

## 서식지에 따른 다소비 어류의 납과 카드뮴의 오염 및 위해 평가

김기현 · 김용중<sup>1</sup> · 허민수<sup>2</sup> · 김진수<sup>1\*</sup>

대상 품질경영실 품질안전팀, <sup>1</sup>경상대학교 해양식품생명과학과/해양산업연구소, <sup>2</sup>경상대학교 식품영양학과/해양산업연구소

### Contamination and Risk Assessment of Lead and Cadmium in Commonly Consumed Fishes as Affected by Habitat

Ki Hyun Kim, Yong Jung Kim<sup>1</sup>, Min Soo Heu<sup>2</sup> and Jin-Soo Kim<sup>1\*</sup>

Department of Quality Safety team, Quality Management Office, Daesang Corporation, Yongin 17173, Korea

<sup>1</sup>Department of Seafood and Aquaculture Science/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53063, Korea

<sup>2</sup>Department of Food and Nutrition/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

This study determined the concentrations of lead and cadmium in 18 species of commonly consumed fish and assessed the risk based on provisional tolerable weekly (monthly) intakes [PTW(M)I] % as affected by behavioral characteristics, such as migration and settlement. In the 18 species, the mean concentrations of lead and cadmium were higher in the 11 species of migratory fish (largehead hairtail *Trichiurus lepturus*, chub mackerel *Scomber japonicus*, Pacific saury *Cololabis saira*, skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*, Pacific cod *Gadus macrocephalus*, anchovy *Engraulis japonicus*, Alaska pollack *Theragra chalcogramm*, brown croaker *Miichthys miiuy*, Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius*, yellow croaker *Larimichthys polyactis*, and Pacific herring *Clupea pallasii*) than in the seven demersal species (red stingray *Dasyatis akajei*, brown sole *Pleuronectes herzensteini*, bastard halibut *Paralichthys olivaceus*, conger eel *Conger myriaster*, blackmouth angler *Lophiomus setigerus*, rockfish *Sebastes schlegelii*, and filefish *Stephanolepis cirrhifer*). Based on the mean concentrations, the PTWI % of lead and cadmium in commonly consumed migratory fish were 1.900 and 2.986%, respectively, which were higher than the values for lead and cadmium in the commonly consumed demersal fishes (0.257 and 0.318%, respectively). The estimation of weekly (monthly) intakes and target hazard quotients for the toxic elements lead and cadmium revealed that the commonly consumed migratory and demersal fish do not pose any health risks for consumers.

Key words: Mainly consumed fishes, Heavy metal, PTWI, PTMI, Migratory fish, Demersal fish

## 서 론

수산물은 우리나라에서 삼면이 바다라는 지리적 요인으로 인하여 즐겨 식용하여 왔고, 예전의 경우 단순히 주요 단백질 보급원(Park et al., 1995)으로 이용되어 왔으나, 최근의 경우 이와 같은 영양적인 기능 이외에도 eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3), docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3), taurine, carnosine 및 anserine 등과 같은 여러 가지 건강 기능적(Boldyrev et al., 1993; Pigott and Tucker, 1990)인 면도 있어 고가임에도 불구하고 인기리에 소비되고 있다. 한편, 최근 우리나라는

급속한 사회적, 경제적 발전에 따른 영향으로 생활 및 산업 폐수가 다량 발생하여(Mok et al., 2009), 하천이나 연안 해역 등에서 중금속 등과 같은 환경오염이 급속도로 진행되고 있다(Rashed, 2001). 해양 오염물질은 작은 식물이나 플랑크톤 등과 같은 동물을 통하여 생태계의 먹이사슬로 유입된 다음 수산물의 생체 내에 축적하게 된다. 중금속은 식품에서 공통적으로 볼 수 있는 독성 물질로, 농산물, 축산물 및 수산물 등과 같은 생체 내에서 강한 결합을 한 상태로 축적되어 있어(Mason et al., 1995) 아주 천천히 제거되는 대표적인 유해 금속이다. 이로 인하여 납은 신경, 평활근 장애와 적혈구 중의 헤모글로빈을 감소

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0541>



This is an Open Access article 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.

Korean J Fish Aquat Sci 49(5) 541-555, October 2016

Received 28 July 2016; Accepted 3 October 2016

\*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9146 Fax: +82. 55. 772. 9149

E-mail address: jinsukim@gnu.ac.kr

시켜 빈혈을 유발하는 금속으로 알려져 있으며, 급성 중독 증상은 헤모글로빈으로 인한 빈혈, 산통, 뇌손상마비, 신경장애 등이 있고, 만성 장애 증상은 창백한 피부, 두통, 식욕 감퇴 등을 일으킨다(Choi, 2011). 그리고 카드뮴은 잘 알려져 있는 이타이 이타이병의 원인 물질로 주로 신장 독성을 일으키고, 초기 증상은 뇨로 단백질이 배설되고 골조직에서의 경우 칼슘과 인 대사의 불균형을 초래하여 주로 40세 이상의 여성에게 요통, 골절, 골다공증 골연화증 등을 유발하며, 비장의 기능 장애, 고혈압, 간장 손실, 폐 손상, 기형 발생, 뼈 손상 등을 일으킨다(Vieira et al., 2011). 어류는 이동 특성에 따라 크게 분류하는 경우 멸치, 명태, 민어, 고등어, 삼치, 갈치, 대구, 청어, 꽁치, 가다랑어, 조기 등과 같은 중·표층 회유성 어류와 넙치, 아귀, 가자미, 붕장어, 쥐치, 조피볼락, 가오리 등과 같은 저층 정착성 어류로 나누어진다(Jeong et al., 1998). 이들 중·표층 회유성 어류는 산란, 생육, 색이 및 적온을 목적으로 회유를 하고 있고, 저층 정착성 어류는 해조지대, 모래지대, 암초지대, 심해지대 등에서 서식을 하고 있다. 따라서 수산물의 중금속에 대한 지속적이고 체계적인 관리를 위하여는 생산적인 단계인 전국 연안의 수산물과 수입단계의 수입산 수산물에 대한 관리, 소비적인 단계인 전국 유통 수산물에 대한 중금속의 관리도 반드시 필요하나, 어류의 회유성과 정착성과 같은 서식 특성에 따른 중금속에 대한 자료 조사도 반드시 필요하다.

한편, 수산물의 납과 카드뮴의 오염 정도와 위해 평가에 관한 최근 연구로는 국내의 경우 Kwon et al. (2010)의 부산지역 유통 수산물의 중금속 실태 조사에 관한 연구 및 Choi (2011)의 울산 지역 다소비 식품의 중금속 함량에 대한 연구 등이 있고, 국외의 경우 Olmedo et al. (2013)의 어류와 패류에 대한 중금속(수은, 카드뮴, 납, 주석 및 비소)의 농도 및 위해 평가를 조사한 연구, Vieira et al. (2011)의 대서양산 원양 어류(3종)의 수은, 카드뮴, 납 및 비소 함량에 대하여 조사한 연구, Kalogreopoulos et al. (2012)의 지중해 어류와 패류의 조리법에 따른 중금속 함량의 변화를 조사한 연구 등과 같이 다수가 있으나, 어류의 중·표층 회유성 어류와 저서 정착성 어류 간, 납과 카드뮴의 농도 및 위해평가에 관한 연구는 전무한 실정이다.

이러한 일면에서 본 연구에서는 국민 건강 증진을 위한 기초 자료를 확보할 목적으로 Lee and Kim (2010) 충남 서산에서 어획된 낚지의 중금속 함량과 인체 위해성 평가에 관한 연구, Mok et al. (2010)의 한국 연안산 해산 무척추동물의 중금속 함량에 관한 연구 및 Institute of Health and Environment (2010)의 강원지역 연안 수산물의 중금속 모니터링에 관한 연구 등과 같이 국내 다소비 어류 중 서식 수층에 따라 중·표층 회유성 어류(멸치, 명태, 민어, 고등어, 삼치, 갈치, 대구, 청어, 꽁치, 가다랑어, 조기)와 저서 정착성 어류(넙치, 아귀, 가자미, 붕장어, 쥐치, 조피볼락, 가오리)로 분류하여 이들 어류의 납과 카드뮴에 대한 오염도 및 위해도 평가를 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 시료

분석 시료는 최근 5년간 국내 각 어류의 평균 섭취량을 기준으로 하여 상위 18종의 어류(멸치 15건, 명태 21건, 민어 15건, 고등어 21건, 삼치 20건, 갈치 26건, 대구 22건, 청어 10건, 꽁치 20건, 가다랑어 5건, 조기 20건, 넙치 20건, 아귀 21건, 가자미 21건, 붕장어 20건, 쥐치 8건, 조피볼락 20건, 가오리 12건 등) 317건을 선정하였다(FAOSTAT, 2015). 시료는 계절과 지역, 생산과 서식 지역에 편중되지 않게 채취할 목적으로 겨울(10-2월), 봄(3-5월) 및 여름(6-7월)으로 나누어 실시하였다. 또한, 이들의 채취 지역은 생산, 유통, 소비 및 수입의 요충지라 할 수 있는 서울특별시, 광주광역시, 부산광역시, 울산광역시, 인천광역시, 제주특별자치도, 강원도의 강릉시, 충청남도의 보령시와 서천군, 전라북도의 군산시, 목포시 및 전주시, 전라남도의 순천시와 여수시, 경상북도의 포항시, 경상남도의 거제시, 김해시, 사천시, 창원시, 통영시, 고성군, 남해군 및 하동군 등과 같은 23개 지역으로 나누어 실시하였다. 채취한 이들 어류에 대한 중·표층 회유성(멸치, 명태, 민어, 고등어, 삼치, 갈치, 대구, 청어, 꽁치, 가다랑어, 조기)과 저층 정착성(넙치, 아귀, 가자미, 붕장어, 쥐치, 조피볼락, 가오리)의 분류는 전문가의 도움을 받아 한국해산어류도감(Kim et al., 2001), 태평양산 원양어류도감(NFRDI, 1999) 및 기타 자료(Jeong et al., 1998)를 참고하여 실시하였다. 이 때, 조피볼락과 같은 연안 암초성 어류는 편리상 저층 정착성 어류로 분류하였다. 구입한 어류는 전처리 전에 초순수로 깨끗이 세척한 후 소비자가 섭취하는 형태를 기준(멸치의 경우 전어체로 하였고, 이를 제외한 나머지 어류의 경우 근육)으로 하여 채취하고, 균질화한 다음 생시료를 그대로 사용하였다.

선정된 18종의 어류에 대한 영명과 학명과 같은 명칭, 시료의 구입 시 어류의 상태[저장 상태(활어/선어/동결어), 전처리 상태(round/cutted)], 이동성, 시료 채취 건수 및 수분 함량은 Table 1과 같다.

### 표준인증물질 및 시약

중금속의 회수율 검증을 위하여 사용한 표준인증물질은 어류 가식부의 경우 DORM-4 (fish poisson, National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada), 어류 내장의 경우 DOLT-4 (fish liver, National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada)와 같은 2종을 사용하였고, 이들의 농도는 납의 경우 각각 0.416 및 0.16 mg/kg, 카드뮴의 경우 각각 0.306 및 24.3 mg/kg이었다.

카드뮴과 납과 같은 중금속 분석을 위한 표준용액은 원자흡광 분석용 혼합 표준액(1,000 ppm, Merck, Darmstadt, Hesse, Germany)을 초순수로 희석하여 사용하였다. 분해용 시약으로는 질산(supra-pure grade, Merck, Darmstadt, Hesse, Ger-

Table 1. English and scientific names, sampled states and parts of fishes used as samples in this experiment

Migration	Name		Sampled state			Moisture content (g/100 g)
	Common	Scientific	Storage state	Pretreated state	Numeral	
Migratory fish	Anchovy	<i>Engraulis japonicus</i>	Fresh	Round	15	66.5-79.3
	Alaska pollock	<i>Theragra chalcogramm</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	21	63.5-89.5
	Brown croaker	<i>Miichthys miiuy</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	15	64.2-79.9
	Chub mackerel	<i>Scomber japonicus</i>	Alive/Fresh/Frozen	Round	21	51.4-77.8
	Japanese Spanish mackerel	<i>Scomberomorus niphonius</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	20	68.3-78.7
	Largehead hairtail	<i>Trichiurus lepturus</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	26	68.3-80.3
	Pacific cod	<i>Gadus macrocephalus</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	22	73.3-84.6
	Pacific herring	<i>Clupea pallasii</i>	Alive/Fresh/Frozen	Round/Cutted	10	66.8-81.9
	Pacific saury	<i>Cololabis saira</i>	Fresh/Frozen	Round	20	62.6-74.9
	Skipjack tuna	<i>Katsuwonus pelamis</i>	Frozen	Cutted	5	65.5-70.5
	Yellow croaker	<i>Larimichthys polyactis</i>	Fresh/Frozen	Round	20	68.3-84.4
	Demersal fish	Bastard halibut	<i>Paralichthys olivaceus</i>	Alive/Fresh	Round	20
Blackmouth angler		<i>Lophiomus setigerus</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	21	80.0-85.6
Brown sole		<i>Pleuronectes herzensteini</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	21	75.2-84.4
Conger eel		<i>Conger myriaster</i>	Alive/Fresh/Frozen	Round/Cutted	20	68.2-81.3
Filefish		<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	Alive	Round	8	68.0-79.1
Rockfish		<i>Sebastes schlegelii</i>	Alive/Fresh/Frozen	Round	20	71.7-84.0
Red stingray		<i>Dasyatis akajei</i>	Fresh/Frozen	Round/Cutted	12	67.4-81.5

many)을 사용하였고, 초순수는 초순수 장치(Milli-Q Biocel, Millipore, Billerica, MA)로 18 MΩ 이상으로 정제한 것을 사용하였다.

모든 초차 기구는 5% 질산용액에 24시간 이상 침지시킨 후 초순수로 깨끗이 씻어 건조시켜 사용하였다.

### 납과 카드뮴의 분석 및 회수율

서식지별 다소비 어류의 납과 카드뮴과 같은 중금속을 분석하기 위한 시료 전처리하는 다음과 같은 방법으로 실시하였다. 동결 건조 시료 1 g을 취하여 테프론 분해기(teflon bomb)에 넣고, 중금속 분석용 고순도 질산 10 mL를 가한 다음 상온에서 150분 동안 반응시켰다. 시료의 완전 분해를 위하여 테프론 분해기를 밀폐시킨 다음 가열판으로 150±5℃에서 400분간 가열한 후 노란색을 띠는 맑은 용액이 될 때까지 실시하였다. 이어서, 시료의 분해 후 테프론 분해기의 코크를 열어 압력을 제거한 후 뚜껑을 열고 100±5℃에서 산이 1 mL 정도가 되도록 증발시켰다. 그리고 테프론 분해기에 중금속 분석용 고순도 질산 10 mL를 다시 가하고, 시료의 완전 분해를 위한 테프론 분해기의 밀폐, 가열(150±5℃, 400분)하는 과정을 한번 더 반복하였다. 그리

고 테프론 분해기의 질산이 1 mL 정도로 거의 증발하였을 때 분해를 종료하고 2% 질산으로 재용해한 다음, 여과 및 정용(100 mL)하여 납 및 카드뮴의 분석용 전처리 시료로 사용하였다. 이들 전처리한 시료에 대한 납과 카드뮴의 분석은 유도결합플라즈마분석기[inductively coupled plasma spectrophotometer (ICP), Atomscan 25, Thermo Fisher Scientific Inc., USA]로 실시하였고, 데이터는 생물 중량으로 나타내었다.

각 중금속 별로 검토한 회수율은 표준인증물질을 사용하여 시료와 동일한 방법으로 전처리하고 분석한 다음 표준인증물질에 제시된 농도에 대하여 분석치의 상대비율(%)로 나타내었다.

### 납과 카드뮴의 섭취량 및 위해 평가

서식지별 다소비 시판 각 어류의 납과 카드뮴에 대한 위해 평가는 잠정주간(월간)섭취허용량[provisional tolerable weekly (monthly) intake, PTW(M)I]%로 나타내었고, 이는 각 어류를 통한 중금속의 단위 체중 당 주간(월간) 섭취량에 대한 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)/WHO (World Health Organization) (JECFA, 2010)에서 설정한 PTW(M)I [납의 경우 25 (μg/body weight kg/week), 카드

몸의 경우 25 ( $\mu\text{g}/\text{body weight kg}/\text{month}$ )와 의 상대비율(%)로 나타내었다. 여기서, 각 어류를 통한 중금속의 단위 체중 당 주간(월간) 섭취량은 각 어류를 통한 중금속의 1인 1일 섭취량에 주간(월간)에 해당하는 일수(주간의 경우 7일, 월간의 경우 30 일을 적용)를 곱하고, 국민 평균 체중[2008년 국민영양통계 국민영양조사 제4기 2차년도 영양조사부문에 근거(Korea Health Industry Development Institute, 2012)한 우리나라 국민의 평균 체중(55 kg)의 자료를 활용]으로 나누어 산출하였다. 그리고 각 어류를 통한 중금속의 1인 1일 섭취량은 각 수산물의 1인 1일 섭취량과 측정된 각 어류의 중금속 농도를 곱하여 산출하였다.

또한, 전체 어류의 중금속에 대한 PTW(M)I %를 산출하기 위하여 기본 자료로 사용한 각 수산물의 1인 1일 섭취량은 2010년도 국민영양통계(Korea Health Industry Development Institute, 2012) 자료로부터 인용하여 사용하였다. 이 때 전체 어류의 1인 1일 섭취량은 37.91 g이나, 본 실험에서 시료로 사용한 다소비 어류들의 1인 1일 섭취량은 35.58 g으로 2.33 g이 부족하여 전체 어류의 중금속에 대한 PTW(M)I %를 산출하기 곤란하다. 따라서 어류 1인 1일 섭취량에 대한 부족 어류(이하 기타 어류로 칭함)의 중금속 농도는 Mok et al. (2009)의 국내 연안 산 어류의 중금속 함량에 대한 자료 중 본 실험에서 시료로 사용한 다소비 18종을 제외한 나머지 어류(머장어, 두릅상어, 까치상어, 홍어, 노랑가오리, 갯장어, 전어, 은연어, 송어, 학공치, 썸뱅이, 쭉기미, 볼락, 탁자볼락, 불볼락, 성대, 양태, 쥐노래미, 노래미, 임연수어, 삼새기, 곰치, 게르치, 방어, 전갱이, 감성돔, 참돔, 게도라치, 까나리, 병어, 도다리, 갈가자미, 참서대, 말쥐치, 줄복, 김복, 자주복, 까칠복, 국매리복, 까치복 등과 같은 40종 어류)의 납과 카드뮴의 평균 농도를 활용하여 범위, 평균, 중앙값 및 P90분위 농도로 산출하여 사용하였다.

## 통계 처리

본 실험에서 얻어진 다소비 어류의 중금속에 대한 각종 데이터[평균값, 표준편차, 중앙값(P50 분위 농도), P90 분위 농도와 이를 토대로 산출한 평가에 대한 데이터]의 산출은 엑셀(Microsoft Office Excel 2003, Redmond, WA, USA) 프로그램을 사용하였다. 여기서 중앙값 및 P90 분위 농도는 데이터의 개수를 100개로 가정하였을 때, 각각 50번째 및 90번째에 위치하는 데이터를 의미한다.

## 결과 및 고찰

### 중금속의 회수율

중금속 표준인증물질을 시료의 전처리 방법과 동일하게 전처리한 다음 분석하여 이들의 회수율로 실험의 정확도 및 정밀도를 검토한 결과는 Table 2와 같다. 표준인증물질 중 DORM-4 (fish poisson)의 인증농도는 납의 경우  $0.416 \pm 0.053 \text{ mg}/\text{kg}$ 이

Table 2. Recovery ratio of lead and cadmium using the certified reference materials

Reference	Heavy metal	Concentration (mg/kg)		Recovery (%)
		Certified	Measured	
DORM-4 (Fish poisson)	Pb	$0.416 \pm 0.053$	$0.333 \pm 0.055$	$80.1 \pm 5.5$
	Cd	$0.306 \pm 0.015$	$0.290 \pm 0.010$	$93.3 \pm 2.1$
DOLT-4 (Fish liver)	Pb	$0.16 \pm 0.04$	$0.15 \pm 0.01$	$93.6 \pm 7.5$
	Cd	$24.3 \pm 0.8$	$22.9 \pm 0.3$	$94.2 \pm 1.2$

였고, 카드뮴의 경우  $0.306 \pm 0.015 \text{ mg}/\text{kg}$ 이었으며, DORT-4 (fish liver)의 인증농도는 납의 경우  $0.16 \pm 0.04 \text{ mg}/\text{kg}$ 이었고, 카드뮴의 경우  $24.3 \pm 0.8 \text{ mg}/\text{kg}$ 이었다. 이들 표준인증물질을 시료의 전처리 방법과 동일하게 전처리하여 분석한 결과 중금속의 회수율은 DORM-4의 경우 납이  $0.333 \pm 0.055 \text{ mg}/\text{kg}$ 이었고, 카드뮴이  $0.290 \pm 0.010 \text{ mg}/\text{kg}$ 이었으며, DORT-4의 경우 납이  $0.15 \pm 0.01 \text{ mg}/\text{kg}$ 이었고, 카드뮴이  $22.9 \pm 0.3 \text{ mg}/\text{kg}$ 이었다. 따라서 이들 표준인증물질의 중금속에 대한 회수율은 DORM-4의 경우 납이  $80.1 \pm 5.5\%$ 이었고, 카드뮴이  $93.3 \pm 2.1\%$ 이었으며, DORT-4의 경우 납이  $93.6 \pm 7.5\%$ 이었고, 카드뮴이  $94.2 \pm 1.2\%$ 이었다. 한편, Codex Alimentarius Commission (2008)에서는 표준인증물질에 함유되어 있는 중금속이 0.1-10 mg/kg 범위의 경우 80-110% 범위의 회수율을, 0.01 mg/kg 및 0.001 mg/kg의 경우 각각 60-115% 범위 및 40-120% 범위의 회수율을 요구하고 있다.

본 실험에서 중금속 표준인증물질로 확인한 납 및 카드뮴의 회수율은 Codex Alimentarius Commission (2008)에서 제시한 범위에 있어, 본 실험에서 적용하는 기기와 전처리 방법은 적절한 것으로 판단되었다.

### 서식지에 따른 다소비 어류의 납과 카드뮴의 오염 평가

다소비 어류 18종 317건을 중·표층 회유성 어류 11종(멸치, 명태, 민어, 고등어, 삼치, 갈치, 대구, 청어, 꽂치, 가다랑어, 조기) 195건 및 저층 정착성 어류 7종(넙치, 아귀, 가자미, 붕장어, 쥐치, 조피볼락, 가오리) 122건으로 나누어 이들의 납 농도를 평균 농도, P50 분위 및 P90 분위 농도와 기타 어류의 이들 농도에 대하여 살펴본 결과는 Table 3과 같다. 다소비 어류 18종 317건의 납 농도는 범위의 경우 ND-0.393 mg/kg, 평균의 경우  $0.069 \pm 0.036 \text{ mg}/\text{kg}$ , 중앙값의 경우 0.049 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.137 mg/kg이었고, 317건의 어류 중 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.393 mg/kg 및 삼치이었다.

중·표층 회유성 다소비 어류 11종 195건의 납 농도는 범위의 경우 ND-0.393 mg/kg이었고, 평균의 경우  $0.059 \pm 0.038 \text{ mg}/\text{kg}$ , 중앙값의 경우 0.037 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.128 mg/kg 이었다. 어류의 납 평균 농도는 본 실험 결과인 중·표층 회유성 다소비 어류 11종이  $0.059 \pm 0.038 \text{ mg}/\text{kg}$ 으로, Sho et al. (2000)의 우리나라 연안산 어류 23종의 0.29 mg/kg, Kim et

Table 3. Lead concentration of mainly consumed migratory and demersal fishes

Migration	Fish	Total Pb (mg/kg, wet basis)		
		Mean (range)	P50th	P90th
Migratory fish	Anchovy	0.142±0.044 (0.079-0.221)	0.132	0.199
	Alaska pollack	0.045±0.039 (0.009-0.155)	0.035	0.061
	Brown croaker	0.012±0.008 (ND <sup>2</sup> -0.030)	0.010	0.022
	Chub mackerel	0.069±0.098 (ND-0.336)	0.020	0.220
	Japanese Spanish mackerel	0.097±0.111 (ND-0.393)	0.049	0.239
	Largehead hairtail	0.065±0.065 (0.002-0.316)	0.022	0.228
	Pacific cod	0.076±0.079 (ND-0.306)	0.046	0.181
	Pacific herring	0.044±0.103 (0.003-0.336)	0.009	0.058
	Pacific saury	0.047±0.035 (ND-0.115)	0.056	0.092
	Skipjack tuna	0.008±0.008 (ND-0.020)	0.008	0.016
	Yellow croaker	0.041±0.036 (0.007-0.113)	0.025	0.094
	Sub-mean (range)	0.059±0.038 (ND-0.393)	0.037 (0.008-0.132)	0.128 (0.016-0.239)
	Demersal fish	Bastard halibut	0.092±0.088 (0.010-0.238)	0.026
Blackmouth angler		0.069±0.037 (0.005-0.148)	0.058	0.112
Brown sole		0.047±0.024 (0.002-0.107)	0.040	0.073
Conger eel		0.091±0.049 (0.009-0.177)	0.090	0.151
Filefish		0.088±0.018 (0.066-0.126)	0.086	0.105
Rockfish		0.069±0.081 (0.002-0.256)	0.036	0.190
Red stingray		0.134±0.063 (0.007-0.221)	0.137	0.212
Sub-mean (range)	0.084±0.027 (0.002-0.256)	0.068 (0.026-0.137)	0.152 (0.073-0.219)	
Total-mean (range)		0.069±0.036 (ND-0.393)	0.049 (0.008-0.137)	0.137 (0.016-0.239)
Others <sup>1</sup> (range)		0.045±0.042 (0.002-0.221)	0.032	0.098

<sup>1</sup>Data of others were calculated with the lead mean concentration on various fishes of Mok et al. (2009).

<sup>2</sup>ND : Not detected.

al. (2003)의 우리나라 시판 어류 9종의 0.47 mg/kg, Institute of Health and Environment (2006)의 국내산 수산물 7종 18건의 0.83 mg/kg, Hwang and Park (2006)의 서울 유통 대형 해산어류 17종 89건의 0.17 mg/kg, Ham (2002)의 우리나라 연안산 및 수입산 어류 34종 468건의 0.213 mg/kg 및 Ersoy and Çelika (2010)의 터키 인근 동부 지중해에서 어획한 시판 저서성 어류 6종의 0.347 mg/kg보다는 낮았고, Kim et al. (2007)의 국내 시판 어류 35종의 0.023 mg/kg, Mok et al. (2009)의 국내 동·서·남해안산 시판 어류 53종의 0.038 mg/kg, Kwon et al. (2010)의 부산지역 유통 수산물의 0.027 mg/kg, Institute of Health and Environment (2010)의 강원지역 연안 수산물 22종의 0.042 mg/kg, Olmedo et al. (2013)의 스페인 시판 수산물의 0.014 mg/kg (중앙값의 평균), Vieira et al. (2011)의 대서양 원양산 어류 3종의 0.031 mg/kg, Kalogreopoulos et al. (2012)의 7종 지중해 어류의 0.041 mg/kg 보다는 높았다. 중·표층 회유성 다소비 어류 간의 납 함량을 평균 농도로 살펴보는 경우 멸치가 0.142±0.044 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 삼치

(0.097±0.111 mg/kg), 대구(0.076±0.079 mg/kg) 및 고등어(0.069±0.098 mg/kg) 등의 순이었으며, 중앙값으로 살펴보는 경우도 멸치가 0.132 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 꽁치(0.056 mg/kg), 삼치(0.049 mg/kg) 및 대구(0.046 mg/kg) 등의 순이었다. P90 분위 농도로 살펴본 중·표층 회유성 다소비 어류의 납 함량은 삼치가 0.239 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 갈치(0.228 mg/kg), 고등어(0.220 mg/kg) 및 멸치(0.199 mg/kg) 등의 순이었다. 따라서 중·표층 회유성 다소비 어류의 납 함량은 동일 어종의 경우 대체로 고르게 분포되어 있기 보다는 몇 건이 특이하게 최대 농도 쪽으로 산발되어 있었다.

저층 정착성 다소비 어류 7종 122건의 납 농도는 범위의 경우 0.002-0.256 mg/kg이었고, 평균값의 경우 0.084±0.027 mg/kg, 중앙값의 경우 0.068 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.152 mg/kg 이었으며, 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.256 mg/kg 및 조피볼락이었다. 어류의 납 평균 농도는 본 실험 결과인 저층 정착성 다소비 어류 7종이 0.084±0.027 mg/kg으로, Sho et al. (2000)의 0.29 mg/kg, Kim et al. (2003)의 0.47

mg/kg, Institute of Health and Environment (2006)의 0.83 mg/kg, Hwang and Park (2006)의 0.17 mg/kg, Ham (2002)의 0.213 mg/kg, Ersoy and Çelika (2010)의 0.221 mg/kg보다는 낮았고, Kim et al. (2007)의 0.023 mg/kg, Mok et al. (2009)의 0.038 mg/kg, Kwon et al. (2010)의 0.027 mg/kg, Institute of Health and Environment (2010)의 0.042 mg/kg, Olmedo et al. (2013)의 0.014 mg/kg 및 Vieira et al. (2011)의 0.028 mg/kg, Kalogreopoulos et al. (2012)의 0.041 mg/kg (중양값의 평균)보다는 높았다. 저층 정착성 다소비 어류 7종 간의 납 농도는 평균 농도로 살펴본 경우 가오리가  $0.134 \pm 0.063$  mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 넙치( $0.092 \pm 0.088$  mg/kg), 붕장어( $0.091 \pm 0.049$  mg/kg) 및 쥐치( $0.088 \pm 0.018$  mg/kg) 등의 순이었으며, 중양값으로 살펴본 경우도 가오리가 0.137 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 붕장어(0.090 mg/kg), 쥐치(0.086 mg/kg) 및 아귀(0.058 mg/kg) 등의 순이었다. P90 분위 농도로 살펴본 정착성 다소비 어류의 납 함량은 넙치가 0.219 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 가오리(0.212 mg/kg), 조피볼락(0.190 mg/kg) 및 붕장어(0.151 mg/kg) 등의 순이었다.

한편, 기타 어류의 납 농도는 범위의 경우 0.002-0.221 mg/kg, 평균의 경우  $0.045 \pm 0.042$  mg/kg, 중양값의 경우 0.032 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.098 mg/kg으로, 다소비 어류 18종의 이들 여러 가지 납 농도에 비하여 낮았다.

이상의 결과로 미루어 보아, 국내 다소비 어류 18종의 서식 수층에 따른 평균 납 농도는 농도 표시 방법(평균 농도, P50 분위 및 P90 분위 농도)에 관계없이 저층 정착성 어류 7종( $0.084 \pm 0.027$  mg/kg)이 중·표층 회유성 어류 11종( $0.059 \pm 0.038$  mg/kg)에 비하여 높았다. 하지만 이들 국내 다소비 어류 18종 317건의 납 농도는 서식성(중·표층 회유성 및 조층 정착성)과 농도 표시 방법(평균 농도의 경우 각각 0.059 및 0.084 mg/kg; 중양값의 경우 각각 0.037 및 0.068 mg/kg; P90 분위 농도의 경우 각각 0.128 및 0.152 mg/kg)에 관계없이 모두 우리나라 식품의약품 안전처의 식품공전(0.5 mg/kg) (MFDS, 2015a)은 물론이고, 기타 외국 기준 규격(호주/뉴질랜드 0.5 mg/kg, EU 및 Codex 0.3 mg/kg; 중국 0.5 mg/kg) (MFDS, 2015b; CAC, 2009; MOH, 2005)에도 적합한 수준이었다. 그러나 다소비 각 어류의 납 함량을 최대 농도 기준으로 적용하는 경우 갈치, 고등어, 대구, 삼치 및 청어의 경우 Codex규격(CAC, 2009)을 초과하여 이에 대한 관리가 필요하리라 판단되었다.

다소비 어류 18종 317건을 중·표층 회유성 어류 11종 195건 및 저층 정착성 어류 7종 122건으로 나누어 이들의 카드뮴 농도를 평균 농도, P50 분위 및 P90 분위 농도와 기타 어류의 이들 농도에 대하여 살펴본 결과는 Table 4와 같다. 다소비 어류 18종 317건의 카드뮴 농도는 범위의 경우 ND-0.290 mg/kg, 평균의 경우  $0.033 \pm 0.033$  mg/kg, 중양값의 경우 0.020 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.077 mg/kg이었고, 317건의 어류 중 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.290 mg/kg 및 가다랑

어이었다.

중·표층 회유성 다소비 어류 11종 195건의 카드뮴 농도는 범위의 경우 ND-0.290 mg/kg이었고, 평균의 경우  $0.039 \pm 0.041$  mg/kg, 중양값의 경우 0.026 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.079 mg/kg 이었으며, 317건의 어류 중 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.290 mg/kg 및 가다랑어이었다. 어류의 카드뮴 평균 농도는 본 실험 결과인 중·표층 회유성 다소비 어류 11종이  $0.039 \pm 0.041$  mg/kg으로, 이 농도는 Sho et al. (2000)의 우리나라 연안산 어류 23종의 0.020 mg/kg, Cha et al. (2001)의 우리나라 연안에서 어획 또는 수입 어류 33종 256건의 0.014 mg/kg, Kim et al. (2007)의 국내 시판 어류 35종과 Mok et al. (2009)의 국내 동·서·남해안산 시판 어류 53종의 0.017 mg/kg, Kim et al. (2003)의 우리나라 시판 어류 9종의 0.032 mg/kg, Olmedo et al. (2013)의 스페인 시판 수산물의 0.005 mg/kg (중양값의 평균) 및 Vieira et al. (2011)의 대서양 원양산 어류 3종의 0.007 mg/kg에 비하여 높았고, Kalogreopoulos et al. (2012)의 지중해 어류 7종의 0.055 mg/kg에 비하여 유사하였으며, Hwang and Park (2006)의 서울 유통 대형 해산어류 17종 89건의 0.34 mg/kg 및 Ersoy and Çelika (2010)의 터키 인근 동부 지중해에서 어획한 시판 저서성 어류 6종의 0.268 mg/kg에 비하여 낮았다. 중·표층 회유성 다소비 어류 11종의 카드뮴 농도는 평균 농도로 살펴보는 경우 가다랑어 및 멸치가 각각  $0.144 \pm 0.105$  mg/kg 및  $0.072 \pm 0.070$  mg/kg으로 높았고, 다음으로 민어( $0.063 \pm 0.055$  mg/kg) 및 청어( $0.049 \pm 0.017$  mg/kg) 등의 순이었으며, 중양값으로 살펴보는 경우 가다랑어가 0.096 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 멸치(0.067 mg/kg), 청어(0.049 mg/kg) 및 민어(0.035 mg/kg) 등의 순이었다. P90 분위 농도로 살펴본 중·표층 회유성 다소비 어류의 카드뮴 함량은 가다랑어가 0.261 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 멸치(0.166 mg/kg), 민어(0.150 mg/kg) 및 청어(0.064 mg/kg) 등의 순이었다. 이상의 중·표층 회유성 어류 11종의 카드뮴 함량은 평균 농도 0.039 mg/kg와 중양값 0.026 mg/kg에 관계없이 EU 기준 규격(0.05-0.3 mg/kg) (MFDS, 2015b) 및 중국 기준 규격(0.1 mg/kg)(MOH, 2005)에 충족하였으나 고등어, 가다랑어 및 멸치, 명태 및 민어의 경우 최대 함량이 중국의 기준 규격(MOH, 2005)을 초과하였다.

저층 정착성 다소비 어류 7종 122건의 카드뮴 농도는 범위의 경우 ND-0.166 mg/kg이었고, 평균의 경우  $0.024 \pm 0.008$  mg/kg, 중양값 기준의 경우 0.010 mg/kg, P90 분위 농도 기준의 경우 0.074 mg/kg 이었으며, 122건의 어류 중 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.166 mg/kg 및 아귀이었다. 어류의 카드뮴 평균 농도는 본 실험 결과인 저층 정착성 다소비 어류 7종이  $0.024 \pm 0.008$  mg/kg으로, Olmedo et al. (2013)의 0.005 mg/kg, Vieira et al. (2011)의 0.007 mg/kg 및 Cha et al. (2001)의 0.014 mg/kg에 비하여 높았고, Sho et al. (2000)의 0.020 mg/kg, Mok et al. (2009)과 Kim et al. (2007)의 0.017 mg/kg

Table 4. Cadmium concentration of mainly consumed migratory and demersal fishes

Migration	Fish	Total Cd (mg/kg, wet basis)		
		Mean (range)	P50th	P90th
Migratory fish	Anchovy	0.072±0.070 (0.011-0.242)	0.067	0.166
	Alaska pollack	0.021±0.033 (0.001-0.148)	0.010	0.039
	Brown croaker	0.063±0.055 (0.013-0.175)	0.035	0.150
	Chub mackerel	0.019±0.040 (ND <sup>2</sup> -0.154)	0.003	0.037
	Japanese Spanish mackerel	0.011±0.017 (ND-0.055)	0.003	0.037
	Largehead hairtail	0.009±0.009 (ND-0.052)	0.002	0.028
	Pacific cod	0.015±0.022 (0.001-0.100)	0.009	0.026
	Pacific herring	0.049±0.017 (0.020-0.078)	0.049	0.064
	Pacific saury	0.008±0.016 (ND-0.072)	0.002	0.016
	Skipjack tuna	0.144±0.105 (0.045-0.290)	0.096	0.261
	Yellow croaker	0.020±0.022 (ND-0.077)	0.012	0.046
Sub-mean (range)		0.039±0.041 (ND-0.290)	0.026 (0.002-0.096)	0.079 (0.016-0.261)
Demersal fish	Bastard halibut	0.016±0.020 (ND-0.055)	0.004	0.049
	Blackmouth angler	0.035±0.052 (0.003-0.166)	0.011	0.145
	Brown sole	0.024±0.040 (ND-0.130)	0.007	0.073
	Conger eel	0.026±0.025 (0.001-0.099)	0.017	0.057
	Filefish	0.025±0.038 (ND-0.115)	0.012	0.054
	Rockfish	0.012±0.021 (ND-0.058)	0.002	0.052
	Red stingray	0.033±0.046 (0.002-0.155)	0.017	0.088
Sub-mean (range)		0.024±0.008 (ND-0.166)	0.010 (0.002-0.017)	0.074 (0.049-0.145)
Total-mean (range)		0.033±0.033 (ND-0.290)	0.020 (0.002-0.096)	0.077 (0.016-0.261)
Others <sup>1</sup> (range)		0.012±0.015 (0.001-0.083)	0.008	0.026

<sup>1</sup>Data of others were calculated with the cadmium mean concentration on various fishes of Mok et al. (2009).

<sup>2</sup>ND : Not detected.

및 Kim et al. (2003)의 0.032 mg/kg과 유사하였으며, Hwang and Park (2006)의 0.34 mg/kg, Kalogreopoulos et al. (2012)의 0.055 mg/kg 및 Ersoy and Çelika (2010)의 0.268 mg/kg에 비하여 낮았다. 저층 정착성 다소비 어류 7종의 카드뮴 농도는 평균 농도 기준으로 하는 경우 아귀가 0.035 ± 0.052 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 가오리(0.033 ± 0.046 mg/kg), 붕장어(0.026 ± 0.025 mg/kg) 및 쥐치(0.025 ± 0.038 mg/kg) 등의 순이었으며, 중앙값 기준으로 하는 경우 가오리 및 붕장어가 0.017 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 쥐치(0.012 mg/kg) 및 아귀(0.011 mg/kg) 등의 순이었다. P90 분위 농도로 살펴본 저층 정착성 다소비 어류 7종의 카드뮴 함량은 아귀가 0.145 mg/kg으로 가장 높았고, 다음으로 가오리(0.088 mg/kg), 가자미(0.073 mg/kg) 및 붕장어(0.057 mg/kg) 등의 순이었다.

한편, 기타 어류의 카드뮴 농도는 범위의 경우 0.001-0.083 mg/kg, 평균의 경우 0.012 ± 0.015 mg/kg, 중앙값의 경우 0.008 mg/kg, P90 분위 농도의 경우 0.026 mg/kg으로, 다소비 어류 18종의 이들 여러 가지 카드뮴 농도에 비하여 낮은 편에 속하

였다.

이상의 저층 정착성 다소비 어류 7종의 카드뮴 함량은 농도 표기 방법(평균 농도 0.024 mg/kg, 중앙값 0.010 mg/kg, P90 분위 농도, 0.074 mg/kg)에 관계없이 EU 기준 규격(0.05-0.3 mg/kg) (MFDS, 2015b) 및 중국 기준 규격(0.1 mg/kg) (MOH, 2005)에 충족하였다. 그러나 가오리, 가자미, 아귀 및 쥐치는 최대 함량이 중국의 기준 규격을 초과하였다. 한편, 다소비 어류 18종 317건의 카드뮴 농도는 농도의 표현 방법(평균 농도, P50 분위 및 P90 분위 농도)에 관계없이 중·표층 회유성 어류가 저층 정착성 어류에 비하여 높은 경향을 나타내어, 납 농도의 경향과는 차이가 있었다.

#### 서식지에 따른 다소비 어류의 납과 중금속 위해 평가

다소비 어류 18종 317건을 중·표층 회유성 어류 11종(멸치, 명태, 민어, 고등어, 삼치, 갈치, 대구, 청어, 꽂치, 가다랑어, 조기) 195건 및 저층 정착성 어류 7종(넙치, 아귀, 가자미, 붕장어, 쥐치, 조피볼락, 가오리) 122건으로 나누어 이들 어류를 통한 납의

Table 5. Daily and weekly intakes and PTWI % of lead through mainly consumed migratory and demersal fishes based on the mean concentration

Migration	Fish <sup>1</sup>	Daily (g or µg/man/day)		Weekly (µg /b.w. kg/week)	PTWI <sup>2</sup> %
		Fish	Pb		
Migratory fish	Anchovy	6.29	0.893	0.114	0.455
	Alaska pollock	6.10	0.275	0.035	0.140
	Brown croaker	0.02	ND <sup>4</sup>	ND	ND
	Chub mackerel	4.81	0.332	0.042	0.169
	Japanese spanish mackerel	0.40	0.034	0.004	0.017
	Largehead hairtail	1.20	0.078	0.010	0.040
	Pacific cod	0.67	0.051	0.006	0.026
	Pacific herring	0.03	0.001	0.0002	0.001
	Pacific saury	1.41	0.066	0.008	0.034
	Skipjack tuna	4.06	0.032	0.004	0.017
	Yellow croaker	3.65	0.150	0.019	0.076
Sub-total		28.64	1.912	0.473	1.900
Demersal fish	Bastard halibut	1.48	0.136	0.017	0.069
	Blackmouth angler	0.91	0.063	0.008	0.032
	Brown sole	0.69	0.032	0.004	0.017
	Conger eel	1.52	0.138	0.018	0.070
	Filefish	1.08	0.095	0.012	0.048
	Rockfish	0.57	0.039	0.005	0.020
	Red stingray	0.69	0.003	0.0003	0.001
Sub-total		6.94	0.506	0.0643	0.257
Others <sup>3</sup>		2.33	0.105	0.013	0.052
Total		37.91	2.523	0.550	2.209

<sup>1</sup>Lead concentration of mainly consumed fishes used for calculating daily intake was quoted from Table 3.

<sup>2</sup>PTWI (25 µg/body weight kg/week) set from Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives (JECFA) (2010).

<sup>3</sup>Data of others were calculated with the lead mean concentration on various fishes of Mok et al. (2009).

<sup>4</sup>ND : Not detected.

국민 1인 1일 섭취량(µg/man/day), 단위 체중 당 주간 섭취량 (µg/body weight kg/week) 및 PTWI %를 평균 농도로 살펴본 결과와 기타 어류의 이들 농도에 대하여 살펴본 결과는 Table 5와 같다. 2010년도 국민영양통계(Korea Health Industry Development Institute, 2012) 자료에 의하면 우리나라 국민이 1인 1일 섭취하는 수산물의 양은 총수산물이 56.82 g이고, 이는 동물성 수산물이 44.54 g, 식물성 수산물이 12.28 g으로 나누어지며, 이를 세분화하면 어류가 37.91 g, 패류가 4.92 g, 갑각류가 3.99 g, 두족류가 9.26 g, 부산물이 0.53 g, 기타 수산물 0.21 g으로 이루어져 있다. 본 실험에서 시료로 검토한 다소비 어류 18종의 1인 1일 섭취량을 이들 자료를 이용하여 환산한 결과 35.58 g 이었고, 이 중 중·표층 회유성 어류로 분류된 11종의 어류(멸치의 경우 6.29 g, 명태의 경우 6.10 g, 민어의 경우 0.02 g, 고등어의 경우 4.81 g, 삼치의 경우 0.40 g, 갈치의 경우 1.20 g, 대구의 경우 0.67 g, 청어의 경우 0.03 g, 꽁치의 경우 1.41 g, 가다랑어

4.06 g, 조기의 경우 3.65 g)가 28.64 g, 저층 정착성 어류로 분류된 7종의 어류(넙치의 경우 1.48 g, 아귀의 경우 0.91 g, 가자미의 경우 0.69 g, 붕장어의 경우 1.52 g, 쥐치의 경우 1.08 g, 조피볼락의 경우 0.57 g, 가오리의 경우 0.69 g)가 6.94 g이었다. 따라서 전체 어류의 1인 1일 섭취량(37.91 g)에 비하여 위에서 검토한 다소비 어류 18종의 1인 1일 섭취량(35.58 g)은 94%이었고, 이 중 중·표층 회유성 어류로 분류된 11종의 1인 1일 섭취량(24.58 g)이 76%를, 저층 정착성 어류로 분류된 7종의 1인 1일 섭취량(6.94 g)이 18%를 차지하였다. 이와 같은 결과로 미루어 보아 중·표층 회유성 어류와 저층 정착성 어류가 동일 농도로 중금속에 오염되어 있는 경우 그 위해 정도는 중·표층 회유성 어류가 저층 정착성 어류에 비하여 크게 작용할 것으로 판단되었다.

다소비 어류 18종 317건의 납 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴본 납의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 ND-0.893 µg 범위, 전체 어류의 경우 2.418 µg이었고, 단위 체중 당 주간

섭취량은 각 어류의 경우 ND-0.114  $\mu\text{g}$  범위, 전체 어류의 경우 0.537  $\mu\text{g}$ 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 ND-0.455% 범위, 전체 어류의 경우 2.157%이었다. 한편, 다소비 어류 18종 중 납의 PTWI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.455% 및 멸치이었다. 다소비 어류 18종을 제외한 나머지 기타 어류의 납 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴본 납의 국민 1인 1일 섭취량은 0.105  $\mu\text{g}$ , 단위 체중 당 주간 섭취량은 0.013  $\mu\text{g}$ , PTWI %는 0.052%이었다. 국민이 1인 1일 섭취하는 어류량인 37.91 g에 맞추기 위하여 다소비 어류 18종 이외에 기타 어류를 모두 고려한 어류의 납 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴보고, 이들의 납에 대한 국민 1인 1일 섭취량은 2.523  $\mu\text{g}$ , 단위 체중 당 주간 섭취량은 0.550  $\mu\text{g}$ , PTWI %는 2.209%이었다.

평균 농도 기준으로 검토한 중·표층 회유성 다소비 어류 11종을 통한 납의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 ND-0.893  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 1.912  $\mu\text{g}$ 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 ND-0.114  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 0.473  $\mu\text{g}$ 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 ND-0.455%, 전체 어류의 경우 1.900%이었다. 중·표층 회유성 다소비 어류를 통한 납의 PTWI %에 대한 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.455% 및 멸치이었다. 이와 같이 평균 농도 기준 중·표층 회유성 다소비 어류 11종을 통한 납의 PTWI %는 1.900%로, 우리나라 어패류 중 미량금속 함량 및 안전성을 평가한 자료 중 Sho et al. (2000)의 우리나라 연안산 어류 23종에 대하여 검토한 8%, Cha et al. (2001)의 우리나라 연안에서 어획되거나 수입된 어류 33종 256건에 대하여 검토한 4.5%, Olmedo et al. (2013)의 스페인 시판 어류에 대하여 검토한 5.063% 및 Ersoy and Çelika (2010)의 터키 인근 동부 지중해산 시판 저서성 어류 6종에 대하여 조사한 30.858%에 비하여 낮았고, Kim et al. (2007)의 국내 시판 어류 35종에 대하여 검토한 0.9%, Mok et al. (2009)의 국내 동·서·남해안산 시판 어류 53종에 대하여 검토한 0.86%, Institute of Health and Environment (2010)의 강원지역 연안 수산물 22종에 대하여 모니터링한 0.14%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)의 식품 중 중금속 관리방안 마련을 위한 안전성 재평가 연구의 0.6%에 비하여 높았다.

평균 농도 기준으로 검토한 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 납의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 0.003-0.138  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 0.506  $\mu\text{g}$ 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 흔적량-0.018  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 0.064  $\mu\text{g}$ 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 0.001-0.070%, 전체 비율은 0.257% 이었다. 평균 농도 기준으로 하였을 때 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 납의 PTWI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.070% 및 붕장어이었다. 이와 같이 평균 농도 기준 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 납의 PTWI %는 0.257%이었는데, 이 농도는 Sho et al. (2000)의 8%, Cha et al. (2001)의 4.5%, Olmedo et al. (2013)의 5.063% 및 Ersoy

and Çelika (2010)의 30.858%, Kim et al. (2007)의 0.9%, Mok et al. (2009)의 0.86%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)의 0.6%에 비하여 낮았고, Institute of Health and Environment (2010)의 0.14%에 비하여만 높았다.

다소비 어류 18종 317건을 중·표층 회유성 어류 11종 195건 및 저층 정착성 어류 7종 122건으로 나누어 이들 어류를 통한 납의 국민 1인 1일 섭취량( $\mu\text{g}/\text{man}/\text{day}$ ), 단위 체중 당 주간 섭취량( $\mu\text{g}/\text{body weight kg}/\text{week}$ ) 및 PTWI %를 P90 분위 농도로 살펴본 결과와 기타 어류의 이들에 대하여 살펴본 결과는 Table 6과 같다. 다소비 어류 18종 317건의 납 농도를 P90 분위 농도로 적용하여 살펴본 납의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 ND-1.252  $\mu\text{g}$  범위, 전체 어류의 경우 4.632  $\mu\text{g}$ 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 ND-0.159  $\mu\text{g}$  범위, 전체 어류의 경우 0.589  $\mu\text{g}$ 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 ND-0.637% 범위, 전체 어류의 경우 2.359%이었다. 한편, 다소비 어류 18종 중 납의 PTWI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.637% 및 멸치이었다. 다소비 어류 18종을 제외한 나머지 기타 어류의 납 농도를 P90 분위 농도로 적용하여 살펴본 납의 국민 1인 1일 섭취량은 2.283  $\mu\text{g}$ , 단위 체중 당 주간 섭취량은 0.291  $\mu\text{g}$ , PTWI %는 1.164%이었다. 국민이 1인 1일 섭취하는 어류량인 37.91 g에 맞추기 위하여 다소비 어류 18종 이외에 기타 어류를 모두 고려한 어류의 납 농도를 P90 분위 농도로 적용하여 살펴보고, 이들의 납에 대한 국민 1인 1일 섭취량은 6.915  $\mu\text{g}$ , 단위 체중 당 주간 섭취량은 0.880  $\mu\text{g}$ , PTWI %는 3.523%이다.

P90 분위 농도 기준으로 검토한 중·표층 회유성 다소비 어류 11종을 통한 납의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 ND-1.252  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 3.701  $\mu\text{g}$ 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 ND-0.159  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 0.471  $\mu\text{g}$ 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 ND-0.637%, 전체 비율은 1.884%이었다. P90 분위 농도 기준으로 검토한 중·표층 회유성 다소비 어류를 통한 납의 PTWI %에 대한 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.637% 및 멸치이었다. P90 분위 농도 기준 중·표층 회유성 다소비 어류 11종을 통한 납의 PTWI %는 1.884%이었는데, 이 농도는 Sho et al. (2000)의 8%, Cha et al. (2001)의 4.5%, Olmedo et al. (2013)의 5.063% 및 Ersoy and Çelika (2010)의 30.858%에 비하여는 낮았고, Kim et al. (2007)의 0.9%, Mok et al. (2009)의 0.86%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)의 0.6%, Institute of Health and Environment (2010)의 0.14%에 비하여는 높았다.

P90 분위 농도 기준으로 검토한 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 납의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 0.004-0.324  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 0.931  $\mu\text{g}$ 이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.041  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 0.118  $\mu\text{g}$ 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 0.002-0.165%,

Table 6. Daily and weekly intakes and PTWI % of lead through mainly consumed migratory and demersal fishes based on the P90th concentration

Migration	Fish <sup>1</sup>	Daily (g or µg/man/day)		Weekly (µg/b.w. kg/week)	PTWI <sup>2</sup> %
		Fish	Pb		
Migratory fish	Anchovy	6.29	1.252	0.159	0.637
	Alaska pollock	6.10	0.372	0.047	0.189
	Brown croaker	0.02	ND <sup>4</sup>	ND	ND
	Chub mackerel	4.81	1.058	0.135	0.539
	Japanese spanish mackerel	0.40	0.084	0.011	0.043
	Largehead hairtail	1.20	0.274	0.035	0.139
	Pacific cod	0.67	0.121	0.015	0.062
	Pacific herring	0.03	0.002	0.0002	0.001
	Pacific saury	1.41	0.130	0.017	0.066
	Skipjack tuna	4.06	0.065	0.008	0.033
Yellow croaker	3.65	0.343	0.044	0.175	
	Sub-total	28.64	3.701	0.4712	1.884
Demersal fish	Bastard halibut	1.48	0.324	0.041	0.165
	Blackmouth angler	0.91	0.102	0.013	0.052
	Brown sole	0.69	0.050	0.006	0.026
	Conger eel	1.52	0.230	0.029	0.117
	Filefish	1.08	0.113	0.014	0.058
	Rockfish	0.57	0.108	0.014	0.055
	Red stingray	0.69	0.004	0.001	0.002
	Sub-total	6.94	0.931	0.118	0.475
Others <sup>3</sup>		2.33	2.283	0.291	1.164
Total		37.91	6.915	0.880	3.523

<sup>1</sup>Lead concentration of mainly consumed fishes used for calculating daily intake was quoted from Table 3.

<sup>2</sup>PTWI (25 µg/body weight kg/week) set from Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives (JECFA) (2010).

<sup>3</sup>Data of others were calculated with the lead mean concentration on various fishes of Mok et al. (2009).

<sup>4</sup>ND : Not detected.

전체 어류의 경우 0.475%이었다. 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 납의 PTWI %를 P90 분위 농도 기준으로 하였을 때 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 평균 농도 기준으로 하였을 때와 같이 각각 0.165% 및 넘치이었다. P90 분위 농도 기준 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 납의 PTWI %는 0.475% 이었는데, 이 농도는 Sho et al. (2000)의 8%, Cha et al. (2001)의 4.5%, Olmedo et al. (2013)의 5.063%, Ersoy and Çelika (2010)의 30.858%, Kim et al. (2007)의 0.9%, Mok et al. (2009)의 0.86%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)의 0.6%에 비하여 낮았고, 단지 Institute of Health and Environment (2010)의 0.14%에 비하여만 높았다.

중·표층 회유성과 저층 정착성과 같이 서식지에 따른 전체 다소비 어류를 통한 납의 국민 1인 1일 섭취량, 단위 체중 당 주간 섭취량 및 PTWI %는 농도 기준(평균 농도와 P90 분위 농도)에 관계없이 모두 중·표층 회유성이 저층 정착성에 비하여 높았다.

다소비 어류 18종 317건을 중·표층 회유성 어류 11종 195건 및 저층 정착성 어류 7종 122건으로 나누어 이들 어류를 통한 카드뮴의 국민 1인 1일 섭취량(µg/man/day), 단위 체중 당 월간 섭취량(µg/body weight kg/month) 및 PTMI %를 평균 농도로 살펴본 결과와 기타 어류의 이들에 대하여 살펴본 결과는 Table 7과 같다. 다소비 어류 18종 317건의 카드뮴 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴본 카드뮴의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.585 µg 범위, 전체 어류의 경우 1.516 µg이었고, 단위 체중 당 주간 섭취량은 각 어류의 경우 흔적량-0.319 µg 범위, 전체 어류의 경우 0.827 µg이었으며, PTMI %는 각 어류의 경우 0.001-1.276% 범위, 전체 어류의 경우 3.304%이었다. 한편, 다소비 어류 18종 중 카드뮴의 PTMI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 1.276% 및 가다랑어이었다. 다소비 어류 18종을 제외한 나머지 기타 어류의 카드뮴 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴본 카드뮴의 국민 1인 1일 섭취량은 0.028 µg, 단

Table 7. Daily and weekly intakes and PTMI % of cadmium through mainly consumed migratory and demersal fishes based on the mean concentration

Migration	Fish	Daily (g or µg/man/day)		Monthly (µg /b.w. kg/ month)	PTMI <sup>1</sup> %
		Fish	Cd		
Migratory fish	Anchovy	6.29	0.453	0.247	0.988
	Alaska pollock	6.10	0.128	0.070	0.279
	Brown croaker	0.02	0.001	0.001	0.003
	Chub mackerel	4.81	0.091	0.050	0.199
	Japanese spanish mackerel	0.40	0.004	0.002	0.008
	Largehead hairtail	1.20	0.011	0.006	0.024
	Pacific cod	0.67	0.010	0.005	0.022
	Pacific herring	0.03	0.001	0.001	0.003
	Pacific saury	1.41	0.011	0.006	0.025
	Skipjack tuna	4.06	0.585	0.319	1.276
	Yellow croaker	3.65	0.073	0.040	0.159
Sub-total		28.64	1.368	0.747	2.986
Demersal fish	Bastard halibut	1.48	0.024	0.013	0.052
	Blackmouth angler	0.91	0.032	0.017	0.069
	Brown sole	0.69	0.017	0.009	0.036
	Conger eel	1.52	0.040	0.022	0.086
	Filefish	1.08	0.027	0.015	0.059
	Rockfish	0.57	0.007	0.004	0.015
	Red stingray	0.69	0.001	0.0004	0.001
Sub-total		6.94	0.148	0.0804	0.318
Others <sup>2</sup>		2.33	0.028	0.015	0.060
Total		37.91	1.544	0.842	3.364

<sup>1</sup>PTMI (25 µg/body weight kg/month) set from Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives (JECFA) (2010).

<sup>2</sup>Data of others were calculated with the cadmium mean concentration on various fishes of Mok et al. (2009).

위 체중 당 월간 섭취량은 0.015 µg, PTMI %는 0.060%이었다. 국민이 1인 1일 섭취하는 어류량인 37.91 g에 맞추기 위하여 다소비 어류 18종 이외에 기타 어류를 모두 고려한 어류의 카드뮴 농도를 평균 농도로 적용하여 살펴보고, 이들의 카드뮴에 대한 국민 1인 1일 섭취량은 1.544 µg, 단위 체중 당 월간 섭취량은 0.842 µg, PTMI %는 3.364%이었다.

평균 농도 기준으로 검토한 중·표층 회유성 다소비 어류 11종을 통한 카드뮴의 국민 1인 1일당 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.585 µg, 전체 어류의 경우 1.368 µg이었고, 단위 체중 당 월간 섭취량은 농도 범위의 경우 0.001-0.319 µg, 전체 농도의 경우 0.747 µg이었으며, PTMI %는 농도 범위의 경우 0.003-1.276%, 전체 비율은 2.986%이었다. 평균 농도 기준 중·표층 회유성 다소비 어류를 통한 카드뮴의 PTMI %에 대한 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 1.276% 및 가다랑어이었다. 이와 같이 중·표층 회유성 다소비 어류 11종을 통한 카드뮴의 PTMI %는 평균 농도 기준으로 2.986%로, 이 농도는

Sho et al. (2000)의 우리나라 연안산 어류 23종과 Cha et al. (2001)의 우리나라 연안에서 어획 또는 수입 어류 33종 256건의 2.0%, Kim et al. (2007)의 국내 시판 어류 35종 531건의 0.9%, Mok et al. (2009)의 국내 동·서·남해안산 시판 어류 53종의 1.35%, Institute of Health and Environment (2010)의 강원지역 연안 어류 22종 482건의 0.05%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)의 식품 중 중금속 관리방안 마련을 위한 안전성 재평가의 0.7%에 비하여는 높았고, Olmedo et al. (2013)의 스페인 시판 수산물의 11.7% 및 Ersoy and Çelika (2010)의 터키 인근 동부 지중해에서 어획한 시판 저서성 어류 6종의 10.2%에 비하여는 낮았다.

평균 농도 기준으로 검토한 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 카드뮴의 국민 1인 1일당 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.040 µg, 전체 어류의 경우 0.148 µg이었고, 단위 체중 당 월간 섭취량은 각 어류의 경우 흔적량-0.022 µg, 전체 어류의 경우 0.080 µg이었으며, PTMI %는 각 어류의 경우 0.001-0.086%,

전체 어류의 경우 0.318%이었다. 평균 농도 기준 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 카드뮴의 PTMI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.086% 및 붕장어이었다. 평균 농도로 검토한 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 카드뮴의 PTMI %는 0.318%이었는데, 이 농도는 Sho et al. (2000)과 Cha et al. (2001)의 2.0%, Kim et al. (2007)의 0.9%, Mok et al. (2009)의 1.35%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)의 0.7%, Olmedo et al. (2013)의 11.7% 및 Ersoy and Çelika (2010)의 10.2%에 비하여는 낮았고, Institute of Health and Environment (2010)의 0.05%에 비하여는 높았다.

다소비 어류 18종 317건을 중·표층 회유성 어류 11종 195건 및 저층 정착성 어류 7종 122건으로 나누어 이들 어류를 통한 카드뮴의 국민 1인 1일 섭취량( $\mu\text{g}/\text{man}/\text{day}$ ), 단위 체중 당 월간 섭취량( $\mu\text{g}/\text{body weight kg}/\text{month}$ ) 및 PTMI %를 P90 분위 농도로 살펴본 결과와 이들 이외의 기타 어류의 이들에 대하여 살펴본 결과는 Table 8과 같다. 다소비 어류 18종 317건의 카드뮴

농도를 P90 분위 농도로 적용하여 살펴본 카드뮴의 국민 1인 1일 섭취량은 각 어류의 경우 0.002-1.060  $\mu\text{g}$  범위, 전체 어류의 경우 3.212  $\mu\text{g}$ 이었고, 단위 체중 당 월간 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.578  $\mu\text{g}$  범위, 전체 어류의 경우 1.752  $\mu\text{g}$ 이었으며, PTWI %는 각 어류의 경우 0.004-2.312% 범위, 전체 어류의 경우 7.003%이었다. 한편, 다소비 어류 18종 중 카드뮴의 PTWI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 2.312% 및 가다랑어이었다. 다소비 어류 18종을 제외한 나머지 기타 어류의 카드뮴 농도를 P90 분위 농도로 적용하여 살펴본 카드뮴의 국민 1인 1일 섭취량은 0.061  $\mu\text{g}$ , 단위 체중 당 월간 섭취량은 0.033  $\mu\text{g}$ , PTWI %는 0.132%이었다. 국민이 1인 1일 섭취하는 어류량인 37.91 g에 맞추기 위하여 다소비 어류 18종과 기타 어류를 모두 고려한 어류의 카드뮴 농도를 P90 분위 농도로 적용하여 살펴 보았고, 이들의 카드뮴에 대한 국민 1인 1일 섭취량은 3.273  $\mu\text{g}$ , 단위 체중 당 월간 섭취량은 1.785  $\mu\text{g}$ , PTWI %는 7.135%이다.

P90 분위 농도 기준 중·표층 회유성 다소비 어류 11종을 통한

Table 8. Daily and weekly intakes and PTMI % of cadmium through mainly consumed migratory and demersal fishes based on the P90th concentration

Migration	Fish	Daily (g or $\mu\text{g}/\text{man}/\text{day}$ )		Monthly ( $\mu\text{g}/\text{b.w. kg}/\text{month}$ )	PTMI <sup>1</sup> %
		Fish	Cd		
Migratory fish	Anchovy	6.29	1.044	0.570	2.278
	Alaska pollock	6.10	0.238	0.130	0.519
	Brown croaker	0.02	0.003	0.002	0.007
	Chub mackerel	4.81	0.178	0.097	0.388
	Japanese spanish mackerel	0.40	0.013	0.007	0.028
	Largehead hairtail	1.20	0.034	0.018	0.073
	Pacific cod	0.67	0.017	0.010	0.038
	Pacific herring	0.03	0.002	0.001	0.004
	Pacific saury	1.41	0.023	0.012	0.049
	Skipjack tuna	4.06	1.060	0.578	2.312
Yellow croaker	3.65	0.168	0.092	0.366	
	Sub-total	28.64	2.780	1.517	6.062
Demersal fish	Bastard halibut	1.48	0.073	0.040	0.158
	Blackmouth angler	0.91	0.132	0.072	0.288
	Brown sole	0.69	0.050	0.027	0.110
	Conger eel	1.52	0.087	0.047	0.189
	Filefish	1.08	0.058	0.032	0.127
	Rockfish	0.57	0.030	0.016	0.065
	Red stingray	0.69	0.002	0.001	0.004
	Sub-total	6.94	0.432	0.235	0.941
Others <sup>2</sup>		2.33	0.061	0.033	0.132
Total		37.91	3.273	1.785	7.135

<sup>1</sup>PTMI (25  $\mu\text{g}/\text{body weight kg}/\text{month}$ ) set from Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives (JECFA) (2010).

<sup>2</sup>Data of others were calculated with the cadmium P90th concentration on various fishes of Mok et al. (2009).

카드뮴의 국민 1인 1일당 섭취량은 각 어류의 경우 0.002-1.060  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 2.780  $\mu\text{g}$ 이었고, 단위 체중 당 월간 섭취량은 농도 범위의 경우 0.001-0.578  $\mu\text{g}$ , 전체 농도의 경우 1.517  $\mu\text{g}$ 이었으며, PTMI %는 농도 범위의 경우 0.004-2.312%이었고, 전체 비율은 6.062%이었다. P90 분위 농도 기준 중·표층 회유성 다소비 어류를 통한 카드뮴의 PTMI %에 대한 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 2.312% 및 가다랑어이었다. 이와 같이 P90 분위 농도 기준 중·표층 회유성 다소비 어류 11종을 통한 카드뮴의 PTMI %는 평균 농도 기준으로 6.062%로, 이 농도는 Sho et al. (2000)과 Cha et al. (2001)의 2.0%, Kim et al. (2007)의 0.9%, Mok et al. (2009)의 1.35%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)의 0.7%, Institute of Health and Environment (2010)의 0.05%에 비하여는 높았고, Olmedo et al. (2013)의 11.7% 및 Ersoy and Çelika (2010)의 10.2%에 비하여는 낮았다.

P90 분위 농도 기준 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 카드뮴의 국민 1인 1일당 섭취량은 각 어류의 경우 0.002-0.132  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 0.432  $\mu\text{g}$ 이었고, 단위 체중 당 월간 섭취량은 각 어류의 경우 0.001-0.072  $\mu\text{g}$ , 전체 어류의 경우 0.235  $\mu\text{g}$ 이었으며, PTMI %는 각 어류의 경우 0.004-0.288%, 전체 어류의 경우 0.941%이었다. P90 분위 농도 기준 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 카드뮴의 PTMI % 최대 농도 및 이에 해당하는 어종은 각각 0.288% 및 아귀이었다. P90 분위 농도 기준 저층 정착성 다소비 어류 7종을 통한 카드뮴의 PTMI %는 0.941%이었는데, 이 농도는 Sho et al. (2000)과 Cha et al. (2001)의 2.0%, Mok et al. (2009)의 1.35%, Olmedo et al. (2013)의 11.7% 및 Ersoy and Çelika (2010)의 10.2%에 비하여는 낮았고, Kim et al. (2007)의 0.9%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)의 0.7%, Institute of Health and Environment (2010)의 0.05%에 비하여는 높았다.

서식지에 따른 전체 다소비 어류를 통한 카드뮴의 국민 1인 1일 섭취량, 단위 체중 당 월간 섭취량 및 PTMI %는 농도 기준 (평균 농도와 P90 분위 농도)에 관계없이 모두 중·표층 회유성 다소비 어류가 저층 정착성 다소비 어류에 비하여 월등히 높았다.

### 서식지에 따른 다소비 어류의 중금속 간 위해 비교

다소비 어류 중 중·표층 회유성 어류 11종(갈치, 고등어, 꽁치, 다랑어류, 대구, 멸치, 명태, 민어, 삼치, 참조기, 청어)과 저층 정착성 어류 7종(가오리, 가자미, 넙치, 붕장어, 아귀, 조피볼락, 쥐치)을 통한 중금속(납 및 카드뮴)의 국민 1인 1일 섭취량( $\mu\text{g}/\text{man}/\text{day}$ ), 단위 체중 당 주간(월간) 섭취량( $\mu\text{g}/\text{b.w. kg}/\text{week or month}$ ) 및 PTW(M)I %를 평균 농도 기준으로 살펴본 결과는 Fig. 1과 같다. 다소비 어류 중 중·표층 회유성 어류와 저층 정착성 어류의 PTW(M)I %는 납의 경우 각각 1.900% 및 0.257%, 그리고 카드뮴의 경우 각각 2.986% 및 0.318%이

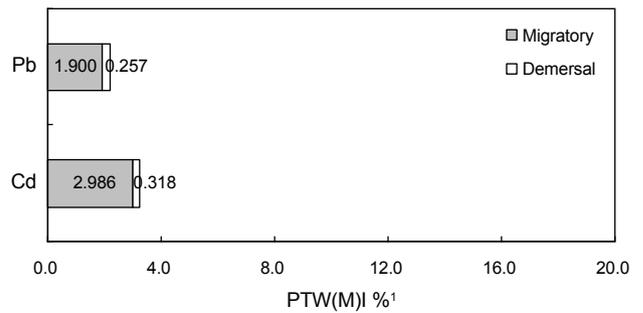


Fig. 1. PTW(M)I % of lead and cadmium through mainly consumed migratory and demersal fishes. <sup>1</sup>PTWI (25  $\mu\text{g}/\text{body weight kg}/\text{week}$ ) and PTMI (25  $\mu\text{g}/\text{body weight kg}/\text{month}$ ) set from Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives (JECFA) (2010).

었다. 이와 같은 결과로 미루어 보아 중금속의 어류 생체 축적도는 납 및 카드뮴과 같은 중금속의 종류에 관계없이 모두 중·표층 회유성 어류가 저층 정착성 어류보다 월등히 높았고, 중금속 간에는 카드뮴이 납에 비하여 높았다. 많은 연구자들이 어류로부터 중금속의 PTW(M)I %에 살펴보았는데, 이들의 납 및 카드뮴에 대한 PTW(M)I %는 Cha et al. (2001)의 경우 우리나라 연안에서 어획 또는 수입 어류 33종 256건에 대한 연구에서 각각 4.5 및 2.0%, Kim et al. (2007)의 경우 국내 시판 어류 35종 531건에 대한 연구에서 각각 0.9 및 0.9%, Mok et al. (2009)의 경우 국내 동·서·남해안산 시판 어류 53종에 대한 연구에서 각각 0.86 및 1.35%, Kwon et al. (2010)의 경우 부산지역 유통 수산물에 대한 연구에서 각각 0.7% 및 10.7%, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2010)의 경우 식품 중 중금속 관리방안 마련을 위한 안전성 재평가에 대한 연구에서 각각 0.6 및 0.7%, Institute of Health and Environment (2010)의 경우 강원지역 연안 어류 22종 482건에 대한 연구에서 각각 0.14 및 0.05%, Olmedo et al. (2013)의 경우 스페인 시판 수산물에 대한 연구에서 각각 5.1 및 11.7%, Ersoy and Çelika (2010)의 경우 터키 인근 동부 지중해에서 어획한 시판 저서성 어류 6종에 대한 연구에서 각각 30.9 및 10.2%라고 보고한 바 있다. 또한, Sho et al. (2000)은 우리나라 연안산 어류 23종에 대한 연구에서 이들의 납 및 카드뮴에 대한 PTW(M)I %는 각각 8 및 2%이었고, 다른 나라와 비교할 때 안전한 수준이라고 보고한 바 있다.

따라서 PTW(M)I %로 살펴본 국내 다소비 어류의 중금속에 대한 안전성은 어류의 서식 수층에 관계없이 전국적으로 충분히 인정된다고 판단되었다.

## 사 사

이 논문은 2016년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥

홍원의 지원을 받아 수행된 연구임(해역별 특성을 고려한 전통 수산가공식품 개발 및 상품화)

## References

- Boldyrev AA, Koldobski A, Kurella E, Maltseva V and Stvo-linski S. 1993. Natural histidine-containing dipeptide carnosine as a potent hydrophilic antioxidant with membrane stabilizing function a biomedical aspect. *Mol Chem Neuro-pathol* 19, 185-192.
- Cha YS, Ham HJ, Lee JI and Lee JJ. 2001. Heavy metals in fishery products, sold at fish markets in Seoul. *J Food Hyg Safety* 16, 315-323.
- Choi EH. 2011. A study on heavy metal contents in various foods consumed in Ulsan. MS thesis, Ulsan University, Ulsan, Korea.
- Codex Alimentarius Commission (CAC). 2008. Report of Thirty-first Session, ALINORM 08/31/REP. Geneva, Switzerland.
- Codex Alimentarius Commission (CAC). 2009. Codex general standard for contaminants and toxins in food and feed: Codex stan 193-1995. pp. 1-44.
- Ersoy B and Çelika M. 2010. The essential and toxic elements in tissues of six commercial demersal fish from Eastern Mediterranean Sea. *Food Chem Toxicol* 48, 1377-1382. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2010.03.004>.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division). 2015. Food Supply. Retrieved from [http://faostat3.fao.org/browse/FB/\\*E](http://faostat3.fao.org/browse/FB/*E)
- Ham HJ. 2002. Distribution of hazardous heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fishery products, sold at great wholesale markets in Seoul. *J Food Hyg Safety* 17, 146-151.
- Hwang YO and Park SG. 2006. Contents of heavy metals in marine fishes, sold in Seoul. *Analytical Sci Technol* 19, 342-351.
- Institute of Health and Environment. 2006. Aquatic food safety research. Report of Institute of Health and Environment 15, 75-77.
- Institute of Health and Environment. 2010. Heavy metal monitoring on aquatic products from the East-coast in Gangwon province. <http://rnd.mfds.go.kr/>.
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives). 2010. Safety evaluation of certain food additives. WHO Food Additives Series: 62
- Jeong BY, Choi BD and Lee JS. 1998. Proximate composition, cholesterol and  $\alpha$ -tocopherol content in 72 species of Korean fish. *J Korean Fish Soc* 31, 160-167.
- Kalogeropoulos N, Karavoltos S, Sakellari A, Avramidou S, Dassenakis M and Scoullou M. 2012. Heavy metals in raw, fried and grilled Mediterranean finfish and shellfish. *Food Chem Toxicol* 50, 3702-3708.
- Kim HY, Kim JC, Kim SY, Lee JH, Jang YM, Lee MS, Park JS and Lee KH. 2007. Monitoring of heavy in fishes in Korea - As, Cd, Cu, Pb, Mn, Zn, total Hg -. *Korean J Food Sci Technol* 39, 353-359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.07.012>.
- Kim MH, Kim JS, Sho YS, Chung SY and Lee JO. 2003. The study on heavy metal contents in various foods. *Korean J Food Sci Technol* 35, 561-567.
- Kim YU, Myeong JG, Kim YS, Han KH, Kang CB and Kim JG. 2001. The Marine Fishes of Korea. Hangeul Graphic Co., Seoul, Korea.
- Korea Health Industry Development Institute. 2012. In depth Analysis on the 5th 2010. Korea National Health & Nutrition Examination Survey - Nutrition Survey- Available from <http://knhance.cdc.go.kr>. Accessed.
- Kwon HD, Kim BJ, Park SH, Lee JY, Park SH Park MJ and Lee MO. 2010. Research on the harmful heavy metals of seafood in the Busan area. The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment 20, 44-52.
- Lee HJ and 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. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2010.43.3.270>.
- Mason RP, Reinfelder JR and Morel FM. 1995. Bioaccumulation of mercury and methylmercury. *Water Air Soil Poll* 80, 1573-2932.
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2015a. Food code. Cheongju, Korea. Available from [http://fse.foodnara.go.kr/residue/RS/jsp/menu\\_02\\_01\\_03.jsp?idx=12](http://fse.foodnara.go.kr/residue/RS/jsp/menu_02_01_03.jsp?idx=12)
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2015b. National standards. Cheongju, Korea. Available from <http://www.foodnara.go.kr/pollution/standard/country/country01.jsp>
- Ministry of Health of the People's Republic of China (MOH). 2005. Hygienic standard for fresh and frozen marine products of animal origin. GB 2733-2005.
- Mok JS, Lee KJ, Shim KB, Lee TS Song KC and Kim JH. 2010. Contents of heavy metals in marine invertebrates from the Korean coasts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39, 894-901. <http://dx.doi.org/10.3756/jkfn.2010.39.6.894>.
- Mok JS, Shim KB, Cho MR, Lee TS and Kim JH. 2009. Contents of heavy metals in fishes from the Korean coasts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42, 517-524. <http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2009.38.4.517>.
- National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. 2010. Human risk assessment of heavy metal in food for safety management systems. <http://rnd.mfds.go.kr/>.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute). 1999. Fishes of the Pacific Ocean. Hangeul Graphic Co., Seoul, Korea.
- Olmedo P, Pla A, Hernández AF, Barbier F, Ayouni L and Gil F. 2013. Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environment International* 59,

- 63-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2013.05.005>.
- Park YH, Chang DS and Kim SB. 1995. Processing and Utilization of Seafoods. Hyungsul Publishing Co., Seoul, Korea, 49-55.
- Pigott GM and Tucker BW. 1990. Seafood-Effects of Technology on Nutrition. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, U.S.A. 32-63.
- Rashed MN. 2001. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environ Int* 27, 27-33.
- Sho YS, Kim JS, Chung SY, Kim MH and Hong MK. 2000. Trace metal contents in fishes and shellfishes and their safety evaluations. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29, 549-554.
- Vieira C, Morais S, Ramos S, Delerue-Matos C and Oliveira MBPP. 2011. Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in three pelagic fish species from the Atlantic Ocean: Intra- and inter-specific variability and human health risks for consumption. *Food Chem Toxicol* 49, 923-932. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2010.12.016>.