

충남 서산에서 어획된 낙지(*Octopus minor*)의 중금속 함량과 인체 위해성 평가

이효진·김기범*

경상대학교 해양환경공학과 / 해양산업연구소

Concentration of Heavy Metals in *Octopus minor* in Seosan, Chungnam and Food Safety Assessment

Hyo Jin Lee and Gi Beum Kim*

Department of Marine Environmental Engineering / Institute of Marine Industry,
Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

This study estimated the heavy metal concentrations in octopus (*Octopus minor*) and conducted a food safety assessment of octopus. Octopus, a benthic cephalopod, was collected from the Seosan intertidal zone on the west coast of Korea. The samples were digested with acids, and then the cadmium (Cd), copper (Cu), and zinc (Zn) contents were analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The Cd, Cu, and Zn range of concentrations in octopus were 0.06–19 (mean 5.8), 44–1,463 (mean 354.8), and 76–929 (mean 247.9) mg/kg on a dry weight basis, respectively. The concentrations of heavy metals were higher in the internal organs than in the mantle. Of the three heavy metals, copper had the highest concentrations in the internal organs because of the existence of hemocyanin bound with copper in octopus blood, whereas zinc had the highest concentrations in the mantle. No relationship between the concentration of heavy metals and biological parameters (length, weight, and sex) was found. The ratios (I/M) of the heavy metal concentrations in internal organs and mantle were highest for cadmium, although cadmium had much lower concentrations in the internal organs compared with copper and zinc. Considering the provisional tolerable weekly intake (PTWI) of the three heavy metals and the average intake of octopus per day, all three elements should have no adverse effects on humans.

Key words: Cadmium, Copper, Zinc, Octopus (*Octopus minor*), Food safety assessment

서 론

중금속은 산업혁명 이후 대량생산되어 사용되기 시작하였으며, 환경을 파괴함과 동시에 인간의 건강을 위협하여 왔다. 그 중 일부 중금속은 미량으로도 생물체에 큰 위해성을 초래하여 발암성, 최기형성, 태아치사성 등과 같은 만성독성을 유발한다 (Michael and McIntosh, 1991; Goyer et al., 1996; Zakrzewski, 1997). 이러한 중금속 오염에 따른 생물피해는 매우 크고 다양하여 환경오염을 평가하는데 있어 주요 대상물질이 되었다.

중금속은 각종 산업활동 및 인간활동에 의해 강이나 하천을 통하여 해양으로 유입된 후 복잡한 물리화학적 과정을 거쳐 퇴적물에 흡착되거나 해양생물에 축적된다. 일반적으로 중금속으로 인한 연안해역의 오염정도를 측정할 때 해수나 퇴적물, 해양 생물을 이용하게 된다. 이 때 해수나 퇴적물을 연구대상으로 이용하게 되면 그 지역에서의 중금속 잔류농도만을 파악할 수 있지만, 해양생물을 이용하게 되면 잔류농도를 파악함과 동시에 중금속의 축적에 따른 생물영향에 대한 정보까지 얻을 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점으로 해양환경의 오염정도를 평가하기 위해 연안지역에 서식하는 어류, 두족

류, 이매패류 등 다양한 지표생물을 이용한 생물오염모니터링이 널리 수행되었다 (Smith et al., 1984; Sadiq et al., 1996; Sures et al., 1997).

일반적으로 중금속은 비중이 4.0 이상의 무거운 금속을 일컫는다. 그 중에서 식품위생상 관심대상이 되는 중금속으로는 Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, As 등을 들 수 있고, 생체 축적성이 강하고 만성 독성을 일으키기 쉬운 것으로는 Hg, Cd, Pb 등을 들 수 있으며, 그리고 발암성 원소로는 As, Cr, Be, Ni 등을 들 수 있다. 이러한 중금속의 특징은 그 양이 미량일지라도 자연계에 축적되며, 식품을 통해 인체에 축적되어 건강상 위해를 일으킬 수 있는 물질이다 (Hwang et al., 2009).

1974년 FAO/WHO(Food and Agriculture Organization / World Health Organization) 합동회의에서는 오염감시대상이 되는 화학적 오염물질 중 특히 몇몇 중금속 (Pb, Hg, As, Cd 등)을 우선순위대상으로 선정하였으며, WHO에서는 수산식품 중의 중금속 함량에 관한 조사를 계속 수행하고 있다. 우리나라에서도 연안지역을 중심으로 퇴적물, 어류 및 패류 등에서 망간, 아연, 크롬, 구리, 납, 카드뮴을 비롯한 다양한 중금속 함량조사와 그에 따른 생태계영향 및 오염 모니터링 연구 등이 진행되고 있다 (Lee, 1980; Chung and Yoo, 1990; Hwang et al., 2001; Jun et al., 2007; Shim et al., 2009).

*Corresponding author: kgb@gun.ac.kr

그 일환으로, 우리나라 외해에서 채집된 살오징어를 대상으로 한 연구에서는 중금속이 상당히 높은 농도로 검출되었으며, 살오징어 간은 외투장에 비해 100배 이상 높은 카드뮴 농도를 나타내었다 (Kim et al., 2008). 특히 카드뮴의 경우 오징어 간을 일주일에 12 g 섭취하게 되면 국제보건기구 (WHO)가 정한 일주섭취허용한계 (Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)를 넘어서는 것으로 나타났다 (Kim et al., 2008). 살오징어의 경우 간을 포함한 내장기관을 직접 섭취하지 않으므로 섭취에 따른 인체 위해성 문제는 미비할 것으로 판단되나, 저서성 두족류인 낙지 (*Octopus minor*)의 경우 내장기관까지 섭취하므로 중금속에 대한 잔류농도 파악 및 낙지 섭취에 따른 인체 위해성 평가는 필수적이라고 판단된다. 또한 Bustamante et al. (1998)의 연구결과에 따르면 갑각류, 조개류, 다모류를 섭취하는 저서성 두족류 (낙지, 문어)의 경우 어류 및 다른 부유성 두족류를 섭취하는 부유성 두족류 (오징어)에 비해 체내에 중금속이 높은 농도로 축적되기도 하였다. 그러나 현재 국내에는 수산물에 대한 중금속 섭취허용기준은 제시되었으나, 낙지의 중금속 함량 및 낙지 섭취에 따른 인체 위해성에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

이러한 이유로 본 연구에서는 우리나라 조간대에 서식하는 저서성 두족류 낙지 (*Octopus minor*)를 연구대상으로 선정하였으며, 이 종은 평균 1년의 짧은 수명을 가지며 게나 새우, 조개류 등을 섭취하는 것으로 알려져 있다 (Chang and Kim, 2003; Kim, 2004). 또한 낙지와 같은 두족류는 아가미로 호흡하여 환경중의 오염물질 농도와 체내의 오염물질 농도가 빠르게 평형상태에 도달하는 것으로 알려져 있어 생물지시자로 활용되고 있다 (Butty and Holdway, 1997; Tanabe and Subramanian, 2006). 본 연구에서는 충남 서산에서 채집된 낙지에 축적되어진 카드뮴 (Cd), 구리 (Cu), 아연 (Zn)의 잔류농도를 파악하고, 식품으로써 낙지 섭취에 따른 인체 위해성을 파악함으로써 국민보건 향상에 기여하고자 하였다. 또한 이러한 연구를 통하여 낙지 섭취에 따른 위해성 평가의 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

시료채집

저서성 두족류 낙지 (*Octopus minor*, n=20)는 2008년 11월 충남 서산에서 암컷과 수컷 각각 10마리씩 총 20개 시료를 채집하여 즉시 냉동 보관하였다. 냉동낙지를 실험실로 옮긴 후 두장 길이와 조직 무게를 측정하여, 두장길이는 평균 10.4 cm, 낙지 전체무게는 평균 152.3 g (wet weight)으로 나타났다. 낙지 시료는 내장과 외투장으로 분리한 다음 Freeze Dryer/Lyophilizer TFD series를 이용하여 -80℃에서 동결건조하였다. 단, 내장은 각 내부기관별 분리가 어려워 외투장을 제외한 모든 부위를 합쳐 분석하였다.

분석방법

동결건조된 시료는 막자사발 (mortar)를 이용하여 분말화하였다. 중금속분석은 Canli and Atli (2003)의 실험방법을 일부

변경하여 수행하였다. 모든 시료의 수분함량을 측정하였으며, 외투장에서 78-83% (평균:81%), 내장에서 61-77% (평균:72%) 수분함량을 나타내었다. 건조시료 약 0.2 g을 정확히 측정하여 중금속 분석용 고순도 질산 (Merck, Germany)과 과염소산 (Merck, Germany)을 각각 5 mL, 1 mL씩 첨가하여 왕수 (질산:염산=1:3)와 질산용액 (질산:중류수=1:1)에 미리 세척되어진 테프론 용기 (Teflon bomb)에서 밀폐시켜 180℃에서 2시간 추출하였다. 이 때 용액이 완전히 투명해질 때까지 추출하였으며, 투명하게 되지 않은 시료는 소량의 과염소산을 첨가하여 추출과정을 반복하였다. 추출이 끝난 시료는 첨가되어진 산 용액을 증발시킨 후, 고밀도 폴리에틸렌병 (HDPE)에서 0.1 N 질산을 이용하여 최종 부피를 20 mL로 희석한 후 유도결합플라즈마 질량분석기 (ICP-MS, X-series, Thermo Elemental, 한국기초과학지원연구원)를 이용하여 정량·정성 분석하였다. 실험의 정확도 및 정밀도를 측정하기위해 매 실험마다 표준시료 (DOLT-3, National Research Council, Canada)를 낙지시료와 동일한 조건에서 분석하였다. 표준시료에서의 중금속 농도와 본 실험에서 검출된 표준시료 (n=4)의 농도를 Table 1에 나타내었다. 검출되어진 표준시료의 농도는 표준시료에서의 중금속 농도와 오차범위 내에서 일치하였으며, 카드뮴, 구리, 아연의 평균 회수율은 각각 101%, 98%, 101%였다. 모든 중금속의 농도계산은 건중량 무게로 계산하였다.

Table 1. Cd, Cu and Zn concentration (mg/kg, dry weight) of certified reference materials (CRM, DOLT-3) determined in this study and certified values

CRM (DOLT-3)	Cd	Cu	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
This study	20 ± 4.6	31 ± 0.7	88 ± 1.7
Certified value	19.4 ± 0.6	31.2 ± 1.0	86.3 ± 2.4

결과 및 고찰

낙지에서 검출된 중금속 농도

충남 서산에서 채집한 저서성 두족류 낙지에 대한 기본정보와 낙지의 카드뮴, 구리, 아연의 농도를 Table 2에 나타내었다. 내장 (internal organ)에서의 건중량기준으로 나타낸 카드뮴, 구리, 아연의 농도범위는 각각 3.6-19 mg/kg (평균 12±4.5 mg/kg), 86-1,500 mg/kg (평균 650±390 mg/kg), 230-930 mg/kg (평균 400±190 mg/kg)로 나타났으며, 외투장 (mantle)에서의 카드뮴, 구리, 아연의 농도범위는 각각 0.06-0.20 mg/kg (평균 0.11±0.05 mg/kg), 44-84 mg/kg (평균 64±11 mg/kg), 76-100 mg/kg (평균 93±7.2 mg/kg)로 나타났다.

낙지 내장에서는 구리가 다른 중금속에 비해 1.5-50배 이상 높은 농도를 나타내었으며, 구리 다음으로 아연, 카드뮴 순으로 높게 나타났다. 낙지를 비롯한 연체동물의 혈액에는 구리를 포함하는 색소인 헤모시아닌 (hemocyanin)이 있으며, 헤모시아닌은 산소와 결합하여 산소를 운반하는 역할을 한다. 따

Table 2. Heavy metal concentrations in *Octopus minor* (mg/kg dry weight)

sex	Head length (cm)	Weight (g)	Internal organ			Mantle				
			Moisture (%)	Cd	Cu	Zn	Moisture (%)	Cd	Cu	Zn
M	8.5	184.5	77	11	1300	620	83	0.08	63	100
M	10.3	161.1	75	11	830	450	82	0.07	53	97
M	11.2	134.3	70	3.6	430	290	78	0.06	59	100
M	10.1	189.2	75	12	950	420	83	0.09	59	93
M	12.2	202.8	74	13	270	280	83	0.08	72	96
M	10.3	241.5	74	13	100	300	81	0.16	44	100
M	10.3	131.4	75	11	280	310	82	0.14	57	85
M	10.5	132.5	74	8.9	1500	530	82	0.20	80	92
M	10.4	151.3	75	6.6	970	460	83	0.05	62	92
M	9.3	150.3	76	18	86	230	82	0.13	46	91
F	9.5	149.3	61	10	260	240	80	0.07	56	99
F	10.8	104.5	68	6.6	950	330	80	0.06	69	84
F	8.1	90.4	72	7.5	870	440	81	0.08	72	94
F	11.9	147.5	71	11	550	300	80	0.07	62	95
F	11.2	123.9	73	22	770	930	81	0.21	64	98
F	10.2	144.4	77	15	490	760	83	0.09	66	76
F	10.3	157.7	71	8.0	390	260	82	0.08	84	95
F	8.1	122.5	73	19	490	280	81	0.20	54	80
F	12.8	167.4	69	11	390	230	81	0.16	74	89
F	12.5	160.0	69	12	1000	410	80	0.13	85	91
Average	10.4	152.3	72	12	650	400	81	0.11	64	93
Stdev	1.3	34.3	3.7	4.5	390	190	1.4	0.05	11	7.2

라서 낙지 내장에서 구리가 가장 높은 농도를 나타낸 것은 실험전처리과정에서 혈액을 제거하지 않고 동결건조하여 분석하였기 때문에 혈액색소인 헤모시아닌에 의한 영향으로 생각되어진다. 같은 이유로 두족류인 앵무조개 (*Nautilus macromphalus*) 혈액 (hemolymph)에서의 구리농도도 1055 mg/kg으로 극단적으로 높은 값을 보여주었다 (Bustanmante et al., 2000). 낙지 외투장에서는 아연이 가장 높은 농도를 나타내었으며, 구리, 카드뮴 순으로 높게 나타났다. 분석되어진 세가지 중금속 중 아연 또한 구리와 마찬가지로 생물체를 이루는 필수원소이며, 해양생물의 조직에 고농도로 축적되는 것으로 알려져 있어 외투장에서 높은 농도를 나타낸 것으로 생각되어진다. 비필수원소인 카드뮴은 내장과 외투장에서 구리나 아연에 비해 50배 이상 낮은 농도를 나타내었다.

길이와 무게에 따른 중금속 농도

낙지 두장길이와 무게에 따른 중금속들의 농도변화를 알아본 결과 낙지의 크기 및 무게가 증가함에 따라 카드뮴, 구리, 아연의 농도가 증가하지 않는 것으로 나타났으며, 성별에 따른 농도차이 또한 나타나지 않았다 (Fig. 1). 따라서 낙지의 크기, 무게, 성별과 같은 생물학적 변수들과 카드뮴, 구리,

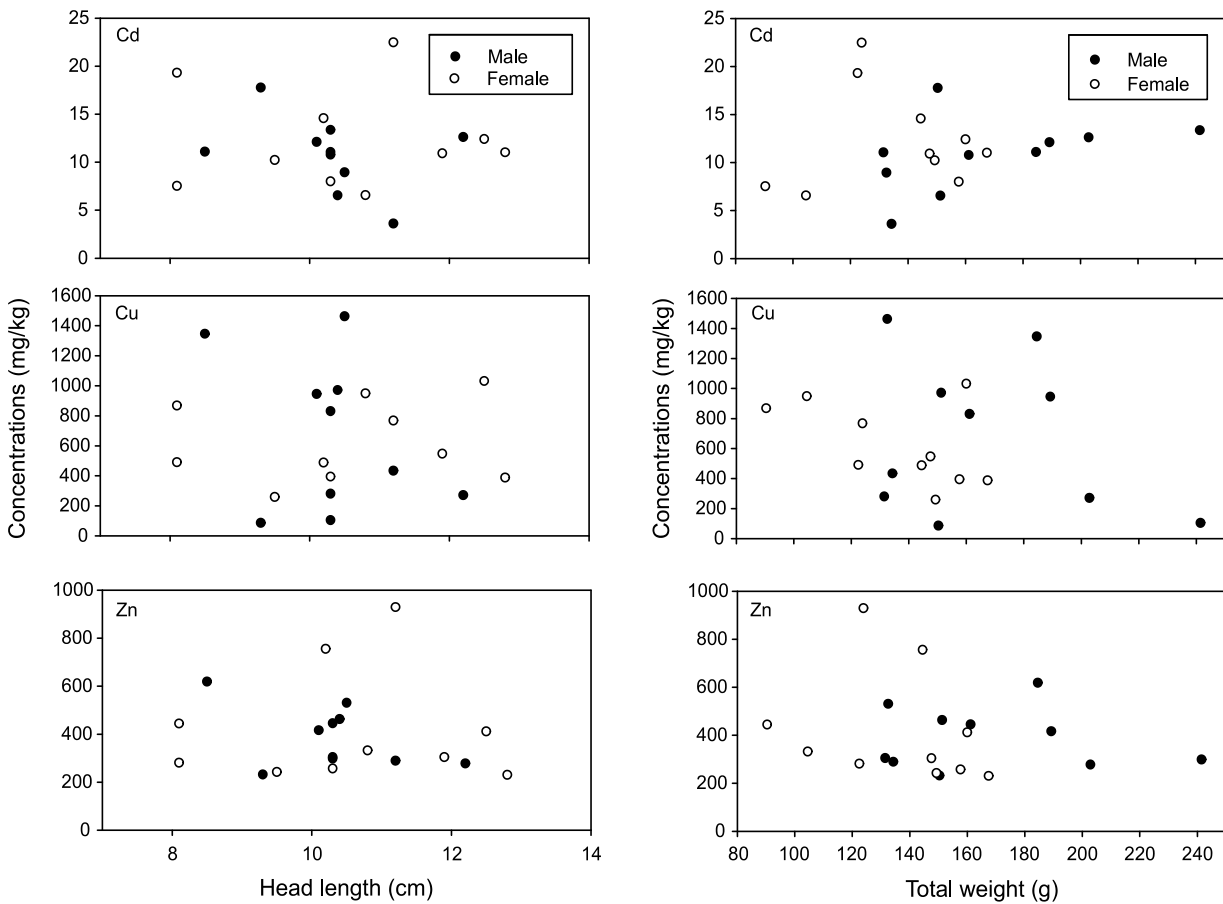


Fig. 1. Relationship between heavy metal concentrations and the head length and total weight of octopus (mg/kg dry weight).

아연의 축적 정도와는 관련이 없는 것으로 생각되어진다. 이러한 특징은 같은 두족류인 오징어에서도 유사하게 나타났다 (Kim et al., 2008). 그러나 Miramand et al. (2006)의 연구결과에 의하면 두족류의 배아 (embryo)부터 부화단계 (hatching), 부화 이후 일주일, 15일, 한 달에 이르기까지는 몸의 크기가 증가함에 따라 중금속 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 낙지에서 중금속 농도와 다른 생물변수 사이에 상관관계가 나타나지 않은 이유는 본 연구에 사용되어진 낙지는 11월에 채집되어, 조사지역에서의 낙지 산란시기가 4-6월인 것을 고려하면 충분히 성숙되었기 때문인 것으로 판단된다 (Kim, 2004). 또한 본 연구를 통해 향후 낙지를 이용한 생물모니터링에 있어서 8 cm 이상의 개체에서는 크기, 무게 및 성별을 고려할 필요 없이 채집하여 사용하여도 무방하다고 결론지을 수 있었다.

조직에 따른 중금속 농도의 분포

낙지에서 검출된 중금속의 농도는 내장이 외투장에 비해 10-100배 이상 높은 농도를 나타내었다 (Fig. 2). 일반적으로 두족류에서 검출된 중금속의 경우 내장이 외투장에 비해 상대적으로 높은 농도를 나타내고, 특히 내장기관 중 소화샘 (digestive gland)의 경우 두족류 전체 체중의 6-10%를 차지하며 체내로 공급된 오염물질을 흡수 또는 저장하는 기능을 가지고 있어 카드뮴, 철, 아연이 다른 중금속에 비해 10-100배 이상 높은 농도를 나타낸다고 한다 (Miramand and Bentley, 1992). 낙지 내장에서의 특징적인 중금속 축적정도를 파악하기 위해 내장 (혹은 소화샘)과 외투장에서의 카드뮴, 구리, 아연 농도를 Internal organ (or Digestive gland)/Mantle 비로 나타내었다 (Table 3). Coombs and George (1978)에 의하면 두족류에서 Digestive gland/Mantle 값은 Cr, Mn, Ni, Pb, V, Zn의 경우 10 이하로 낮게 나타나고, Co, Cu, Fe의 경우 10-50을, Ag, Cd의 경우 50 이상의 매우 높은 비 값을 나타낸다고 하였다. 본 연구지역에서 채집된 낙지에서의 Internal organ/Mantle 값은 카드뮴이 100 이상으로 구리, 아연에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내었다 (Table 3). 만약 내장에서 소화샘 (digestive gland)만을 분리하여 분석하였다면 보다 높은 Digestive gland/Mantle 값을 나타낼 것으로 예상되어진다. 따라서 낙지 내장에서 고농도로 축적되어진 카드뮴은 생물독성을 유발할 수 있을 것으로 생각되어지며, 카드뮴의 생물축적은 고래와 같은 두족류를 섭이하는 상위포식자에게로 카드뮴이 이동할 수 있는 중요한 경로가 될 수 있을 것으로 판단되어진다.

Table 3. The ratio between the concentrations of heavy metals in digestive gland or internal organ and mantle

Ratio	Species	Cd	Cu	Zn	Reference
I/M ^a	<i>Octopus minor</i>	109	10	4	This study
D/M ^b	<i>Octopus vulgaris</i>	144	11	21	Raimundo et al., 2004
D/M ^b	<i>Eledone cirrhosa</i>	106	30	7	Miramand and Bentley, 1992
D/M ^b	<i>Octopus vulgaris</i>	6,125	97	21	Miramand and Guary, 1980

^aInternal organ/Mantle.

^bDigestive gland/Mantle.

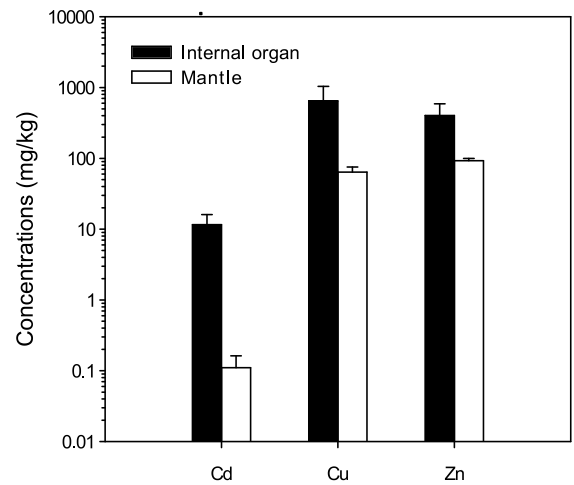


Fig. 2. Cd, Cu and Zn concentrations in internal organ and mantle of octopus (mg/kg dry weight).

문어목 문어과에 속하는 낙지 내장에서 검출된 중금속 농도와 다른 연구지역에서 채집된 같은 문어과 *Octopus vulgaris* 와 *Eledone cirrhosa*의 소화샘 (digestive gland)에서의 중금속 농도를 비교한 결과를 Table 4에 나타내었다. 본 연구의 낙지 내장에서 검출된 카드뮴 농도는 포르투갈 연안, 프랑스 연안, 지중해 연안에서 채집된 낙지에 비해서 약 4배 이상 낮은 농도를 나타내었다. 구리와 아연의 경우 지중해 연안보다는 상대적으로 낮고, 포르투갈 연안과 유사한 농도를 나타내었으며, 프랑스 연안에 비해 매우 높은 농도를 나타내었다. 이러한 지역 간의 농도비교로부터 본 연구지역에서 채집된 낙지의 중금속 오염정도는 상대적으로 낮은 것으로 판단되어진다. 그러나 낙지에서 검출된 중금속의 절대농도 비교에 있어서 기존의 연구 자료가 충분하지 않아 두족류 내 중금속 농도에 대한 자료비교에는 일부 한계점을 나타내었으며, 본 연구에서 내장시료로부터 소화샘을 분리하여 분석한다면 중금속 농도가 더 높게 검출될 것으로 생각되어진다. 그러므로 두족류를 통한 지역 간 중금속 오염도 비교를 위해서는 보다 많은 연구가 수행되어져야 할 것이다.

Table 4. Comparison of heavy metal concentrations (mg/kg dry weight) in octopus according to species and geography

Species	Site	Tissue	Cd	Cu	Zn	Reference
<i>Octopus minor</i>	Seosan, Korean coast	Internal organ	11.5±4.50 (3.9-19)	646±394 (86-1,463)	403±186 (231-929)	This study
<i>Octopus vulgaris</i>	Portuguese coast	Digestive gland	(10-252)	(639-1,597)	(410-2,873)	Raimundo et al., 2008
<i>Octopus vulgaris</i>	Portuguese coast	Digestive gland	(20-269)	(137-1,465)	(198-14,721)	Raimundo et al., 2005
<i>Octopus vulgaris</i>	Portuguese coast	Digestive gland	(19.5-759)	(138-3,160)	(197-14,600)	Raimundo et al., 2004
<i>Eledone cirrhosa</i>	French coast	Digestive gland	95±2	80±2	60±8	Miramand and Bentley, 1992
<i>Octopus vulgaris</i>	Mediterranean Sea	Digestive gland	48.9±9.97	2,520±705	1,440±398	Miramand and Guary, 1980

*The number in parenthesis means the range of concentrations.

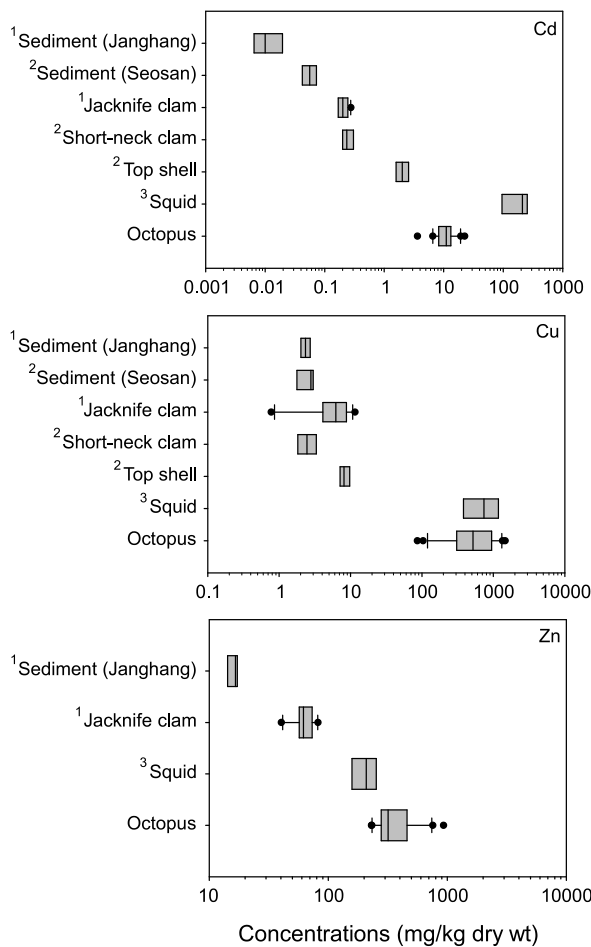


Fig. 3. Comparison of heavy metal concentrations in sediment and biota (¹Hwang et al., 2001; ²Kim, 2002; ³Kim et al., 2008).

다른 매질과의 비교

낙지 내장에서의 중금속 농도와 본 연구지역인 충남 서산파이의 인접지역인 장항 지역의 퇴적물 및 생물 (소라, 바지락, 맛조개, 오징어)에서의 중금속의 농도를 Fig. 3에 나타내었다. 카드뮴의 경우 퇴적물에서 가장 낮은 농도를 나타내었으며, 소라 (Top shell, *Batillus cornutus*), 바지락 (*Short-neck clam, Raditapes Philippinarum*), 맛조개 (Jacknife clam, *Solen Strictus Gould*)는 낙지 (octopus)보다 낮은 농도를 나타내었고, 오징어 (squid)에서 가장 높은 농도를 나타내었다. 구리와 아연의 경우 생물에 따라 다소 차이는 있지만, 카드뮴과 유사하게 퇴적물, 이때패류, 두족류 순으로 중금속 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 낙지는 게, 새우, 조개류를 섭이하고 특히 칠게 (*Macrophthalmus japonicus*)를 주로 섭이하는 것으로 알려져 있으며, 낙지가 주로 섭이하는 칠게의 경우 갯벌에 굴을 파서 유기체설물을 섭이하며 생활하는 것으로 보고되었다 (Kwon et al., 2008). 따라서 퇴적물에 흡착된 중금속을 축적하는 퇴적물식자 칠게 및 조개류를 주로 섭이하는 낙지의 특성에 의해

낙지에서 높게 나타난 중금속 농도는 먹이사슬을 따라 증가하는 것으로 판단되어진다. 따라서 카드뮴, 구리, 아연의 경우 먹이 단계가 증가함에 따라 중금속 농도 또한 증가하는 먹이 확대 (biomagnification)를 나타내었다. 또한 이러한 결과를 통하여 두족류를 포식하는 상위영양단계 생물인 포유류의 경우에는 두족류를 섭식함으로써 체내 중금속 축적에 따른 생물독성 유발 가능성 또한 배제할 수 없을 것으로 판단되어진다.

낙지 섭취에 따른 중금속의 인체 위해성 평가

우리나라 외해에서 채집된 살오징어에서 중금속이 높은 농도로 검출되었으며, 일부 중금속의 경우 오징어 간을 일주일에 약 12 g 섭취하게 되면 국제보건기구 (WHO)가 정한 일주허용섭취한계 (Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)를 넘어서는 것으로 나타났다 (Kim et al., 2008). 오징어에 비해 낙지는 전체를 식품으로 간주하여 섭취함으로써 인체 위해성이 우려되었으나, 낙지에서 카드뮴 농도 (평균 12±4.5 mg/kg dry wt)는 오징어 (평균 198±239 mg/kg dry wt, Kim et al., 2008)에 비해 10배 이상 낮게 나타났다.

낙지의 섭취에 따른 안전성을 평가하기 위해 WHO (2003)에서 제시한 1일 섭취허용량을 활용하였으며, 70 kg 성인기준 1일 중금속 섭취 허용량은 카드뮴, 구리, 아연이 각각 0.07 mg/day, 3.5-35 mg/day, 21-70 mg/day로 나타났다 (섭취량 기준). 낙지 내장이 외투장에 비해 4-100배 이상의 높은 농도를 나타냄에 따라 (Table 3), 낙지 1일 섭취 허용량을 계산하기 위해 낙지 내장에서 검출된 중금속의 평균농도를 수분함량 80%로 환산하여 계산하고, 70 kg 성인이 낙지를 섭취하는 조건을 기준으로 1일 낙지 섭취 허용량을 계산한 결과 카드뮴의 경우 낙지를 하루에 31 g, 구리는 28-280 g, 아연은 290-970 g 섭취하였을 때 WHO에서 제시한 1일 중금속 섭취허용기준에 도달하는 것으로 나타났다. 따라서 우리나라 국민 1인당 낙지 1일 평균 섭취량이 1.2 g임을 고려하였을 때 (KHIDI, 2002), 중금속에 따른 일일낙지섭취허용량은 카드뮴의 경우 국민 1일 낙지 평균 섭취량의 약 30배, 구리는 23-230배, 아연은 240-800배 이상 높은 것으로 나타나, 본 연구 대상 중금속 3가지에 의한 인체 위해성은 미비하다고 판단된다. 그러나 일반인보다 낙지를 많이 섭취하는 어촌 지역 주민과 낙지 전문점을 자주 이용하는 미식가의 경우에 낙지를 장기간, 자주 섭취할 경우 중금속에 따른 인체 위해성을 나타낼 가능성이 있으므로 낙지 내장을 제거한 후 섭취하는 것이 위해성을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 “저서성 두족류에서의 중금속 및 브롬계 화합물의 해양오염도 평가 (한국학술진흥재단의 2008년도 기초연구 과제)”에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Bustamante P, Caurant F, Fowler SW and Miramand P.

1998. Cephalopods as a vector for the transfer of cadmium to top marine predators in the north-east Atlantic Ocean. *Sci Total Environ* 220, 71-80.
- Bustamante P, Grigrioni S, Boucher-Rodoni R, Caurant F and Miramand P. 2000. Bioaccumulation of 12 trace element in the tissues of the Nautilus *Nautilus macromphalus* from New Caledonia. *Mar Pollut Bull* 40, 688-696.
- Butty JS and Holdway DA. 1997. Assessment of the octopus, *Octopus pallidus*, as a potential bioindicator species of xenobiotic challenge. *Mar Pollut Bull* 34, 564-570.
- Canli M and Atli G. 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environ Pollut* 121, 129-136.
- Chang DJ and Kim DA. 2003. Characteristics by the behaviour and habits of the common octopus (*Octopus minor*). *J Kor Fish Soc* 36, 735-742.
- Chung SJ and Yoo KB. 1990. A study on the heavy metal contents of fresh water fishes in the Keum river. *Korean J Environ Biol* 8, 59-69.
- Coombs TL and George SG. 1978. Mechanisms of immobilization and detoxification of metals in marine organisms. In: McLusky D.S. and A.J. Berry (eds.) *Physiology and behaviour of marine organisms*. Oxford and New York Pergamon Press, U.S.A., 179-187.
- Goyer R.A. In Ambur M.O. Doull J and Klaassen C.D. 1996. Toxic effects of metals. *Toxicology* 5th edition, Pergamon Press Inc, New York, U.S.A., 846-651.
- Hwang GS, Shin HS, Kim K, Yeo SK and 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.
- Hwang YO, Kim SU, Ryu SH, Ham HJ, Park GY and Park SG. 2009. Contents of mercury, lead, cadmium, and arsenic in dried marine products. *Analytical science and technology* 22, 336-344.
- Jun JY, Xu X and Jeong I. 2007. Heavy metal contents of fish collected from the Korean coast of the East sea(Donghae). *J Kor Fish Soc* 40, 365-366.
- KHIDI, Korea Health Industry Development Institute. 2002. Report on 2001. National health and nutrition survey -Nutrition survey I 260, II 334.
- Kim DS. 2004. Studies on reproductive ecology, growth and variation of local populations of *octopus minor*. PhD. thesis, Mokpo National University, 153.
- Kim GB, Kang MR and 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.
- Kim MK. 2002. A heavy metal concentrations in sediments and shellfish from western coast around Tae-An and Seo-san. *J Kor Soc Environ Admin* 8, 419-425.
- Kwon, DH, O.I. Choi OI, Ko BS and Song JH. 2008. Age and growth of the crab *Macrophthalmus japonicus* from tidal flat of Hui island, Jeollanamdo, Korea. *J Kor Fish Soc* 41, 261-266.
- Lee BG. 1980. WHO's New Recommendation to the Permissible Levels of Toxic Substances. *Korean J Occup Health* 19, 89.
- Miramand P and Bentley 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. *Ecol Prog Ser* 4, 127-129.
- Miramand P and Guary JC. 1980. High concentrations of some heavy metals in tissues of the Mediterranean octopus. *Bull Envir Contam Toxic* 24, 783-788.
- Miramand P, Bustamante P, Bentley D and 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.
- Newman MC and McIntosh AM. 1991. *Metal ecotoxicology*. Lewis Publishers. Chelsea Michigan, U.S.A., 33-64
- Raimundo J, Caetano M and Vale C. 2004. Geographical variation and partition of metals in tissues of *Octopus vulgaris* along the Portuguese coast. *Sci Total Environ* 325, 71-81.
- Raimundo J, Pe reira P, Vale C and Caetano M. 2005. Fe, Zn, Cu and Cd in the digestive gland and muscle tissues of *Octopus vulgaris* and *Seppia officinalis* from coastal areas in Portugal. *Ciencias Marinas* 31, 243-251.
- Raimundo J, Vale C, Duarte R and Moura I. 2008. Sub-cellular partitioning of Zn, Cu, Cd and Pb in the digestive gland of native *Octopus vulgaris* exposed to different metal concentrations (Portugal). *Sci Total Environ* 390, 410-416.
- Sadiq M, Mian AA and 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.
- Michael CN and McIntosh AM. 1991. Metal ecotoxicology. Lewis Publishers 33-64.
- Shim KB, Cho M.R, Lee TS and Kim JH. 2009. Contents of Heavy Metals in Fishes from the Korean Coasts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38(4), 517-524.
- Smith JD, Plues L, Heyraud M and Cherry RD. 1984. Concentrations of the elements Ag, Al, Ca, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb and Zn and the radionuclides ^{210}Pb and ^{210}Po in the digestive gland of the squid *Nototodarus gouldi*. *Mar Environ Res* 13, 55-68.
- Sures B, Taraschewski H and 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.
- Tanabe S and Subramanian A. 2006. Bioindicators of POPs, Monitoring in developing countries. Kyoto University Press, Kyoto, J.P.N., 65-72.
- WHO, World Health Organization. 2003. Summary and Conclusions of the Sixty-First Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), Rome, 10-19 June, 2003. JECFA/61/SC. World Health Organization, Geneva.
- Zakrzewski SF. 1997. Principles of environmental toxicology. 2th edition. American Chemical Society, Washington DC, U.S.A.

2010년 3월 8일 접수
 2010년 5월 20일 수정
 2010년 6월 10일 수리