pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 36, No. 2, pp. 135~140 (2021)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2021.36.2.135

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

건조 수산물의 비소, 크롬, 니켈의 오염도 분석 및 위해도 평가

김진아* · 조인순 · 신영 · 장정임 · 김수진 · 정지헌 · 이성득 · 신기영
서울특별시보건환경연구원 강북농수산물검사소

Analysis and Risk Assessment on Arsenic, Chrome, and Nickel in Dried Marine Products

Jin-Ah Kim*, In-Soon Jo, Young Shin, Jung-Im Jang, Soo-Jin Kim, Ji-Hun Jung, Seung-Deuk Lee, Gi-Young Shin
Gangbuk Agro-fishery Products Inspection Center, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Seoul, Korea

(Received December 18, 2020/Revised January 7, 2021/Accepted March 17, 2021)

ABSTRACT - The heavy metal (arsenic, chrome, and nickel) contents in dried marine products sold in market were investigated using ICP-MS to assess the associated health risk. Chrome and nickel were not detected at significant levels. However, arsenic was detected in all (21 specimens) dried crustacean products, including 10 (50%) among 20 dried mollusk specimens, 15 (13.9%) among 108 dried fish products, and 6 (17.1%) among 35 specimens of dried seaweed, which exceeded the set level for some dried agricultural products and medicinal herbs used in traditional medicine. Regulatory levels for heavy metal contents in marine products are not currently available. Thus, it is necessary to establish proper regulation and consistent monitoring of heavy metal contamination in marine products. Although the contamination levels of the investigated heavy metals do not seem harmful in terms of the statistical percentage of provisional tolerable weekly intake (%PTWI), consistent investigation of the health risk due to contamination of dried marine products by heavy metals is required.

Key words : Heavy metals, Marine products, Arsenic, ICP-MS, Statistics

인류문명의 발전과 비례하여 지구 환경오염이 증가하고 있으며, 오염물질의 순환으로 인해 해양오염이 날로 가중되고 있다[1,2]. 해양오염은 먹이사슬을 통하여 해양생물체 및 인체에 누적되어 호르몬 교란, 질병발생 등 생체에 악영향을 끼칠 가능성이 있으므로 현재 많은 관찰과 연구가 진행되고 있다[3,4].

수산물은 여러 가지 형태로 인류가 섭취해 온 품목으로, 중요한 먹을 거리 중 하나이다. 수산물에 대한 다변화된 수요와 유통 과정의 편의성 및 보관기간의 연장 등을 위하여 다양한 가공과정을 거치게 되는데, 그 중 건조물 형태의 수산물 섭취는 다양한 방식과 행태로 이루어지고 있으며, 생물섭취 때보다 다량으로 섭취하기가 쉬우며, 수분감소의 영향으로 동량의 생물 섭취 때보다 농축된 상태의 영양소뿐 만 아니라, 유해물질에 노출되기 쉽다. 또한 가공형태 및 시판식품이 다양하여 실생활에서 흔히 접하게 되는 먹을 거리이다.

현재 식품공전에서는 납, 카드뮴 및 수은에 대하여, 어류, 연체류, 갑각류, 해조류의 규격을 설정하고 있다[5]. 하지만 해양환경의 오염으로 인해 수산물은 더 다양한 종류의 유해 중금속에 오염될 가능성과 이로 인한 건강 위해성이 잠재되어 있으므로, 아직 규격이 설정되어있지 않은 유해 중금속에 의한 오염현황과 위해성 확인이 요구된다 하겠다.

비소는 지구상에 자연적으로 널리 분포하며, 그것의 무기 및 유기화합물은 다양한 목적으로 제조, 사용되므로, 공기, 물, 흙, 음식물 등의 경로를 통하여 인체에 유입될 수 있다. 지하수의 오염 및 지하수, 토양의 오염에 의한 농작물의 오염, 그리고 해양오염에 의한 수산물의 오염 등을 거쳐 인체의 비소중독이 가능하다[6]. 미국의 독성물질

*Correspondence to: Jin-Ah Kim, Gangbuk Agro-fishery Products Inspection Center, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Seoul 02569, Korea
Tel: +82-02-940-9853, Fax: +82-02-964-8175
E-mail: kja0324@seoul.go.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution,and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

질병등록국(agency for toxic substances and disease registry, ATSDR)의 CERCLA (The comprehensive environmental response, compensation, and liability act)는 발생빈도, 독성 및 노출 가능성을 고려하여 인간에게 노출될 수 있는 유해독성물질 275종을 지정하고 있다. 이 중 비소는 납, 수은, 카드뮴과 함께 우선순위목록에 등록되어있으며, 독성 이하 비소는 약리성을 이용하기도 하지만, 인체 내 농축은 암 등을 유발할 수 있는 유해독성물질이다[7]. 비소에 대한 위해도 평가를 위해서, WHO는 총 비소에 대한 기준으로 350 μg/kg bw/week를, 무기비소에 대해서는 FAO/WHO의 합동 식품 첨가물 전문가회의(JECFA)에서 15 μg/kg bw/week를 주간잠정섭취허용량(The provisional tolerable weekly intake, PTWI)으로 제시하였으나, 역학적인 연구결과로 인해 2011년을 기점으로 철회된 상태이며[8], 현재 새로운 PTWI 산정을 위해 더 많은 연구와 자료 축적을 권장하고 있다. 식품의약품안전처의 제외국 식품 중 중금속 기준에는 수산제품에 대해 0.1-0.5 mg/kg의 기준을 설정해 놓고 있다[5].

니켈은 사람을 비롯한 동물의 대사에 필수적인 생리학적 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 하지만 자연 환경에 풍부하게 존재하고 인간의 일상생활에서도 다양하게 활용되고 있으므로 결핍증은 희박하다. 오히려 장기간 노출될 경우 여러 가지 독성을 야기하는데, 특히 유전자 수준에서 암 발생을 유도하는 것으로 알려져 있다[9]. 니켈에 대한 허용량은 아직 설정되어있지 않다. 하지만 한국을 비롯한 각 국에서 해수 내 해양환경기준 유해물질 항목으로 선정되어 관리되고 있고[10], 해수에 의한 수산물 오염 가능성이 충분히 존재한다.

크롬은 자연 상태에서 많이 분포되어 있지는 않지만 여러 합금재료로 금속공업에서 활용되며, 산업적 안료 재료 등 산업분야에서 다양하게 사용되는 중요한 금속이다. 이는 인간의 사용에 따른 인위적인 배출량 증가로 인하여 토양, 물 등 환경에 축적되는 결과를 가져왔다. 크롬 중 3가 크롬은 인체에 필수적인 부분도 있지만, 장기간 노출 시 6가 크롬과 마찬가지로 여러 부작용이 생길 수 있으며[11], 인체 내 크롬의 대사 작용에 의한 잠재위험도 존재한다[12]. 그리하여 우리나라 환경부는 '토양환경보전법 시행규칙'에 의거하여 토양 내 우려 기준의 6가 크롬의 양을 지역에 따라 5-40 mg/kg으로 설정하였다. 또한 '먹는 물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙'에 의해 크롬 기준을 0.05 mg/L로 설정하여 관리하고 있다.

대기, 토양, 물 등 주변 환경의 오염은 해양의 오염과 불가분의 관계이며, 해양오염은 수산물의 오염을 통하여 인체에 필연적으로 영향을 준다. 본 연구에서는 급속한 해양오염과 관련하여 기준이 설정되어있지 않은 중금속에 의한 수산물 오염실태에 관한 자료를 확보하고, 현 오염상황에 의한 인체의 노출 위해에 대하여 현 시점에서 평가해 보고자 한다.

Materials and Methods

시험 재료

서울특별시 경동시장, 인근 대형마트 등에서 유통되고 있는 주요 품목별[13] 건조 수산물 150여 건을 시료로 사용하였다. 건조 수산물은 건조어류(멸치, 명태, 밴댕이), 건조연체류(오징어), 건조해조류(김, 미역, 다시마), 건조갑각류(각종 새우류)로 분류하였다. 식품공전 오염물질 기준 적용법에 따라, 시료는 분쇄 즉시 수분 함량을 측정하여 건조시료의 수분함량을 산출하였다. 제9개정판 국가표준식품성분표(2016)에서 수산물의 건조 전 수분함유량(%)을 수분 함량 시험 값과 함께 중금속 함량 환산에 활용하였다.

중금속 분석

비소, 크롬, 니켈 표준품은 multi element calibration standard 2A-HG (Agilent Technology, Santa Clara, CA, USA)를 사용하였으며, 시료는 식품공전 유해물질시험법 중금속시험법 중 마이크로웨이브법으로 전처리하여 시험용액을 준비하였고, 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS, iCAP Q/RQ, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 총 비소, 크롬, 니켈의 양을 측정하였다.

통계분석 및 위해도 평가

시험자료는 어류, 연체류, 해조류, 갑각류 등으로 분류하여 그 분류군을 중심으로 정리하였다. SPSS statistics (International Business Machines Co., Armonk, NY, USA)를 이용하여 일원배치분산분석, 사후 검정 및 몬테카를로 시뮬레이션 등의 통계분석을 실시하였으며, $P<0.05$ 수준에서 자료의 통계적 유의성을 평가하였다. 제7기 국민건강영양조사(2016~2018) 및 국민영양통계[14]를 참고하여 각 품목별 중금속 주간섭취량(estimated weekly intake, EWI)을 구하였으며, 이를 JECFA의 PTWI, 먹는물 수질기준, 해수 수질기준 등 유해 중금속에 대한 다각적인 관리기준과 간접적인 비교, 검토, 확장에 의한 위해도를 평가하고자 하였다.

Results and Discussion

검출한계, 정량한계 및 회수율 검토

각각의 표준품(10 μg/mL)을 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10.0, 25.0, 50.0, 100.0 μg/L로 희석, 제조한 후 표준용액으로 사용하였다. 표준용액 검량선의 결정계수(R^2)는 비소 0.9999 이상, 니켈 0.9996 이상, 크롬 0.9997 이상으로 각 금속의 농도에 따른 기기신호의 재현성을 검증하였다. 그리고 USP (United State pharmacopoeia)법에 따른 검출한계와 정량한계는 비소 0.0059/0.019 ppb, 니켈 0.0043/0.014 ppb, 크롬 0.0047/0.016 ppb이다.

국제식품규격위원회(codex alimentarius commission,

Table 1. Heavy metal recovery rate using ICP-MS by sample groups (n=3)

Concen-tration	Sample Groups[1)]	As	Cr	Ni
		Recovery rate (%, Mean±SD)		
Low (1 ppb)	Fish	93.3±0.54	101.2±0.48	95.8±0.77
	Mollusca	102.5±0.61	99.4±1.03	97.1±0.41
	Crustacea	71.5±0.72	92.5±0.53	79.5±0.68
	Seaweed	95.9±2.96	106.2±0.30	86.9±1.54
Medium (10 ppb)	Fish	100.3±0.62	99.9±1.35	93.1±2.50
	Mollusca	99.8±0.81	100.4±1.77	94.0±2.49
	Crustacea	82.7±1.32	90.0±0.60	82.2±0.48
	Seaweed	107.2±3.96	107.1±1.01	107.9±1.88
High (50 ppb)	Fish	108.8±0.52	96.9±1.45	92.1±4.86
	Mollusca	108.8±1.13	98.9±1.09	103.3±2.87
	Crustacea	73.4±2.80	94.1±1.33	96.2±2.39
	Seaweed	87.1±2.28	93.4±0.99	89.4±1.13

CAC)가 채택한 회수율 검토방법에 의하여, 분류 시료 별로 최종 농도로 저농도(1 ppb), 중농도(10 ppb), 고농도(50 ppb)의 표준용액을 시료에 첨가하여 일련의 전처리 과정을 거친 후 회수율을 확인하였다. 비소는 어류에서 93.3-108.8%, 연체류에서 99.8-108.8%, 해조류에서 87.1-107.2%, 갑각류에서 71.5-82.7%의 회수율을 보였고, 크롬은 어류 96.9-101.2%, 연체류 98.9-100.4%, 해조류 93.4-107.1%, 갑각류 90.0-94.1%의 회수율을 보였고, 니켈의 회수율은 어류 92.1-95.8%, 연체류 94.0-103.3%, 해조류 86.9-107.9%, 갑각류 79.5-96.2%였다(Table 1).

시료 별 각 중금속 오염 현황

시료 별 비소의 평균 검출량(평균±표준편차(최댓값-최솟값))은 어류 1.76±1.36 (0.00-7.34), 연체류 3.38±2.42 (0.06-7.89), 해조류 1.99±1.33 (0.28-5.97), 갑각류 6.62±2.50 (3.30-13.57) ppm이었다. 크롬 평균 검출량은 차례로 0.09±0.10 (0.00-0.49), 0.05±0.06 (0.00-0.23), 0.01±0.01 (0.00-0.04), 0.12±0.10 (0.01-0.42) ppm이었고, 니켈 평균 검출량은 0.17±0.18 (0.00-1.30), 0.05±0.05 (0.00-0.20), 0.05±0.06 (0.00-0.22), 0.21±0.16 (0.05-0.70) ppm이었다(Table 2). 평균 검출량 결과를 보면, 건조 갑각류로 유통되는 각종 새우(홍새우, 보리새우, 먹새우 등)가 다른 품목에 비해 비소, 크롬, 니켈 검출량이 높은 것을 알 수 있다(Fig. 1). 이를 일원배치분산분석 Turkey 사후검정(95% 신뢰수준)에 의하여 분석한 결과, 비소의 경우는 모두 P<0.001로 갑각류의 검출량이 다른 품목의 검출량에 비해 유의하게 많음을 확인할 수 있었다. 크롬의 경우 어류나 연체류의 검출량과는 유의한 차이를 보이지 않았지만, 해조류의 검출량과는 P<0.001으로 유의한 차이가 있었으며, 니켈의 경우는 연체류와 P=0.007, 해조류와 P=0.001으로 유의한 검출량 차이가 있었으나, 어류와는 차이가 없었다. 크롬은 해조류의 검출량이 어류와 갑각류 및 연체류에 비해 검출량이 적었으며(P<0.001), 니켈의 경우도 어류와 갑각류에서의 검출량이 연체류(P=0.015, P=0.007)와 해조류(P=0.001)의 검출량보다 많았다. 건조 어류로 분류된 멸치, 명태, 밴댕이 등에 대한 세부 분석을 실시한 결과, 비소의 경우 멸치류 53건의 평균 검출량은 2.14±1.36이었고, 명태류 40건의 검출량은 1.13±0.80, 밴댕이 15건의 검출량은 2.10±1.92 ppm이었다. 크롬은 순서대로 0.10±0.08, 0.08±0.11, 0.09±0.11 ppm이었고, 니켈은 0.21±0.23, 0.12±0.10, 0.14±0.12 ppm이었다. 사후검정 분석결과, 크롬과 니켈은 시료 유형별 검출량에 차이가 없었으나, 비소는 명태류에 비해 멸치류(P=0.001)와 밴댕이류(P=0.037)의 검출량이 유의하게 많은 것으로 확인됐다. 현재 식품공전에서 일부 건조 자연물(건조 농산물 일부 및 한약재)에 총 비소 기준 3 ppm 이하를 간접적으로 적용했을 때, 기준을 초과하는 건조어류 15건 중 7건은 멸치류, 7건은 밴댕이류, 1건은 명태류라는 결과와 맥을 같이 한다.

또한 식품공전의 일부 건조 자연물 기준 적용 시, 갑각류는 분석에 사용된 시료 21건 모두 기준값 이상으로 검출되었는데, 호주의 경우 갑각류 총 비소 기준이 2 ppm

Table 2. Amount of arsenic, chrome and nickel detected by sample groups (unit: ppm)

Samples	Sample number	As Mean±SD (min-max)	Cr Mean±SD (min-max)	Ni Mean±SD (min-max)
Fish	108	1.76±1.36 (0.00-7.34)	0.09±0.10 (0.00-0.49)	0.17±0.18 (0.00-1.30)
Mollusca	20	3.38±2.42 (0.06-7.89)	0.05±0.06 (0.00-0.23)	0.05±0.05 (0.00-0.20)
Seaweed	35	1.99±1.33 (0.28~5.97)	0.01±0.01 (0.00-0.04)	0.05±0.06 (0.00-0.22)
Crustacea	21	6.62±2.50 (3.30-13.57)	0.12±0.10 (0.01-0.42)	0.21±0.16 (0.05-0.70)

임을 감안한다면 사용된 시료의 비소 오염도가 높음을 알 수 있다. 건조 연체류는 총 20건 중 50%에 해당하는 10건이 기준값 이상이었고, 건조 어류는 총 108건 중 15건(13.9%)이 기준값을 초과하였으며, 건조 해조류는 35건 중 6건(17.1%)의 시료가 기준값을 초과한 것으로 나타났다.

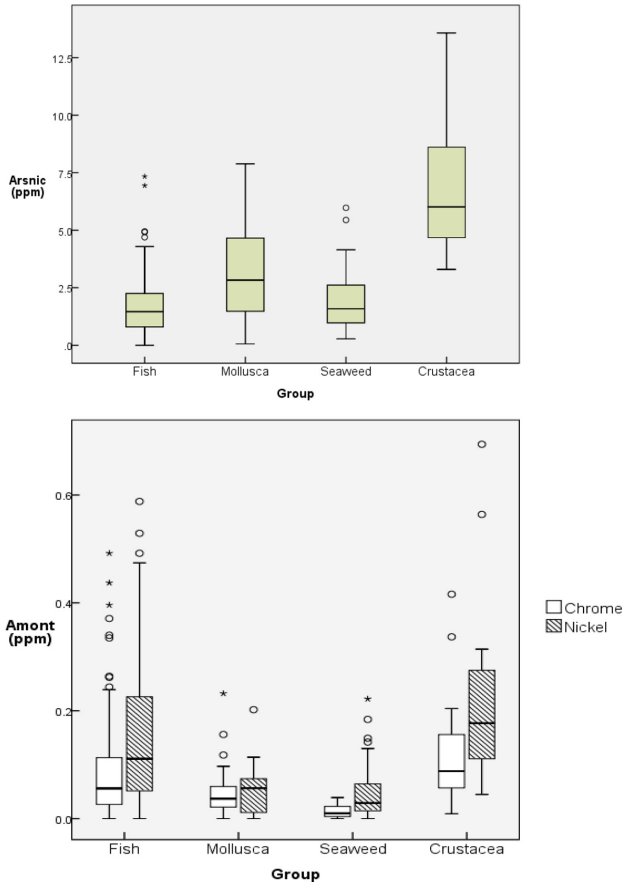

Fig. 1. Box plot showing the distribution of As, Cr and Ni amount by sample groups.

건조해조류 중 기준을 초과하는 6건은 다시마 4건 중 4건, 김 17건 중 1건, 미역 14건 중 1건으로 구성되어 있으며, 다시마에서의 검출량이 다른 두 품목의 검출량에 비해 유의하게(P<0.001) 많음을 검증할 수 있었다. 이는 갑각류와 일부 어류, 해조류 등 수산물에서 비소가 다량으로 발생할 수 있다는 CODEX의 결과[8]와 비슷한 결과를 보였다. 따라서 잠재 위해성이 있는 미 규격 중금속에 대한 지속적인 데이터 축적과 분석을 통한 새로운 규격 설정의 필요성을 확인할 수 있다.

각 중금속에 대한 위해도 평가

제7기 국민건강영양조사 및 국민영양통계[14]를 바탕으로 다소비 건조어류(멸치, 명태), 건조연체류(오징어), 건조해조류(김, 미역) 및 건조갑각류(새우)에 대한 5년간(2014-2018)의 일일섭취량(g) 추이를 조사하였다(Fig. 2). 오징어나 멸치처럼 어획량 감소에 따른 가격의 변동[13]으로 소비량 감소를 추정할 수 있는 경우를 제외하면, 건조수산물의 소비량이 대체로 점차 증가하고 있음을 알 수 있다. 이 연구에서 건조어류를 제외한 세 품목은 시료 건수를 감안할 때, 위해도 평가에 있어서 다소 제한적일 수 있다. 그러므로 수산물의 소비량이 점차 증가하는 현 상황에서 각 품목별 및 세부 품목에 대한 오염도 및 위해도 분석이 지속적으로 필요할 것으로 판단된다. SPSS 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 비소, 크롬, 니켈 검출량의 난수를 구한 후, 각 품목별 2018년의 일일섭취량으로 주간섭취량을 구하였다(Table 3). 비소의 경우 멸치는 kg당 0.032-2.764 μg, 명태는 0.017-1.187 μg, 오징어는 0.001-1.166 μg, 김은 섭취하지 않는 경우부터 0.000-0.648 μg, 미역은 0.018-0.539 μg, 새우는 0.05-0.205 μg을 섭취하는 것으로 계산되었다. 크롬의 경우는 순서대로 최곳값이 0.288, 0.106, 0.031, 0.005, 0.002, 0.039 μg이었으며, 니켈은 순서대로 0.350, 0.184, 0.029, 0.028, 0.004, 0.045 μg이 최곳값으로 계산되

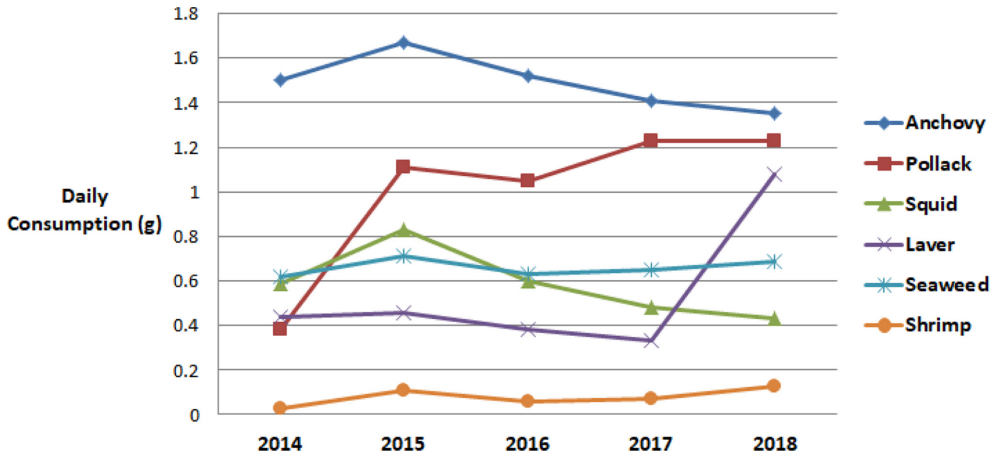

Fig. 2. Trend line showing the annual consumption changes of dried marine products (2014-2018).

Table 3. Amount of estimated weekly intake (EWI) simulated by SPSS

		As		Cr		Ni	
	Daily intake[2] (g/day)	Amount[1] of As(mean) (mg/kg) (min-max)	EWI(mean) (μg/kg b.w[3]/week) (min-max)	Amount of Cr (mean) (mg/kg) (min-max)	EWI (mean) (μg/kg b.w/week) (min-max)	Amount of Ni (mean) (mg/kg) (min-max)	EWI(mean) (μg/kg b.w/week) (min-max)
Anchovy	1.35	2.138 (0.20-17.55)	0.337 (0.032-2.764)	0.096 (0.00-1.83)	0.015 (0.00-0.288)	0.208 (0.00-2.22)	0.033 (0.0000-0.350)
Pollack	1.23	1.125 (0.12-8.27)	0.161 (0.017-1.187)	0.069 (0.00-0.74)	0.010 (0.00-0.106)	0.120 (0.00-1.28)	0.017 (0.0000-0.184)
Squid	0.43	3.444 (0.01-23.25)	0.173 (0.001-1.166)	0.058 (0.00-0.62)	0.003 (0.00-0.031)	0.055 (0.00-0.58)	0.003 (0.0000-0.029)
Laver	1.08	1.890 (0.00-5.14)	0.238 (0.000-0.648)	0.019 (0.00-0.04)	0.002 (0.00-0.005)	0.086 (0.00-0.22)	0.011 (0.0000-0.028)
Seaweed	0.69	1.289 (0.22-6.70)	0.104 (0.018-0.539)	0.006 (0.00-0.02)	0.0005 (0.00-0.002)	0.018 (0.00-0.05)	0.001 (0.0000-0.004)
Shrimp	0.13	6.729 (3.30-13.52)	0.102 (0.050-0.205)	0.122 (0.00-2.58)	0.002 (0.00-0.039)	0.211 (0.01-2.98)	0.003 (0.0002-0.045)
Total(~max)			1.115(~6.509)		0.0325(~0.471)		0.068(~0.64)

[1] Statistically simulated amount by SPSS.
[2] The values from the 7th Korea National Health & Nutrition Examination survey.
[3] b.w. (body weight): 60 kg.

었다. 여러 품목을 복합적으로 섭취 가능하므로, 각 항목에 대한 최곳값 합계(μg/kg bw/week)는 비소 6.509, 크롬 0.471, 니켈 0.64이었다. 크롬은 현재 환경부에서 먹는 물 수질기준으로 50 μg/L를 설정하고 있으며, 해양수산부는 해양생태계 보호 기준으로는 6가 크롬 2.8 μg/L, 사람의 건강보호 기준으로 50 μg/L를 설정하고 있으며, 니켈은 크롬과 마찬가지로 해수 내 중금속 우선관리대상물질로 선정되어 해양생태계 보호 기준으로 11 μg/L이 설정되어 있다[10]. 해수를 비롯한 다각적인 부문에서 관리가 이루어지고 있는 크롬과 니켈의 경우, 건조수산물의 섭취에 의한 건강 위해도는 아직 낮은 것으로 확인되었으며, 이는 Biswas 등[15], Liu 등[16] 및 Mok 등[17]의 연구 결과와 비슷한 결과였다. 총 비소는 2011년을 기점으로 철회된 총 비소 PTWI (350 μg/kg bw/week)의 약 1.9%에 해당하는 값으로, 건조수산물에 의한 노출량은 아직 높지 않은 것으로 확인되었고 2017년 '식품의 중금속 기준 규격 재평가 보고서'[18]의 비소 노출안전기준에 대한 평가와 같은 결과였다. 하지만 Varol 등[19]이 일부 생선에서의 총 비소 및 무기비소의 다량 검출이 암을 유발할 수 있는 수치임을 확인하였으며, 위 보고서[18]에서도 총 비소와 더불어 인체유해성이 높은 무기비소에 의한 수산물 오염 관리 필요성과 이에 대한 기준 설정이 필요함을 보고하였다.

중금속은 여러 경로로 인체 내로 유입되며, 위해도는 총합으로써 평가해야 한다. 비소, 크롬, 니켈 등 중금속에 의한 지속적인 해양오염과 그로 인한 해양생물의 중금속 축적 및 건강 위해 가능성 또한 지속적으로 증가되고 있는 상황에서, 다른 분야에서 이루어지는 관리현황의 분석, 비교 등과 함께 다각적인 연구와 검토가 필요할 것으로 판단된다.

국문요약

서울시 경동시장 및 인근 대형마트에서 유통 중인 건조 수산물 150여 건을 시료로, ICP-MS를 이용하여 규격 미설정 중금속인 비소, 크롬, 니켈에 의한 오염도를 확인하고 그에 따른 위해도를 분석하였다. 크롬과 니켈은 검출량 및 위해도 분석 결과, 유의할 만한 결과를 확인할 수 없었다. 비소 검출량의 경우 건조어류 1.76±1.36 (0.00-7.34), 건조연체류 3.38±2.42 (0.06-7.89), 건조해조류 1.99±1.33 (0.28-5.97), 건조갑각류 6.62±2.50 (3.30-13.57) ppm으로, 현재 건조 농산물 일부 및 한약재에서의 3 ppm 이하 규정을 간접적으로 적용했을 때, 건조갑각류는 분석에 사용된 시료 21건 모두 기준 이상으로 검출되었고, 건조연체류는 총 20건 중 50%에 해당하는 10건이 기준 이상, 건조 어류는 총 108건 중 15건(13.9%)이 기준 초과, 건조 해조류는 35건 중 6건(17.1%)의 시료가 기준을 초과한 결과를 보였다. 시료 건수에 따른 한계에도 불구하고, 위 결과를 통해 각 품목별 및 세부 품목별 미 규격 중금속 오염에 대한 지속적인 자료 축적과 규격 설정의 필요성을 확인할 수 있었다. 비록 %PTWI 분석 결과 아직은

안전한 것으로 확인되었지만, 중금속은 여러 경로로 인체 내로 유입되며 위해도는 총합으로써 평가해야 하므로, 해양 및 수산물의 오염으로 인한 건강 위해 가능성에 대한 확인은 다각적인 연구와 검토가 필요할 것으로 판단된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Jin-Ah Kim	https://orcid.org/0000-0001-8216-6837
In-Soon Jo	https://orcid.org/0000-0001-5052-5559
Young Shin	https://orcid.org/0000-0001-7959-0696
Jung-Im Jang	https://orcid.org/0000-0001-1194-6163
Soo-Jin Kim	https://orcid.org/0000-0001-9018-8825
Ji-Hun Jung	https://orcid.org/0000-0002-9838-1029
Seung-Deuk Lee	https://orcid.org/0000-0001-3110-2715
Gi-Young Shin	https://orcid.org/0000-0001-6825-5219

References

1. Wang, S.L., Xu, X.R., Sun, Y.X., Liu, J.L., Li, H.B., Heavy metal pollutions in coastal areas of South China: A review. *Mar. Pollut. Bull*., **76**, 7-15 (2013).
2. Rahman, Z., Singh, V.P., The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chromium (Cr) (VI), Mercury (Hg), and Lead (Pb)) on the total environment: An overview. *Environ. Monit. Assess*., **191**, 419 (2019).
3. Bosch, A.C., O'Neill, B., Sigge, G.O., Kerwath, S.E., Hoffman, L.C., Heavy metals in marine fish meat and consumer health: A review. *J. Sci. Food Agric*., **96**, 32-48 (2016).
4. Li, L., Tian, X., Yu, X., Dong, S., Effects of acute and chronic heavy metal (Cu, Cd, and Zn) exposure on sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*). *Biomed Res. Int*., 4532697 (2016).
5. Ministry of Food and Drug Safety, 2020. Korean food standards code, Cheongju, Korea, pp. 36-37.
6. Zhang, W., Guo, Z., Song, D., Du, S., Zhang, L. Arsenic speciation in wild marine organisms and a health risk assessment in a subtropical bay of China. *Sci. Total Environ*., **626**, 621-629 (2018).
7. Tsuji, J.S., Garry, M.R., Perez, V., Chang, E.T., Low-level arsenic exposure and developmental neurotoxicity in children: A systematic review and risk assessment. *Toxicology*, **337**, 97-107 (2015).
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2020, March 30). Codex general standard for contamination and toxins in foods CODEX STAN 193-1995. Retrieved from http://www.ico.org/projects/Good-Hygiene-Practices/cnt/cnt_en/sec_2/docs_2.1/Codex%20General%20Stan%20Tox.pdf
9. Oller, A.R., Costa, M., Oberdorster, G., Carcinogenicity assessment of selected nickel compounds. *Toxicol. Appl. Pharmacol*., **143**, 152-166 (1997).
10. Ministry of Oceans and Fisheries, (2020, April 20). White paper on the marine environment standards. Retrieved from https://www.mof.go.kr/article/view.do?menuKey=851&boardKey=22&articleKey=31095
11. United States National Institute of Health, (2020, March 29). Chromium: Fact sheet for health professionals. Retrieved from https://ods.od.nih.gov/factsheets/Chromium-HealthProfessional/#en2
12. Jones, R.E., Hexavalent chrome: Threshold concept for carcinogenicity. *Biomed. Environ. Sci*., **3**, 20-34 (1990).
13. Ministry of Oceans and Fisheries, (2020, April 20). Fishery production survey. Retrieved from https://www.fips.go.kr/p/S0203/
14. Korea Health Industry Development Institute, 2018. Korea national health and nutrition examination survey (KNHANES VII). Cheongju, Korea.
15. Biswas, S., Prabhu, R.K., Hussain, K.J., Selvanayagam, M., Satpathy, K.K., Heavy metals concentration in edible fishes from coastal region of Kalpakkam, southeastern part of India. *Environ. Monit. Assess.*, **184**, 5097-5104 (2012).
16. Liu, Q., Xu, X., Zeng, J., Shi, X., Liao, Y., Du, P., Tang, Y., Huang, W., Chen, Q., Shou, L., Heavy metal concentrations in commercial marine organisms from Xiangshan Bay, China, and the potential health risks. *Mar. Pollut. Bull*., **141**, 215-226 (2019).
17. Mok, J.S., Kwon, J.Y., Son, K.T., Choi, W.S., Kang, S.R., Ha, N.Y., Jo, M.R., Kim, J.H., Contents and risk assessment of heavy metals in marine invertebrates from Korean coastal fish markets. *J. Food Prot*., **77**, 1022-1030 (2014).
18. Ministry of Food and Drug Safety, (2020, December 23). A report on re-evaluation of heavy metal in food. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/docviewer/skin/doc.html?fn=20181204062101866.pdf&rs=/docviewer/result/plc0059/27035/1/202103
19. Varol, M., Kaya, G.K., Sunbul, M.R., Evaluation of health risks from exposure to arsenic and heavy metals through consumption of ten fish species. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int*., **26**, 33311-33320 (2019).