

## 한국산 주요 식용해조류의 미량금속 함량 및 안전성 평가

목종수<sup>†</sup> · 박희연 · 김지희

국립수산과학원 식품위생팀

### Trace Metal Contents and Safety Evaluation of Major Edible Seaweeds from Korean Coast

Jong-Soo Mok<sup>†</sup>, Hee-Yeon Park and Ji-Hoe Kim

Food Sanitation Research Team, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea

#### Abstract

To assure the safety of the major edible seaweeds, we collected the 176 samples of seaweeds such as laver (*Porphyra* sp.), sea mustard (*Undaria pinnatifida*), sea tangle (*Laminaria japonica*) and sea lettuce (*Enteromorpha* sp.) from Korean coast. We investigated the contents of the trace metals in the edible seaweeds, and the values were expressed as the dry weight of sea weeds. The mean levels of the trace metals were high in the order of Zn ( $36.19 \pm 27.14 \mu\text{g/g}$ ), Mn ( $28.75 \pm 28.03 \mu\text{g/g}$ ), and Cu ( $6.82 \pm 7.62 \mu\text{g/g}$ ), which are necessary metals in the human body, and then followed by Cr ( $1.54 \pm 2.07 \mu\text{g/g}$ ), Ni ( $1.29 \pm 2.57 \mu\text{g/g}$ ), Pb ( $0.89 \pm 1.11 \mu\text{g/g}$ ), Cd ( $0.72 \pm 0.80 \mu\text{g/g}$ ) and Hg ( $0.01 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ ). The contents of Cd and Zn were high in the laver, Cr, Ni and Pb were detected highly in sea lettuce, and Hg was detected highly in sea tangle. Significant linear correlations were obtained among 28 different pairs of metals, some of them highly correlated ( $r > 0.5$ ,  $p < 0.05$ ), such as Ni-Mn, Zn-Ni, Cu-Pb and Cu-Zn in laver, Ni-Zn in sea mustard, Cu-Pb, Cu-Zn and Mn-Pb in sea tangle, and Ni-Cr in sea lettuce. And, the trace metal contents of seaweeds varied with parts and kinds of samples. The average weekly intakes of Hg, Cd and Pb from seaweeds were about 0.07~3.57% of PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intakes) which has set by FAO/WHO to evaluate the safeties of trace metals in food. Therefore, it was found that they showed very safe levels in the edible seaweeds.

**Key words:** edible seaweed, trace metal, safety of the major edible seaweeds, provisional tolerable weekly intakes

#### 서 론

우리나라에서는 예로부터 해조류를 즐겨 식용해 왔고, 세계에서 해조류를 많이 소비하는 국가 중의 하나이다. 근년 양식기술의 발달로 김, 미역 및 다시마 등 해조류의 생산량이 증대되어 2002년도에는 약 50만 톤이 생산되었으며, 이 중 15만 톤 정도가 수출되었고 5만 톤 정도를 수입하여 우리 국민에게 약 40만 톤이 공급되었다(1). 또한, 국민영양 조사 결과 보고(2)에 의하면 우리 국민이 섭취하는 식품의 총량은 1인 1일 평균 1,314.7g(식물성 1,052.9g 및 동물성 261.8g)이었으며, 이 중 수산물인 어패류를 64.1g(4.88%), 해조류를 9.0g(0.69%) 섭취하는 것으로 나타나있다. 해조류는 2세 이하의 유아를 제외하고는 연령별로는 뚜렷한 차이 없이 골고루 섭취하는 것으로 나타났으며, 김, 미역, 다시마, 파래 순서로 많이 섭취하는 것으로 보고되었다.

해조류는 육상의 일반 야채류와 마찬가지로 단백질, 지질, 탄수화물 등 일반 영양성분을 함유하고 있는 것은 물론, 육

상 야채류에 비하면 다양한 종류의 미네랄을 풍부하게 함유하고 있다. 특히 칼슘, 마그네슘, 요오드, 철, 아연 등 필수 미량원소의 함유량이 높은 것이 특징이다. 또한 종류에 따라서는 특이한 생리활성을 나타내는 식이섬유를 비롯한 각종 유효성분도 함유하고 있으며, 소위 성인병과 비만 예방효과가 있다는 것이 여러 연구에서 밝혀져 있어 최근에는 건강식품으로서도 주목받고 있다(3,4).

그러나 근년 우리나라는 급속한 산업발전에 따라 각종 생활오수, 산업폐수 등에 의하여 하천 및 연안 해역 등의 환경오염이 가속화되고 있다. 육상에서 연안 수역으로 유입된 유해 미량금속 등의 오염물질들은 희석, 확산, 분해 등의 과정을 거치면서 점차 감소된다. 반면, 이와는 반대로 생물에 있어서는 생물농축 과정을 통하여 오히려 농축되므로, 대부분 연안에서 서식하고 있는 김, 미역, 다시마 등의 해조류는 오염의 우려가 있어 식품 위생상 문제가 될 수 있다. 지금까지 우리나라에서 해조류의 미량금속 함량에 대하여 많은 연구가 보고되고 있으나(3,5-9), 이러한 연구들은 대부분 특정

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: mjs@nfrdi.re.kr  
Phone: 82-51-720-2641. Fax: 82-51-720-2619

한 품종 및 지역에 대한 단편적인 조사일 뿐 전국 연안산 해조류의 미량금속 함량에 대해서는 자세히 알려져 있지 않다.

이에 저자들은 우리나라 연안에 서식하는 식용은 물론 비식용 해조류에 대한 지역별 및 종류별 미량금속 함량을 파악하여 외국의 경우와 비교 검토한 전보(10)에 이어 우리 국민들이 많이 섭취하는 김, 미역, 다시마, 파래 등 주요 식용해조류 중의 미량금속 함량을 파악하고, 이들 식용해조류를 통한 미량금속의 섭취량을 검토하여 식품위생학적 안전성을 평가하였다.

재료 및 방법

시료

실험에 사용한 김(*Porphyra* sp.), 미역(*Undaria pinnatifida*), 다시마(*Laminaria japonica*) 및 파래(*Enteromorpha* sp.) 등 식용해조류 176건의 시료는 2001년 1월부터 2002년 6월까지 전국 연안의 조간대에서 직접 채취하였으며, 일부 양식 해조류의 경우 지선 위판장에서 구입하였다. 채취한 시료는 조체에 부착되어 있는 협잡물 등을 현지의 해수로 세정하여 제거한 후 빙장상태로 실험실로 운반하여 분석에 사용하였다.

미량금속 분석

수집한 시료는 탈이온수로 가볍게 씻어 음건하여 분쇄한 후, 105°C에서 건조하여 분석에 사용하였다. 해조류의 미량금속 함량은 Standard methods for marine environment (11)에 따라 측정하였다. 즉, 수은(Hg)은 Gold-amalgam법으로 Mercury analyzer(Milestone, AMA-254, Sorisole, Italy)를 사용하여 직접 측정하였다. 그리고 그 외 미량금속의 함량은 습식회화법에 따라 건조시킨 분말시료 약 2 g을 취하고 질산(Merck, supra-pure grade, Germany) 및 과염소산(Merck, supra-pure grade, Germany)을 사용하여 분해시킨 후 용액을 증발시키고 0.2 N 질산용액으로 재용출하여 100 mL로 정용하였다. 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 아연(Zn), 크

롬(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 건조중량을 기준으로 나타내었다. 또한, 각 금속별 회수율은 시료와 동일한 방법으로 sea lettuce(*Ulva lactuca*, BCR-CRM 279, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 측정하였으며, 모든 시료의 측정치는 회수율을 대입하여 계산한 후 결과에 활용하였다.

통계처리

본 실험에서 얻어진 모든 결과는 평균과 표준편차를 구하였으며, 식용 해조류간의 미량금속함량에 대한 유의성 검정은 Multiple comparison test(Tukey)로 실시하였다. 그리고 미량금속 함량간의 상관관계는 SPSS(Statistical Package for Social Science)를 이용하여 Pearson correlation coefficient를 구하여 상호 관련성을 살펴보았다.

결과 및 고찰

주요 식용해조류의 미량금속 함량

우리나라 연안에서 수집한 김(33건), 미역(88건), 다시마(12건), 파래(43건) 등 총 176건의 주요 식용 해조류 시료에 대한 미량금속 함량을 Table 1에 나타내었다. 식용 해조류의 미량금속별 평균함량은 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/g이었다. 주요 식용해조류의 미량금속은 아연, 망간, 구리 순으로 우리 체내에서 없어서는 안 되는 필수 성분들의 함량이 높았으며(p<0.05), 다음으로 크롬, 니켈, 납, 카드뮴, 수은 순이었다.

주요 식용해조류의 미량금속 함량의 유의성을 검정하기 위하여 multiple comparison test를 실시하였으며, 미량금속 함량은 해조류와 미량금속의 종류에 따라 매우 상이하게 나타났다(Table 1). 즉, 수은의 경우는 다시마(평균 0.03 µg/g),

Table 1. Trace metal concentration of major edible seaweeds in Korean coast

Seaweed	Trace metal concentration (µg/g dry weight)								No. of Samples
	Hg	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	
<i>Porphyra</i> sp.	ND <sup>1)</sup> ~0.01 (0.01±0.00) <sup>2)</sup>	ND~5.18 (1.60±1.19)	ND~2.68 (0.70±0.63)	1.78~44.37 (11.02±10.19)	11.35~141.24 (39.25±23.11)	ND~1.57 (0.54±0.44)	ND~1.96 (0.31±0.38)	11.82~129.72 (56.96±31.49)	33
<i>Undaria pinnatifida</i>	ND~0.10 (0.01±0.02)	ND~2.16 (0.60±0.46)	ND~3.91 (0.77±0.79)	0.13~29.93 (3.69±3.81)	1.99~124.96 (17.72±19.31)	ND~29.17 (0.90±3.11)	ND~5.22 (0.93±1.02)	8.88~199.95 (34.37±28.22)	88
<i>Laminaria japonica</i>	ND~0.08 (0.03±0.03)	ND~2.53 (0.48±0.70)	0.02~1.40 (0.51±0.44)	ND~4.53 (1.93±1.24)	2.55~37.07 (12.24±12.08)	ND~0.71 (0.21±0.23)	ND~1.66 (0.47±0.45)	4.22~38.09 (16.74±9.10)	12
<i>Enteromorpha</i> sp.	ND~0.09 (0.02±0.02)	ND~2.12 (0.35±0.48)	ND~13.10 (4.05±2.78)	0.74~51.47 (11.35±8.37)	9.36~200.90 (47.89±35.51)	0.21~8.82 (2.95±1.86)	ND~7.99 (1.39±1.51)	10.94~59.58 (29.30±11.95)	43
Total	ND~0.10 (0.01±0.02)	ND~5.18 (0.72±0.80)	ND~13.10 (1.54±2.07)	ND~51.47 (6.82±7.62)	1.99~200.90 (28.75±28.03)	ND~29.17 (1.29±2.57)	ND~7.99 (0.89±1.11)	4.22~199.95 (36.19±27.14)	176

<sup>1)</sup>Not detectable. <sup>2)</sup>Parenthesis represents values of mean±S.D.

파래(평균 0.02 µg/g) 순으로 높은 함량을 나타내었다( $p < 0.05$ ). 카드뮴은 김에서 그리고 크롬은 파래에서 가장 높게 검출되었으며( $p < 0.05$ ), 나머지는 유의적 수준이 아닌 비슷한 검출 농도를 나타내었다. 구리와 망간은 파래와 김에서 비슷한 농도로 높게 검출되었으며( $p < 0.05$ ), 니켈은 파래에서 평균 2.95 µg/g로 가장 높게 검출되었고( $p < 0.05$ ), 나머지는 유의적 수준이 아니었다. 납은 파래에서 가장 높게 검출되었으며( $p < 0.05$ ), 다음으로 미역, 다시마, 김 순이었다. 아연은 김(평균 56.96 µg/g)에서 가장 높게 검출되었고( $p < 0.05$ ), 나머지는 유의적 수준이 아니었다. 이상의 결과를 요약하면, 김에서는 카드뮴과 아연이 가장 높게, 그리고 파래에서는 크롬, 니켈 및 납이 가장 높게 검출되었고( $p < 0.05$ ), 다시마에서는 수은이 가장 높게 검출되는 경향을 나타내었다( $p < 0.05$ ). Ishii 등(12)은 해조류의 종에 따른 미량원소의 농도 차이가 있는 것은 종에 따른 외형적인 형태구조 뿐만 아니라 세포의 구성물질, 동화생산물 등에 있어서도 현저히 다른 점에서 기인하는 것이라고 보고하였다.

주요 식용해조류의 미량금속 농축계수는 국립수산과학원(13)에서 조사한 우리나라 연안 해수의 미량금속 평균농도를 기준으로 시료의 건조 중량에 대하여 산출하였다(Fig. 1). 이때, 카드뮴과 아연의 농축계수는 김에서 각각 약 12,000 및 14,000으로 가장 높았고, 크롬과 납은 파래에서 각각 약 23,000 및 2,500으로 가장 많이 농축되었다. 또한, 구리는 김과 파래에서 약 5,500으로 많이 농축되었다. 이상의 결과에서 파래는 특이적으로 크롬을, 그리고 김은 카드뮴과 아연을 많이 농축하는 것으로 확인되었으며, 갈조류(미역, 다시마)는 홍조류(김)나 녹조류(파래)보다 이들 금속을 적게 농축하는 것으로 판단되었다. Conti와 Cecchetti(14)의 보고에 의하면 갈조류로 부채말의 일종인 *Padina pavonica*는 녹조류인 갈파래(*Ulva lactuca*)보다 미량금속을 더 많이 농축하는 것

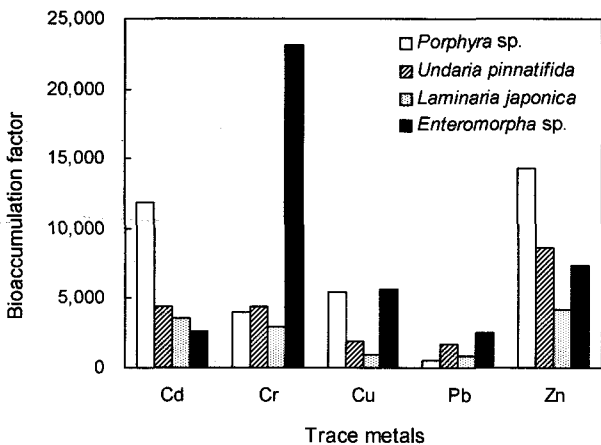


Fig. 1. Bioaccumulation factor calculated by dividing the mean metal concentration (µg/g dry weight) of seaweed by the mean metal concentration (µg/mL) of sea water in Korean coast.

The mean metal concentrations of sea water published by NFRDI (13) are used for calculating bioaccumulation factor.

으로 나타나, 본 연구의 결과와는 상이하였다. 반면, 이들은 갈파래가 건조함량 기준으로 아연(8,180), 크롬(5,280), 구리(4,880), 카드뮴(1,430), 납(1,190) 순으로 많이 농축하는 것으로 보고하여, 우리의 식용 파래류가 크롬>아연>구리>카드뮴>납 순으로 많이 농축하는 것과 비교해보면, 크롬이 아연보다 높은 것을 제외하고는 비슷한 경향을 보였다.

본 연구에서 조사된 주요 식용해조류의 미량금속별 함량은 국내 연안산 식용해조류(5), 캐나다(15) 및 일본(16)에서 생산된 식용해조류와 납을 제외하고는 거의 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 2). 김은 납을 제외하고는 Choi 등(5)의 결

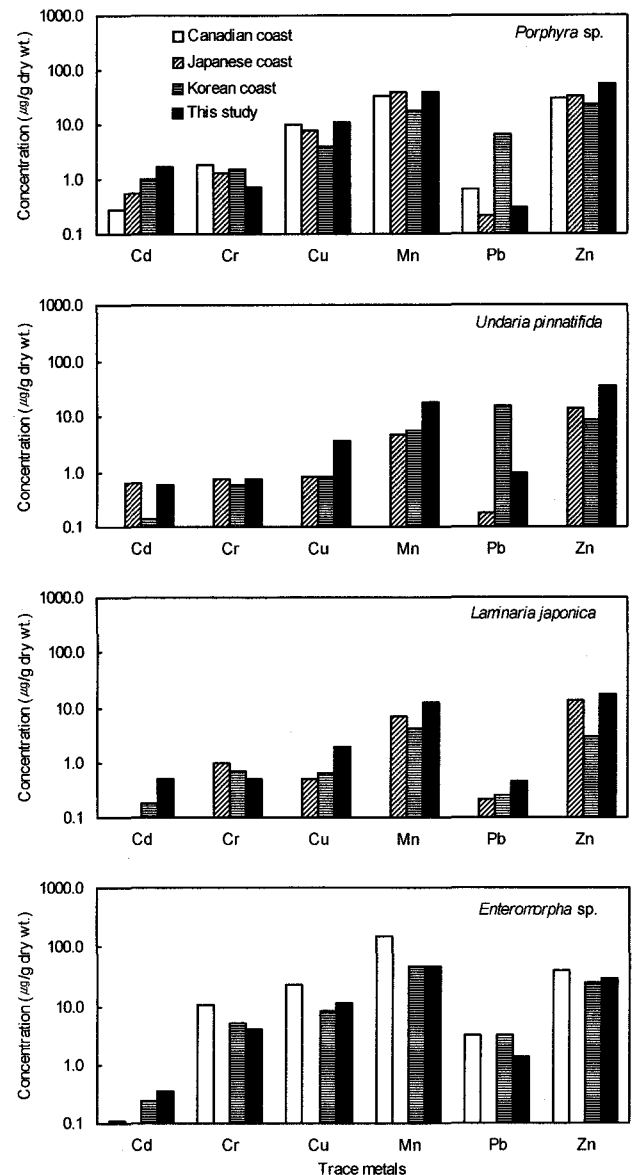


Fig. 2. Comparison of bibliographical data on trace metal concentrations (µg/g dry weight) of major edible seaweeds from different geographical area.

Reference results are obtained from seaweeds of Canadian coast (Phaneuf et al., 15), Japanese coast (van Netten et al., 16) and Korean coast (Choi et al., 5).

과와 대체로 비슷한 농도로 검출되었으며, 카드뮴의 경우는 우리나라에서 생산된 것이 캐나다(15) 및 일본(16)에서 생산된 것보다 다소 높게 나타났다. 미역에서 구리, 망간 및 아연 등의 인체 필수성분은 Choi 등(5)의 결과 및 일본산(16)보다 높게 검출되었으나, 카드뮴은 일본산(16)과는 비슷하나 Choi 등(5)의 결과보다는 높게 검출되었으며, 납은 Choi 등(5)의 결과보다는 낮게, 그리고 일본산(16)보다는 높게 검출되는 경향을 나타내었다. 또한, 다시마는 크롬을 제외하고는 대체로 일본산(16) 및 Choi 등(5)의 결과보다 다소 높게 검출되었으며, 파래는 카드뮴을 제외하고 대체로 캐나다산(15)보다는 낮게, Choi 등(5)의 결과와는 비슷한 농도로 검출되었다.

우리나라에서 수산물에 대한 중금속 허용기준은 어패류에 대해서만 설정되어 있을 뿐 해조류에 대한 기준은 아직 설정되어 있지 않다(17). 그래서 해산 어패류의 중금속 잔류 허용농도인 생물기준으로 수은 0.5 µg/g, 납 및 카드뮴 2.0 µg/g과 비교할 때 식용 해조류의 미량금속 평균함량은 건조한 상태에서도 이러한 기준에 미치지 못하였으며, 해조류의 수분함량이 약 70~90%인 점을 감안하면(18) 기준치에 훨씬 미달하는 대단히 안전한 수준이었다.

주요 식용해조류의 미량금속 성분간 상관관계

주요 식용해조류에 함유된 미량금속 함량간의 상관관계는 Table 2와 3에 각각 나타내었으며, 김에서 니켈은 망간(r=0.536), 아연(r=0.523) 및 크롬(r=0.499)과, 구리는 납(r=

0.531) 및 아연(r=0.518)과, 크롬은 망간(r=0.499)과 p<0.01수준에서 높은 상관관계를 보였다. 미역의 경우는 니켈-망간(r=0.634) 사이에 p<0.001수준에서 높은 상관관계를 나타내었으며, 크롬-망간(r=0.390), 아연-납(r=0.360) 및 니켈-크롬(r=0.293) 사이에 p<0.01수준에서 낮은 상관관계를 보였다. 다시마의 경우는 구리-납(r=0.671), 구리-아연(r=0.578) 및 망간-납(r=0.653)과 p<0.05수준에서 높은 상관관계를 보였으며, 수은-크롬(r=0.534) 및 수은-구리(r=0.413), 망간-구리(r=0.473) 사이에 높은 상관관계를 보였으나 유의 수준은 아니었다. 파래에서는 니켈-크롬(r=0.789) 사이에 p<0.001수준에서 높은 상관관계를 나타내었으며, 망간은 크롬(r=0.463) 및 니켈(r=0.417)과 p<0.01수준에서 낮은 상관관계를 나타내었다.

이상의 결과에서 다시마에서는 망간과 납 사이에 특이적으로 높은 상관관계를 나타내었으며, 금속 간에 상관관계도 같은 갈조류인 미역 그리고 녹조류인 파래와 전혀 다른 경향을 나타내었다. 김, 미역, 파래에서는 니켈-망간, 니켈-크롬 및 망간-크롬 간에는 높은 상관관계를 나타내어 다른 금속들과 뚜렷한 차이를 보였으며, 특히 크롬-니켈은 높은 상관관계를 나타내어 Sánchez-Rodríguez 등(19)의 보고(r=0.878, p<0.01)와 일치하였다. 김은 수은과 카드뮴을 제외하고는 다른 금속 간에는 상호 관련성을 나타내었으며, 이것은 김은 다른 식용해조류와 달리 여러 미량금속들을 동시에 농축할

Table 2. Pearson product-moment correlation coefficient for trace metals of laver (*Porphyra* sp.) and sea mustard (*Undaria pinnatifida*) in Korean coast

	Hg	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Laver ( <i>Porphyra</i> sp.)								
Hg		-0.008	0.330	0.031	-0.208	-0.027	-0.269	-0.234
Cd	0.122		0.033	0.073	-0.159	0.079	0.002	0.277
Cr	0.027	0.236*		0.403*	0.467**	0.499**	0.033	0.231
Cu	-0.019	0.032	0.206		0.215	0.348*	0.531**	0.518**
Mn	0.046	-0.040	0.390***	0.256*		0.536**	0.099	0.390*
Ni	-0.002	-0.010	0.293**	0.192	0.634***		0.424*	0.523**
Pb	0.115	-0.028	0.162	0.003	0.119	0.073		0.280
Zn	0.085	0.233*	0.178	-0.024	-0.001	0.167	0.360**	
Sea mustard ( <i>Undaria pinnatifida</i> )								

\*0.01<p<0.05, \*\*0.001<p<0.01, \*\*\*p<0.001.

Table 3. Pearson product-moment correlation coefficient for trace metals of sea tangle (*Laminaria japonica*) and sea lettuce (*Enteromorpha* sp.) in Korean coast

	Hg	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Sea tangle ( <i>Laminaria japonica</i> )								
Hg		-0.031	0.534	0.413	0.169	-0.367	0.010	-0.072
Cd	0.245		0.094	0.114	0.061	-0.254	0.159	-0.273
Cr	-0.120	0.085		0.126	0.191	-0.384	0.079	0.242
Cu	0.038	0.126	0.147		0.473	-0.104	0.671*	0.578*
Mn	-0.162	-0.093	0.463**	0.373*		0.065	0.653*	0.239
Ni	-0.096	0.017	0.789***	0.205	0.417**		0.038	-0.109
Pb	-0.186	-0.164	0.077	-0.078	0.261	-0.026		0.337
Zn	0.210	0.222	0.056	0.169	0.095	0.241	-0.060	
Sea lettuce ( <i>Enteromorpha</i> sp.)								

\*0.01<p<0.05, \*\*0.001<p<0.01, \*\*\*p<0.001.

Table 4. Trace metal concentration in various parts of sea mustard (*Undaria pinnatifida*) in Korean coast

	Trace metal concentration ( $\mu\text{g/g}$ dry weight)								No of Samples
	Hg	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	
Blade	ND <sup>1)</sup> ~0.11 (0.02 $\pm$ 0.02) <sup>2)</sup>	ND~3.60 (0.89 $\pm$ 0.76)	ND~4.45 (0.84 $\pm$ 0.89)	ND~11.58 (3.04 $\pm$ 2.29)	3.09~42.33 (13.12 $\pm$ 6.86)	ND~2.73 (0.55 $\pm$ 0.54)	ND~3.38 (0.66 $\pm$ 0.71)	6.05~260.58 (41.91 $\pm$ 42.38)	35
Stipe	ND~0.05 (0.01 $\pm$ 0.01)	ND~1.20 (0.38 $\pm$ 0.29)	ND~2.42 (0.39 $\pm$ 0.46)	ND~26.76 (2.52 $\pm$ 4.53)	0.83~19.97 (3.93 $\pm$ 3.61)	ND~0.92 (0.25 $\pm$ 0.23)	ND~2.45 (0.42 $\pm$ 0.58)	2.29~125.42 (20.74 $\pm$ 24.05)	35
Sporophyll	ND~0.02 (0.01 $\pm$ 0.00)	0.28~2.90 (0.90 $\pm$ 0.62)	0.05~1.95 (0.69 $\pm$ 0.57)	ND~15.57 (2.86 $\pm$ 3.62)	2.74~17.40 (7.10 $\pm$ 4.56)	ND~0.90 (0.47 $\pm$ 0.26)	ND~6.40 (0.59 $\pm$ 1.58)	14.64~30.42 (21.12 $\pm$ 4.19)	16
Blade/Stipe	2.0	2.3	2.2	1.2	3.3	2.2	1.6	2.0	

<sup>1)</sup>Not detectable. <sup>2)</sup>Parenthesis represents values of mean  $\pm$  SD.

수 있고, 또한 오염된 지역과 오염되지 않은 지역에서의 김의 미량금속 함량에는 뚜렷한 차이가 있다는 것을 시사한다. 김을 제외한 나머지 식용 해조류는 소수의 금속 간에만 높은 상관관계를 나타내어 지역에 따라 농축되는 미량금속의 종류가 서로 다름을 추정할 수 있었다.

#### 미역의 부위에 따른 미량금속 함량

미역을 열체, 줄기 및 포자엽으로 구분하여 미량금속 함량을 측정된 결과, 각 금속의 평균함량은 대체로 줄기가 포자엽이나 열체에 비하여 낮게 나타났다(Table 4). 미역의 부위별 미량금속 함량의 유의성을 검정하기 위하여 multiple comparison test를 실시하였다. 이때, 수은, 크롬 및 니켈은 열체에서 가장 높게 검출되었으나, 열체와 줄기 간에는  $p < 0.05$ 의 유의적 차이를 보인 반면 그 외 부위 간에는 유의적 차이를 나타내지 않았다. 카드뮴은 줄기에서 가장 낮게 검출되었으며( $p < 0.05$ ), 열체와 포자엽은 유의적인 차이 없이 비슷하게 검출되었다. 또한, 구리와 납은 모든 부위에서 유의적 차이 없이 비슷하게 검출되었다. 망간과 아연은 열체에서 가장 높게 검출되었으며( $p < 0.05$ ), 줄기와 포자엽 사이의 유의적인 차이는 없었다.

줄기에 대한 열체의 미량금속 비율은 망간이 3.3배로 가장 높았고, 다음으로 수은, 카드뮴, 크롬, 니켈, 아연은 2.0~2.3배로 비슷하였으며, 납(1.6배), 구리(1.2배) 순이었다. Ishii 등(12,20)에 의하면 켈생이모자반 및 대항 등에서도 자루나 줄기보다 열상부에서 미량금속의 농도가 높은 것으로 보고하여 우리의 결과와 유사하였다.

#### 주요 식용해조류를 통한 미량금속 섭취량 및 안전성 평가

카드뮴, 납 등의 미량금속에 대한 인간의 노출원은 공기, 물, 식품 및 담배 등이며, 가장 주된 섭취경로는 식품으로 알려져 있다(21-23). 우리 국민이 섭취하는 식품의 총량은 1인 1일 평균 1,314.7 g(식물성 1,052.9 g 및 동물성 261.8 g)이었으며, 이중 해조류는 9.0 g(0.69%) 섭취한다고 보고하였다(2). 이것을 습중량으로 환산하면 29.8 g(2.27%)이며, 건물량으로는 2.98 g(0.23%)을 섭취하는 것으로 나타났다. 그리고 해조류 중에서는 김(1.31 g), 미역(0.98 g), 다시마(0.48 g), 파래(0.21 g) 순으로 많이 섭취하는 것으로 나타났으며

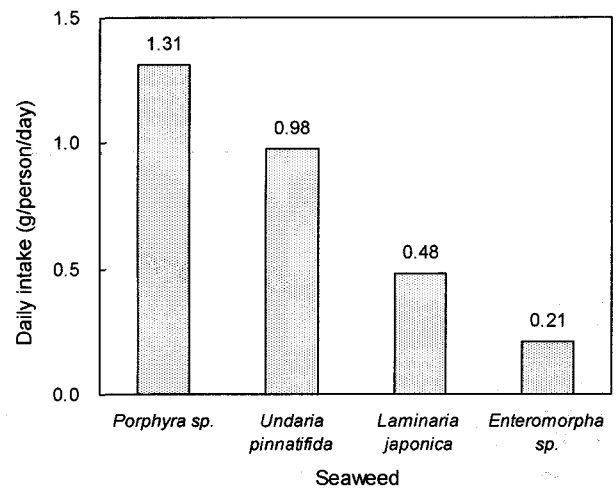


Fig. 3. Daily average intake of major edible seaweeds (dry weight).

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

(Fig. 3), 나머지는 섭취하는 빈도가 낮은 것으로 조사되었다. 또한, 해조류는 2세 이하의 유아를 제외하고는 연령별로는 뚜렷한 차이 없이 비슷한 비율로 섭취한다고 보고하였다. 가장 많이 섭취하는 김의 경우 주 2~3회(24.1%), 1일 1회(20.4%), 주 4~5회(17.5%) 순으로 섭취하는 비율이 높았으며, 2.0%만이 거의 김을 먹지 않는 것으로 조사되었다. 미역의 경우는 주 1회(27.1%), 한달에 2~3회(25.3%), 주 2~3회(17.0%) 순으로 섭취하는 비율이 높았으며, 4.3%는 거의 먹지 않는 것으로 나타났다.

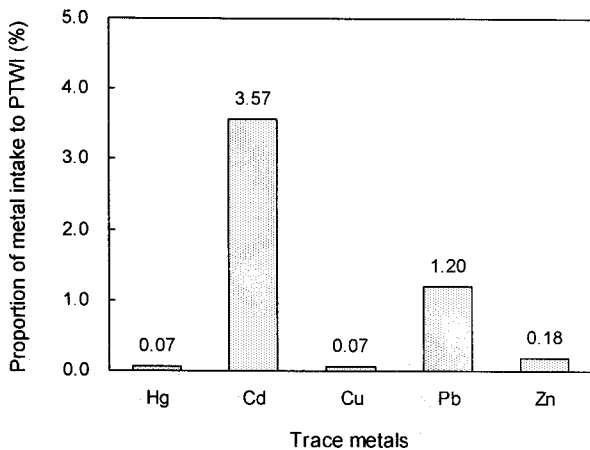
식용해조류를 통하여 섭취되는 미량금속에 대한 안전성을 평가하기 위하여 해조류를 통해 섭취되는 미량금속의 주간섭취량과 FAO/WHO(24)에서 설정한 잠정주간섭취허용량(PTWI, Provisional Tolerable Weekly Intake)을 비교하였다. 본 연구에서 수행한 주요 식용해조류의 미량금속 함량 모니터링 결과와 2001년도 국민건강 영양조사 결과보고서(2)의 1일 평균 해조류 섭취량 자료(건물 2.98 g)를 토대로 우리나라 국민의 식용해조류를 통한 1일 미량금속 섭취량을 Table 5에 나타내었으며, 각 금속별 주간섭취량(60 kg 성인 기준)은 FAO/WHO의 PTWI와 비교하여 안전성을 평가하

**Table 5. Daily intake of trace metals through major edible seaweeds in Korean coast**

Trace metals	Average concentration <sup>1)</sup> (µg/g)	Average daily intake <sup>2)</sup> (µg/person/day)
Hg	0.01	0.03
Cd	0.72	2.15
Cr	1.54	4.59
Cu	6.82	20.32
Mn	28.75	85.68
Ni	1.29	3.84
Pb	0.89	2.65
Zn	36.19	107.85

<sup>1)</sup>Average concentration was obtained from the trace metal content of all major edible seaweeds as shown in Table 1.

<sup>2)</sup>Estimated daily intake of trace metals based on an average consumption of major edible seaweeds (2.98 g/person/day) as shown in Fig. 3.



**Fig. 4. Proportions of metal intakes through major edible seaweeds to provisional tolerable weekly intakes (PTWI) of trace elements by FAO/WHO (24).**

였다(Fig. 4). 우리나라 국민의 식용해조류를 통한 수은의 1일 섭취량은 평균 0.03 µg으로 평가되었으며, 이는 PTWI(5 µg/kg body weight/week)의 0.07%수준이었다. 또한, 카드뮴의 1일 섭취량은 평균 2.15 µg이었으며, 이는 PTWI(7 µg/kg body weight/week)의 3.57% 수준이었다. 납의 1일 섭취량은 평균 2.65 µg이었으며, 이는 PTWI(25 µg/kg body weight/week)의 1.20% 수준이었다(Table 5 및 Fig. 4). 따라서 우리 국민이 해조류를 통해 일주일에 섭취하는 수은, 납, 카드뮴 등의 함량은 PTWI의 0.07~3.57%이었으며, Sho 등(25)은 어패류를 통한 이들 미량금속의 함량이 PTWI의 1~13%로 다른 나라와 비교할 때 안전한 수준이라고 보고하였다. 또한, Chung 등(26)은 국내에서 생산된 채소류 15종 620건에 대한 미량금속 함량은 자연 함유량 수준이라고 하였으며, 채소류를 통한 납, 수은, 카드뮴 등의 주간섭취량은 PTWI의 2~7%를 차지하고 있다고 하였다. 이상의 결과 해조류를 통한 유해 미량금속의 섭취량은 어패류 및 채소류에 기인한 섭취량보다도 낮게 나타나어 해조류의 유해 미량금속 함량은 매우 안전한 수준인 것으로 판단된다.

Lee와 Lee(21)에 의하면 식품을 통한 미량금속 평균 섭취량은 수은 0.41, 카드뮴 3.20, 납 21.2 µg/kg body weight/week이라고 보고하여 해조류를 통한 미량금속 섭취량은 전체 식품의 수은 0.85%, 카드뮴 7.81%, 납 1.42% 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 수치였다고 보고하였다. 그리고 우리 국민에 의한 수은, 카드뮴 및 납의 식이 섭취량은 미국, 일본 및 유럽국가 등 다른 외국의 여러 국가들과 비교해 볼 때 중위권에 속하는 것으로 나타났다고 보고하여 식품을 통한 유해 미량금속 섭취량은 아직 안전한 수준으로 사료된다. 그러나 다량 오염된 특정식품을 많이 섭취하는 극단소비량으로 계산하면 PTWI를 초과할 수 있으므로 보다 심도 있는 평가가 요구되며, 또한 유해 미량금속에 대하여 법적기준이 설정되어 있지 않은 식품에 대하여는 시급히 법적기준을 설정하여 유해 미량금속에 의한 오염 진행을 감시해야 할 것이다.

해조류를 통한 구리의 1일 섭취량은 평균 20.32 µg이었으며, 이는 PTWI(3,500 µg/kg body weight/week)의 0.07%수준이었다. 아연의 1일 섭취량은 평균 107.85 µg이었으며, 이는 PTWI(7,000 µg/kg body weight/week)의 0.18% 수준이었다(Table 5 및 Fig. 4). 또한, 보건복지부는 2000년 7월 28일자로 영양소기준치를 제정하였고(27), 이에 따르면 한국인의 1일 영양소 기준치는 구리 1.5 mg, 아연 12 mg, 망간 2.0 mg 및 크롬 50 µg로 설정하였다. 우리나라 국민의 해조류를 통한 구리, 아연, 망간, 크롬의 섭취량은 영양소 기준치의 각각 1.35, 0.89, 4.28, 9.18% 수준이었다. 구리, 아연, 망간 등은 우리 체내에 없어서는 안 되는 필수 미네랄 성분이며, 우리나라 여대생(28) 및 여중생(29)의 1일 평균 구리 섭취량은 기준치에 약간 미치지 못하는 수준이고, 아연은 50%정도의 수준으로 매우 적게 섭취하고 있으므로 해조류를 통한 과잉 섭취에 의한 위해 염려는 없을 것으로 사료된다.

**요 약**

우리나라 연안에서 수집한 김(33점), 미역(88점), 다시마(12점), 파래(43점) 등 총 176점의 주요 식용 해조류에 대한 미량금속의 함량을 조사한 결과, 아연, 망간, 구리 순으로 우리 체내에서 없어서는 안 되는 필수 성분들의 함량이 높았으며, 다음으로 크롬, 니켈, 납, 카드뮴, 수은 순이었다. 김에서는 카드뮴과 아연이, 그리고 파래에서는 크롬, 니켈 및 납이 가장 높게 검출되었고, 다시마에서는 수은이 가장 높게 검출되는 경향을 나타내었다. 카드뮴과 아연의 농축계수는 김에서 각각 약 12,000 및 14,000으로 가장 높게 나타났으며, 크롬과 납은 파래에서 각각 약 23,000 및 약 2,500으로 가장

많이 농축되었다. 또한, 구리는 김과 파래에서 약 5,500으로 많이 농축되었다. 다시마에서는 망간과 납 사이에 다른 식용 해조류와는 달리 특이적으로 높은 상관관계를 나타내었으며, 금속 간의 상관관계도 같은 갈조류인 미역, 그리고 녹조류인 파래와 전혀 다른 경향을 나타내었다. 김, 미역, 파래에서는 니켈-망간, 니켈-크롬 및 망간-크롬 간에는 높은 상관관계를 나타내어 다른 금속들과 뚜렷한 차이를 보였으며, 특히 크롬-니켈은 높은 상관관계를 나타내었다. 우리나라 국민의 식용해조류를 통한 수은의 1일 섭취량은 평균 0.03  $\mu\text{g}$ 이었으며, 이는 PTWI(5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  body weight/week)의 0.07%수준이었다. 또한, 카드뮴의 1일 섭취량은 평균 2.15  $\mu\text{g}$ 이었으며, 이는 PTWI(7  $\mu\text{g}/\text{kg}$  body weight/week)의 3.57%수준이었다. 납의 1일 섭취량은 평균 2.65  $\mu\text{g}$ 이었으며, 이는 PTWI(25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  body weight/week)의 1.20%수준이었다. 따라서 우리나라민이 해조류를 통해 일주일에 섭취하는 수은, 납, 카드뮴 등의 함량은 PTWI의 0.07~3.57%에 해당되며, 유해중금속 함량은 매우 안전한 수준인 것으로 판단된다. 우리나라 국민은 해조류 통한 구리, 아연, 망간, 크롬의 섭취량은 영양소 기준치의 각각 1.35, 0.89, 4.28, 9.18% 수준이었다.

### 감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원(해조류의 중금속 제거기술 개발, RP-2005-FS-002)의 지원에 의해 운영되었습니다. 시료 분석에 도움을 주신 국립수산물과학원 서해수산연구소 김평중 박사님께 감사드립니다.

### 문헌

1. KREI (Korea Rural Economic Institute). 2003. Food Balance Sheet (2002). p 277.
2. MOHW (Korea Ministry of Health & Welfare). 2002. Report on 2001 National Health and Nutrition Survey, Korea. p 571.
3. Cho DM, Kim DS, Lee DS, Kim HR, Pyeon JH. 1995. Trace components and functional saccharides in seaweed- 1. Changes in proximate composition and trace element according to the harvest season and places. *Bull Kor Fish Soc* 28: 49-59.
4. Oishi K. 1993. *Science of Sea Weeds*. Asakurasyoten, Tokyo. p 201.
5. 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.
6. Kim CY. 1972. Studies on the contents of mercury, cadmium, lead and copper in edible seaweeds in Korea. *Bull Kor Fish Soc* 5: 83-96.
7. Kim CY, Won JH. 1974. Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in the surrounding seawater and in seaweeds, *Undaria pinnatifida* and *Sargassum fulvellum*, from Suyeong Bay in Busan. *Bull Kor Fish Soc* 7: 169-178.
8. Lee JH, Sung NJ. 1980. The content of minerals in algae. *J Kor Soc Food & Nutr* 9: 51-58.
9. Pak CK, Yang KR, Lee IK. 1977. Trace metals in several edible marine algae of Korea. *J Oceanol Soc Kor* 12: 41-47.
10. 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.
11. MOMAF (Ministry of Maritime Affairs & Fisheries). 2002. Standard Methods for Marine Environmental. p 330.
12. Ishii T, Suzuki H, Koyanagi T. 1978. Determination of trace elements in marine organisms- I. Factors for variation of concentration of trace elements. *Bull Japan Soc Sci Fish* 44: 155-162.
13. NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2001. NFRDI Research Project Report. p 365-377.
14. Conti ME, Cecchetti G. 2003. A biomonitoring study: trace metals in algae and molluscs from Tyrrhenian coastal areas. *Environ Res* 93: 99-112.
15. Phaneuf D, Côté I, Dumas P, Ferron LA, LeBlanc A. 1999. Evaluation of the contamination of marine algae (seaweed) from the St. Lawrence River and likely to be consumed by humans. *Environmental Research Section A* 80: S175-S182.
16. van Netten C, Hopton Cann SA, Morley DR, van Netten JP. 2000. Elemental and radioactive analysis of commercially available seaweed. *Sci Total Environ* 255: 169-175.
17. KFDA (Korea Food and Drug Administration). 2004. Food Code. p 623.
18. NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 1995. Supplemented Chemical Composition of Marine Products in Korea. p 74-79.
19. Sánchez-Rodríguez I, Huerta-Díaz MA, Choumiline E, Holguín-Quñones O, Zertuche-González JA. 2001. Elemental concentration in different species of seaweeds from Loreto Bay, Baja California Sur, Mexico: implications for the geochemical control of metals in algal tissue. *Environ Pollut* 114: 145-160.
20. Ishii T, Suzuki Y, Matsuba M, Koyanagi T. 1980. Determination of trace elements in marine organisms-III. Distribution of trace elements in marine algae. *Bull Japan Soc Sci Fish* 46: 185-189.
21. Lee SR, Lee MG. 2001. Contamination and risk analysis of heavy metals in Korean foods. *J Food Hyg Safety* 16: 324-332.
22. USFDA (United States Food and Drug Administration). 1993a. Guidance Document for Cadmium in Shellfish. p 44.
23. USFDA (United States Food and Drug Administration). 1993b. Guidance Document for Lead in Shellfish. p 45.
24. FAO. 1994. Summary of Evaluations Performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). ILSI, Geneva. p 36-59.
25. 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.
26. 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.
27. KFDA (Korea Food & Drug Administration). 2001. The Report on Nutrition Labelling Settlement Project (II) - Study for Improvement of Nutrition Labeling System, Korea. p 266.
28. Kim CH, Paik HY, Joung HJ. 1999. Evaluation of zinc and copper status in Korean college women. *Kor J Nutr* 32: 227-286.
29. 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.

(2005년 8월 5일 접수; 2005년 11월 2일 채택)