

서울시 유통 다랑어류, 새치류 및 심해성 어류의 총수은 및 메틸수은 축적에 대한 고찰

김진아* · 육동현 · 박영애 · 최희진 · 김연천 · 김무상
서울시보건환경연구원 강남농수산물검사소

A Study on Total Mercury and Methylmercury in Commercial Tuna, Billfish, and Deep-sea Fish in Seoul Metropolitan City

Jin-Ah Kim*, Dong-Hyun Yuk, Young-Ae Park, Hee-Jin Choi, Youn-Cheon Kim, and Moo-Sang Kim
Gangnam Agro-marine Products Inspection Center,
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

Abstract In this study, we monitored total mercury and methylmercury concentrations in tuna, billfish, and deep-sea fish distributed in Seoul city. With the acquired data, we carried out statistical analysis and an exposure assessment for intake. The mean concentrations (mg/kg) of total mercury and methylmercury were $0.32 \pm 0.31/0.20 \pm 0.20$ for tuna, $0.43 \pm 0.48/0.20 \pm 0.17$ for patagonian toothfish, $0.99 \pm 0.72/0.51 \pm 0.40$ for billfish and $1.20 \pm 0.70/0.95 \pm 0.51$ for sharks, respectively. We found that sharks, billfish, patagonian toothfish, and tuna were more contaminated with total mercury and methylmercury, in sequence, and that 66% of the total mercury concentration consisted of methylmercury, on average. Although the estimated weekly intakes of methylmercury from commercial deep-sea fish were lower than the weekly intakes recommended by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), we identified that the total mercury and methylmercury concentrations in tuna, billfish, and deep-sea fish continued to increase with the passage of time. Therefore, we confirmed the necessity of continuous monitoring and comprehensive analysis for general safety.

Keywords: total mercury, methylmercury, deep-sea fish, estimated weekly intakes, statistical analysis

서 론

수은은 대기, 물, 토양 등 자연계에 존재하는 중금속으로서, 지구상의 여러 물질들과 마찬가지로 자연 순환을 통하여 일정 총량을 유지하게 된다(1). 그러나 인간의 산업 활동이 활발해지면서 인위적인 배출이 증가함에 따라(1,2), 자연 순환을 초과하는 양의 수은이 자연계 및 생태계에 축적됨으로써, 먹이사슬의 흐름에 따른 중금속의 축적이 인류의 건강에 큰 위협이 되고 있다. 자연계에 존재하는 여러 형태의 수은 중, 혐기성 세균에 의해 무기성 수은에서 변환된(3) 유기성 수은인 메틸수은은 독성이 클 뿐만 아니라 인체의 모든 조직에 흡수가 잘 되며, 그 중 중추신경계 및 심장혈관계에 영향을 크게 미치며, 태반관문도 잘 통과하므로 태아에게도 치명적인 중독을 일으킬 수 있다(4). 또한 인체 내로 들어온 메틸수은은 배출이 매우 더디므로 장시간 축적이 이루어질 경우 심각한 질병을 초래하게 된다.

인체에 대한 수은의 축적은 피부, 호흡, 접촉, 경구 등 여러 경로로 이루어지고 있다. 하지만 그 중 가장 큰 부분을 차지하는

것은 어류 및 수산물의 섭취에 의한 노출이라고 할 수 있다(5,6). 메틸수은을 비롯한 중금속은 생태계의 먹이사슬을 통하여 상위의 생물체에 점점 농축되는 경로를 가지고 있으므로(3,7) 비교적 덩치가 크고 먹이사슬의 상위에 속한 심해성 어류에 대한 메틸수은의 축적을 충분히 예상할 수 있을 것이다.

현재 식품공전에서는 태양광선이 닿지 않는 수심 200 m 이상의 심해에 서식하는 어류를 심해성 어류로 규정하고, 거기에 속하는 여러 어종들을 구체적으로 나열하고 있다. 그 가운데는 건강식품이라 여겨지고 식탁에도 흔히 오르는 다랑어류를 비롯하여 새치류 및 돔, 메기, 쓸뱅이류의 일부와 돔배기라 불리는 여러 상어 종류가 속해 있다. 식품공전에서 심해성 어류에 대한 수은 규격으로 총수은에 대한 기준은 없으며, 메틸수은이 1.0 mg/kg 이하로 규정되어 있다.

참치류 등은 불포화지방산 등 풍부한 영양소를 함유하고 있어서 건강식으로 인식되고 권장되고 있는 반면, 수은의 축적에 의한 건강 위해성에 대하여 논란이 계속되고 있으므로, 여러 나라에서 참치 및 심해성 어류의 섭취에 대한 주의 사항과 기준을 설정해 놓고 있다. 미국 FDA에서는 수은의 축적에 취약한 어린이 및 임산부의 경우 수은 함량이 높은 어종에 대한 섭취 가이드라인을 설정에 두고 있으며(8), 캐나다 보건부(Health Canada), 영국 식품표준청(FSA) 등 여러 나라에서 자국의 실정에 맞는 섭취 기준을 설정하고 있다. 수산물의 섭취가 많은 일본의 경우 역시 수은 오염을 감안한 임산부의 어류 섭취에 대한 권고를 하고 있다(9). 우리나라에서도 지속적인 모니터링과 건강위해평가를 통해 다랑어, 새치 및 심해성 어류에 대한 메틸수은의 기준을 설정하

*Corresponding author: Jin-Ah Kim, Gangnam Agro-marine Products Inspection Center, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Seoul 138-701, Korea
Tel: 82-2-3401-6294
Fax: 82-2-3435-0389
E-mail: kja0324@seoul.go.kr
Received January 21, 2013; revised February 20, 2013;
accepted March 23, 2013

고 그 관리를 강화하고 있는 실정으로, 2011년에 식품의약품안전청에서 임신부, 가입여성에 대한 동 종류 어류 섭취 지침으로 일주일에 한 번, 100 g 정도로 권고한 바 있다. 2005년 국민건강영양조사(10)에 따르면, 우리나라 국민의 일 년 동안의 어류 섭취량은 1인 1일 평균 76.2 g이며, 그 중 심해성 어류 및 참치류 등의 섭취량은 0.5 g으로, 국민소득수준이 향상됨에 따라 건강에 대한 관심이 증가되면서 단백질 공급원으로서 수산물의 비중이 점점 증가하고 있을 뿐만 아니라, 지형적인 영향으로 우리의 식생활은 수산물과 밀접하게 관련되어 있다. 그러므로 점점 오염되는 바다 환경으로 인한 수산물의 수은 축적 수치의 증가 및 수산물 섭취에 의한 건강 위해성을 우려할 만한 충분한 근거가 되므로, 수산물에 대한 안전성 평가는 반드시 필요하다 하겠다.

이 연구는 서울시에서 식재료로써 유통되고 있는 어류 중 메틸수은 축적이 심한 다랑어류, 새치류 및 심해성 어류를 중심으로 그 오염의 실태를 파악하고, 점점 심각해지는 환경오염에 직면한 수산식품에 의한 위해가능성을 파악함으로써, 안전하고 건강한 식생활을 위한 관리 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

시료의 수집 및 준비

서울시 가락농수산물종합도매시장, 강서농수산물도매시장 및 노량진 수산시장 등 서울시에서 대규모로 수산물을 취급하는 시장에서 실제로 유통, 판매되고 있는 상태의 다랑어, 새치, 심해성 어류 136건을 시료로 하였다. 이러한 어종은 주로 원양으로 어획되어 급속냉동 상태로 운반된 후, 주로 횡감 및 식재료로 사용하기 위해 가식부가 부위별로 절단되어 steak의 형태 또는 cubic의 형태로 가공, 포장, 유통되고 있었다. 식재료로써 쓰일 부분만을 절단, 포장하여 유통하는 시스템이므로 유통 상태에 있는 시료의 어종은 표기상 확인할 수가 있지만, 어류의 크기나 부위, 어획 장소 그리고 세부종류 등 상세한 정보를 알 수는 없었다. 또한 대중적으로 소비가 자주 이루어지는 시료를 중심으로 서울시내로 진입하기 때문에 특이하거나 소비가 흔하지 않은 어종에 대한 채취가 어려운 점이 있었다.

다랑어류 및 새치류에 속하는 어종과 비막치어(일명 메로)는 횡감과 여러 식재료로써 지속적으로 소비되고 있는 어종이며, 돔배고기와 불리는 상어고기는 제수 식품에 속하여 판매 및 소비가 이루어지고 있었다. 시료는 식품공전 제9. 검체의 채취 및 취급방법에 의거하여, 서울시내 수산시장에서 2012년에 연중으로 유통되고 있는 다랑어류(참다랑어, 눈다랑어 등), 새치류(황새치, 흑새치 등), 심해성 어류에 속하는 상어 및 비막치어(메로)를 소비자가 접할 수 있는 steak 또는 cubic 형태의 가식부 포장상태 그대로를 시험 대상으로 하였으며, 시료는 균질기로 균질화하여 -20°C에서 보관하면서 분석 시료로 사용하였다.

총수은 분석

총수은은 CRM (Certified Reference Material)으로써 MESS-3 (Marine Sediment Reference Material for Trace Metals, National Research Council Canada, Ottawa, Canada) 0.05 g을 사용하여 가열기화 금아말감법과 원자흡광분광기의 원리를 이용한 총수은분석기(DMA-80 Direct Mercury Analyzer, Milestone, Italy)로 측정하였다. 균질화한 시료 0.1 g을 별도의 전처리 없이 총수은분석기에 의해 분석하였으며, 300°C에서 건조 60 s, 850°C에서 분해 200 s, 900°C에서 아말감화 12 s를 분석조건으로 하였다.

메틸수은 분석

메틸수은은 염화메틸수은(Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) 0.1164 g을 톨루엔(Toluene, Sigma-Aldrich)에 용해하여 1,000 µg/mL로 제조한 후 표준원액으로 사용하였다. 식품공전에 등재된 메틸수은 전처리법을 사용하여 시험용액을 제조하였으며, 분석기기는 기체 크로마토그래피-전자포획검출기(GC-µECD, Agilent Technology GC System 7890N, Agilent, Palo Alto, California, USA)를 사용하여 식품공전상의 분석 조건으로 분석하였다. 메틸수은 표준용액은 1,000 ppm 표준원액을 톨루엔으로 희석하여 10, 20, 40, 50, 100, 300, 500, 1,000 및 2,000 ppb를 제조하여 사용하였다.

통계적 분석 및 위해성 평가

실험 데이터에서 상어류는 1, 다랑어류는 2, 새치류는 3, 비막치어는 4로 코딩한 후, PASW Statistics 17을 이용하여 여러 기술통계량을 구하였으며, 일원 배치 분산분석, Turkey 사후검정 등을 실시하여 각 어종 간 총수은 및 메틸수은의 함량에 차이가 있는지 분석하였다. 또한 2005년 국민건강영양조사(10)를 기초로 하여 서울시에서 유통되고 있는 다랑어류, 새치류 그리고 심해성 어류에 의한 메틸수은의 주간섭취량(estimated weekly intake)을 몬테카를로법을 이용하여 각각 산출한 후, 이를 JECFA가 설정한 메틸수은의 잠정주간섭취허용량(PTWI)와 비교, 분석함으로써 메틸수은 축적에 의한 위해도를 평가하였다.

결과 및 고찰

검출한계 및 정량한계

분석법의 정확성 및 신뢰성을 확인하기 위하여 결과의 직선성, 검출 및 정량한계를 검토하였다. 총수은의 경우 표준인증물질 MESS-3를 총수은분석기로 분석한 결과, 검량선의 결정계수(R²)는 0.9998이상이었으며 이는 총수은 농도에 따른 기기 신호의 재현성에 대한 신뢰성을 부여하였다. 검출한계와 정량한계는 각각 0.003과 0.01 µg/kg이었다.

메틸수은의 경우 염화메틸수은 표준품 0.1164 g을 톨루엔에 녹여 1,000 µg/mL로 제조한 후 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5 및 1.0 µg/mL의 농도로 희석하여 표준용액으로 사용하였다. 메틸수은의 농도와 기기 신호간의 검량선의 결정계수(R²)는 0.9997이상이었으며, United State Pharmacopoeia(USP)법에 따른 검출한계와 정량한계는 각각 0.006과 0.018 mg/kg이었다(Fig. 1).

분석법의 회수율 검토

총수은은 표준인증물질 MESS-3을 10회 반복해서 분석해 본 결과, 평균 89.92 µg/kg, 표준편차 1.40 µg/kg으로 인증물질 인증값(91 µg/kg)의 98.8%에 해당하는 양호한 값을 보였다.

메틸수은은 염화메틸수은 표준용액을 저농도(0.05 mg/kg), 중농도(0.5 mg/kg), 고농도(1.0 mg/kg)별로 각각의 어종에 첨가한 후, 메틸수은 분석법에 따른 일련의 과정을 거쳐서 회수율을 검토하였다. 결과는 Table 1과 같으며, 국제식품규격위원회(Codex Alimentarius Commission, CAC)에서 설정한 회수율 권장범위인 70-110%에 속해 양호한 회수율을 나타내었다.

총수은 및 메틸수은 축적량

본 연구에서 분석된 어종의 총수은 및 메틸수은 축적량은 Table 2에 요약하였다. 어종별 총수은 축적량(평균±표준편차(최소값-최대값), mg/kg)은 상어류 1.20±0.70 (0.43-2.78), 새치류 0.99±0.72

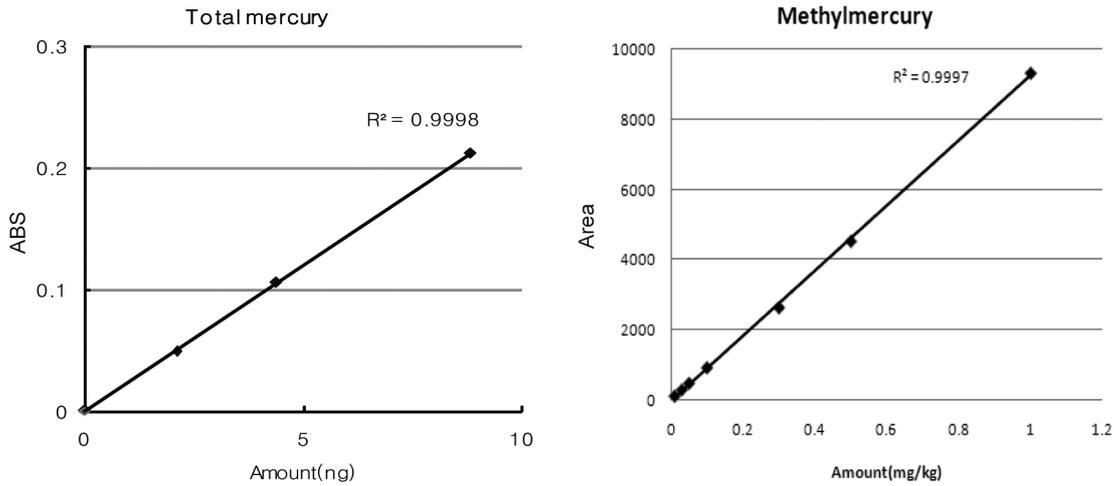


Fig. 1. Standard calibration curves of total mercury by DMA-80 and methylmercury by GC-μECD.

Table 1. Recoveries of methylmercury from deep-sea fish

Samples ¹⁾	Low conc. (50 ppb)	Medium conc. (500 ppb)	High conc. (1.0 ppm)
	Average (Mean±SD)		
Shark	79.7±6.0	101.9±2.9	103.1±1.8
Tuna	82.9±6.0	98.4±5.1	102.2±3.0
Billfish	83.9±4.0	93.8±1.7	101.5±4.5
Patagonian toothfish	81.0±7.3	101.7±3.7	93.8±1.2

¹⁾n=3

(0.03-3.27), 다랑어류 0.32±0.31 (0.02-1.38), 비막치어 0.43±0.48 (0.03-1.79)로 나타났다. 평균값으로 비교했을 때, 상어류, 새치류, 비막치어, 다랑어류 순으로 총수은 축적량이 많았다. 메틸수은 축적량[평균±표준편차(최소값-최대값), mg/kg]은 상어류 0.95±0.51 (0.28-1.65), 새치류 0.51±0.40 (0.02-1.24), 다랑어류 0.20±0.20 (0.02-0.92), 비막치어 0.20±0.17 (0.03-0.57)으로 총수은의 순위와 비슷하게 나타났으며, 상어류의 경우는 메틸수은 평균값이 규정 기준값인 1.0 mg/kg에 육박하는 양상을 보였다. 또한 총수은의 54.1%에서 78.4% 가량이 메틸수은으로 구성되어있음을 알 수 있었다.

Fig. 2은 총수은 및 메틸수은의 사분위 분포를 나타내는 상자 그림으로써, 어종별 총수은과 메틸수은 축적량의 분포를 볼 수 있다. 다랑어류와 비막치어는 총수은 및 메틸수은 값이 상어류나 새치류에 비해 중앙에 집중적으로 분포되어 있으며, 평균값을 중심으로 작은 값 쪽으로 치우쳐 있음을 확인할 수 있다. 총수은의 경우는 각 어종마다 큰 이상값(mild outlier)을 하나씩 보이고 있

으며, 이러한 이상값들이 평균을 다소 높이는 결과를 초래하였다. 메틸수은의 경우 비막치어에서 극단값(extreme outlier)이 하나 존재하는데, 이 값은 비막치어의 총수은 이상값에 해당하는 것으로, 본 연구에서는 분석결과와 왜곡을 예방하기 위하여 극단값을 자료 분석에서 제외하였으나, 더 많은 시료를 분석할 경우 유사한 값이 모니터링될 수 있는 가능성을 확인하였다. 상어류와 새치류의 메틸수은 축적량 분포는 상자그림에서 보듯이 위아래로 넓게 퍼져있는 것이 확인되었으며, 이 결과는 분포의 완급을 나타내는 기술통계량인 첨도값이 음수로 분석된 것과 일치하였다. 상어류와 새치류의 총수은 및 메틸수은의 축적량이 비교적 넓게 분포하는 이유는 크기, 습성, 생태, 생존환경 및 대사기작 등이 다른 여러 개체와 여러 세부 종류의 상어류와 새치류 시료를 하나의 어종으로 범주화하였기 때문이라 판단된다.

네 종류 어종의 총수은 및 메틸수은 축적량에 대한 일원배치 분산분석 결과, $p < 0.001$ 으로 각 어종 간 총수은 및 메틸수은 축적량이 유의하게 다르다는 결과를 통계적으로 확인하였다. 그 중에서 어떠한 어종 사이에 총수은 및 메틸수은 축적량에 차이가 존재하는지 Turkey의 사후검정법을 이용하여 확인해 본 결과, 상어류와 다랑어류, 상어류와 비막치어, 다랑어류와 새치류, 새치류와 비막치어 간에는 총수은 평균값에 유의한 차이가 있었다 ($p=0.05$). 하지만 상어류와 새치류는 $p=0.651$, 다랑어류와 비막치어는 $p=0.843$ 으로서 평균값에 차이가 없는 것으로 나타났다. 메틸수은의 경우 상어류와 다랑어류, 상어류와 새치류, 상어류와 비막치어, 다랑어류와 새치류, 새치류와 비막치어 간에 메틸수은 평균값에 유의한 차이가 존재하는 것으로 분석되었으며($p=0.05$), 다랑어류와 비막치어 사이만이 $p=0.904$ 로서 평균값에 차이가 없는 것으로 확인되었다. 종합하면, 총수은의 경우 상어류와 새치류가

Table 2. Summary of total mercury and methylmercury concentrations in deep-sea fish

Species	Sample number	Total Hg mean±SD (min-max)	MeHg mean±SD (min-max)	% MeHg mean±SD
Shark	10	1.20±0.70 (0.43-2.78)	0.95±0.51 (0.28-1.65)	78.4±15.6
Tuna	66	0.32±0.31 (0.02-1.38)	0.20±0.20 (0.02-0.92)	72.6±18.8
Billfish	41	0.99±0.72 (0.03-3.27)	0.51±0.40 (0.02-1.24)	54.1±26.1
Patagonian toothfish	19	0.43±0.48 (0.03-1.79)	0.20±0.17 ¹⁾ (0.03-0.57)	65.6±14.1

¹⁾Extreme outlier (1.31 mg/kg) was excluded to prevent distortion of results

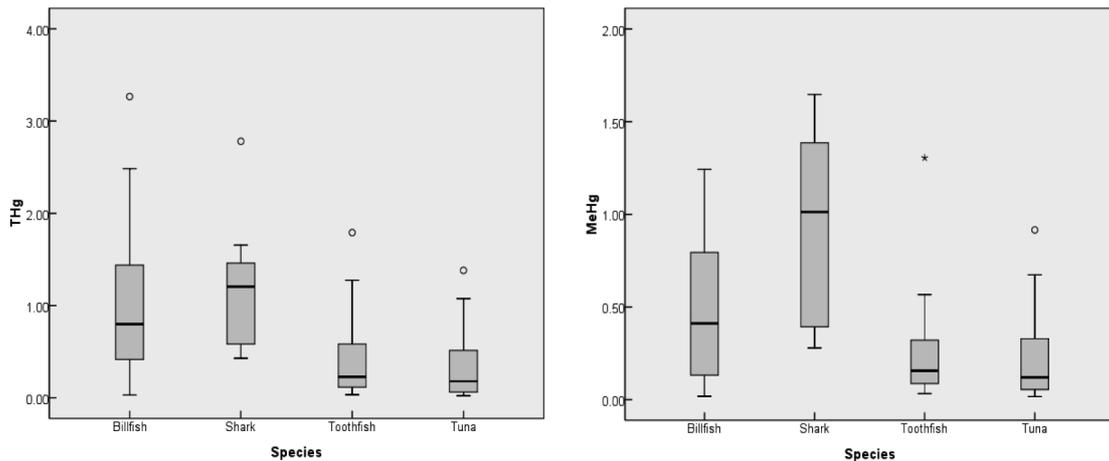


Fig. 2. Box plot showing the distribution of total mercury and methylmercury concentrations in 4 species. ○ indicates mild outlier, * indicates extreme outlier.



Fig. 3. Line graph showing the rising trend of total mercury and methylmercury in Korea (2005: Kim *et al.* (12), 2009: Park *et al.* (11), 2012: this study).

한 쌍, 다랑어류와 비막치어가 한 쌍이 되어, 쌍이 된 서로 간에는 평균값에 차이가 없었으며, 다른 쌍의 어종 간에 서로서로 평균값에 유의한 차이가 있었다. 메틸수은의 경우, 다랑어류와 비막치어는 총수은과 마찬가지로 어종 별 평균값의 차이가 없었다. 하지만 상어류와 새치류의 경우 총수은은 어종 별 차이가 없었음에 반해, 메틸수은 평균값은 어종별로 유의한 차이가 발생하였다. 이 결과는 총수은 대비 메틸수은 차지 비율이 상어류의 경우는 78.4%임에 반해, 새치류는 54.1%인 것에서 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 3는 우리나라에서 발표된 다랑어류, 새치류 및 심해성 어류의 총수은과 메틸수은의 축적량에 대한 연도별 추이를 나타내었다. 메틸수은은 점차 증가하는 경향을 확인할 수 있으나, 총수은의 경우는 2010년 Park 등(11)의 결과가 더 높은 수치를 보이고 있다. 그 이유는 본 연구에서는 다랑어류의 경우 황다랑어, 눈다랑어 등 다양한 종류가 사용된 반면, Park 등의 연구에서는 참다랑어만 시료로 사용되었으며, 새치류의 경우도 본 연구에서는 황새치, 흑새치, 청새치 등이 종합적으로 사용된 반면, Park 등의 자료는 황새치가 시료로 사용되었기 때문인 것으로 판단되었다. Kim 등(12)의 연구 결과에서 황새치가 다른 새치류보다 총수은과 메틸수은의 평균 축적량이 높다는 결론과 일치하며, 다랑어류의 경우도 세부 어종별 평균 축적량의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 3에서 2005년에 실시된 Kim 등(12)의 연구에서는 각 어종 간 평균 축적량에 큰 차이가 없었음에 반해, 본 연구에서는 각 어종별로 평균 축적량에 차이가 발생한 것을 통계적으로 확인할 수 있었다. 그 중 상어류는 총수은 및 메틸수은의 평균 축적량이 크게 증가하였으며, 새치류와 다랑어류 역시 총수은과 메틸수은 이 시간의 경과에 따라 점점 더 많이 축적되는 경향을 확인할 수 있었다.

메틸수은에 대한 노출량 평가

본 연구 결과와 '05 국민건강영양조사 결과보고서(10)를 근거로 산출한 메틸수은의 주간섭취량과, 그에 대하여 JECFA의 PTWI와의 비교, 검토값은 Table 3에 요약하였다. 주간섭취량의 산출은 몬테카를로법을 이용하여 각 어종별 여러 일일섭취량과 각 어종의 모든 메틸수은 데이터 사이에서 난수값을 구함으로써, 주간 최소섭취량부터 최대섭취량까지 파악할 수 있었다. 상어류는 주(week)당 전혀 섭취하지 않는 경우부터 최대 kg당 0.0384 µg까지 섭취하였고, 다랑어류는 최소 0.0004 µg부터 최대 0.0214 µg까지, 새치류는 최소 0.075 µg부터 1.813 µg까지 섭취하는 것으로 계산되었다. JECFA에서는 메틸수은의 PTWI에 대하여 1.6 µg/kg bw (체중 60kg)로 설정하고 있는데, 이 수치에 대하여 산출된 각 어종별 주간섭취량의 비율은 상어류 -2.4%, 다랑어류 0.025-1.338%, 새치류 0.075-1.813%의 수준으로 파악되었다. 다랑어류는 평균 축

Table 3. Exposure assessment of MeHg by analyzing the estimated weekly intake and PTWI

Species	Content of MeHg (mg/kg) (mean)	Daily food intake ¹⁾ (g/man/day)	Estimated weekly intake ($\mu\text{g/kg b.w}^2$ /week)	% of PTWI ³⁾
Shark	0.28-1.65 (0.95)	0.0-0.2	0.00-0.0384	-2.4
Tuna	0.02-0.92 (0.20)	0.1-0.6	0.0004-0.0214	0.025-1.338
Billfish	0.02-1.24 (0.51)	0.0-0.3	0.0012-0.0290	0.075-1.813
Patagonian toothfish	0.03-0.57 (0.20)	-	-	-
Total		0.1-1.1	0.0016-0.0888	0.1-5.551

¹⁾The values from the 3rd Korea National Health & Nutrition Examination Survey

²⁾b.w. (body weight): 60 kg

³⁾The percentage of the PTWI set by JECFA

적량이 높지 않음에도 주간섭취량 비율이 새치류에 버금가는 것을 볼 때, 다랑어류의 섭취가 여러 경로로 다소 많이 이루어지고 있음을 방증해 주었다. 비막치어의 경우는 일일섭취량이 설정되어 있지 않아서 분석값을 구할 수 없었으나, 현재 대형마트나 도매시장에서 개별 포장 또는 부위별로 절단되어 유통 중에 있는 어종이므로 일일섭취량에 대한 조사가 필요하다 하겠다. 비막치어를 빼 나머지 어종들의 주간섭취량의 합계 비율은 0.1-5.551%로 확인되었으며, 이 수치는 다랑어류, 새치류 및 심해성 어류의 섭취로 인한 메틸수은에 대한 노출량이 아직 안전한 수준임을 보여준다. 하지만 이 결과는 2010년의 Joo 등(13)의 연구에서 다소 비 수산식품 섭취에 의한 메틸수은 축적 결과(3.34%)보다 높은 수치이며, Kim 등(14)의 심해성 어류만의 섭취에 의한 메틸수은 축적 극단치(6.42%)보다 다소 낮은 수치로서, 환경오염과 생활패턴의 변화에 의한 동종 어류의 섭취에 대한 지속적인 감시와 대책이 필요한 근거를 제시해 준다. 그러므로 정확한 노출량 및 안전성을 평가하기 위해서는 연구된 어종 외에 많은 종류의 심해성 어류를 비롯한 포식성 어류의 섭취 및 다양한 경로의 다소 비 농수축산물의 섭취를 종합적으로 평가해야하며, 또한 연령, 생활환경, 임신부와 같은 취약군 등 노출군에 대한 세부적인 조사 및 평가가 함께 필요할 것으로 판단된다.

요 약

서울시에서 유통 중인 다랑어류, 새치류 및 심해성 어류의 총수은 및 메틸수은 축적량의 현황 파악과 사후 관리의 자료로써 모니터링을 실시하였다. 소비 패턴에 따라서 시장의 진입이 이루어지는 관계로 다양한 어종의 채취보다는 비교적 많이 판매, 소비되는 품목 즉 상어류, 다랑어류, 새치류, 비막치어 136건을 대상으로 총수은 및 메틸수은의 축적량을 조사하였다. 총수은 분석에 사용된 DMA-80에 대하여 CRM 인증값의 98.8% 회수, 검량선 결정계수(R^2) 0.9998 이상, 0.003, 0.01 $\mu\text{g/kg}$ 의 검출한계와 정량한계를 파악함으로써 기기적 정확성 및 재현성을 확보하였다. GC- μECD 를 사용한 메틸수은 분석법은 79.7%-103.1%의 양호한 회수율과 0.9997 이상의 높은 검량선 결정계수(R^2)를 확보하였으며, 검출한계는 0.006 mg/kg, 정량한계는 0.018 mg/kg의 결과를 보였다. 네 종류의 어종은 통계적 분석에 의해 총수은 및 메틸수은 축적량에 차이가 있는 것이 확인되었으며, 각 어종의 총수은 및 메틸수은 평균량(mg/kg)은 상어류 1.20 \pm 0.70, 0.95 \pm 0.51, 새치류 0.99 \pm 0.72, 0.51 \pm 0.40, 다랑어류 0.32 \pm 0.31, 0.20 \pm 0.20, 비막치어(메로) 0.43 \pm 0.48, 0.20 \pm 0.17로 분석되었으며, 과거에 비해 상어류와 새치류에서의 축적량이 많이 증가된 것을 알 수 있었다. 분석된 메틸수은 수치들과 JECFA의 PTWI값과의 비교 검토 값은 상어류 0.00-0.24%, 새치류 0.075-1.813%, 다랑어류 0.025-

1.338%로서, 일일섭취량이 설정되어 있지 않은 비막치어를 빼 나머지 세 종류 어종의 합계는 0.1-5.551%였다. 이 결과만을 평가해 본다면, 다랑어류, 새치류, 심해성 어류의 섭취로 인한 메틸수은에 대한 노출량은 아직 안전한 수준이라고 할 수 있다. 하지만 본 연구에서 확인한 바와 같이, 시간이 경과함에 따라 축적량이 증가하고 있는 현상을 감안하고, 또한 여러 경로로 메틸수은에 노출되는 점을 종합적으로 분석한다면 좀 더 정확한 노출과 안전성 평가가 이루어질 것이라 생각한다.

References

- Schuster PF, Krabbenhoft DP, Naftz DL, Cecil LD, Olson ML, Dewild JF, Susong DD, Green JR, Abbott ML. Atmospheric mercury deposition during the last 270 years: a glacial ice core record of natural and anthropogenic sources. *Environ Sci. Technol.* 36: 2303-2310 (2002)
- Limbong D, Kumampung J, Rimper J, Arai T, Miyazaki N. Emissions and environmental implications of mercury from artisanal gold mining in North Sulawesi, Indonesia. *Sci Total Environ.* 302: 227-236 (2003)
- Jensen S, Jernelv A. Biological methylation of mercury in aquatic organisms. *Nature* 223: 753-754 (1969)
- Myers GJ, Davidson PW, Cox C, Shamlaye CF, Palumbo D, Cernichiari E, Sloane-Reeves J, Wilding GE, Kost J, Huang LS, Clarkson TW. Prenatal methylmercury exposure from ocean fish consumption in the Seychelles child development study. *Lancet* 361: 1686-1692 (2003)
- Mahaffey KR, Clickner RP, Jeffries RA. Adult women's blood mercury concentrations vary regionally in the United States: association with patterns of fish consumption (NHANES 1999-2004). *Environ. Health Persp.* 117: 47-53 (2009)
- Mergler D, Anderson HA, Chan LH, Mahaffey KR, Murray M, Sakamoto M, Stern AH. Methylmercury exposure and health effects in humans: a worldwide concern. *Ambio* 36: 3-11 (2007)
- Mason RP, Reinfelder JR, Morel FMM. Bioaccumulation of mercury and methylmercury. *Water Air Soil Poll.* 80: 1573-2932 (1995)
- United States Food and Drug Administration (FDA). Mercury level in commercial fish and shellfish. Available from: <http://www.cfsan.fda.gov/seafood1.html>. Accessed Mar. 01, 2008.
- Japan MHLW. Food Sanitation Committee. Advise for pregnant women on fish consumption and mercury (2005). Available from: <http://www.mhlw.go.jp/english/wp/other/councils/mercury/index.html>. Accessed Nov. 04, 2007.
- Korea Health Industry Development Institute. In depth Analysis on the 3rd (2005) Korea National Health & Nutrition Examination Survey -Nutrition Survey-. Available from: <http://knhanes.cdc.go.kr>. Accessed Mar. 01, 2008.
- Park JS, Jung SY, Son YJ, Choi SJ, Kim MS, Kim JG, Park SH, Lee SM, Chae YZ, Kim MY. Monitoring of Total Mercury, Methylmercury and Ethylmercury in Fish and Fishery Products Sold in Seoul, Korea. *Food Addit. Contam. B* 4: 268-274 (2011)
- Kim HY, Chung SY, Sho YS, Oh GS, Park SS, Suh JH, Lee EJ,

- Lee YD, Choi WJ, Eom JY, Song MS, Lee JO, Woo GJ. The Study on the Methylmercury Analysis and the Monitoring of Total Mercury and Methylmercury in Fish. Korean J. Food Sci. Technol. 37: 882-888 (2005)
13. Joo HJ, Noh MJ, Yoo JH, Jang YM, Park JS, Kang MH, Kim MH. Monitoring Total Mercury and Methylmercury in Commonly Consumed Aquatic Foods. Korean J. Food Sci. Technol. 42: 269-276 (2010)
14. Kim SC, Jang JW, Kim HA, Lee YJ, Kim JY, Ahn JH, Park EH, Ko YS, Kim DS, Kim SY, Jang YM, Kang CS. Monitoring Methylmercury in Abyssal Fish. Korean J. Food Sci. Technol. 42: 383-389 (2010)