pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 34, No. 5, pp. 447~453 (2019)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2019.34.5.447

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

해조류와 해조류가공품의 중금속 오염실태 및 위해성평가

이지연* · 이명진 · 정일형 · 조영선 · 성진희 · 백은진 · 이은빈 · 김혜진 · 윤미혜
경기도보건환경연구원 식품-분석팀

A Study on Heavy Metal Contamination and Risk Assessment of Seaweed and Seaweed Products

Ji-Yeon Lee*, Myung-Jin Lee, Il-Hyung Jeong, Young-Sun Cho, Jin-Hee Sung, Eun-Jin Baek, Eun-Bin Lee, Hye-Jin Kim, Mi-Hye Yoon
Food Analysis Team, Gyeonggi Province Institute of Health and Environment, Suwon, Korea

(Received September 17, 2019/Revised October 1, 2019/Accepted October 8, 2019)

ABSTRACT - In this study, the contamination of 4 types of heavy metals (lead, cadmium, arsenic, and mercury) was monitored in 80 seaweeds and their processed products, and a food safety assessment was also carried out for these heavy metals. Lead, cadmium and arsenic were analyzed by ICP-OES and mercury was analyzed by mercury analyzer. The detection ranges of heavy metals were found as follows: Pb (N.D-0.802 mg/kg), Cd (N.D-0.759 mg/kg), As (0.134-17.296 mg/kg), and Hg (0.0005-0.0331 mg/kg). Pb and Hg showed no significant differences among seaweeds whereas Cd and As were significantly higher in the species *hizikia fusiforme* (P<0.05). Food safety assessment from seaweed intake was measured by PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake), PTMI (Provisional Tolerable Monthly Intake), and MADL (Maximum Allowable Daily Body Load) as set by JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Pb and Hg were 0.197%, 0.036% of PTWI respectively, while Cd was 1.877% of PTMI and As was 0.619% of MADL. Therefore, it was found that heavy metal levels of seaweed were low and was considered to be safe for consumption.

Key words : Seaweed, Seaweed processed products, Heavy metal, Risk assessment

해조류는 칼슘, 마그네슘, 철, 아연, 요오드 등 무기질이 풍부할 뿐만 아니라 식이섬유 함량 또한 높아 혈관 내의 콜레스테롤 침착 방지 및 항산화 효과 등을 통해 각종 성인병을 예방하는 것으로 알려져 있어 최근에는 건강식품으로도 주목받고 있다[1-5]. 지금까지 국내에서는 약 500여종이 발견되어 그 중 약 50여종이 식용으로 섭취되고 있으며, 특히 우리나라를 비롯한 아시아 지역에서 섭취량이 많다[6].

국내의 해조류 전체 생산량은 2017년에 약 177만 톤으로, 약 91만 톤이었던 2010년의 생산량보다 2배 가까이 증가하였으며[7] 양식기술 등이 발달함에 따라 생산량은 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 2016년의 우리나라 국민 1인당 1일 해조류 섭취량은 약 3.8 g(육수 섭취 제외)으로, 성별에 따라서는 남자 약 3.8 g, 여자 약 3.7 g 이었다[8].

*Correspondence to: Ji-Yeon Lee, Food Analysis Team, Gyeonggi Province Institute of Health and Environment, Suwon 16205, Korea
Tel: +82-31-250-2571, Fax: +82-31-250-2606
E-mail: jylee0317@gg.go.kr

해조류를 섭취하는 방법은 점차 다양해지고 있는데, 과거에는 단순히 건조하거나 염장하여 섭취하는 방법이 대부분을 차지하였다면[9] 최근에는 해조류를 가공하여 가루나 환 등으로 만드는 경우도 증가하고 있다. 특히 이러한 제품은 섭취하기가 편리해 각광받고 있으며, 국민들이 건강에 대한 관심이 높아지면서 간편하게 섭취할 수 있는 환 제품의 소비 역시 계속적으로 증가하고 있다[10]. 해조류를 가공한 환 제품은 톳환, 미역환, 다시마환 등이 있으며 이 제품들은 건강기능 효과를 강조하며 판매, 소비가 증가 되고 있다.

그러나 산업이 급속하게 발전하면서 생활하수, 산업폐수, 기름유출 등의 문제로 환경오염이 가속화되고 있으며, 이에 따라 발생하는 문제 중 특히 중금속의 경우 자연에서 분해가 어려울 뿐만 아니라 해수 중 중금속의 1차 농축은 강한 흡착력을 나타내는 해조류와 플랑크톤에 많이 되는 것으로 알려져 있어[11-15] 식용으로 섭취되는 해조류 및 그 가공품에서 중금속 오염이 문제가 될 수 있다.

중금속의 경우 생체 성분과의 친화성이 커서 체내로 들

어오면 축적되는 특징이 있으며, 흡수량은 개인의 건강상태나 섭취한 식품의 종류 등에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다[16,17]. 중금속 중에서도 특히 납, 카드뮴, 수은은 축적성이 강해 만성중독을 일으키기 쉽고, 비소는 발암성 원소로 알려져 있을 뿐만 아니라[18] 국내 연구에 의하면 25개의 유해물질을 선별해 대상물질의 위해의 크기, 노출원을 고려한 가중치, 관심도를 점수화하여 통합노출을 고려한 유해물질 관리의 우선순위를 도출한 결과 1위-4위는 카드뮴, 납, 수은, 비소 순위였다[19]. 따라서 이러한 중금속은 더욱 관리가 필요할 것으로 보여지며, 해조류의 중금속 오염과 관련된 연구 역시 현재까지도 활발히 진행되고 있으나[1,5,11], 지금까지 국내의 해조류에 설정된 중금속 기준은 2012년 김에 대한 카드뮴 기준 설정[20] 이후, 2018-2019년 개정고시[21,22]를 통한 미역(미역귀 포함)의 납, 카드뮴 기준이 전부이다.

따라서 본 연구에서는 주요 식용 해조류와 해조류를 원료로 하는 해조류가공품의 중금속(납, 카드뮴, 비소, 수은) 오염 실태를 조사하고, 노출량 평가를 통해 중금속 위해 수준을 파악하여 해조류의 중금속 관리 기준 설정을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

Materials and Methods

시료

2018년 3-9월 중 경기도내 대형마트와 인터넷에서 유통중인 해조류 및 해조류가공품 총 80건을 구입하였다. 제품은 모두 다른 재료가 섞이지 않은 원재료 100%인 제품으로 선별하여 구매하였으며, 식품의 종류별로는 다시마 및 다시마가공품 35건(건조다시마 13건, 다시마가루 13건, 다시마환 9건), 미역 및 미역가공품 11건(건조미역 8건, 미역가루 3건), 톳 10건(생톳 2건, 건조톳 8건), 파래 및 파래가공품 8건(생파래 2건, 파래가루 6건), 매생이 5건, 김 11건으로 Table 1과 같다.

해조류의 분류에 따라서는 갈조류(다시마, 미역, 톳) 56건, 녹조류(파래, 매생이) 13건, 홍조류(김) 11건 이었다.

Table 1. List of samples used in this study

Group	Name of samples	Number of samples
Brown algae	Sea tangle and the processed goods	35
	Sea mustard and the processed goods	11
	Seaweed fusiforme	10
Green algae	Green laver and the processed goods	8
	Seaweed Fulvescens	5
Red algae	Laver	11
Total		80

시약 및 전처리

납, 카드뮴, 비소의 분석을 위한 표준용액은 ICP Multi-Element Standard Solution(PerkinElmer, Waltham, Massachusetts, USA)을 0.5% 질산(Wako, Osaka, Japan)으로 0.05, 0.1, 0.25, 0.5 mg/L 농도로 희석하여 사용하였다. 시료의 전처리를 위하여 균질화된 시료 0.4 g을 정밀히 취해 마이크로웨이브용 vessel에 담은 후, 60% 질산(Wako, Osaka, Japan) 6 mL, 30% 과산화수소(Merck, Darmstadt, Germany) 2 mL를 가해 상온에서 12시간 예비분해 후 Microwave(Ethos1, Milestone, Sorisole, Italy)를 이용하여 Table 2와 같은 조건으로 분해하였다. 분해가 끝난 vessel은 상온에서 충분히 식힌 뒤 증류수를 가하여 희석, 여과 후 시험용액으로 하였다.

수은 분석을 위한 표준용액은 Mercury Standard Solution(Kanto Chemical Co., Tokyo, Japan)을 0.01% L-cysteine(Nacalai Tesque Inc., Kyoto, Japan)용액으로 0.1 mg/L 농도가 되게 희석한 후, 20, 40, 60, 100 ng 농도로 사용하였다.

모든 측정 결과는 수분보정을 통해 생물 기준으로 환산하였으며, 제품의 수분 함량은 농식품종합정보시스템의 국가표준식품성분표[23]를 사용하였으나 정보가 없는 제품은 수분 측정기(MA100, Satorius, Göttingen, Germany)로 측정하여 사용하였다.

기기분석

납, 카드뮴, 비소는 ICP-OES(Optima 5300DV, PerkinElmer, Waltham, Massachusetts, USA)로 하였으며, 분석조건은 Table 3과 같다.

수은은 균질화한 시료 약 30 mg을 취해 가열기화금아말감법의 원리로 분석하는 수은분석기(MA-3000, Nippon Instruments Co., Tokyo, Japan)로 분석하였다.

Table 2. Condition of microwave digestion

Step	Time (min)	Temp. (°C)	Power (W)
1	5	100	1000
2	10	200	1000
3	40	200	1000

Table 3. Operating condition of ICP-OES

Parameters	Conditions
RF Power	1450 W
Plasma gas flow	15 L/min
Aux. flow	0.2 L/min
Neb. flow	0.65 L/min
Analytical wavelength(nm)	Pb 220.353
	Cd 228.802
	As 193.696

유효성 검증

검출한계(Limit of Detection, LOD)와 정량한계(Limit of Quantitation, LOQ)는 ICH(International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human)에서 제시한 산출방법 중 반응의 표준편차와 검량선의 기울기에 근거하는 방법[24]에 따라 구하였다.

$$LOD = 3.3 \times \sigma / S$$
$$LOQ = 10 \times \sigma / S$$

σ = The standard deviation of the response
S = The slope of the calibration curve

회수율(recovery)은한국표준과학연구원(KRISS)에서 구입한 인증표준물질(Certified Reference Material, CRM)을 이용하여 3회 반복 측정하여 구하였다.

위해성평가

해조류 섭취를 통한 중금속에 대한 안전성을 평가하기 위해 JECFA(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 이하 JECFA)에서 설정한 독성자료 등을 바탕으로 위험성을 확인하였다.

우리나라 국민의 평균 체중 및 해조류의 종류에 따른 1인 1일 평균섭취량은 2016년 국민건강영양조사 자료 중 건강설문조사 및 영양조사(24시간회상법) 원시자료[25]를 이용하여 구하였으며, 이를 바탕으로 체중 1 kg 당 중금속의 일일 추정 섭취량(Estimated Daily Intake, 이하 EDI)을 산출하였다.

해조류 섭취에 의한 중금속(납, 카드뮴, 비소, 수은)의 일일 추정 섭취량

$$= \sum_{i=1}^{n} \frac{\text{해조류}(i)\text{의 중금속 오염도(mg/kg)} \times \text{인구집단의 1일 해조류(i) 섭취량(g/day)}}{\text{인구집단의 평균 체중(kg b.w)}}$$

납과 비소의 경우 잠정주간섭취허용량인 Provisional Tolerable Weekly Intake(PTWI)는 2010년 철회되었으나[26,27] 현재까지 별도의 PTWI가 설정되어있지 않다. 따라서 납의 경우 철회되기 이전의 기준(25 μg/kg b.w/week)을 사용하였고, 비소는 일일최대섭취한계량인 (Maximum Allowable Daily Body Load(MADL) 기준(50 μg/kg b.w/day)[28]을 사용하였다. 카드뮴은 축적성이 높고 반감기가 길어 Provisional Tolerable Monthly Intake(PTMI)가 설정되어 있어 PTMI 기준(25 μg/kg b.w/month)[26]을 사용하였고, 수은은 PTWI 기준(4 μg/kg b.w/week)[27]을 사용하였다.

통계처리

자료의 통계분석은 SPSS(Statistical Package for Social Science, Version 18)를 이용하였으며, 해조류의 종류에 따른 중금속 함량 차이를 알아보기 위해 ANOVA test를 실시한 후, Scheffe test를 이용하여 $P<0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

Results and Discussion

유효성 검증

분석 결과에 대한 유효성 검증을 위하여 검출한계, 정량한계 및 회수율 측정결과는 Table 4와 같다. 납, 카드뮴, 비소, 수은의 검출한계는 각각 0.0046 mg/kg, 0.0052 mg/kg, 0.0059 mg/kg, 0.0001 mg/kg, 정량한계는 각각 0.0140 mg/kg, 0.0156 mg/kg, 0.0179 mg/kg, 0.0004 mg/kg으로 나타났으며, 검출한계 미만의 결과는 불검출로 처리하였다. 중금속 4종의 회수율 측정결과 CRM에서 제시한 인증값에 대하여 납 88.9±2.7%, 카드뮴 95.4±0.1%, 비소 94.2±0.6%, 수은 106.6±3.4%의 회수율을 나타내었으며, 각각의 표준용액으로 검량선을 작성하여 직선성(linearity) 확인 결과 평균 0.999 이상의 상관계수(R^2) 값을 나타내었다.

해조류의 중금속(납, 카드뮴, 비소, 수은) 함량

해조류의 종류에 따른 중금속의 농도를 Table 5에 나타내었다. 해조류의 중금속 평균 함량은 납 0.106 mg/kg, 카드뮴 0.236 mg/kg, 비소 4.672 mg/kg, 수은 0.0031 mg/kg 이었다.

해조류의 종류에 따른 중금속별 평균 함량은 납의 경우

Table 4. LOD and LOQ of heavy metal analysis and recovery of certified reference materials (CRM)

Element	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	CRM No.	Concentration (mg/kg)		Recovery(%)
				Certified	Determined	
Pb	0.0046	0.0140	108-01-003	0.1228±0.0020[1)]	0.1092±0.0033	88.9±2.7
Cd	0.0052	0.0156	108-04-003	3.405±0.067	3.248±0.003	95.4±0.1
As	0.0059	0.0179	108-04-003	10.39±0.34	9.79±0.07	94.2±0.6
Hg	0.0001	0.0004	108-04-004	0.246±0.012	0.262±0.008	106.6±3.4

[1)]Mean±SD

Table 5. Contents of heavy metals in seaweed and the processed products (unit : mg/kg, wet weight)

	Sample number	Pb	Cd	As	Hg
		Mean±SD (minimum-maximum)			
Sea tangle and the processed goods	35	0.130±0.197 (N.D-0.802)	0.169±0.068$^{ab1)}$ (0.043-0.467)	4.254±1.722^{b} (1.039-11.860)	0.0022±0.0008 (0.0011-0.0047)
Sea mustard and the processed goods	11	0.171±0.198 (N.D-0.487)	0.238±0.069^{b} (0.129-0.340)	4.208±0.615^{b} (3.542-5.220)	0.0038±0.0029 (0.0007-0.0116)
Seaweed fusiforme	10	0.081±0.047 (N.D-0.149)	0.607±0.133^{c} (0.291-0.759)	14.418±3.013^{c} (7.413-17.296)	0.0055±0.0037 (0.0023-0.0155)
Green laver and the processed goods	8	0.104±0.040 (N.D-0.147)	0.122±0.009^{ab} (N.D-0.128)	0.520±0.506^{a} (0.134-1.488)	0.0054±0.0114 (0.0005-0.0331)
Seaweed Fulvescens	5	0.093±0.031 (0.065-0.131)	0.058±0.010^{a} (0.045-0.070)	0.948±0.271^{a} (0.636-1.378)	0.0041±0.0022 (0.0023-0.0077)
Laver	11	0.020±0.006 (N.D-0.032)	0.223±0.043^{b} (0.141-0.313)	2.315±0.501^{ab} (1.708-3.040)	0.0011±0.0003 (0.0005-0.0015)
Total	80	0.106±0.142 (N.D-0.802)	0.236±0.169 (N.D-0.759)	4.672±4.236 (0.134-17.296)	0.0031±0.0041 (0.0005-0.0331)

[1)]Means with different letters(a-c) within a vertical column are significantly different by scheffe test (P<0.05)
N.D means not detected.

김에서 0.020 mg/kg으로 가장 낮았고, 미역 및 미역가공품에서 0.171 mg/kg으로 가장 높게 나타났다. 수은은 김에서 0.0011 mg/kg 으로 가장 낮았고, 톳에서 0.0055 mg/kg으로 가장 높았으나 납과 수은 함량은 모두 해조류 종류에 따른 유의적인 차이는 없었다. 카드뮴의 평균 함량은 매생이가 0.058 mg/kg으로 가장 낮았고, 톳에서 0.607 mg/kg으로 가장 높게 나타났으며, 비소 역시 톳에서 14.418 mg/kg으로 해조류의 종류 중 가장 높게 나타났다. 또 카드뮴과 비소의 평균 함량은 해조류의 종류에 따라 유의적인 차이를 나타내었다(P<0.05).

해조류의 중금속 함량은 납, 카드뮴, 수은에 비해 비소 함량이 매우 높은 수준으로 나타났으며, 해조류의 종류에 따른 평균 비소 함량은 톳>미역>다시마>김>매생이>파래 순으로 나타났다. 이는 해조류에서 비소 함량은 갈조류>홍조류>녹조류 순으로 높다는 기존의 보고[29)]와 일치하였다. 한편 식품에 존재하는 비소는 대부분 독성이 낮은 유기비소이나, 톳에서는 무기비소 함량이 높다는 보고가 많이 있어[29-31)] 섭취 시 물에 불리거나 끓는 물에 삶아 섭취하는 등의 주의가 요구되고 있다.

현재 해조류의 중금속 기준은 김(조미김 포함)에 카드뮴이 0.3 mg/kg 이하로 설정되어 있으며[20)], 2018년 2월 미역(미역귀 제외)의 납, 카드뮴 기준이 신설된 후[21)], 2019년 1월 개정고시에 의해 미역귀를 포함한 미역의 납, 카드뮴 기준을 각각 0.5, 0.3 mg/kg 이하로 개정하여 시행중에 있다[22)]. 본 연구에서 실험한 시료 중 김의 경우 11건 모두 카드뮴 함량이 기준치 이내였으며, 미역 11건도 납과 카드뮴 모두 기준치 이내로 나타나 비교적 안전한 수준으로 관리되고 있는 것으로 보이며, 앞으로도 지속적인 모니터링 및 관리가 필요할 것으로 사료된다. 또 해조류를 함유한 가공품의 경우 톳과 모자반 함유 가공식품에 무기비소 기준이 2017년 12월에 행정 예고되었으며[32)], 2018년 7월 개정고시[33)]에 의해 2019년 2월부터는 총 비소 시험결과 무기비소 기준 초과 검출 시 무기비소로 시험하도록 안전관리를 강화하고 있다. 본 연구에 사용된 시료 중 톳의 경우 10건 중 2건은 생톳, 8건은 건조 톳으로, 8건의 건조 톳 중에서도 4건은 수산물, 4건은 수산물가공품으로 분류되어 있었다. 앞서 말한 기준에 의하면 이러한 경우 수산물가공품만 기준 적용 대상이 되므로, 톳과 모자반을 함유한 제품의 경우 명확한 유형 분류 기준이 필요할 것으로 판단된다. 또 향후에는 이 제품들의 무기비소 함량 역시 안전한 수준으로 관리되고 있는지 지속적으로 조사연구가 필요한 것으로 나타났다.

중금속 성분 간 상관관계

해조류 및 해조류가공품의 중금속 성분 간의 상관관계는 Table 6과 같다. 카드뮴 함량과 비소 함량의 경우 정의 상관관계(r=0.932)가 있었으며, 나머지 중금속 간에는 상관성이 낮거나 없는 것으로 나타났는데, 이는 기존의 연구결과[10)]와도 일치하였다. 그러나 금속 간 상관관계는 해조류의 종류에 따라 다르다는 보고가 있으며[5)] 미량금속 함량은 채취 시기나 서식환경 등에 따라서도 변동이 크다고 알려져 있을 뿐만 아니라[34,35)] 비소와 카드뮴의 간섭 문제[36)] 등도 있을 수 있어 이를 고려한 연구가 앞으로도 더 진행되어야 할 것으로 보여진다.

Table 6. Correlation coefficient among heavy metal contents

	Pb	Cd	As	Hg
Pb	1.000			
Cd	-0.052	1.000		
As	-0.052	0.932**	1.000	
Hg	0.142	0.116	0.147	1.000

**Pearson`s correlation at $P<0.01$

해조류 섭취에 따른 중금속 안전성평가

해조류를 섭취함으로써 섭취되는 중금속(납, 카드뮴, 비소, 수은)의 안전성 평가를 위해 해조류 섭취량에 따른 중금속 4종(납, 카드뮴, 비소, 수은)의 1일 추정섭취량(EDI) 및 JECFA에서 제시한 기준(PTWI, PTMI, MADL)과 비교한 결과는 Table 7과 같다. 노출량에 따른 위해도(Risk Index)는 납과 수은의 경우 PTWI 기준인 25 μg/kg b.w/week 및 4 μg/kg b.w/week 대비 각각 0.197%, 0.036%, 카드뮴은 PTMI 기준인 25 μg/kg b.w/month 대비 1.877%, 비소는 MADL 기준인 50 μg/kg b.w/day 대비 0.619%로 모두 매우 낮은 수준으로 나타났다. 납, 카드뮴, 수은의 위해 수준은 2012년 수행되어진 유통 마른 김에서 연구 결과인 납, 수은의 PTWI 대비 각각 0.11%, 0.02%, 카드뮴은 PTMI 대비 2.47%[37]와 비슷한 경향을 나타내었으며, 이 결과는 채소류 섭취로 인한 위해도[38]보다도 낮게 나타나 해조류 및 해조류가공품의 섭취를 통한 유해 미량금속 섭취량은 매우 안전한 수준인 것으로 판단된다.

질병관리본부에서 발간한 2016년 국민건강영양조사 원시자료[25]에 따르면 평균체중은 57.6 kg, 1인 1일 평균 해조류 섭취량은 약 3.8 g(육수제외) 이었다. 해조류 종류에 따른 1인 일평균 섭취량은 김이 1.156 g으로 가장 많았으며, 다음으로는 다시마가 1.045 g, 미역이 0.803 g 순으로 나타나, 과거의 다소비 해조류 순서였던 김>미역>다시마 순서[5]와는 다소 차이가 있었다. 이는 최근 다시마를 가공한 제품의 판매 증가로 흔히 접할 수 있게 된 점과 해조류 육수의 섭취로 인한 다시마 섭취량이 증가하였기 때문으로 생각된다. 그러나 해조류를 육수로 섭취하는 경우에는 대부분 해조류를 우려낸 후 육수만 섭취하기 때문에 추후 해조류에서 육수로 이행되는 중금속 함량에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구 결과에서 해조류 및 해조류가공품의 중금속 평균 함량은 비소>카드뮴>납>수은 순으로 높았으며, 특히 톳에서 카드뮴과 비소 함량이 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 노출량에 따른 위해도는 카드뮴>비소>납>수은 순이었으며 카드뮴과 비소가 납과 수은에 비해 다소 높은 비율을 차지하긴 하나, 안전한 수준으로 나타남을 알 수 있다. 이처럼 해조류와 해조류가공품의 섭취로 인한 중금속 노출은 안전한 것으로 판단되나, 현재 우리나라에서 섭취하는 해조류의 종류에 비해 중금속 기준이 설정된 해조류의 종류는 다소 미비한 것으로 판단된다. 따라서 소비자들은 건강에 좋고, 섭취하기 편리하다고 여기는 해조류 환, 가루 등의 가공품을 너무 지나치지 않도록 적당량 섭취해야 할 것이며, 해조류의 중금속 오염과 관련해서는 지속적인 모니터링을 통해 안전한 먹을거리를 제공할 수 있도록 적절한 관리 기준이 추가적으로 설정되어야 할 것으로 판단된다.

국문요약

본 연구는 2018년 경기도내 대형마트, 온라인에서 유통

Table 7. Comparison of heavy metal intake from seaweeds with the standards set by JECFA

sample	Sample number	Daily intake (g/man/day)	Estimated Daily Intake[1] (EDI)				Pb% of PTWI[2]	Cd% of PTMI[3]	As% of MADL[4]	Hg% of PTWI[5]
			Pb	Cd	As	Hg				
Sea tangle and the processed goods	35	1.045	0.0024	0.0031	0.0772	0.00004	0.066	0.368	0.154	0.007
Sea mustard and the processed goods	11	0.803	0.0024	0.0033	0.0587	0.00005	0.067	0.398	0.117	0.009
Seaweed fusiforme	10	0.094	0.0001	0.0010	0.0235	0.00001	0.004	0.119	0.047	0.002
Green laver and the processed goods	8	0.251	0.0005	0.0005	0.0023	0.00002	0.013	0.064	0.005	0.004
Seaweed Fulvescens	5	0.469	0.0008	0.0005	0.0077	0.00003	0.021	0.057	0.015	0.006
Laver	11	1.156	0.0004	0.0045	0.0465	0.00002	0.011	0.537	0.093	0.004
Total	80	3.818	0.0070	0.0156	0.3097	0.00021	0.197	1.877	0.619	0.036

[1]Estimated Daily Intake(μg/kg b.w/day) = Average heavy metal concentration(mg/kg)×Daily intake(g/man/day)/57.6 kg(average body weight)
[2]Pb% of PTWI = Estimated Daily Intake(EDI) of Pb×7days(1week)/criteria of PTWI (25 μg Pb/kg b.w/week)×100
[3]Cd% of PTMI = Estimated Daily Intake(EDI) of Cd×30days(1month)/criteria of PTMI (25 μg Cd/kg b.w/month)×100
[4]As% of MADL = Estimated Daily Intake(EDI) of As/criteria of MADL (50 μg As/kg b.w/day)×100
[5]Hg% of PTWI = Estimated Daily Intake(EDI) of Hg×7days(1week)/criteria of PTWI (4 μg Hg/kg b.w/week)×100

중인 해조류 및 해조류가공품 80건을 대상으로 중금속 4종(납, 카드뮴, 비소, 수은)의 오염도를 모니터링하고, 해조류 섭취에 따른 위해도를 평가하였다. 현재 해조류에 설정된 중금속 기준은 납의 경우 미역(미역귀 포함)에만 0.5 mg/kg 이하로 설정되어 있으며, 카드뮴은 김(조미김 포함)과 미역(미역귀 포함)에 0.3 mg/kg 이하로 설정되어 있다. 검사 결과 기준이 설정된 제품은 모두 기준치 이내로 적합한 것으로 나타났다. 중금속 중 특히 비소의 경우 대부분의 해조류에서 대체로 높은 함량을 나타내었으며, 유기비소와 달리 독성이 강한 것으로 알려진 무기비소의 함량이 다소 높은 톳과 모자반을 함유한 가공식품에 무기비소 기준을 신설하여 2018년부터 시행중에 있다. 본 연구에서 진행된 톳 제품은 시행일 전에 제조되어 기준 적용 대상은 아니었지만, 건조 톳 8건 중 4건은 수산물, 4건은 기타 수산물가공품으로 분류되어 있어 명확한 유형 분류 기준이 먼저 필요할 것이다. 노출량에 따른 위해도는 안전한 수준으로 나타났으나, 현재 우리나라에서 섭취하는 해조류의 종류에 비해 중금속 기준이 설정이 되어있는 해조류는 미비하기 때문에, 본 연구 결과는 향후 해조류의 중금속 관리 기준 설정을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

References

1. Cho, D.M., Kim, D.S., Lee, D.S., Kim, H.R., Pyeun, J.H., Trace Components and Functional Saccharides in Seaweed-1 Changes in proximate Composition and Trace Elements According to the Harvest Season and Places. *Korean. J. Fish. Aquat. Sci.*, **28**(1), 49-59 (1995).
2. Im, Y.G., Choi, J.S., Kim, D.S., Mineral Contents of Edible Seaweeds Collected from Gijang and Wando in Korea. *Korean. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**(1), 16-22 (2006).
3. Do, J.R., Kim, E.M., Koo, J.G., Jo, K.S., Dietary Fiber Contents of Marine Algae and Extraction Condition of the Fiber. *Korean. J. Fish. Aquat. Sci.*, **30**(2), 291-296 (1997).
4. Oishi, K., Science of Sea Weeds. pp. 201, Asakurasyoten, Tokyo (1993).
5. Mok, J.S., Park, H.Y., Kim, J.H., Trace Metal Contents and Safety Evaluation of Major Edible Seaweeds from Korean Coast. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **34**(9), 1464-1470 (2005).
6. Kim, D.G., Park, J.B., Lee, T.K., Analysis of Biochemical Compositions and Nutritive Values of Six Species of Seaweeds. *J. Life. Sci.,* **23**(8), 1004-1009 (2013).
7. National Statistical Office., KOSIS(Korean Statistical Information Service). Available from: http://kosis.kr. Accessed Dec. 17, 2018.
8. Ministry of Health and Welfare., Korea Centers for Disease Control and Prevention., 2016 National Health Statistics – The 7th Korea National Health and Nutrition Examination Survey(1st Year) (2017).
9. Park, Y.K., Kang, S.G., Jung, S.T., Kim, D.H., Kim, S.J., Pak, J.I., Kim, C.H., Rhim, J.W., Kim, J.M., Development of Value-Added Product Using Seaweeds. *J. Mar. Biosci. Biotechnol*., **2**(3), 133-141 (2007).
10. Lee, S.D., Lee, Y.K., Kim, M.S., Park, S.K., Kim, Y.S., Chae, Y.Z., The Content and Risk Assessment of Heavy Metals in Herbal Pills. *J. Food Hyg. Saf*., **27**(4), 375-387 (2012).
11. Yang, W.H., Lee, H.J., Lee, S.Y., Kim, S.G., Kim, G.B., Heavy Metal Contents and Food Safety Assessment of Processed Seaweeds and Cultured Lavers. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy.*, **19**(3), 203-210 (2016).
12. Conti, M.E., Cecchtti, G., A biomonitoring study : Trace metals in algae and molluscs from Tyrrhenian coastal areas. *Environ Res*., **93**(1), 99-112 (2003).
13. Fuge, R., James, K.H., Trace metal concentrations in brown seaweeds, Cardigan Bay, Wales. *Mar. Chem*., **1**, 281-293 (1973).
14. Reilly, C., 2002. Metal contamination of food. 3nd Ed. Elsevier Applied Science. London, UK, pp. 12-16.
15. Hwang, Y.O., Kim, M.S., Park, S.G., Kim, S.J., Contents of lead, mercury, and cadmium in seaweeds collected in coastal area of Korea. *Anal Sci. Technol*., **22**(4), 336-344 (2007).
16. Reilly, C., 1991. Metal contamination of food. Applied Science Publish, London, UK.
17. Lee, J.H., Seo, J.W., An, E.S., Kuk, J.H., Park, J.W., Bae, M.S., Park, S.W., Yoo, M.S., Monitoring of Heavy Metals in Fruits in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol*., **43**(2), 230-234 (2011).
18. Hwang, Y.O., Kim, S.U., Ryu, S.H., Ham, H.J., Park, G.Y., Park, S.G., Contents of mercury, lead, cadmium, and arsenic in dried marine products. *Anal Sci. Technol.*, **22**(4), 336-344 (2009).
19. Jeong, J.Y., Jung, Y.K., Hwang, M.S., Jung, K.K., Yoon, H.J., Prioritizing Management Ranking for Hazardous Chemicals Reflecting Aggregate Exposure. *J. Food Hyg. Saf*., **27**(4), 349-355 (2012).
20. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)., Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_207/view.do?seq=6042&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=93. Accessed Mar. 6, 2019.
21. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)., Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_207/view.do?seq=13810&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=21. Accessed Mar. 6, 2019.
22. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)., Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_207/view.do?seq=14340&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=9. Accessed Mar. 6, 2019.
23. Rural Development Administration., Food and Rural Com-

prehensive Information System. Available from: http://koreanfood.rda.go.kr. Accessed Mar. 2, 2019.
24. ICH Steering Committee., ICH harmonised tripartite guideline - Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology Q2(R1). pp. 11-12 (2005).
25. Korea Centers for Disease Control and Prevention., 2016 National Health and Nutrition Examination Survey. Available from: http://knhanes.cdc.go.kr. Accessed Jan. 8, 2019.
26. JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)., Summary and conclusions of seventy-third meeting (JECFA/73/sc). pp. 12-13 Geneva, Switzerland (2010).
27. JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)., Summary and conclusions of seventy-second meeting (JECFA/72/sc). pp. 2-4, Geneva, Switzerland (2010).
28. WHO(World Health Organization)., Specifications for the identity and purity of food additives and their toxicological evaluation, some emulsifiers and stabilizers and certain other substances. (Tenth report of the Joint FAO-WHO Expert Committee on Food Additives). WHO Technical Report Series, No. 373, pp. 14-15, Geneva, Switzerland (1967).
29. Lee, J.O., analysis report; Inorganic and organic arsenic in food. Korea Institute of Science and Technology Information (2011).
30. Yang, S.H., Park, J.S., Cho, M.J., Choi, H., Risk Analysis of Inorganic Arsenic in Foods. *J. Food Hyg. Saf*., **31**(4), 227-249 (2016).
31. Ryu, K.Y., Shim, S.L., Hwang, I.M., Jung, M.S., Jun, S.N., Seo, H.Y., Park, J.S., Kim, H.Y., Om, A.S., Park, K.S., Kim, K.S., Arsenic Speciation and Risk Assesment of Hijiki (*Hizikia fusiforme*) by HPLC-ICP-MS. *Korean J. Food Sci. Technol*., **41**(1), 1-6 (2009).
32. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)., Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_209/view.do?seq=40039&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=31. Accessed Apr. 2, 2019.
33. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)., Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_207/view.do?seq=14252&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=16. Accessed Apr. 2, 2019.
34. Gnassia-Braelli, M., Lemee, R., Pesando, D., Romeo, M., Heavy metal distribution in Caulerpa taxifolia from the north-western Mediterranean. *Mar. Pollut. Bull.,* **30**, 749-755 (1995).
35. Kim, J.H., Mok, J.S. Park, H.Y., Trace Metal Contents in Seaweeds from Korean Coastal Area. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **34**(7), 1041-1051 (2005).
36. Ahn, S.H., Influence on spectrum interference of coexistence arsenic during analysis of cadmium in the soil using the ICP-OES. Seoul National University of Science And Technology master's thesis (2015).
37. Son, K.T., Kwon, J.Y., Jo, M.R., Choi, W.S., Kang, S.R., Ha, N.Y., Shin, J.W., Park, K., Kim, J.H., Heavy Metals (Hg, Pb, Cd) Content and Risk Assessment of Commercial Dried Laver Porphyra sp. *Korean J. Fish. Aquat. Sci*., **45**(5), 454-459 (2012).
38. Chung, S.Y., Kim, M.H., Sho, Y.S., Won, K.P., Hong, M.K., Trace Metal Contents in Vegetables and Their Safety Evaluations. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **30**(1), 32-36 (2001).