11. 접수, 2006. 8. 1. 승인)

Contents of heavy metals in marine fishes, sold in Seoul

Hwang Young Ok* and Park Seog Gee

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Health and Environment,
Garak dong 600 Songpa-gu Seoul

(Received May 11, 2006, Accepted August 1, 2006)

요 약 : 서울시내에 유통 중인 대형어류 17종 89건에 대하여 원자흡광광도계(AAS) 및 수은분석기 등을 이용하여 낚, 카드뮴, 수은, 크롬, 구리, 비소 함량을 근육, 간 및 아가미 등의 부위별로 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다(Mean±SD, mg/kg). 어종별 평균 중금속 함량은 Hg 0.08±0.01 mg/kg, Pb 0.17±0.32 mg/kg, Cd 0.34±0.07 mg/kg, Cr 0.05±0.05 mg/kg, Cu 1.14±0.13 mg/kg, As 0.24±0.22 mg/kg 이었다. 부위별 유해 중금속의 전체적인 측정치를 살펴보면 중금속과 어종에 상관없이 간의 측정치가 가장 높게 나타났다. 나라별 중금속을 비교한 결과 Hg, Pb, Cu는 뉴질랜드산, Cd, As는 노르웨이산, Cr은 국내산 어류의 평균함유량이 다른 나라 어류보다 다소 높은 측정치를 보였으나, 자연함량수준으로 오염의 가능성은 없다고 생각된다. 기준초과로 검출된 어종은 일본에서 수입된 황돔으로 두 건이었다. 어류의 간과 근육 부위 중금속 함량 간의 상관관계는 Hg ($r=0.989$, $p<0.01$), Pb ($r=0.978$, $p<0.01$), Cd ($r=0.991$, $p<0.01$), Cu ($r=0.998$, $p<0.01$), As ($r=0.198$, $p<0.05$)에서 상관관계를 나타냈으며, Cr ($r=0.082$)은 유의적 상관관계가 인정되지 않았다.

Abstract : This study was carried out to estimate the contents of heavy metals in big marine 17 kinds of fishes (n=89) which had been sold at wholesale market in Seoul from January to December in 2005. The contents of mercury (Hg), lead (Pb), cadmium (Cd), chrome (Cr), copper (Cu) and arsenic (As) were measured by the mercury analyzer and atomic spectrophotometer (AAS) in the flesh, liver, and gill part. The values of heavy metals in fishes were as follows (Mean±SD, mg/kg). The average contents of heavy metals in the fishes were Hg 0.08±0.01 mg/kg, Pb 0.17±0.32 mg/kg, Cd 0.34±0.07 mg/kg, Cr 0.05±0.05 mg/kg, Cu 1.14±0.13 mg/kg, As 0.24±0.22 mg/kg. Of the heavy metals detected in 3 parts, liver was measured highly in the all heavy metals. Of the heavy metals detected in countries, Hg, Pb, and Cu were measured highly in New Zealand, Cd and As in Norway, Cr in Korea. The range of heavy metal contents in imported and domestic fishes are low level, except of mercury contents of imported Yellow porgy (n=2), compared with regulation value of anther nations and Korea. And the contents of heavy metal in the imported fishes are natural. By correlation coefficients

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)2-3401-6293 Fax : +82-(0)2-3435-0389

E-mail: hyoung611@beline.com

between fish livers of all subjects, a significant correlation was found Hg ($r=0.989$, $p<0.01$), Pb ($r=0.978$, $p<0.01$), Cd ($r=0.991$, $p<0.01$), Cu ($r=0.998$, $p<0.01$), As ($r=0.198$, $p<0.05$) in fish livers and flesh.

Key words : heavy metal, fish, flesh, liver, gill

1. 서 론

식품 위생상 문제가 되는 중금속 물질로는 Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, As, Sn 등의 원소를 들 수 있으며 비중이 4.0 이상의 무거운 금속을 일컫지만, 오염문제에서 언급되고 있는 금속에는 비소와 같은 양쪽성 금속도 있다.¹⁻² 생체 축적성이 강하고 만성중독을 일으키기 쉬운 것으로는 Hg, Cd 및 Pb 등이며, 발암성 원소로는 As, Cr, Be 및 Ni 등이 알려져 있다.³

급속한 경제성장에 따라 생활수준의 향상과 식품공업의 발달에 힘입어 우리의 식생활은 섭취 위주의 양적인 소비 패턴에서 질적인 소비로의 변화를 가져왔고 그와 함께 영양학적으로 우수함과 동시에 식품의 안전성 측면도 강조되는 추세이다. 대기, 수질 및 토양의 오염은 농·수·축산물에 의해 섭취 축적되어 결국은 인간의 건강을 위협하는 결과를 초래한다. 수산물의 중금속오염은 먹이사슬을 통해 축적·전달되어 최종적으로 인간에게 돌아오므로 이들 중의 중금속 함량은 대단히 중요한 의미를 갖는다. 일반적으로 식

량자원으로서의 수산물의 가치는 연간 1인당 수산물의 공급량 및 동물성 단백질 식품 중 수산물의 공급비중으로 평가하고 있는데, 우리나라의 경우 총 단백질 식품의 약 30%, 동물성 단백질 80% 정도를 수산물로 섭취하고 있다고 알려져 있으며,⁴ 또한 수산물은 연근해 및 원양, 자연해면 어업에서의 생산비중이 높기 때문에 식량 자급도의 측면에서 최근 환경오염원인자로 대두되고 있는 중금속의 오염 여부가 안전한 식품을 소비자에게 공급하는 점에서 사회적 문제로 대두되고 있다.⁵

위와 같이 수산물은 주요한 단백질 공급원인 반면 유해중금속의 가장 큰 폭로원이 되고 있어서, 다른 식품에 대한 중금속 규제기준과 비교할 때 보다 높은 규제치들을 설정하고 있는데, 이는 수산식품 중의 천연 함유량을 허용하면서 식품의 제조 가공 및 수질오염에 의하여 들어가는 것을 규제하기 위함이다.⁶

본 조사는 중금속 원소 가운데 생체내에서 강한 축적 경향 때문에 위생상 중요시 되고 있는 Hg, Cd, Pb, Cr 및 As와 필수 미량 원소인 Cu 등 6개 항목을 대상

Table 1. The species of samples in used analysis of heavy metals

fish group	domestic	imported	total
Common mackerel (<i>Scomber japonicus</i>)	7		7
Gold fish (<i>Carassius auratus</i>)	2		2
Alaska cod fish (<i>Gadus macrocephalus</i>)	9		9
Borwn croaker (<i>Miichthys miuy</i>)	6	3	9
Japanese amberjack (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	2		2
Yellow croaker (<i>Pseudosciaena crocea</i>)		7	7
Spanish mackerel (<i>Scomberomorus niphonius</i>)	7		7
Alaska pollack (<i>Theragra chalcogramma</i>)		8	8
Armorclad rockfish (<i>Sebastes hubbsi</i>)	3		3
Atka mackerel (<i>Pleurogrammus azonus</i>)	1		1
horse mackerel (<i>Trachurus japonicus</i>)	3		3
Gizzard shad (<i>Clupanodon punctatus</i>)		1	1
Redlip croaker (<i>Pseudosciaena polyactis</i>)	4	1	5
Slender shad (<i>Ilisha elongata</i>)		3	3
Red sea bream (<i>Chrysophrys major</i>)		12	12
Herring (<i>Clupea pallasii</i>)	2		2
Yellow porgy (<i>Dentex tumifrons</i>)	1	7	8
Total	47	42	89

으로 시중에 유통되고 있는 해양수산물을 국내산, 수입산으로 구분하고 품종별, 부위별 중금속 함유량에 대한 조사와 그 실태를 파악하여 시중에 유통되는 수산물의 식품 안전성 확보를 위한 기초 자료로 활용하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

2005년 1월부터 2005년 12월까지 Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, As 등 6개 항목에 대하여 서울시 가락농수산물시장 및 노량진수산물시장에서 시판되고 있는 우리나라 연안산 또는 수입산 대형어류 총 17종 89마리를 대상으로 근육, 간 및 아가미 등 부위별로 분석하였으며, 그 종류는 Table 1과 같다.

2.2. 시약 및 표준품

분석에 사용된 시약은 유해중금속 분석용 특급시약으로서 As 측정용 시약으로는 Hydrochloric acid, Sodium borohydride를, Pb, Cd, Cr, Cu 측정용 시약으로는 Hydrochloric acid, Nitric acid를 사용하였으며 증류수는 재증류수로서 탈 이온수를 사용하였다. 표준원액은 원자흡광분석용(Wako Pure Chemical Industry,

Table 2. Concentration of the heavy metal standard solution

Element	Concentration (ug/ml)		
	High	Medium	Low
As ¹⁾	20	10	5
Pb, Cr	50	25	12.5
Cu	500	250	125
Cd	1000	500	250

¹⁾Dissolved in 0.5N-HNO₃.

Table 3. Analytical condition of mercury analyzer

Sample Type	Solid (moist)
Maximum Capacity	500 mg
Detector	silicon UV photodetector
Wavelength	253.65 nm
Light source	Low pressure mercury vapour lamp
Decomposition Temperature	800~1000°C
Amalgamator heating temperature	850~950°C
Carrier Gas(Oxygen) flow rate	4 bar (60 psig) with~200 ml/min

Ltd. Japan : Factor = 1.0 at 20°C 1,000 ug)으로서 0.5N-HNO₃ 용액을 이용하여 Table 2와 같이 희석하여 사용하였다.

2.3. 기기조건 및 분석방법

시료의 전처리를 위하여 수집한 수산물을 증류수가 가볍게 씻고 물기를 제거한 후 근육, 간, 아가미 등 세 부분으로 분리하고 각각 균질하게 마쇄한 후 시료로 사용하였다. Hg의 분석은 Mercury analyzer(Model DMA 80, Milestone, Italy)를 사용하여 가열기화 금아말감법으로 Table 3의 조건에서 수은 함량을 측정하였다. Pb, Cd, Cr, Cu, As의 분석은 Atomic absorption spectrophotometer(Spectra A 800, Varian Co., Australia)를 이용하였다. 실험용액은 시료 5 g을 취해서 예비탄화시킨 후 진한 질산(1+1) 2 ml를 넣고 유기물질을 분해시켜 450°C의 회화로에 넣고 완전히 회화시켰다. 회화가 끝나면 회분을 물로 적시고 염산 2~4 ml를 가하여 건조장치에서 건조한 다음, 회화된 물질을 0.5N-HNO₃으로 용해하여 Toyo 5B 여과지로 여과한 후, 0.5N-HNO₃을 채워 50 ml로 맞추었다⁷. 시료중의 중금속 함량은 시료 습중량으로 산출하였으며, Pb, Cd, Cr, Cu는 Graphite A.A.S.법으로 분석하였고, As는 Flame Vapor A.A.S.법으로 분석하였으며, 그 때의 분석과장은 Table 4에 종합한 바와 같다.

2.4. 회수율 측정

각 중금속의 회수정도를 알아보기 위하여 Pb는 50 mg/kg, Cd 50 mg/kg, Cr 50 mg/kg, Cu 50 mg/kg, As 5 mg/kg, Hg은 5 mg/kg을 spike하여 시료 중의 각 금속의 함량을 분석할 때와 동일한 방법으로 측정하여 평균값을 취하여 회수율을 구하였으며, 이를 Table 5에 나타내었다.

Table 4. Wavelength for metal analysis

Element	Wavelength(nm)
Pb	283.3
Cd	228.8
Cr	357.9
Cu	217.9
As	193.7

Table 5. Recovery of the heavy metals in marine fish

Element	Pb	Cd	Cr	Cu	As	Hg
Recovery(%)	81.5	83.7	84.5	89.8	85.2	98.2

2.5. 통계처리

데이터는 SPSS(Statistical Package for Social Science, Version 10)를 이용하여 분석한 후, ANOVA test를 사용하여 평균값들 간의 유의성을 검정하였으며(p<0.05) 모든 data는 평균±표준편차(mean±SD)로 표현하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시중 유통 어류의 어종별 중금속 함량 평가

시중 유통 중인 어류에 들어있는 수은 등 유해중금속 함량을 Table 6에 나타내었다. 조사된 어류의 평균 Hg 함량은 0.08±0.01 mg/kg으로 2003년에 발표한 우리나라 어패류의 평균 수은 함량⁸과 비슷하였으나, 함등⁹이 0.02 mg/kg (ND-0.19), 하 등¹⁰이 0.01(0.00-0.10) mg/kg, Tam et al.¹¹이 0.06(<0.03-0.30) mg/kg로 보고한 것과 비교하여 낮았으며, 통계적으로 유의성이 있었다(p<0.05). D'Itri, FM¹²는 오염되지 않은 어류에 있어서 Hg의 Background value는 0.2 mg/kg 이하라고 보고하였으며, WHO Regional office for Europe 보고서에서는 오염지역의 Hg 함량이 0.2~0.5 mg/kg으로 나타났다고 보고하였다. 본 실험에서 분석된 각 어류별 Hg 함량은 황돔을 제외하고는 이들 자연수준함량보다 낮았으며 우리나라 해산 어패류의 총수는 잔류

허용기준인 0.5 mg/kg 보다 낮은 함량분포를 보이고 있으나 황돔에서 평균 0.24±0.24 mg/kg으로 0.58±0.12 mg/kg, 0.60±0.31 mg/kg의 두 번의 기준 초과가 검출되어 다른 종보다 높았다. 기준초과로 검출된 황돔의 경우는 2건 모두 일본에서 수입된 경우였다.

평균 Pb 함량은 0.17±0.32 mg/kg으로 2003년에 발표한 우리나라 어패류의 평균 Pb 함량 0.05 mg/kg⁸과 Tam et al.¹¹의 0.03(<0.01-0.13) 보다는 높은 수치를 함 등⁹과 차 등¹³의 보고들과는 비슷한 수치를 성 등¹⁴의 0.31(0.11-0.46) mg/kg, 김 등¹⁵의 2.26(0.02-4.80) mg/kg, 하 등¹⁰의 0.67 (0.04-1.87) mg/kg 보고들 보다는 낮은 수치를 나타내었는데 통계적인 유의성은 인정되지 않았다(p<0.05). 어종별로 Pb 함량을 비교하여 보면 0.31±0.13 mg/kg으로 측정된 고등어가 가장 높았으며, 그 다음 참돔 0.27±0.53, 전갱이 0.24±0.21 mg/kg 순이었다. 국내에서 조사 보고된 측정치^{8-10,13-15}들을 비교하여 보면 Pb의 함량은 아직 높지 않은 편이라 생각된다.

평균 Cd 함량은 0.34±0.07 mg/kg으로 현 등¹⁶의 0.74 mg/kg 보다는 낮은 결과를, 이 등⁸의 0.03 mg/kg, 성 등¹⁴의 0.06(0.01-0.09) mg/kg, 하 등¹⁰의 0.22(0.01-0.70) mg/kg보다는 높은 함량을 보였으나, 어류의 Cd 자연함유량이 0.75 mg/kg인 점을 감안할 때 오염은

Table 6. Heavy metal concentration of marine fishes consumed in Korea¹⁾ (Unit : mg/kg)

Fish group	No.	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	As
Common mackerel (<i>Scomber japonicus</i>)	7	0.07±0.08 ²⁾	0.31±0.13	0.38±0.57	0.05±0.07	0.75±0.17	0.39±0.17
Gold fish (<i>Carassius auratus</i>)	2	0.11±0.08	0.03±0.02	0.03±0.03	0.03±0.02	1.72±1.43	0.12±0.11
Alaska cod fish(<i>Gadus macrocephalus</i>)	9	0.07±0.08	0.15±0.44	0.06±0.20	0.04±0.05	1.19±0.39	0.28±0.21
Borwn croaker (<i>Miichthys miiuy</i>)	9	0.03±0.05	0.16±0.17	0.23±0.83	0.04±0.03	0.70±0.21	0.288±0.31
Japanese amberjack (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	2	0.04±0.03	0.06±0.05	0.09±0.17	0.10±0.12	1.89±0.95	0.18±0.06
Yellow croaker (<i>Pseudosciaena crocea</i>)	7	0.02±0.01	0.21±0.29	0.01±0.02	0.03±0.03	0.46±0.14	0.19±0.16
Spanish mackerel (<i>Scomberomorus niphonius</i>)	7	0.04±0.03	0.14±0.20	0.12±0.26	0.06±0.07	1.27±0.44	0.17±0.09
Alaska pollack (<i>Theragra chalcogramma</i>)	8	0.04±0.04	0.15±0.24	0.21±0.56	0.03±0.03	0.10±0.33	0.25±0.19
Armorclad rockfish (<i>Sebastes hubbsi</i>)	3	0.04±0.04	0.07±0.15	0.04±0.05	0.05±0.04	0.97±0.45	0.07±0.09
Atka mackerel (<i>Pleurogrammus azonus</i>)	1	0.04±0.02	0.14±0.10	0.03±0.04	0.14±0.18	5.74±3.80	0.14±0.06
horse mackerel (<i>Trachurus japonicus</i>)	3	0.18±0.21	0.24±0.21	0.01±0.02	0.05±0.04	0.91±0.46	0.26±0.05
Gizzard shad (<i>Clupanodon punctatus</i>)	1	0.01±0.01	0.09±0.07	0.03±0.00	0.08±0.08	0.44±0.32	0.10±0.03
Redlip croaker (<i>Pseudosciaena polyactis</i>)	5	0.05±0.05	0.11±0.14	0.15±0.22	0.04±0.06	1.12±0.43	0.22±0.19
Slender shad (<i>Ilisha elongata</i>)	3	0.07±0.05	0.11±0.08	0.07±0.10	0.03±0.03	0.29±0.09	0.09±0.11
Red sea bream (<i>Chrysophrys major</i>)	12	0.13±0.18	0.27±0.53	0.73±0.27	0.05±0.04	1.22±0.38	0.25±0.22
Herring (<i>Clupea pallasii</i>)	2	0.18±0.11	0.08±0.06	0.04±0.05	0.03±0.02	1.13±0.90	0.23±0.13
Yellow porgy (<i>Dentex tumifrons</i>)	8	0.24±0.24	0.16±0.20	1.09±0.52	0.05±0.04	1.52±0.65	0.30±0.39
Total	89	0.08±0.01	0.17±0.33	0.34±0.07	0.05±0.05	1.14±0.13	0.2±0.22

¹⁾Significantly different between the indicated groups (p<0.05).

²⁾Mean±SD.

우려할 만한 수준은 아닌 것으로 생각된다¹⁴. Yamazoe 등¹⁷은 어류 중의 Cd 함량을 조사한 결과, 성장기간이 길면 길수록 함량이 증가한다고 보고하였다. 어종별 Cd 함량결과는 황돔 1.09 ± 0.52 mg/kg, 참돔 0.73 ± 0.27 mg/kg, 고등어 0.38 ± 0.57 mg/kg 순으로 높게 측정되었다.

평균 Cr 함량은 0.05 ± 0.05 mg/kg으로 하 등¹⁰의 1.92 (1.17 - 3.11) mg/kg보다는 낮은 결과를 보였으며, 어종별 Cr 함량은 임연수 0.14 ± 0.18 mg/kg, 방어 0.10 ± 0.12 mg/kg, 전어 0.08 ± 0.08 mg/kg 순으로 높은 결과를 보였다.

평균 Cu 함량은 1.14 ± 0.13 mg/kg으로 이 등⁸의 0.3 mg/kg, 이 등¹⁸의 1.39 (0.12 - 14.1) mg/kg, 국립수산진흥원¹⁹의 0.25 - 10.25 mg/kg과 차이를 보였다. 어종별 Cu 함량은 임연수 5.74 ± 3.804 mg/kg, 방어 1.89 ± 0.95 mg/kg, 금태 1.72 ± 1.43 mg/kg 순으로 높게 측정되었다.

평균 As 함량은 0.24 ± 0.22 mg/kg으로 이 등⁸의 2.1 mg/kg, 성 등¹⁴의 1.31 (0.05 - 9.37) mg/kg, 김 등²⁰의 7.70 ± 1.52 mg/kg보다 낮은 결과를 보였다. 어종별 As 함량은 고등어 0.39 ± 0.17 mg/kg, 황돔 0.30 ± 0.39 mg/kg, 민어 0.28 ± 0.31 mg/kg 순으로 높게 측정되었다. 비소의 경우 아직까지 생체내에서의 생리작용에 대해서 구체적으로 밝혀진 바가 별로 없고 과량 축적시에만 신체독성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 섭취하는 어류나 해산물에 따라 인체내의 비소의 양은 크게 달라질 수 있으며, 식품이나 음료수 등 총 식이로 인한 무기비소의 양은 하루 50 ug 이하로 추정된다고 한다²¹. 그러나 같은 어패류라고 할지라도 생활환경, 수질, 먹이에 따라 비소나 중금속의 축적량이 다르므로 일률적으로 오염의 정도를 정하기는 어렵다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 일부 해산 어류의 Hg, Pb, Cd, Cr, Cu 및 As에 대한 함량을 조사한 결과 Hg에서 일본에서 수입된 황돔 2건의 기준이상검출을 제외하고는 모두 자연함량 수준에 불과하였으며 기 보고된 국내의 연구 자료와 비교해 본 결과 역시 커다란 차이가 나타나지 않았다. 현재 국외에서 보고된 어류의 중금속 함량에 관한 자료는 많으나 국내에서 보고된 해산어류의 어종별 중금속 분석결과는 그다지 많지 않았으며, 같은 어종이라 하더라도 채취시점 및 지역 등의 다양성으로 인하여 그 함량의 차이는 다소 있을 것으로 추측되는 바이다. 따라서 우리나라 전국 연, 근해 어장 및 수입어류의 중금속 함량에 대한 다

각적인 감시, 평가가 장기적인 계획에 의하여 계속적으로 실시되어 정확한 오염수준 및 원인을 파악하고 이에 대한 오염방지대책이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

시중에 유통 중인 해산어류의 어종별 중금속 분포에서 통계적으로 유의성이 인정된 중금속은 Hg, Cu, Cd, As이며, Pb, Cr은 통계적 유의성이 인정되지 않았다($p < 0.05$).

3.2. 어종에 따른 부위별 중금속 함량

어류의 부위에 따른 중금속 축적정도를 알아보기 위하여 근육, 간, 아가미 세부분으로 나누어 Hg 등 각종 유해중금속 함량을 측정하여 Table 7에 나타내었다.

Hg 함량은 방어, 생태, 임연수의 경우 간보다 근육에서 더 높은 수치가 측정되었고 간에서 황돔, 청어, 전갱이 순으로 근육과 아가미에서 황돔, 전갱이, 청어 순으로 높게 측정되어 부위별 연관성이 있는 것으로 나타났다. 가장 높게 나타난 부위는 황돔의 간으로 0.45 ± 0.13 mg/kg이었다.

Pb 함량은 대구, 부세, 삼치, 전갱이에서 간 보다 근육이 높게 측정되었고, 가장 높게 나타난 부위는 고등어의 간으로 0.46 ± 0.31 mg/kg 이었고 근육에서는 부세, 대구, 고등어, 간에서는 고등어, 참돔, 생태, 아가미에서는 참돔, 전갱이, 임연수 순으로 높게 측정되었다.

Cd 함량은 대구의 경우 아가미에서 간보다 높게 측정되었고, 가장 높게 나타난 부위는 고등어의 간으로 0.90 ± 0.19 mg/kg이었고 근육에서 참돔, 고등어, 황돔, 간에서 황돔, 참돔, 고등어, 아가미에서는 참돔, 대구, 삼치 순으로 높게 측정되었다.

Cr 함량은 대구, 민어, 전갱이, 준치에서 간 보다 근육의 Cr 함량이 더 높았고 임연수와 방어의 경우 아가미가 다른 부위보다 더 높게 측정되었다. 가장 높게 측정된 부위 역시 임연수의 아가미로 간보다 7배나 높았다.

Cu 함량은 모든 어종에서 간의 함량이 다른 부위보다 높게 측정되었고 가장 높게 측정된 부위는 도미의 간이 15.63 ± 0.00 mg/kg 으로 평균보다 3배 정도 높게 나타났다. 근육에서는 임연수, 조기, 방어, 간에서는 도미, 임연수, 금태, 아가미에서는 참돔, 임연수, 방어 순으로 높게 측정되었다.

As 함량은 고등어, 대구, 삼치, 전갱이에서 간 보다 근육의 As 함량이 높게 측정되었고 금태, 방어, 우럭, 임연수, 준치, 참돔의 경우는 아가미부위가 높게 측정되었다. 가장 높게 측정된 부위는 고등어의 근육이

Table 7. Heavy metal concentration of different parts (Unit : mg/kg)

Samples	Part	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	As
Common mackerel (<i>Scomber japonicus</i>)	flesh	0.05±0.03	0.28±0.22	0.23±0.22	0.04±0.01	0.63±0.12	0.58±0.04
	liver	0.13±0.04	0.46±0.31	0.90±0.19	0.02±0.00	1.58±0.27	0.31±0.04
	gill	0.02±0.01	0.19±0.08	0.01±0.01	0.10±0.04	0.03±0.02	0.29±0.05
Gold fish (<i>Carassius auratus</i>)	flesh	0.13±0.00	0.02±0.01	0.02±0.02	0.02±0.00	0.06±0.06	0.04±0.04
	liver	0.18±0.04	0.04±0.00	0.02±0.02	0.02±0.01	5.04±3.79	0.12±0.03
	gill	0.03±0.01	0.03±0.02	0.03±0.03	0.05±0.01	0.07±0.07	0.19±0.12
Alaska cod fish (<i>Gadus macrocephalus</i>)	flesh	0.04±0.00	0.30±0.25	0.00±0.00	0.02±0.00	0.14±0.07	0.35±0.10
	liver	0.15±0.04	0.10±0.03	0.05±0.04	0.02±0.00	3.36±0.78	0.25±0.04
	gill	0.02±0.00	0.05±0.01	0.12±0.11	0.09±0.02	0.05±0.02	0.22±0.06
Borwn croaker (<i>Miichthys miiuy</i>)	flesh	0.04±0.02	0.11±0.04	0.00±0.00	0.03±0.00	0.11±0.038	0.18±0.058
	liver	0.05±0.02	0.19±0.07	0.68±0.46	0.03±0.00	1.91±0.42	0.45±0.15
	gill	0.01±0.00	0.17±0.06	0.01±0.00	0.07±0.01	0.10±0.04	0.21±0.06
Japanese amberjack (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	flesh	0.06±0.03	0.05±0.04	0.00±0.00	0.04±0.01	0.67±0.14	0.17±0.03
	liver	0.05±0.02	0.10±0.04	0.22±0.21	0.04±0.02	4.61±1.49	0.19±0.08
	gill	0.01±0.01	0.04±0.04	0.06±0.06	0.21±0.12	0.37±0.02	0.20±0.04
Yellow croaker (<i>Pseudosciaena crocea</i>)	flesh	0.03±0.00	0.32±0.16	0.01±0.01	0.02±0.01	0.12±0.07	0.19±0.06
	liver	0.03±0.00	0.24±0.99	0.01±0.01	0.02±0.00	1.25±0.26	0.19±0.07
	gill	0.01±0.00	0.08±0.04	0.01±0.00	0.06±0.01	0.07±0.00	0.19±0.06
Spanish mackerel (<i>Scomberomorus niphonius</i>)	flesh	0.02±0.00	0.19±0.08	0.01±0.001	0.02±0.01	0.15±0.05	0.18±0.04
	liver	0.08±0.01	0.17±0.09	0.29±0.15	0.03±0.01	3.52±0.81	0.15±0.03
	gill	0.04±0.01	0.07±0.04	0.06±0.05	0.11±0.04	0.12±0.05	0.17±0.03
Alaska pollack (<i>Theragra chalcogramma</i>)	flesh	0.04±0.02	0.16±0.08	0.18±0.18	0.02±0.00	0.17±0.08	0.13±0.03
	liver	0.04±0.02	0.24±0.12	0.44±0.29	0.02±0.00	2.72±0.65	0.46±0.05
	gill	0.02±0.01	0.06±0.02	0.02±0.01	0.07±0.01	0.10±0.03	0.16±0.03
Armorclad rockfish (<i>Sebastes hubbsi</i>)	flesh	0.05±0.02	0.01±0.01	0.02±0.02	0.02±0.01	0.14±0.07	0.06±0.06
	liver	0.06±0.03	0.19±0.14	0.09±0.02	0.03±0.02	2.75±0.10	0.06±0.06
	gill	0.01±0.00	0.03±0.02	0.00±0.00	0.09±0.01	0.02±0.02	0.10±0.064
Atka mackerel (<i>Pleurogrammus azonus</i>)	flesh	0.05±0.00	0.04±0.00	0.00±0.00	0.02±0.00	3.69±0.00	0.08±0.00
	liver	0.05±0.00	0.15±0.00	0.07±0.00	0.05±0.00	13.10±0.00	0.14±0.00
	gill	0.02±0.00	0.24±0.00	0.02±0.00	0.35±0.00	0.43±0.00	0.19±0.00
horse mackerel (<i>Trachurus japonicus</i>)	flesh	0.23±0.19	0.24±0.20	0.01±0.01	0.03±0.02	0.43±0.11	0.28±0.04
	liver	0.25±0.21	0.23±0.19	0.00±0.00	0.02±0.00	2.30±0.35	0.22±0.02
	gill	0.06±0.05	0.25±0.18	0.03±0.03	0.10±0.01	ND ¹⁾	0.28±0.04
Gizzard shad (<i>Clupanodon punctatus</i>)	flesh	0.01±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00	0.27±0.00	0.07±0.00
	liver	0.03±0.00	0.17±0.00	0.03±0.00	0.18±0.00	1.06±0.00	0.13±0.00
	gill	0.00±0.00	0.08±0.00	0.03±0.00	0.05±0.00	0.00±0.00	0.10±0.00
Redlip croaker (<i>Pseudosciaena polyactis</i>)	flesh	0.07±0.03	0.06±0.02	0.02±0.01	0.01±0.00	0.72±0.46	0.08±0.04
	liver	0.06±0.02	0.19±0.10	0.39±0.11	0.05±0.03	2.44±1.02	0.33±0.10
	gill	0.02±0.02	0.07±0.03	0.04±0.02	0.07±0.03	0.21±0.01	0.24±0.08
Slender shad (<i>Ilisha elongata</i>)	flesh	0.07±0.01	0.06±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01	0.19±0.08	0.05±0.04
	liver	0.12±0.03	0.16±0.04	0.18±0.05	0.02±0.00	0.62±0.08	0.08±0.04
	gill	0.01±0.00	0.12±0.07	0.02±0.02	0.06±0.02	0.05±0.03	0.13±0.11
Red sea bream (<i>Chrysophrys major</i>)	flesh	0.14±0.03	0.13±0.06	0.34±0.30	0.03±0.00	0.20±0.08	0.17±0.05
	liver	0.22±0.08	0.29±0.11	1.55±0.68	0.05±0.01	2.53±0.57	0.27±0.07
	gill	0.03±0.03	0.37±0.25	0.29±0.27	0.08±0.01	0.93±0.89	0.31±0.08

Table 7. Heavy metal concentration of different parts

Samples	Part	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	As
Herring (Clupea pallasii)	flesh	0.21±0.00	0.04±0.00	0.02±0.02	0.02±0.01	0.12±0.06	0.10±0.08
	liver	0.29±0.03	0.14±0.05	0.08±0.60	0.03±0.01	3.28±2.27	0.30±0.05
	gill	0.05±0.00	0.05±0.02	0.02±0.02	0.06±0.01	ND	0.28±0.08
Yellow porgy (Dentex tumifrons)	flesh	0.33±0.06	0.10±0.07	0.21±0.21	0.03±0.00	0.03±0.01	0.14±0.04
	liver	0.45±0.13	0.20±0.08	3.06±1.35	0.03±0.01	4.49±1.51	0.50±0.21
	gill	0.15±0.21	0.18±0.06	0.01±0.00	0.01±0.01	0.04±0.04	0.24±0.07
Total	flesh	0.09±0.01	0.16±0.03	0.10±0.05	0.02±0.00	0.30±0.06	0.19±0.02
	liver	0.14±0.02	0.21±0.03	0.99±0.22	0.03±0.00	3.23±0.34	0.29±0.03
	gill	0.03±0.01	0.15±0.03	0.06±0.03	0.09±0.01	0.19±0.11	0.22±0.02

¹⁾ND - Not detected ($\leq 0.1\mu\text{g}/\text{kg}$).

0.58±0.04 mg/kg이고 근육에서의 As 함량은 고등어, 대구, 전갱이, 간에서는 황돔, 생태, 민어, 아가미에서는 참돔, 고등어, 전갱이 순으로 높게 측정되었다.

통계적 유의성은 근육에서는 Hg, Cu, As, 간은 Hg, Cd, Cr, Cu, 아가미는 Hg, Cr, As에서 인정되었다

($p<0.05$).

중금속의 전체적인 측정치를 살펴보면 어종과 상관 없이 근육보다는 간의 측정치가 높게 나타났으며, 아가미는 대부분 가장 낮은 측정치를 보였다. 아가미의 경우는 기관 내 축적보다는 오염물질이 아가미 거름

Table 8. Heavy metal concentration of different countries and parts

(Unit : mg/kg)

Element part Country	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	As	
Norway	Flesh	0.14±0.004	0.03±0.00	0.00±0.01	0.02±0.00	ND ¹⁾	0.14±0.00
	Liver	0.13±0.00	0.07±0.00	7.17±0.00	0.02±0.05	2.07±0.00	0.41±0.00
	Gill	0.00±0.01	0.10±0.06	0.04±0.08	0.07±0.01	ND	0.68±0.04
	Total	0.10±0.02	0.07±0.01	2.40±1.51	0.03±0.01	0.69±0.44	0.41±0.10
New Zealand	Flesh	0.20±0.06	0.21±0.10	0.66±0.66	0.03±0.00	0.21±0.14	0.20±0.09
	Liver	0.35±0.16	0.32±0.18	2.34±1.81	0.03±0.01	4.58±2.81	0.35±0.10
	Gill	0.04±0.01	0.15±0.08	0.02±0.017	0.08±0.02	0.05±0.03	0.39±0.11
	Total	0.20±0.06	0.22±0.07	1.01±0.65	0.05±0.01	1.61±1.03	0.31±0.06
Ocean	Flesh	0.16±0.00	0.07±0.00	ND	0.03±0.003	0.17±0.00	0.06±0.00
	Liver	0.17±0.00	0.03±0.00	0.95±0.00	0.01±0.00	0.66±0.00	0.10±0.00
	Gill	0.02±0.00	0.04±0.00	0.00±0.00	0.03±0.00	ND	0.05±0.00
	Total	0.11±0.03	0.05±0.01	0.32±0.20	0.02±0.00	0.27±0.12	0.07±0.01
Japan	Flesh	0.13±0.03	0.12±0.03	0.14±0.08	0.02±0.00	0.15±0.04	0.12±0.02
	Liver	0.16±0.05	0.24±0.05	1.20±0.47	0.04±0.01	2.94±0.56	0.37±0.07
	Gill	0.05±0.02	0.22±0.10	0.12±0.11	0.08±0.01	0.42±0.36	0.18±0.03
	Total	0.11±0.02	0.19±0.04	0.49±0.17	0.05±0.00	1.17±0.26	0.22±0.03
China	Flesh	0.03±0.00	0.28±0.15	0.02±0.01	0.02±0.00	0.05±0.02	0.19±0.06
	Liver	0.03±0.00	0.20±0.08	0.09±0.06	0.02±0.00	1.26±0.22	0.28±0.11
	Gill	0.01±0.00	0.08±0.04	0.01±0.01	0.05±0.01	0.06±0.02	0.23±0.07
	Total	0.02±0.00	0.18±0.06	0.03±0.02	0.03±0.01	0.45±0.14	0.24±0.04
Korea	Flesh	0.07±0.01	0.17±0.06	0.04±0.03	0.02±0.00	0.38±0.10	0.25±0.03
	Liver	0.13±0.02	0.19±0.05	0.51±0.15	0.03±0.00	3.16±0.36	0.25±0.03
	Gill	0.03±0.00	0.11±0.02	0.05±0.02	0.10±0.01	0.11±0.02	0.22±0.02
	Total	0.08±0.01	0.16±0.03	0.20±0.05	0.05±0.01	1.22±0.17	0.24±0.02

¹⁾ND - Not detected ($\leq 0.1\mu\text{g}/\text{kg}$).

판에 붙어 있는 경우가 있으나 탕을 끓여먹는 우리나라 요리형태를 고려해 볼 때 주의해 볼 필요성이 있다고 생각된다.

3.3. 수입어류와 국산어류의 부위별 중금속 함량비교

어류의 국가별, 부위에 따른 중금속 축적정도를 분석하여 Table 8에 나타내었다. Hg의 부위별 함유량을 비교해 보면 뉴질랜드산 근육부위가 0.35 ± 0.16 mg/kg으로 가장 높게 나타났으며, 평균 함유량은 뉴질랜드산이 0.20 ± 0.06 mg/kg으로 가장 높았으며 통계적으로 유의성이 인정되었다($p < 0.05$). 중국이 0.02 ± 0.00 mg/kg으로 가장 낮은 결과를 보였다. 국산어류는 평균 함유량이 0.08 ± 0.01 mg/kg으로 나타났다. Hg에 대한 외국의 규제치를 보면 스웨덴이 0.2 mg/kg 이하로 규제하고 있으며, 캐나다 0.4 mg/kg 이하,²⁶ 일본은 methyl-Hg로서 0.3 mg/kg,²⁵ 프랑스 0.5~0.7 mg/kg, 우리나라²²는 0.5 mg/kg 이하, 오스트레일리아와 뉴질랜드 1.0 mg/kg 등 각 국별로 허용기준에 차이가 있다. 어류 중 Hg의 함량은 어류의 종량, 성별에 따라 다르고²³ 거의 methyl Hg의 형태며, 보통 21%~35%²³에서 62~88%²¹까지 총수는 중에 methyl Hg이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 외국의 조사치를 살펴보면 비오염 수역의 해수어 중 일본 및 캐나다는 0.15 mg/kg, 스웨덴은 0.2 mg/kg²⁴을 정상적인 함량이라고 하였으며, WHO Regional office for Europe 보고서는 오염지역의 Hg 함량이 0.2~0.5 mg/kg으로 나타났다고 하였으나,²⁴ 오염이 심한 수역에서는 해수어에서 20 mg/kg까지도 나타났다는 보고가 있다.^{1-2,22} 이번 조사에서 측정된 결과는 최고치가 0.345 ± 0.161 mg/kg으로 우리나라의 규제치인 0.5 mg/kg에 못 미치며, 수입산과 국내산의 함량도 비슷한 수준으로 수입 및 국내산 어류 중의 Hg 함량은 자연 함량 수준이며, 오염의 가능성은 없다고 생각된다.

Pb의 함량은 부위별로는 뉴질랜드산 간 부위가 0.32 ± 0.18 mg/kg으로 가장 높게 측정되었고 평균 함유량은 뉴질랜드산이 0.22 ± 0.07 mg/kg으로 가장 높았으며, 원양어류가 0.05 ± 0.01 mg/kg으로 가장 낮게 측정되었다. 국내산은 0.16 ± 0.03 mg/kg의 결과를 보였다. Pb은 주로 대기, 수질, 및 식품오염을 통하여 체내에 흡수되나 Hg, Cd과 같이 수산물을 매개로 사람으로의 이행은 소량이거나 무시할 수 있을 정도라고 보고되고 있다.²¹ Pb의 외국 규제치를 보면, 호주 1.5~2.0 mg/kg, 캐나다, 독일, 뉴질랜드가 0.5 mg/kg

이며, 우리나라 어패류의 Pb 잔류 허용기준은 2.0 mg/kg 이하로 본 연구 조사의 측정치와 비교해 보면 수입 및 국내산 어류의 Pb 함량은 자연 함량 수준이며, 국내에서 조사 보고된 측정치와 비교하여 보면^{9-10,13-14} Pb의 함량은 아직은 높지 않은 편이라 생각되며, 특히 Pb은 사계절 중에 겨울에 함량이 높게 검출되는 것으로 보고되고 있다.²⁵

Cd의 함량은 부위별로는 노르웨이산 어류의 간 부위가 7.17 ± 0.00 mg/kg으로 가장 높게 측정되었으며 평균 함유량 역시 노르웨이산 어류가 2.40 ± 1.51 mg/kg으로 가장 높았고 중국이 0.03 ± 0.02 mg/kg으로 가장 낮게 측정되었으며, 통계적으로 유의성이 인정되었다($p < 0.05$). Cd은 유해 금속에서 Hg와 더불어 독성이 가장 높고, 장기간 섭취시는 신장과 뼈의 손상을 일으킨다고 알려져 있으며 소화관에서 흡수가 어려운 금속의 일종이지만, 일단 흡수된 Cd의 반감기는 약 30~40년으로 반영구적이라 한다.^{17,21} Cd에 대한 외국의 규제치를 보면 캐나다가 2.0 mg/kg, 유럽 1.0 mg/kg, 네덜란드 0.5 mg/kg 이하이며 우리나라는 2.0 mg/kg로 보통 1.0~2.0 mg/kg 이하이다. 본 조사치는 규제치와 비교해 볼 때 노르웨이산과 뉴질랜드산의 경우는 외국의 규제치에 근접하는 측정치를 나타냈으나, 그 밖의 국가들의 측정치는 건강상 위해성이 전혀 없는 수준으로 분석되었다.

Cr의 함량은 부위별로는 국내산 아가미에서 0.10 ± 0.01 mg/kg으로 가장 높게 측정되었고 평균 함유량 역시 국내산이 0.05 ± 0.01 mg/kg으로 가장 높았으며 원양어류가 0.02 ± 0.00 mg/kg으로 가장 낮게 측정되었다. Cr에 대한 규제치는 미국 FDA에서 갑각류 12 mg/kg, 패류 13 mg/kg로 규정하고 있으며, 그 외의 국가에서는 함량을 규제하고 있지 않다. Cr은 필수미량 원소로써 당과 지방의 대사에 관여하며 단백질 분해 효소 성분이기도 한다. Cr은 6가 Cr형태로 독성을 나타내며, 주로 위장관과 호흡기, 피부를 통해 인체에 흡수되어 간 및 신장장애, 내출혈, 호흡장애, 피부궤양 등을 일으킨다고 알려져 있다.²⁷

Cu의 함량은 부위별로는 뉴질랜드산 간 부위에서 4.58 ± 2.81 mg/kg으로 가장 높게 측정되었고 평균 함유량 역시 뉴질랜드산이 1.61 ± 1.03 mg/kg으로 가장 높았으며 중국산이 0.45 ± 0.14 mg/kg으로 가장 낮게 측정되었다. 국내산의 평균 함유량은 1.22 ± 0.17 mg/kg으로 측정되었다. Cu의 인체 구성 함량은 0.00015~0.0002%이고, 섭취 필요량은 소아 1일 1mg, 성인 5mg 정도이며, 다량 섭취시의 중독 증세로 간세포 퇴

Table 9. Correlation coefficients among parameters between fish livers and flesh

Item	Liver					
	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	As
Flesh	Hg	0.989**				
	Pb		0.978**			
	Cd			0.991**		
	Cr				0.082	
	Cu					0.998**
	As					

*Person's correlation at $p < 0.05$.**Person's correlation at $p < 0.01$.

화, 간경변 등이 일어나며, Cu 제제 농약을 사용한 불충분한 세척의 농산 식품을 섭취했을 경우는 만성 용혈성 중독, 저혈압, 혼수상태를 일으키는 것으로 알려져 있다.²⁸ 어류 중의 Cu 함량을 규제하고 있는 나라는 호주가 70 mg/kg, 캐나다 50 mg/kg, 영국 20 mg/kg으로 대부분의 나라가 기준치를 높게 잡고^{25,26} 있고, 우리나라에서 보고된 어패류 중의 Cu 함량은 골뱅이 3.31~4.25 mg/kg, 바지락 3.17~4.36 mg/kg, 가자미 0.92~1.17 mg/kg, 오징어 약 2 mg/kg으로 보고^{8,26}되고 있어 본 측정치와 비교해 볼 때 수입 및 국내산 어류의 함량은 자연함량수준이며, 오염의 가능성은 없다고 생각된다.

As의 함량은 부위별로는 노르웨이산 아가미 부위에서 0.68 ± 0.04 mg/kg으로 가장 높게 측정되었고 평균 함유량 역시 노르웨이산이 0.41 ± 0.10 mg/kg으로 가장 높았으며 원양어류가 0.07 ± 0.01 mg/kg으로 가장 낮게 측정되었다. 국내산의 평균 함량은 0.241 ± 0.02 mg/kg으로 측정되었다. 외국의 어패류 및 수산제품의 As 규제치는 오스트레일리아, 뉴질랜드 1.0 mg/kg, 캐나다 3.5 mg/kg, 핀란드 5.0 mg/kg 등으로 허용기준을 정하고 있어 본 측정치와 비교해 볼 때 수입 및 국내산 어류의 함량은 아직 매우 낮아 위해성이 전혀 없는 수준이라고 분석된다. As는 자연계에 널리 분포하며 특히 어패류의 경우 0.2~18 mg/kg으로 비교적 많은 양의 비소가 함유되어 있다.³¹ 해산물에 함유되어 있는 As는 거의 유기형으로 당해 생물에 섭취되어 그 생물에 필요한 무독한 화합물형태로 변환하기 때문에 인체에 큰 해가 없는 것으로 알려져 있으나,²⁹⁻³⁰ 최근 여러 가지 환경오염의 원인으로 인하여 수산물에 존재하는 무기비소의 문제점이 점차 대두되고 있다.

위와 같은 어류 중의 각 중금속 함량의 차이는 시료의 채취 시기 및 오염원에서 방출되는 중금속량의

변화 또는 수중생태계 내에서의 생물학적 활성도 변화 등의 차이에 기인하는 것으로 추측할 수 있으나 정확한 판단을 위해서는 같은 시기, 같은 장소의 중금속함량조사의 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

3.4. 간과 근육의 상관관계

생물 농축 과정은 동식물체의 종류에 따라 특정한 화합물만을 단계적으로 흡수하는 경우가 많으며, 농축율의 과정도 오염 성분마다 다르다. 예를 들면 어패류 중 특히 보리새우는 비소를, 가리비는 카드뮴을, 멧게와 해삼은 바나디움을, 심해산 상어와 다랑어류는 수은을 선택적으로 흡수 축적하는 것으로 알려져 있다.²⁶ 또한 체외에서 유입되는 물질에 의해 가장 먼저 영향을 받는 부위는 간이다. 따라서 어류의 간과 근육 부위 중금속 함량 간의 상관관계를 측정된 결과 Table 9와 같은 결과를 얻었다. 즉 Hg($r=0.989$, $p < 0.01$), Pb($r=0.978$, $p < 0.01$), Cd($r=0.991$, $p < 0.01$), Cu($r=0.998$, $p < 0.01$), As($r=0.198$, $p < 0.05$)의 상관관계를 나타냈으며, Cr($r=0.082$)은 유의적 상관관계가 인정되지 않았다. 이는 Cr은 다른 중금속에 비해 어류의 간에 축적되는 정도가 약함을 추측할 수 있는데 종 특이성이 영향을 미친 것인지 Cr의 특성에 의한 것인가는 더 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

4. 결 론

시중에 유통 중인 우리나라 연안산 또는 수입산 대형어류 총 17종 89마리를 대상으로 근육, 간 및 아가미 등 부위별로 생체내 강한 축적 경향으로 위생상 중요시되고 있는 Hg, Cd, Pb, Cr, As, Cu 등 6개 항목을 대상으로 중금속함유량에 대한 분석을 실시한 결과 어종별 중금속 함량은 Hg를 제외하고는 모두 기준

함량보다 낮았다. 기준 초과된 Hg의 평균은 0.24 ± 0.24 mg/kg로, 기준초과로 검출된 어종은 일본에서 수입된 황돔으로 0.58 ± 0.12 mg/kg, 0.60 ± 0.31 mg/kg 두 건이었다. 부위별 중금속 함량은 유해 중금속의 전체적인 측정치를 살펴보면 어종과 상관없이 근육보다는 간의 측정치가 높게 나타났으며, 아가미는 대부분 가장 낮은 측정치를 보였다. 나라별 중금속 함량비교는 Hg, Pb, Cu는 뉴질랜드산, Cd, As는 노르웨이산, Cr은 국내산 어류의 평균함유량이 다른 나라 어류보다 다소 높은 측정치를 보였으나, 자연함량수준으로 오염의 가능성은 없다고 생각된다. 어류의 간과 근육 부위 중금속 함량간의 상관관계는 Hg($r=0.989$, $p<0.01$), Pb($r=0.978$, $p<0.01$), Cd($r=0.991$, $p<0.01$), Cu($r=0.998$, $p<0.01$), As($r=0.198$, $p<0.05$)에서 상관관계를 나타냈으며, Cr($r=0.082$)은 유의적 상관관계가 인정되지 않았다.

참고문헌

1. B. Joanna and G. Michael, *Environmental Research*, **99**, 403-412 (2005).
2. S. Samanta, K. Mitra, K. Chandra, K. Saha, S. Bando-padhyay and A. Ghosh, *J. Environ Biol.* **26**(3), 517-523 (2005).
3. Y. M. Zang, D. J. Huang, T. Q. Wang, J. H. Liu, R. L. Yu, and J. Long, *Bull. Environ. Contam.*, **75**, 1191-1199 (2005).
4. 정길수, 여수대학교대학원, 1-35 (2003).
5. 차칠환, '공해와 질병', 최신의학사, 서울, 1983.
6. 이서래, '식품의 안전성 연구', 이화여자대학교 출판부, 1993.
7. 식품의약품안전청, '식품공전', 문영사, 별책 p63, 2000.
8. 이종욱, 김미혜, 소유섭, 허수정, 박성국, 정소영, 강민철, 김은정, 이경석, 식품의약품안전청연구보고서, **7**, 98-103 (2003).
9. 함희진, 한국식품위생안전성학회지, **17**(3), 146-151 (2002).
10. 하강자, 송주영, 하대식, 한국식품위생안전성학회지, **19**(3), 132-13 (2004).
11. S. Y. K. Tam, and C. S. Mok, *Food Additives and Contaminants*, **8**(3), 333-342 (1991).
12. F. M. D'Itri, *The Environmental Mercury problem*. CRC Press, Cleveland, Ohio, 124-131 (1971).
13. 차영섭, 함희진, 이재인, 이정자, 한국식품위생안전성학회지, **16**(4), 315-323 (2001).
14. 성덕화, 이용욱, *Kor. J. Food Hygiene*, **8**(4), 231-240(1993).
15. 김순경, 이종화, 김애정, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **26**(5), 851-859(1997).
16. D.Y. Hyun, and D.B. Lee, *Res. Rep. Env. Sei. Tech. Chungnam Univ. Korea*, **12**, 65-80 (1994).
17. Y. Yamazoe, and F. Otudo, *Chemical Abstracts*, **83**, 142-147 (1975).
18. 이인규, '해수어류의 가식부 내장중의 중금속함량에 관한 조사연구' 중앙대학교 사 회개발연구원, (1988)
19. 국립수산진흥원 사업보고, '한국 연안어장 보전을 위한 환경 오염조사연구', 1983.
20. 김애정, 김선여, 이완주, 박미정, *J. Fd Hyg. Safety* **13**(2), 201-205(1998)
21. C. Reilly, 'Metal contamination of food. Applied Science Publishers', London, England, 1-5, 1980.
22. 보건복지부, '식품공전 검체의 채취 및 취급방법, 수산물시료량, 식품등의 기준 및 규격', 2005.
23. WHO, 'Enviromental Health Criteria', No. 1, Mercury, Geneva, 1976.
24. M. Nawaz, C. Manzl, and G. Krumschnabel, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **75**, 652-661 (2005).
25. 김연천, 한선희, 한국식품위생안전성학회지, **14**, 305-318(1999)
26. 정길수, '수입 어패류 중의 중금속 함량에 관한 연구', 여수대학교, 2003.
27. 최한영, '한강에 서식하는 담수어의 부위별 중금속 함량에 관한 조사연구', 연세대 학교, 1985.
28. P. Licata, D. Trombetta, C. Cristani, Naccari, D. Martino, M. Calo, and F. Naccari, *Environ. Monit. Assess.*, **107**, 239-248 (2005).
29. F. L. Bryan, 'Disease transmitted by foods - a classification and summary, in Anderson JA, Soga DN(eds): Adverse resctions to foods', Washington, DC: US Department of health and human services, Appendix, 1-101 (1984).
30. R. R. Engel, and A. H. Smith, *Arch Environ Health*, **49**, 418-428 (1994).
31. R. D. Jonson, D. D. Manske, D. H. New, and D. S. Podrebarac, *Pest Monitor J.*, **15**, 39-43 (1981).