

유통 두족류의 중금속(Hg, Pb, Cd, Cu) 함량과 위해성 평가

김수언[†] · 황영옥 · 박애숙 · 박영애 · 함희진 · 최성민 · 김정현

서울시보건환경연구원

Contents of Heavy Metals (Hg, Pb, Cd, Cu) and Risk Assessment in Commercial Cephalopods

Su-Un Kim[†], Young-Ok Hwang, Ae-Sook Park, Young-Ae Park, Hee-Jin Ham, Sung-Min Choi, and Jung-Hun Kim

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Health and Environment, Seoul 138-160, Korea

Abstract

The purpose of this study was to investigate certain heavy metals (Hg, Pb, Cd, Cu) in 144 samples of cephalopods, to identify weekly heavy metal intakes and to evaluate potential health risks. The average concentrations in the arm, expressed in mg/kg, were: Hg 0.017 (less than the limit of detection (LOD) to 0.059), Pb 0.024 (less than the LOD to 0.092), Cd 0.030 (less than the LOD to 0.627) and Cu 2.536 (less than the LOD to 5.837). The average concentration in the internal organs, expressed in mg/kg, were: Hg 0.063 (from 0.008 to 0.543), Pb 0.579 (less than the LOD to 2.344), Cd 15.200 (from 0.654 to 75.29) and Cu 201.706 (from 2.412 to 856.4). Heavy metal concentrations were higher in the organs than in the arm. Of the four heavy metals, the ratio of internal organs to arm was highest for cadmium. The weekly intakes of Hg, Pb, Cd and Cu from *Octopus minor* were 0.2%, 0.08%, 0.20% and 0.00%, respectively from the arm, and 1.0%, 0.96%, 92.28% and 0.05% from the internal organs as compared to PTWI (provisional tolerable weekly intakes) established by the FAO/WHO Expert Committee for Food Safety Evaluation.

Key words: cephalopod, heavy metal, provisional tolerable weekly intake

서 론

바다에 서식하는 수산물에는 인체에 필요한 단백질, 지방, 미네랄 등의 영양 성분은 물론 다양한 기능성 물질들이 함유되어 있다(1-3). 특히 우리나라는 수산물 소비량이 많은 국가이며, 최근에는 육류보다는 수산물을 통한 단백질 섭취가 증가하고 있는 추세이다(4). 2008년 국민건강영양조사에서 수산물은 하루 해조류 5.4 g, 어패류 51.2 g을 섭취하며 단백질로서 하루 10.2 g의 수산물을 섭취하는 것으로 보고하였다. 최근 우리나라는 각종 생활 오수, 산업폐수 등과 기름유출 사고 등으로 인해 하천과 연안 해역의 환경오염이 가속화되고 있다(5). 중금속은 각종 산업 활동 및 인간 활동에 의해 강이나 하천을 통해 해양으로 유입된 후 물리화학적 과정을 거쳐 퇴적물에 흡착되거나 해양생물에 축적된다. 중금속으로 연안 해역의 오염정도를 측정할 때 해수나 퇴적물, 해양생물을 이용하게 된다. 이때 해수나 퇴적물을 연구대상으로 하면 지역의 중금속 잔류농도만을 파악할 수 있고, 해양생물을 이용하게 되면 잔류농도를 파악함과 동시에 중금속의 축적에 따른 생물영향에 대한 정보까지 얻을 수 있다. 이러한

장점으로 해양환경의 오염정도를 평가하기 위해 연안지역에 서식하는 어류, 두족류, 이매패류 등 다양한 지표생물을 이용한 생물 오염 모니터링이 널리 수행되었다(6-8).

1974년 FAO/WHO(Food and Agriculture Organization/World Health Organization) 합동회의에서는 오염감시 대상이 되는 화학적 오염물질 중 특히 몇몇 중금속(Pb, Hg, As, Cd 등)을 우선순위 대상으로 선정하였으며, 이에 우리나라에서도 연안지역을 중심으로 퇴적물, 어류 및 패류 등에서 망간, 아연, 크롬, 구리, 납, 카드뮴을 비롯한 다양한 중금속 함량조사와 그에 따른 생태계영향 및 오염모니터링 연구 등이 진행되고 있다(9-13). 그중 충남 서산에서 어획된 낙지의 내장에서 카드뮴, 구리, 아연이 높은 농도로 검출되었으며(14), 또한 우리나라 외해에서 채집된 살오징어 간에서 카드뮴의 농도가 외투장에 비해서 100배 이상 높았으며, 일주일에 12 g을 섭취하게 되면 국제보건기구(WTO)가 정한 인체 허용 잠정주간섭취허용기준을 넘어서는 것으로 나타났다(15). 갑각류, 조개류, 다모류를 섭취하는 저서성 두족류의 경우 다른 부유성 두족류에 비해 체내에 중금속이 높게 축적되기도 하였다(16).

[†]Corresponding author. E-mail: suun111@seoul.go.kr
Phone: 82-2-3401-6294, Fax: 82-2-3435-0389

우리나라에서는 두족류에 납, 카드뮴, 수은에 한해 기준이 설정되어 있으며 기호에 따라 내장까지 섭취하는 낙지, 주꾸미의 경우 내장을 포함한 전체의 기준적용이 설정되어 있지 않다. 그러므로 내장까지 섭취하는 낙지, 주꾸미에 대한 중금속에 대한 농도 파악과 섭취에 따른 인체 위해성 평가는 필수적이라 판단되며, 본 연구에서는 낙지를 중심으로 주꾸미, 오징어, 문어 등 두족류의 중금속 농도를 파악하고 섭취량에 따른 위해성을 평가하여 안전관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

시험 재료

서울 시내 유통 중인 두족류 144건을 토대로 가식부(팔)와 비가식부(내장)를 따로 분리하여 실험하였다. 분석에 사용된 낙지는 총 110건으로 국산 46건, 수입산 64건, 주꾸미 16건, 문어 10건, 오징어 8건이었으며 조사항목으로는 수은, 납, 카드뮴, 구리 등 4개 항목으로 선정하였다.

시약 및 표준품

분석에 사용된 시약은 유해 중금속 분석용 특급시약으로서 납, 카드뮴, 비소, 구리 측정용 시약으로는 질산(유해중금속 분석용)을 사용하였으며 실험에 사용되는 증류수는 18.2 mΩ 수준으로 정제된 물을 사용하였다. ICP Spectrometer 분석을 위한 표준액은 카드뮴, 납, 구리 혼합표준액 100 µg/mL(Perkin-Elmer, Shelton, CT, USA)를 0.5 N 질산에 희석하여 사용하였고, 수은 분석을 위한 표준물질은 MESS-3(0.091±0.009, National Research Council, Nova Scotia, Canada)을 사용하였다.

기기조건 및 분석방법

20±1.0 g의 시료를 도가니에 취하여 탄화, 회화시킨 후 0.5 N 질산으로 정용하여 실험용액으로 하였으며, 납, 카드뮴, 구리분석은 ICP Spectrometer(OPTIMA 5300 DV, Perkin-Elmer)를 이용하여 측정하였으며 기기 조건은 Table 1과 같다. 수은 분석은 약 0.1 g의 시료를 취하여 Mercury analyzer(model DMA 80, Milestone, Italy)를 사용하여 가열기화금아말감법으로 측정하였으며 기기조건은 Table 2와 같다.

표준인증물질 측정

표준인증물질 분석은 수은의 경우 NRC(National Research Council Canada)에서 구입한 Mess-3를 사용하였으

Table 1. The conditions of ICP spectrometer

Parameter	Condition
Wavelength (nm)	Pb: 220.353
	Cd: 228.802
	Cu: 327.393
RF power	1,450 Watts
Plasma gas flow	15 mL/min
Nebulizer gas flow	0.82 L/min
Auxiliary gas flow	0.2 mL/min
Sample flow rate	1.50 mL/min

Table 2. The conditions of mercury analyzer

Drying temp.	Drying time	Decomp. temp.	Decomp. time	Purse time	Amalgam time	Record time
200°C	150 sec	200°C	180 sec	60 sec	12 sec	60 sec

며 나머지 3종 금속의 경우는 NIST(National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA)에서 구입한 1566 B와 ERM(European Reference Materials, Retieseweg, Belgium)에서 구입한 ERM-CE278를 이용하였으며 그 결과는 Table 3과 같다. 검출한계(limit of detection, LOD)는 총수은의 경우 0.0047 ng이었으며, 납의 경우 0.002 µg/mL, 카드뮴 0.001 µg/mL, 구리 0.000 3 µg/mL이었다.

통계처리

데이터는 통계적 유의성 검증을 위하여 t-test, one way ANOVA(α=0.05)를 이용하였으며, one way ANOVA의 사후분석을 위해 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 통계분석은 PASW Statistics 17.0 프로그램을 사용하였으며, 모든 data는 평균±표준편차(최소값~최대값)로 표현하였다.

결과 및 고찰

가식부 중금속 함량

두족류 144건에 대한 중금속 함량 분석결과는 Table 4와 같다.

본 연구에서 조사된 두족류 가식부(팔)의 중금속 함량(생물기준)은 구리가 2.536±0.653 mg/kg으로 가장 높았으며, 다음으로 카드뮴 0.030±0.027 mg/kg, 납 0.024±0.004 mg/kg, 수은 0.017±0.063 mg/kg 순이었다. Cha 등(17)은 두족류 7종 및 기타 3종 등 총 10종 123개체에 대한 카드뮴 함량은 0.033(0.001~0.214) mg/kg, 비소 0.024(N.D.~0.181) mg/kg,

Table 3. The measurement of CRM

Element	Material	No.	Certified (mg/kg)	Measured (mg/kg)	Procedure
Hg	NRC MESS-3	3	0.091±0.009	0.087±0.005	Mercury analyzer
Pb	ERM-CE278	3	2.00±0.04	1.67±0.11	ICP
Cd	NIST 1566b	3	2.48±0.08	2.17±0.04	ICP
Cu	NIST 1566b	3	71.6±1.6	68.8±0.33	ICP

Table 4. Contents of heavy metals in arm of cephalopod

(Unit: mg/kg, wet basis)

Species	No. of samples	Hg	Pb	Cd	Cu
<i>Octopus minor</i>	110	0.013±0.009 ^{1b} (<LOD~0.057)	0.022±0.024 ^b (<LOD~0.092)	0.012±0.023 ^{bc} (<LOD~0.175)	3.466±1.780 ^a (<LOD~5.837)
<i>Enteroctopus dofleini</i>	10	0.011±0.009 ^b (<LOD~0.033)	0.028±0.019 ^a (0.005~0.060)	0.023±0.030 ^{ab} (0.002~0.089)	2.070±0.762 ^b (0.661~2.740)
<i>Octopus ocellatus</i>	16	0.011±0.009 ^b (0.001~0.032)	0.025±0.023 ^{ab} (<LOD~0.086)	0.071±0.112 ^a (0.008~0.379)	2.093±1.607 ^b (<LOD~5.138)
<i>Todarodes pacificus</i>	8	0.031±0.015 ^a (0.009~0.059)	0.020±0.022 ^b (<LOD~0.045)	0.015±0.205 ^{bc} (<LOD~0.627)	2.515±1.717 ^b (0.041~5.251)
Total	144	0.017±0.063 (<LOD~0.059)	0.024±0.004 (<LOD~0.092)	0.030±0.027 (<LOD~0.627)	2.536±0.653 (<LOD~5.837)

¹⁾Mean±SD (All samples were analyzed three times).

Numbers in parenthesis are range.

^{a-c}Significantly different between the indicated groups (p<0.05).

납 0.118(0.010~0.877) mg/kg이라고 하였으며, Mok 등(18) 두족류 6종 32개체에 대해 구리 3.594±1.828 mg/kg, 카드뮴 0.034±0.046 mg/kg, 납 0.068±0.066 mg/kg으로 보고하였다. 또한 Ham(19)의 두족류 7종 41개체에서 수은 0.026(N.D.~0.11) mg/kg, 납 0.151(N.D.~0.39) mg/kg로 보고하였다.

본 연구의 가식부의 수은의 평균함량은 0.017±0.063 (0.009~0.059) mg/kg으로 Ham(19)의 0.026(N.D.~0.11) mg/kg보다 낮게 나타났다. 품종별로 보면 낙지가 0.013±0.009(<LOD~0.057) mg/kg으로 Ham(19)의 0.029(N.D.~0.07) mg/kg보다 낮게 나타났으며 오징어의 경우 0.031±0.015(0.009~0.073) mg/kg으로 Hwang 등(20)의 0.167±0.089(0.014~0.369) mg/kg보다 낮고, Ham(19)의 0.027(N.D.~0.09), Joo 등(21)의 0.028±0.019 mg/kg과 비슷하였다. 단일검체로는 오징어 0.059 mg/kg, 낙지 0.057 mg/kg, 문어 0.033 mg/kg, 주꾸미 0.032 mg/kg 순으로 높게 분석되었다. 본 실험에서의 두족류의 가식부의 수은 함량은 우리나라 연체류의 총 수은 잔류 허용 기준 0.5 mg/kg보다 낮은 함량분포를 보였다. 외국의 기준치와 비교해 보면, 스웨덴이 0.2 mg/kg, 캐나다 0.4 mg/kg, 호주의 경우 어류 1.0 mg/kg, 덴마크는 민물어류 1.0 mg/kg, 프랑스에서는 어패류 0.5~0.7 mg/kg, 독일은 어류 가식부에서 1.0 mg/kg, 일본에서는 메틸수은으로서 0.3 mg/kg으로 설정하고 있어 그 함량이 낮다고 할 수 있다(22).

납의 평균함량은 0.024±0.004(<LOD~0.092) mg/kg으로 Cha 등(17)의 0.118(0.010~0.877) mg/kg, Ham(19)의 0.151(N.D.~0.39) mg/kg, Mok 등(18)의 0.068±0.066(0.014~0.266) mg/kg보다 낮은 수치를 나타내었다. 납에 대한 외국의 기준치를 보면, 호주의 경우 종류에 따라 1.5~5.5 mg/kg, 캐나다는 어류 단백질 0.5 mg/kg, 해산, 민물, 어패류가 각각 10 mg/kg, 덴마크는 어류 0.3 mg/kg, 네덜란드는 어류 0.5 mg/kg 등이며, 우리나라의 경우 수산물이 2.0 mg/kg이었으나 2008년에 어류 0.5 mg/kg, 연체류, 패류 2.0 mg/kg으로 기준이 강화되었다.

카드뮴의 평균함량은 0.030±0.027(<LOD~0.627) mg/kg

으로 Cha 등(18)의 0.091(N.D.~1.905) mg/kg, Lee와 Kim(14)의 0.11±0.05 mg/kg보다 낮게 나타났으며 Raimundo 등(23)의 0.03~1.34 mg/kg과는 비슷한 결과를 보였다. 단일검체로는 오징어 0.627 mg/kg, 주꾸미 0.379 mg/kg, 낙지 0.175 mg/kg, 문어 0.089 mg/kg 순으로 나타났다. 우리나라는 카드뮴에 대한 기준이 패류에서만 2.0 mg/kg으로 규제되다가 2008년 7월 이후 연체류에서도 2.0 mg/kg으로 기준이 강화되었다. 일본 비오염지역의 경우 패류 중의 카드뮴 함량이 최고 1.8 mg/kg까지 보고된 바 있으며 해산식품은 0.05~3.66 mg/kg, 패류의 내장 중에는 30~50 mg/kg이 함유된 경우도 있다고 보고하였다(24). 국내 기준치와 비교했을 때, 본 조사의 연구치는 우려할 만한 수준은 아니었다. 일반 환경 중의 카드뮴 농도는 상당히 낮지만, 수산물인 패류, 해조류 등에 높은 것으로 알려져 있으며 또한 패류를 먹이로 하는 두족류의 카드뮴 농도를 지속적으로 모니터링 할 필요가 있다고 생각된다.

구리의 평균함량은 2.536±0.653(<LOD~5.837) mg/kg으로 Mok 등(18)의 3.594±1.823 mg/kg, Raimundo 등(23)의 3.937~71.628 mg/kg보다 낮게 나타났다. 한편 Lee와 Kim(14)의 외투장에서 64±11 mg/kg(건중량기준), Raimundo 등(23)은 외투장에서 12.319~98.679 mg/kg(건중량기준)으로 보고하여 본 연구와의 직접적인 비교는 할 수 없었다. 구리가 다른 금속에 비해 높은 농도를 나타내는 것은 해양생물의 필수원소이기 때문으로 생각되며, 단일검체로는 낙지, 오징어, 주꾸미, 문어 순으로 높게 나타났다. 어류 중의 구리를 규제하고 있는 나라는 호주가 70 mg/kg, 캐나다 50 mg/kg, 영국 20 mg/kg으로 대부분의 나라가 기준치를 높게 잡고 있다.

비가식부 중금속 함량

두족류의 비가식부(내장)의 중금속 함량은 Table 5에 나타내었다.

수은의 평균함량은 0.063±0.016(0.008~0.543) mg/kg으로 문어, 낙지, 주꾸미, 오징어 순으로 높게 나타났으며 낙지

Table 5. Contents of heavy metals in internal organ of cephalopod (Unit: mg/kg, wet basis)

Species	No. of samples	Hg	Pb	Cd	Cu
<i>Octopus minor</i>	Whole body	26 0.017±0.006 ^{1b} (<LOD~0.031)	0.027±0.021 ^c (<LOD~0.089)	0.542±0.168 ^c (0.117~3.471)	16.773±9.292 ^c (3.953~42.420)
	Internal organ	110 0.075±0.072 ^a (0.016~0.543)	0.349±0.202 ^b (0.106~1.171)	9.240±10.431 ^b (0.922~58.47)	166.517±60.803 ^b (10.060~285.200)
<i>Enteroctopus dofleini</i>	Internal organ	10 0.077±0.044 ^a (0.033~0.179)	0.990±0.596 ^a (0.248~2.104)	16.926±14.131 ^{ab} (3.462~47.94)	391.850±263.700 ^a (36.550~856.400)
<i>Octopus ocellatus</i>	Internal organ	16 0.054±0.033 ^a (0.008~0.119)	0.346±0.313 ^b (<LOD~1.207)	11.508±9.941 ^{ab} (0.654~36.56)	101.118±97.803 ^{bc} (2.412~309.800)
<i>Todarodes pacificus</i>	Internal organ	8 0.044±0.019 ^{ab} (0.009~0.073)	0.629±0.705 ^{ab} (0.022~2.344)	23.124±21.543 ^a (5.112~75.29)	147.339±127.770 ^b (35.180~458.300)
Total	Whole	26 0.017±0.063 (<LOD~0.059)	0.024±0.004 (<LOD~0.092)	0.030±0.027 (<LOD~0.627)	2.536±0.653 (<LOD~5.837)
	Internal organ	144 0.063±0.016 (0.008~0.543)	0.579±0.304 (<LOD~2.344)	15.200±6.189 (0.654~75.290)	201.706±129.700 (2.412~856.400)

¹⁾Mean±SD (All samples were analyzed three times).

Numbers in parenthesis are range.

^{a-d}Significantly different between the indicated groups (p<0.05).

의 경우 0.543 mg/kg으로 가식부 낙지의 기준인 0.5 mg/kg을 초과하는 것도 검출되었다. 그러나 낙지의 몸통 전체의 수은은 0.017±0.006(<LOD~0.031) mg/kg으로 기준치보다 훨씬 낮게 나타났다. Raimundo 등(23)은 왜문어의 내장의 일부인 소화샘(digestive gland)에서 0.28~11 mg/kg으로 보고하였다.

납의 평균함량은 0.579±0.304(<LOD~2.344) mg/kg으로 문어 내장에서 2.104 mg/kg, 오징어 내장에서 2.344 mg/kg으로 높게 검출되었으며 오징어, 문어, 주꾸미, 낙지 순으로 높게 검출되었다.

카드뮴의 평균함량은 15.200±6.189(0.654~75.29) mg/kg으로 높게 나타났으며 오징어의 경우는 75.29 mg/kg으로 검출된 것도 있었다. Lee와 Kim(14)은 낙지 내장에서 11.5±4.5 (3.9~19) mg/kg으로 보고한 것이 있으며 외국의 경우 Raimundo 등(23)은 왜문어의 소화샘(digestive gland)에서 19.5~761.4 mg/kg으로 보고하였다.

구리의 평균함량은 201.706±129.7(2.412~856.4) mg/kg으로 높게 나타났으며, 문어, 오징어, 낙지, 주꾸미 순으로 나타났다. 문어의 경우 856.4 mg/kg의 고농도도 검출되었으며, Lee와 Kim(14)의 낙지 내장에서의 646±394(86~1463) mg/kg, Raimundo 등(23)은 왜문어의 소화샘(digestive gland)에서 137~3139 mg/kg에서 보고하였다.

가식부와 비가식부의 중금속 비

두족류에서 검출된 중금속의 농도는 비가식부(내장)가 가식부(팔)에 비해 10~1000배 이상 높은 농도를 나타내었다 (Fig. 1). 일반적으로 두족류에서 검출된 중금속의 경우 비가식부(내장)가 가식부(팔)에 비해 상대적으로 높은 농도를 나타내고 특히 내장기관 중 소화샘(digestive gland)의 경우 두족류 전체 체중의 6~10%를 차지하며 체내로 공급된 오염 물질을 흡수 또는 저장하는 기능을 가지고 있다고 한다

Fig. 1. Contents of heavy metals in internal organ and arm of cephalopod.

(25). 두족류의 혈액의 색소 헤모시아닌의 구성 금속인 구리로 인해 구리의 농도가 비가식부(내장)에서 높게 나타난 것으로 판단된다.

본 연구에서 두족류의 비가식부(내장)에서의 특징적인 중금속 축적정도를 파악하기 위해 비가식부(내장)와 가식부(팔)에서의 수은, 납, 카드뮴, 구리 농도를 internal organ/arm 비로 나타내었다(Table 6). 본 연구에서 낙지, 문어, 주꾸미, 오징어의 I/A 비는 카드뮴이 가장 높았으며 다음이 구리, 납, 수은 순으로 나타났다. 다른 조사를 보면 Lee와 Kim(14)은 낙지의 카드뮴의 I/M(internal organ/mantle)비를 109로 보고하였는데 이는 내장과 외투장의 비로 본 연구의 비가식부(내장)와 가식부(팔)의 비와의 직접적인 비교는 힘들지만 유사하게 카드뮴에서 가장 높은 비를 나타내었다. 외국자료를 보면 Raimundo 등(23)의 왜문어에서 D/A (digestive gland/arm) 비가 카드뮴에서 가장 높았으며 D/M (digestive gland/mantle) 비도 카드뮴에서 가장 높았다. 본 연구에서와 다른 연구 자료를 볼 때, 카드뮴 등 모든 금속이

Table 6. The ratio between internal organ and arm

Ratio ¹⁾	Species	Hg	Pb	Cd	Cu	Procedure
I/A	<i>Octopus minor</i>	5.8	15.9	770.0	48.0	This study
	<i>Enteroctopus dolleini</i>	7.0	35.4	735.9	189.3	
	<i>Octopus ocellatus</i>	4.9	13.8	162.0	48.3	
	<i>Todarodes pacificus</i>	1.4	31.5	1552.0	58.6	
I/M	<i>Octopus minor</i>	—	—	109.0	10.0	Lee and Kim (14)
D/A	<i>Octopus vulgaris</i>	22.0	19.2	575.3	34.8	Raimundo et al. (23)
D/M	<i>Octopus vulgaris</i>	18.3	10.1	145.0	11.0	Raimundo et al. (23)

¹⁾I/A: internal organ/arm, I/M: internal organ/mantle, D/A: digestive gland/arm, D/M: digestive gland/mantle.

비가식부(내장)에서 가식부(팔)에 비해 높은 농도로 검출되는 것을 볼 수 있으며 이는 내장 중 소화샘(digestive gland)에서 금속과 결합한 단백질(metallothioneins)이 작용하여 중금속을 분해가 일어나는 것이 원인이라고 생각된다.

무게에 따른 중금속 농도

본 연구에서 무게에 따른 중금속 함량의 변화를 알아보기 위해 낙지를 편의상 대(200 g 이상), 중(100 g 이상 200 g 이하), 소(100 g 이하) 세 그룹으로 나타내었다(Table 7). 수은의 경우 낙지 가식부(팔) 대, 중, 소의 평균이 0.012 ± 0.002 mg/kg으로 대, 중, 소 순으로 높게 나타났으며 비가식부(내장)는 크기에 따른 함량의 차이는 없는 것으로 나타났다. 납의 경우 낙지 가식부(팔) 대, 중, 소의 평균이 0.022 ± 0.008 mg/kg으로 대, 중, 소에 따른 차이가 없었으며 오히려 비가식부(내장)의 중에서 가장 높은 수치를 보였으며(0.247 ± 0.062 mg/kg) 소, 대 순으로 나타났다. 카드뮴의 경우는 낙지 가식부(팔)의 대, 중, 소의 평균이 0.001 ± 0.001 mg/kg의 수치를 나타냈으며 대, 중, 소의 차이가 없었고 비가식부(내장)의 경우 평균이 3.151 ± 0.538 mg/kg으로 중, 대, 소의 순으로 높게 나타났다. 구리의 경우 낙지 가식부(팔)의 대, 중, 소의 평균이 4.287 ± 0.151 mg/kg으로 소, 중, 대 순으로 높게 나타났으며 비가식부(내장)의 경우 96.777 ± 12.254 mg/kg으로

소, 중, 대 순으로 높게 나타났다. 낙지 무게에 따른 중금속의 축적정도가 차이가 없는 특징은 같은 두족류인 오징어에서도 유사하게 나타났다(15). 외국의 자료를 보면, 두족류의 배아부터 부화단계, 부화이후 일주일, 15일, 한 달에 이르기까지는 몸의 크기가 증가함에 따라 중금속 농도가 증가하는 것으로 나타났다(26). 한편 멸치의 경우 크기별로 중금속 함량이 증가함을 볼 수 있고(20), 콩치의 경우 비소함량은 성장한 어류일수록 감소하는 경향을 보인다는 결과가 있다(12). 본 조사에서의 낙지 무게에 따른 중금속 농도와 상관계수가 나타나지 않은 것은 산란시기에 맞춰서 채집한 것이 아니고 충분히 성숙한 낙지를 샘플로 하였기 때문인 것으로 생각되며, 앞으로 낙지 생물 모니터링을 위해서는 무게뿐만 아니라 크기, 성별, 산란시기를 고려하여 조사할 필요가 있다고 판단된다.

위해성 평가

기호에 따라 머리까지 섭취하는 낙지에 대한 중금속의 위해성 평가를 하기 위해 해당성분의 실제적이식이섭취량이 독성학적으로 FAO/WHO에서 설정한 인체허용 잠정주간 섭취허용기준(PTWI: provisional tolerable weekly intake)에 미달하는지 또는 초과하는지 즉, 독성기준치에 대한 노출량 비율인 위해지수(risk index)를 계산하여 평가하였다. 본

Table 7. Contents of heavy metals in *Octopus minor*

(Unit: mg/kg, wet basis)

Products	Hg	Pb	Cd	Cu	
<i>Octopus minor</i> (small)	Arm	$0.010 \pm 0.004^{1)b}$ (0.004~0.019)	0.027 ± 0.029^a (<LOD~0.092)	0.003 ± 0.014^a (<LOD~0.070)	4.455 ± 1.390^a (1.629~7.368)
	Internal organ	0.041 ± 0.017^b (0.022~0.085)	0.217 ± 0.052^b (0.127~0.315)	2.807 ± 1.560^b (0.922~7.640)	82.771 ± 48.134^b (29.245~191.700)
<i>Octopus minor</i> (medium)	Arm	0.011 ± 0.004^b (0.005~0.020)	0.013 ± 0.018^b (0.003~0.084)	0.000 ± 0.003^b (<LOD~0.015)	4.243 ± 1.182^a (2.037~6.245)
	Internal organ	0.055 ± 0.018^a (0.034~0.114)	0.247 ± 0.062^a (0.106~0.371)	3.771 ± 2.498^a (1.050~12.410)	102.035 ± 42.171^a (41.860~210.400)
<i>Octopus minor</i> (large)	Arm	0.014 ± 0.006^a (0.003~0.019)	0.025 ± 0.024^{ab} (0.004~0.027)	0.000 ± 0.002^b (<LOD~0.008)	4.162 ± 2.051^b (1.633~7.428)
	Internal organ	0.055 ± 0.030^a (0.016~0.109)	0.182 ± 0.057^b (0.11~0.272)	2.875 ± 0.918^b (1.715~4.373)	105.524 ± 69.515^a (20.900~238.800)
Total	Arm	0.012 ± 0.002 (0.003~0.020)	0.022 ± 0.008 (<LOD~0.092)	0.001 ± 0.001 (<LOD~0.070)	4.287 ± 0.151 (1.629~7.428)
	Internal organ	0.051 ± 0.008 (0.016~0.114)	0.217 ± 0.030 (0.106~0.371)	3.151 ± 0.538 (0.922~12.410)	96.777 ± 12.254 (20.900~238.800)

¹⁾Mean±SD (All samples were analyzed three times).

Numbers in parenthesis are range.

^{a,b}Means with different letters in the same part of each metal are significantly different ($p < 0.05$).

Table 8. Comparison of total weekly intakes of heavy metals from *Octopus minor* with PTWI established by FAO/WHO

	Metals (PTWI $\mu\text{g}/\text{kg}$ b.w/week)	Daily intake ($\mu\text{g}/\text{day}/\text{capita}$)	Total weekly intake ($\mu\text{g}/\text{kg}$ b.w)	Risk index (% of PTWI) ¹⁾
Hg (5)	Arm	0.07	0.01	0.2
	Internal organ	0.41	0.05	1.0
	Whole body	0.87	0.10	2.0
Pb (25)	Arm	0.12	0.02	0.08
	Internal organ	1.92	0.24	0.96
	Whole body	1.38	0.16	0.64
Cd (7)	Arm	0.07	0.01	0.20
	Internal organ	50.73	6.46	92.28
	Whole body	27.75	3.24	46.28
Cu (3500)	Arm	19.02	0.04	0.00
	Internal organ	914.18	1.83	0.05
	Whole body	858.78	1.72	0.05

¹⁾Risk index in %=(total weekly intake/PTWI)×100.

연구에서 수행한 두족류 중 기호에 따라 내장까지 섭취하는 낙지의 가식부(팔), 비가식부(내장), 전체의 중금속 함량과 보건복지부의 2008년 국민건강영양조사결과(27)의 1일 식품섭취량 자료로부터 중금속의 섭취량을 산출하여, 이 값을 PTWI와 비교하여 낙지의 중금속에 대한 안전성을 평가하였다(Table 8). 우리나라 낙지의 1일 평균섭취량 5.49 g과 한국인 평균체중 55 kg을 적용했을 때 가식부의 경우 PTWI와 비교했을 때, 수은, 납, 카드뮴, 구리가 각각 0.2%, 0.08%, 0.20%, 0.00%였으며 내장의 경우 각각 1.0%, 0.96%, 92.28%, 0.05%였다. 또한 낙지 전체의 섭취 시 수은 납 카드뮴 구리가 각각 2.0%, 0.64%, 46.28%, 0.05%였다. 이상과 같은 분석 결과로 볼 때 낙지 가식부(팔), 비가식부(내장), 전체에서 수은, 납, 구리의 인체위해성은 미미하다고 볼 수 있다. 내장만을 섭취하는 경우는 없으나 본 조사의 내장과 낙지전체에서의 카드뮴 PTWI 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ b.w/week의 92.2%와 46.28%의 확률을 나타내는 바, 낙지 내장을 제거한 후 섭취하는 것이 위해성을 줄일 수 있다고 판단된다.

요 약

본 연구에서는 저서성 두족류 낙지를 중심으로 주꾸미, 문어, 오징어 144건에 대해 생체에 강한 축적 경향으로 식품 안전상 중요시 되는 수은, 납, 카드뮴, 구리의 중금속 함량을 분석하였다. 두족류 가식부의 중금속 함량은 수은 0.017±0.063 mg/kg, 납 0.024±0.004 mg/kg, 카드뮴 0.030±0.027 mg/kg, 구리 2.536±0.653 mg/kg이었으며, 내장에서는 수은 0.063±0.016 mg/kg, 납 0.579±0.304 mg/kg, 카드뮴 15.200±6.189 mg/kg, 구리 201.706±129.7 mg/kg이었다. 낙지 가식부와 내장의 비로 중금속의 축적정도를 파악해보면, 카드뮴이 가장 높았고 다음이 구리, 납, 수은 순이었으며, 낙지 무게에 따른 중금속의 축적 정도와는 관련이 없는 것으로 나타났다. 또한 우리나라 국민이 낙지를 통해 섭취하는 수은, 납, 카드뮴, 구리 등의 중금속 주간 섭취량은 FAO/

WTO에서 중금속 안전성 평가를 위해 정한 잠정주간섭취허용량인 PTWI의 0.0~0.20% 수준으로 안전한 것으로 판단되며, 비가식부(내장)의 경우는 0.05~92.28%로 높게 나타나 낙지 섭취 시 낙지 내장을 제거한 후 섭취하는 것이 안전할 것으로 판단된다.

문 헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Rashed MN. 2001. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environ Int* 27: 27-33.
6. Smith JD, Plues L, Heyraud M, Cherry RD. 1984. Concentration of the elements Ag, Al, Ca, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb and Zn and the radionuclides ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in the digestive gland of the squid *Nototodarus gouldi*. *Mar Environ Res* 13: 55-68.
7. Sadiq M, Mian AA, Saji AP. 1996. Metal bioaccumulation by sea urchin (*Echinometra mathaei*) from the Saudi coastal areas of the Arabian gulf: cadmium, copper, chromium, barium, calcium, and strontium. *Environ Contam Toxicol* 57: 964-971.
8. Sures B, Taraschewski H, Rydio M. 1997. Intestinal fish parasite as heavy metal bioindicators: a comparison between *Acanthocephalus lucii* (Palaeacanthocephala) and the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Environ Contam Toxicol* 59: 14-21.
9. Lee BG. 1980. WHO's new recommendation to the permissible levels of toxic substances. *Korean J Occup Health* 19: 89.
10. Chung SJ, Yoo KB. 1990. A study on the heavy metal con-

- tents of fresh water fishes in the Keum river. *Korean J Environ Biol* 8: 59-69.
11. Hwang GS, Shin HS, Kim K, Yeo SK, Kim JS. 2001. Concentration and distribution of heavy metals in sediments and bivalves (*Solen strictus* gould) from tidal flats along the Mid-Western coast, Korea. *Kor J Env Hlth Soc* 27: 25-34.
 12. 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.
 13. Shim KB, Cho MR, Lee TS, Kim JH. 2009. Contents of heavy metals in fishes from the Korean coasts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 517-524.
 14. Lee HJ, Kim GB. 2010. Concentration of heavy metals in *Octopus minor* in Seosan, Chungnam and food safety assessment. *Korean J Fish Aquat Sci* 43: 270-276.
 15. Kim GB, Kang MR, Kim JW. 2008. Specific accumulation of heavy metals in squid collected from offshore Korean waters: preliminary results for offshore biomonitoring and food safety assessment. *Fish Sci* 74: 882-888.
 16. Bustamante P, Grigrioni S, Boucher-Rodoni R, Caurant F, Miramand P. 2000. Bioaccumulation of 12 trace elements in the tissues of the nautilus *Natilus macromphalus* from New Caledonia. *Mar Pollut Bull* 40: 688-696.
 17. Cha YS, Ham HJ, Lee JJ. 2001. Heavy metals in fishery products, sold at fish markets in Seoul. *J Food Hyg Safety* 16: 315-323.
 18. Mok JS, Lee KJ, Shim KB, Lee TS, Song KC, Kim JH. 2010. Contents of heavy metals in marine invertebrates from the Korean coast. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 894-901.
 19. Ham HJ. 2002. Distribution of hazardous heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fishery products, sold at Garak wholesale markets in Seoul. *J Food Hyg Safety* 17: 146-151.
 20. Hwang YO, Kim SU, Ryu SH, Ham HJ, Park GY, Park SG. 2009. Contents of mercury, lead, cadmium, and arsenic in dried marine products. *Anal Sci Technol* 22: 336-344.
 21. Hwang YO, Park SG. 2006. Contents of heavy metals in marine fishes sold in Seoul, Korea. *Anal Sci Technology* 19: 342-351.
 22. Ikebe K, Nishimune T, Tanaka R. 1991. Contents of 17 metal elements in food determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry-fish and shellfishes. *J Food Hyg Soc Japan* 32:336-350.
 23. Raimundo J, Caetano M, Vale C. 2004. Geographical variation and partition of metals in tissues of *Octopus vulgaris* along the Portuguese coast. *Sci Total Environ* 325: 71-81.
 24. Joo HJ, Noh MJ, Yoo JH, Jang YM, Park JS, Kang MH, Kim MH. 2010. Monitoring total mercury and methylmercury in commonly consumed aquatic foods. *Korean J Food Sci Technol* 42: 269-276.
 25. Miramand P, Bently D. 1992. Concentration and distribution of heavy metals in tissues of two cephalopods, *Eledone cirrhosa* and *Sepia officinalis*, from the French coast of the English channel. *Mar Biol* 114: 407-414.
 26. Miramand P, Bustamante P, Bently D, Koueta N. 2006. Variation of heavy metal concentrations (As, Cd, Co, Cu, Fe, Pb, V and Zn) during the life cycle of the common cuttlefish *Sepia officinalis*. *Sci Total Environ* 361: 132-143.
 27. MOHW (Ministry of Health & Welfare). 2008. *The fourth Korea National Health and Nutrition Examination Survey*. Korea.

(2011년 1월 4일 접수; 2011년 3월 18일 채택)