

## 심해성 어류 중 메틸수은 모니터링

김성철\* · 장진욱 · 김현아 · 이상호 · 정영지 · 김지연 · 안종훈 · 박은혜 ·  
고용석<sup>1</sup> · 김동술<sup>2</sup> · 김상엽 · 장영미 · 강찬순

부산지방식품의약품안전청 수입식품분석과, <sup>1</sup>의약품안전국 순환계약품과, <sup>2</sup>식품의약품안전평가원 오염물질과

### Monitoring Methylmercury in Abyssal Fish

Seong-Cheol Kim\*, Jin-Wook Jang, Hyun-Ah Kim, Sang-Ho Lee, Young-Ji Jung, Ji-Yeon Kim, Jong-Hoon Ahn,  
Eun-hye Park, Yong-Seok Ko<sup>1</sup>, Dong-Sul Kim<sup>2</sup>, Sang-Yub Kim, Young-Mi Jang, and Chan-Soon Kang

Imported Food Analysis Division, Center for Food and Drug analysis, Busan Regional Korea Food and Drug Administration  
<sup>1</sup>Cardiovascular and Neuropharmacological Drugs Division, Drug Evaluation Department, Korea Food and Drug Administration  
<sup>2</sup>Food Investigation Science Team, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation

**Abstract** The aim of this study was to determine the methylmercury (MeHg) levels in abyssal fish species. The MeHg in the fishes was extracted with hydrochloric acid and toluene and then purified using an L-cysteine solution. The extract was analyzed with a gas chromatography-electron capture detector (GC- $\mu$ ECD) with a thermal Hg-capillary column. The detection limit and the recovery of the method were 0.002 and 84.2-98.5% (mean, 93.4%), respectively. The MeHg content in 492 abyssal fishes ranged from 0.037 to 2.009 mg/kg. The levels of MeHg [range, mg/kg (mean)] were significantly dependent on fish species and presented as the following; 0.157-2.009 (0.546) in Scalloped hammerhead shark, 0.211-0.878 (0.501) in Blue shark, 0.121-0.993 (0.482) in Spiny dogfish, 0.243-0.658 (0.397) in Salmon shark, 0.074-1.958 (0.353) in Blacktip shark, 0.038-0.807 (0.302) in Southern hake, 0.099-0.511 (0.300) in Scorpion fish, and 0.037-0.133 (0.067) in Ling. The monitoring results showed that the estimated weekly intake of MeHg from sharks, Southern hake, and Ling were lower than the provisional tolerable weekly intake recommended by the Joint FAO/WHO expert committee on food additives.

**Key words:** methylmercury, abyssal fish, monitoring, provisional tolerable weekly intake, GC- $\mu$ ECD

## 서 론

수은은 다양한 경로를 통해 해양 생태계에 존재하는 중금속으로 화학적 형태에 따라 원소성 수은, 무기수은 및 유기수은의 형태로 존재한다(1).

해양환경 중에 존재하는 대부분의 수은 형태는 무기수은이나 세균의 활성에 의해 독성이 강한 유기수은인 메틸수은으로 변환된다. 메틸수은은 생물농축이라는 특성에 의해 먹이 사슬의 상위로 갈수록 많은 양이 포함되어 있고 주로 어류를 통하여 인간에게 축적된다(2,3). 식품공전에서는 심해성 어류를 태양광선이 도달하지 않는 수심이 200 m 이상의 심해에 서식하는 어류로 정의하고 있으며, 썸뱅이류(적어포함, 연안성어종 제외), 칠성장어, 얼룩상어, 악상어, 청상아리, 기름치, 곱상어, 귀상어, 은상어, 청새리상어, 흑기홍상어, 다금바리, 체장메기(홍메기), 파타고니아어펄고기 및 은민대구(뉴질랜드계군에 한함) 등으로 분류하고 있다(4). 2008년 한 해 동안 심해성 어류의 유통량은 상어류 4,800톤, 은

민대구 3,400톤, 체장메기 1,600톤 및 적어 4,620톤이 국내원양 및 수입원양 어업을 통해 유통되었다(5).

메틸수은은 세포막을 쉽게 통과하는 특성으로 중추신경계에 영향을 주어 암을 유발할 수 있는 유해물질로 전 세계적으로 규제하고 있다. 각국의 어류에 대한 총수은 및 메틸수은의 기준규격은 FAO/WHO의 국제식품규격위원회(Codex Alimentarius Commission, 이하 Codex)에서는 포식성 어류의 메틸수은 가이드라인 수준을 1.0 mg/kg, 일반어류는 0.5 mg/kg으로 설정하고 있고, 미국의 식품의약품청(Food and Drug Administration, 이하 FDA)에서는 어류 중 메틸수은의 action level을 1.0 mg/kg(wet wt)로 설정하여 관리하고 있다. 일본은 심해성 어류를 제외한 어류 중 총수은 함량을 0.4 mg/kg(wet wt) 이하로 정하고 있으며, 수은함량이 0.4 mg/kg을 초과한 어류는 메틸수은 기준 0.3 mg/kg을 재적용하여 적부를 판정하고 있다. 유럽연합은 포식성 어류를 제외한 일반어류 중 총수은 함량을 0.5 mg/kg, 포식성 어류는 1.0 mg/kg으로 기준을 정하고 있다(6-9). 국내의 경우는 해산 어·패류(연체류 포함)의 중금속 잔류허용기준(생물로 기준할 때)을 총수은 0.5 mg/kg 이하(심해성 어류, 다랑어류 및 새치류 제외), 메틸수은은 1.0 mg/kg 이하(심해성 어류, 다랑어류 및 새치류에 한함)로 지정되어 있다. 다만, 메틸수은의 경우는 2009년 12월 1일부터 시행한다고 규정되어 있다(10). 또한, 우리나라를 비롯한 FDA에서는 미국 EPA(Environmental Protection Agency, 이하 EPA)와 함께 입산부, 가임여성, 수유부, 유아 등 특정 집단에 대해서 메틸수은 함량이 높은 어류에 대해서 섭취를 제한하는 권고안을 발표하였고, 이후

\*Corresponding author: Seong-Cheol Kim, Imported Food Analysis Division, Center for Food and Drug Analysis, Busan Regional Korea Food and Drug Administration, Busan 608-829, Korea  
Tel: 82-51-610-6246  
Fax: 82-51-610-6199  
E-mail: sckim77@kfda.go.kr  
Received November 2, 2009; revised April 8, 2010; accepted April 12, 2010

캐나다, 영국, 일본에서도 메틸수은 섭취를 제한하는 권고를 연이어 발표한 바, 지속적인 모니터링 연구의 필요성이 대두되고 있다(11-15).

한편 국내의 어패류에 대한 총수은 및 메틸수은 모니터링 연구를 살펴보면 Lee 등(16)은 2005년 식약청 연구보고서에서 국내 유통 중인 수산물 중 수은실태를 조사하였고, Kim 등(17)은 국내 유통 중인 다랑어류, 새치류, 상어류, 연어, 옥돔 및 참치 통조림 등에 대한 총수은 및 메틸수은 함량을 측정할 바 있다. 국외에서도 Storelli 등(18)은 지중해의 다랑어류에 대한 총수은 및 메틸수은 잔류량을 조사하였고, Dabeka 등(19)은 캐나다에서 수거된 식용 어패류에 대한 총수은을 조사하였으며, 미국 FDA 모니터링 프로그램(20,21), 영국식품규격청(Food Standard Agency, 이하 FSA)의 수입 어패류 및 국내 양식 어류에서의 수은 함량 조사(22), 일본 수산청의 어패류 중의 수은농도 조사(23) 등과 같이 일반 어패류, 새치류, 다랑어류 및 상어류에 대한 총수은 및 메틸수은에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 국내는 물론 국외에서도 심해성 어류를 대상으로 한 메틸수은의 오염수준의 조사는 초기 단계이므로 장기적이고 지속적인 오염실태 조사가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 식품공전상의 식품 원재료로 분류되어 있는 심해성 어류에 대한 메틸수은 오염도 모니터링을 수행하여 국내의 심해성 어류 등에 대한 메틸수은 기준·규격 고시 시행 전 사후관리 자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시료

본 실험에 사용한 시료는 식품공전상의 식품원재료로 분류되어 있는 8종[귀상어, 흑기홍상어, 굽상어, 청새리상어, 악상어, 적어(연안성 어종 제외), 은민대구(뉴질랜드계군에 한함), 체장메기(홍메기)]를 대상으로 하여 2008년 3월부터 10월까지 부산지역 냉동수산물 창고에서 총 492건을 구매하여 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 심해성 어류는 Table 1과 같다. 대형 냉동어류인 귀상어, 흑기홍상어, 굽상어, 청새리상어 및 악상어 등은 수산물가공공장에서 비가식 부위를 제외시켜 적당한 크기로 절단하여 시료로 사용하였고, 그 외 어종은 냉장상태로 운송하여 물로 깨끗이 닦은 후(1차 증류수로 1회, 3차 증류수로 2-3회) 시료로 사용하였다. 시료의 채취는 어류의 가식부(지느러미, 뼈, 내장을 제외한 근육부)를 균질기(Halld VCM-61, AB Halld Maskiner, Kista, Sweden)로 균질화하여 폴리에틸렌 용기에 담아 냉동(-20°C 이하) 보관 후 실온에서 해동하여 시료로 사용하였다.

Table 1. The names of abyssal fish

Common name	Scientific name	n
Scalloped hammerhead shark	<i>Sphyrna zygaena</i>	66
Blacktip shark	<i>Carcharhinus leucas</i>	66
Spiny dogfish	<i>Squalus acanthias</i>	60
Blue shark	<i>Prionace glauca</i>	60
Salmon shark	<i>Lamna ditropis</i>	60
Scorpion fish	<i>Sebastes tertius</i>	60
Southern hake	<i>Merluccius australis</i>	60
Ling	<i>Genypterus blacodes</i>	60
		492

### 시약 및 초자

표준원액은 염화메틸수은(methylmercury (II) chloride, Sigma-Aldrich Co., Ltd., St. Louis, MO, USA) 0.1164 g을 톨루엔(toluene, Sigma-Aldrich Co.) 100 mL에 용해시켜 1,000 µg/mL로 제조하였고, 표준용액은 표준원액을 톨루엔에 녹여 적당한 농도로 희석하여 사용하였다. 추출용매로 사용한 L-시스테인 용액은 L-cysteine(L-cysteine hydrochloride monohydrate, Fluka, Buchs, Germany) 10.0 g, 아세트산나트륨(sodium acetate trihydrate, Sigma-Aldrich Co.) 0.8 g, 무수황산나트륨(sodium sulfate anhydrous, Reidel-Dehaen, Hanover, Germany) 12.5 g을 증류수 100 mL에 교반하면서 용해시켜 제조하였다(사용 시 제조). 염산 용액은 염산(hydrochloric acid, Sigma-Aldrich Co.)과 증류수를 3:1의 비율로 제조하여 사용하였다. 회수를 검토를 위한 인증표준물질은 EU 공동연구센터 산하의 표준연구소인 IRMM(Institute for Reference Materials and Measurements)의 다랑어를 동결 건조하여 제조한 ERM-CE464(EC-DG JRC-IRMM, Geel, Belgium)를 사용하였다. 유기용매는 HPLC 및 GC 분석용, 증류수는 재증류 한 후 이온을 제거시킨 탈이온수, 그 외 분석에 사용된 모든 시약은 분석용 특급시약을 사용하였다.

### 시료의 전처리

메틸수은 분석은 식품공전의 유해성 금속 시험법에 따라 균질화한 시료 약 2 g을 100 mL 원심분리관에 넣고 25% 염화나트륨 용액 10 mL를 첨가하여 진탕한 후 진한 염산 4 mL, 톨루엔 15 mL 첨가하여 2분간 강하게 흔들어서 추출하였다. 3,000 rpm에서 20분간 원심분리기(Allegra X-22R, Becton Co., Brea, CA, USA)로 원심 분리한 후 톨루엔층을 125 mL 분액깔대기에 옮겼다(단, 거품이 발생할 경우에는 1 mL의 이소프로판올을 첨가하여 진탕한 후 다시 원심분리 하였다). 여기에 25% 염화나트륨 10 mL를 첨가하여 수세한 후 L-시스테인용액 5 mL를 첨가하여 진탕기로 10분간 강하게 진탕하였다. 10분간 방치한 후 L-시스테인층을 15 mL 원심분리관에 분취하고 여기에 염산용액 4 mL, 톨루엔 5 mL를 첨가하여 1분간 강하게 흔들어서 추출하였다. 추출액을 원심분리(2,500 rpm, 5 min)하고 톨루엔층을 분취하여 무수황산나트륨으로 탈수한 후 시험용액으로 하였다(10).

### 기기 분석

시험용액은 수은 전용 컬럼인 HR-Thermon-HG(15 m×0.53 mm ID, Shinwa Chem., Kyoto, Japan) 컬럼을 이용하여 GC-µECD (Agilent 6890A, Agilent Co., Foster City, CA, USA)로 분석하였으며, 기기분석 조건은 Table 2와 같다. 어종별 메틸수은 함량 차이를 비교하기 위해 SAS(Statistical Analysis System) package를 이용하여 ANOVA 실시 후, 사후분석으로 Duncan's multiple range test를 적용하였다.

### 질량 분석

어류종의 메틸수은 확인시험을 위해 질량분석기(GC/MS Agilent 5973MSD, Agilent Co., USA)를 이용하여 SIM mode로 확인하였다. 기기분석 조건은 Table 3과 같다.

### 노출량 평가

본 연구에서 조사된 심해성 어류 중 메틸수은의 주간섭취량을 산출하기 위하여 '05 국민건강영양조사' 결과보고서를 활용하여 노출량을 평가하였다(24). 각 심해성 어류의 1인 1일당 섭취량을

**Table 2. Analytical conditions of MeHg by GC-μECD**

Parameters	Conditions
Instrument	GC (Agilent 6890A USA)
Column	ULBON HR-Thermon-Hg (0.53 mm ID×15 m, Shinwa Chem.)
Detector	Electron capture detector
Inlet temp.	160°C
Oven temp.	140°C
Detector temp.	150°C
Carrier gas	N <sub>2</sub> (8 mL/min)
Injection vol.	2 μL (Split ratio 3:1)

이용하여 주간섭취량을 산출(성인체중 60 kg 기준)한 후 FAO/WHO 합동 식품첨가물 전문가위원회(The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)에서 설정한 잠정 주간섭취 허용량(Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)(25)과 비교하여 안전성을 평가하였다(Table 4).

### 결과 및 고찰

#### 검출한계 및 정량한계

염화메틸수은 표준품 0.1164 g을 톨루엔 100 mL에 녹여 1,000 mg/L(as MeHg)로 제조한 후 각각 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 및 1.0 mg/L의 농도로 희석하여 검량선용 표준용액으로 사용하였다. 상관계수(R<sup>2</sup>)는 0.9992로 우수한 직선성을 보였고, 측정된 검량선을 이용한 검출한계(Limit of Detection, LOD)와 정량한계(Limit of Quantitation, LOQ)는 0.002 mg/kg과 0.005 mg/kg으로 나타났다(Table 5). 이러한 결과는 2005년 Kim 등(26)이 어류 중 메틸수은 분석법 확립에 사용한 GC-ECD의 검출한계 0.005 mg/kg 보다 높은 감도를 나타내었다.

#### 회수율 측정

메틸수은 회수율 측정은 염화메틸수은 표준용액을 어종별로 1.0 mg/kg의 농도로 첨가하여 분석하는 방법과 인증표준물질을 이용하여 회수율을 측정된 결과 Table 6, 7과 같으며, 각각의 회수율은 평균 93.4%와 92.6%로 나타났다.

**Table 3. Analytical conditions of MeHg by GC/MS**

Parameters	Conditions			
GC	GC/MS (Agilent 5973MSD, Agilent Co.)			
Instrument	DB-5ms (30 m×0.25 mm I.D.×0.10 μm)			
Column	250°C			
Inlet temp.	Helium			
Carrier gas				
		Rate (°C/min)	Temp. (°C)	Hold time (min)
	Initial		40	1
Oven temp. programing	1	10	80	2
	2	15	125	2
	3	20	280	1
MSD				
Detection mode	SIM			
Selected ion (m/z)	252, 202, 217, 237			
Ion source temp.	150°C			
Interface temp.	230°C			

**Table 4. The PTWI of Hg and MeHg from JECFA (FAO/WHO)**

Elements	PTWI (μg/kg b.w./week)	Assumed ADI (μg/kg b.w./day)
Hg	5	0.7
MeHg	1.6	0.2

**Table 5. The limit of detection and quantitation for determination of MeHg by GC-μECD**

Parameters	Element
	MeHg (mg/kg)
Limit of detection <sup>1)</sup>	0.002
Limit of quantitation <sup>2)</sup>	0.005
Linearity (R <sup>2</sup> )	0.9992

<sup>1)</sup>Limit of detection=3.3σ/S

<sup>2)</sup>Limit of quantitation=10σ/S

σ=the standard deviation of the response

S=the slope of the calibration curve

#### 심해성 어류 중 메틸수은 함량

심해성 어류에 대한 메틸수은 함량을 측정된 결과는 Table 8 과 같다. 모든 어종에서 메틸수은이 검출되었으며, 어종별 메틸수은 함량은 귀상어, 청새리상어, 곱상어, 악상어, 흑기홍상어, 은민대구, 적어 및 체장메기 순으로 높게 나타났다. 각 어종별 메틸수은 함량[최소값-최대값(평균±표준편차), 단위: mg/kg]은 귀상어 0.157-2.009(0.546±0.311), 청새리상어 0.211-0.878(0.501±0.154) 및 곱상어 0.121-0.993(0.482±0.189) 등에서 비교적 높게 나타났으며, 악상어 0.243-0.658(0.397±0.090), 흑기홍상어 0.074-1.958 (0.353±0.418), 은민대구 0.038-0.807(0.302±0.201) 및 적어 0.099-0.511(0.300±0.094) 등에서는 비교적 낮은 것으로 나타났다. 체장메기의 경우 0.037-0.133(0.067±0.016)으로 나타나 조사된 어종 중 유일적으로 가장 낮은 함량을 나타내었다.

또한 귀상어, 흑기홍상어 및 은민대구 등의 메틸수은 함량은 다른 어종에 비해 비교적 높은 편차를 나타내었는데 이는 Storelli의 Marcotrigiano(8), Fischnaller 등(27)의 연구에서와 같이 어종에 따른 메틸수은의 편차는 어류의 중량, 섭식상태, 어획장소 및 어획시기 등에 따라 그 함량의 차이가 있는 것으로 판단된다(18,27).

**Table 6. The recovery test of MeHg in abyssal fish (standard addition method)**

Samples <sup>1)</sup>	Recoveries (%)		
	Minimum	Maximum	Average (Mean±SD)
Scalloped hammerhead shark	91.1	100.8	95.7±4.9
Blacktip shark	93.7	99.7	97.2±3.1
Spiny dogfish	82.2	87.0	84.2±2.5
Blue shark	94.8	103.0	98.5±4.2
Salmon shark	87.0	97.0	91.9±5.0
Scorpion fish	89.9	99.3	95.0±4.8
Southern hake	93.0	95.8	93.9±1.6
Ling	88.3	94.3	90.4±3.4

<sup>1)</sup>Number of samples=3**Table 7. Recovery test (CRM)**

Analyte	CRM conc. (mg/kg) <sup>1)</sup>	Mean value (mg/kg)	S.D. (mg/kg)	Coefficient of variation (%)	Recovery (%)
CE464 <sup>2)</sup>	5.50±0.17	5.09	0.14	2.5	92.6

<sup>1)</sup>Reference value<sup>2)</sup>European Reference Material, Institute for Reference Materials and Measurements**Table 8. The MeHg contents in abyssal fish**

Sample <sup>1)</sup>	MeHg (mg/kg)		
	Minimum	Maximum	Average (Mean±SD)
Scalloped hammerhead shark	0.157	2.009	0.546±0.311 <sup>d2)</sup>
Blacktip shark	0.074	1.958	0.353±0.418 <sup>bc</sup>
Spiny dogfish	0.121	0.993	0.482±0.189 <sup>d</sup>
Blue shark	0.211	0.878	0.501±0.154 <sup>d</sup>
Salmon shark	0.243	0.658	0.397±0.090 <sup>e</sup>
Scorpion fish	0.099	0.511	0.300±0.094 <sup>b</sup>
Southern hake	0.038	0.807	0.302±0.201 <sup>b</sup>
Ling	0.037	0.133	0.067±0.016 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Scalloped hammerhead shark (n=66), blacktip shark (n=66), spiny dogfish (n=60), blue shark (n=60), salmon shark (n=60), scorpion fish (n=60) southern hake (n=60), and ling (n=60)<sup>2)</sup>Means with different superscripts within the same row are significantly different (p<0.05)

심해성 어류 중의 메틸수은 함량 모니터링에 대한 전체 어종별 국내의 연구결과와 비교 검토하려 하였으나 은민대구, 적어 및 채장메기 등은 모니터링 자료가 부재하여 단순 비교가 어려웠다. 다만 상어류의 경우 메틸수은 함량[최소-최대(평균), 단위: mg/kg]이 0.074-2.009(0.456)로 나타나 2004년 식약청 연구보고서 0.040-0.436(0.201)과 일본수산청의 연구결과인 0.250-0.450 (0.350)에 비해 비교적 높은 결과를 나타내었다(17,23). 이는 분석된 어류의 중량 차이로 판단된다.

반면 캐나다 Forsyth 등(28)의 연구결과에 따르면 상어류의 메틸수은 함량은 0.285-1.538(0.849)로 나타나 본 연구결과의 함량은 비교적 낮은 것으로 나타났다. 특히, 미국 FDA 모니터링 프로그램의 메틸수은 함량 연구 결과는 N.D.-3.900(1.004)으로 나타나 본 연구결과의 메틸수은 함량이 약 2배 이상 낮은 것으로 나타났다(20). 따라서 현재 국내에서는 캐나다, 미국에서 유통되는 심해성 어류 제품에 비해 메틸수은 함량이 낮은 제품이 유통되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

#### 메틸수은 질량분석

심해성 어류 중 메틸수은 확인시험을 위해 질량분석기를 이용

하여 확인한 결과는 Fig. 1, 2와 같이 나타났다. GC-μECD 조건과 같은 조건으로 전처리된 시험용액 1 μL를 질량분석기에 주입하여 분석하였고, 메틸수은의 특징적인 조개짐 이온 m/z 252, m/z 202, m/z 217 및 m/z 237 이온을 선정하여 SIM(selected ion monitoring) 방법으로 이온강도 및 머무름 시간을 비교하여 확인하였다. 염화메틸수은 표준품과 시료의 크로마토그램 및 252 ion을 base peak으로 한 4개 ion에 대한 질량 스펙트럼을 분석한 결과 동일한 물질임을 확인할 수 있었다.

#### 노출량 평가

심해성 어류 중 메틸수은 함량의 노출량 평가를 위해 ‘국민건강영양조사 제3기(2005) 영양조사(1)’ 결과보고서(27)를 근거로 하여 심해성 어류의 전국적인 섭취량을 조사하였다. 이를 토대로 어종별 메틸수은의 주간섭취량(Estimated Weekly Intake)을 산출한 후 JECFA의 PTWI(메틸수은 0.0016 mg/kg bw, 체중 60 kg으로)와 비교 검토하였다(25).

국민건강영양조사의 어패류 식품에 따르면 본 연구에 사용된 심해성 어종인 귀상어, 흑기홍상어, 굽상어, 청새리상어, 악상어, 은민대구, 적어 및 채장메기 등의 식품별 1인 1일 전국 평균 섭

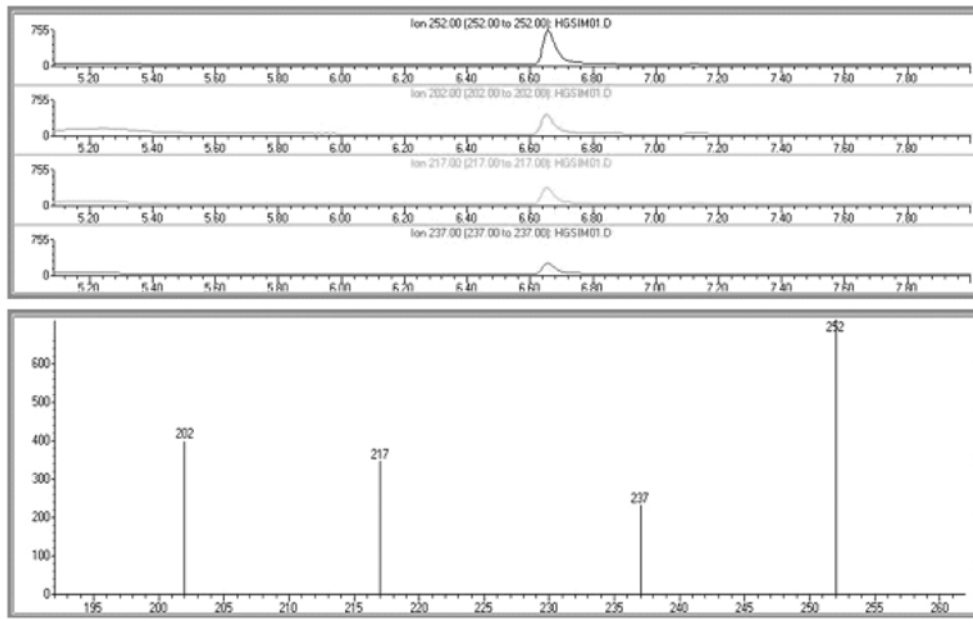


Fig. 1. Total ion chromatogram and mass spectrum of MeHg STD by GC-MS.

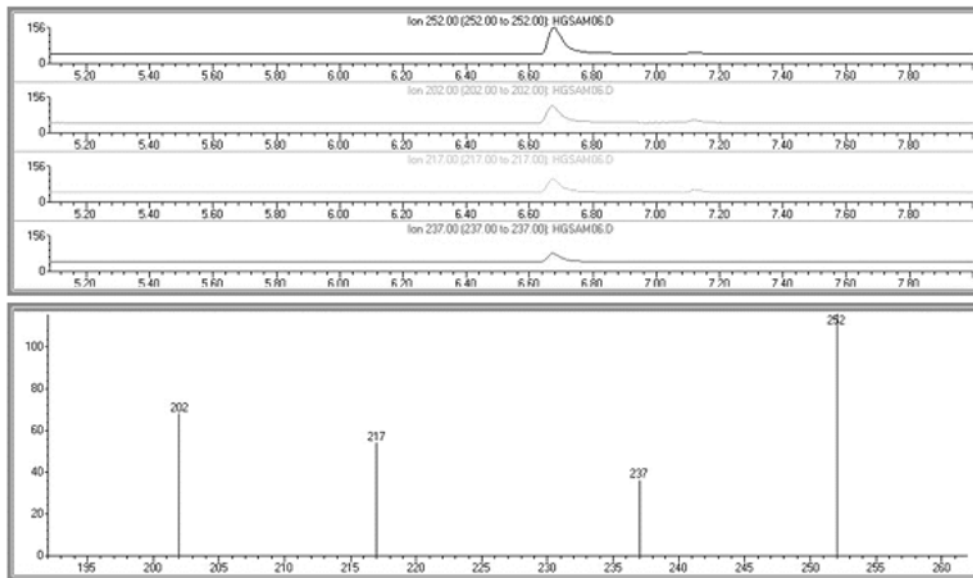


Fig. 2. Total ion chromatogram and mass spectrum of scalloped hammerhead shark sample (A-18) by GC-MS.

취량은 세부적으로 분류되어 있지 않았고, 상어, 적어, 대구 및 메기에 대해 0.2 g(20-29 years), 0.0 g, 0.5 g 및 0.6 g을 섭취한다고 보고되어 있으며, 따라서 어종별 식이섭취량조사 자료의 한계로 인해 조사된 모든 어종에 대한 노출량 평가는 어려워 상어류, 은민대구 및 체장메기에 대한 주간섭취량만을 조사하였다. 또한 노출평가는 체중 60 kg인 성인을 기준으로 평가하였다.

본 연구에서 산출한 메틸수은의 주간섭취량을 JECFA에서 설정한 PTWI와 비교 검토한 결과는 Table 9와 같다. JECFA에서는 메틸수은의 PTWI를 1.6 µg/kg bw(체중 60 kg으로서)로 설정하고 있으며 본 연구에서 조사된 어종 중 상어류, 은민대구 및 체장메기 등의 평균함량을 이용하여 산출한 주간섭취량과 비교하였을 때 JECFA의 PTWI에 대하여 상어류 0.7%, 은민대구 1.1% 및 체장메기 0.3% 수준으로 나타났고, 또한 극단적인 노출량 평가를

위해서 어종별 메틸수은 최대 함량을 이용하여 산출한 결과도 상어류 2.9%, 은민대구 2.9% 및 체장메기 0.6% 수준으로 나타나 심해성 어류의 섭취로 인한 메틸수은 노출량은 안전한 수준인 것으로 판단된다. 한편 보다 더 정확한 노출량 평가를 위해서는 세분화된 어종별 일일 섭취량과 다른 경로로 섭취되는 요인들의 지속적인 모니터링 연구 및 그에 따른 섭취량 조사가 뒷받침되어야 할 것으로 사료된다.

## 요 약

심해성 어류 등에 대한 메틸수은 기준규격 설정에 따른 사후 관리 차원의 모니터링을 실시하였다. 본 연구에 사용된 어종은 귀상어, 흑기흉상어, 곱상어, 청새리상어, 악상어, 적어, 은민대구

**Table 9. Exposure assessment of MeHg through the abyssal fish compared with PTWI established by JECFA**

Spices	Exposure assessment			
	MeHg content <sup>1)</sup> (mg/kg)	Food intake <sup>2)</sup> (g/man)	Estimated weekly intake ( $\mu$ g/kg bw)	% of PTWI <sup>3)</sup>
Sharks	2.009 (0.456)	0.2 <sup>4)</sup>	0.047 (0.011)	2.938 (0.688)
Scorpion fish	0.511 (0.300)	-	-	-
Southern hake	0.807 (0.302)	0.5	0.047 (0.018)	2.938 (1.125)
Ling	0.133 (0.067)	0.6	0.009 (0.005)	0.562 (0.313)

<sup>1)</sup>The values expressed as the maximum (mean) of data.

<sup>2)</sup>Assessed data through using mean of daily intake amount for one who takes these foods everyday.

<sup>3)</sup>Evaluation performed by JECFA, PTWI 1.6  $\mu$ g/kg bw.

<sup>4)</sup>Assessed data through using mean of daily intake amount for one (20-29 years) who takes these foods everyday.

및 채장메기 등 총 492건을 수거하여 메틸수은 함량을 조사하였다. 메틸수은 분석을 위한 분석법 타당성을 검토한 결과 GC- $\mu$ ECD의 검출한계와 정량한계는 0.002 mg/kg과 0.005 mg/kg으로 나타났으며 메틸수은의 검량선은 상관계수가 0.9992로 우수한 직선성을 보였고, 회수율은 84.2-98.5%(평균 93.4%)로 나타났다. 심해성 어류의 메틸수은 함량은 각 어종 별로 유의적인 차이가 있었으며, 메틸수은 함량[최소값-최대값(평균 $\pm$ 표준편차), 단위: mg/kg]은 귀상어 0.157-2.009(0.546 $\pm$ 0.311), 청새리상어 0.211-0.878(0.501 $\pm$ 0.154) 및 곱상어 0.121-0.993(0.482 $\pm$ 0.189) 등에서 높게 나타났으며, 악상어 0.243-0.658(0.397 $\pm$ 0.090), 흑기홍상어 0.074-1.958(0.353 $\pm$ 0.418), 은민대구 0.038-0.807(0.302 $\pm$ 0.201) 및 적어 0.099-0.511(0.300 $\pm$ 0.094) 등에서는 낮은 것으로 나타났고, 채장메기의 경우 0.037-0.133(0.067 $\pm$ 0.016)으로 나타나 조사된 어종 중 유의적으로 가장 낮은 함량을 나타내었다. 본 연구에서 조사된 심해성 어류 중 메틸수은 함량의 노출량 평가를 위해 JECFA의 PTWI와 비교 검토한 결과 상어류 0.7%, 은민대구 1.1% 및 채장메기 0.3% 수준으로 나타났다. 또한 극단적인 노출량 평가를 위해서 어종별 메틸수은 최대 함량을 이용하여 산출한 결과도 상어류 2.9%, 은민대구 2.9% 및 채장메기 0.6% 수준으로 나타나 심해성 어류의 섭취로 인한 메틸수은 노출량은 안전한 수준인 것으로 판단된다.

## 문 헌

- Morita M, Yoshinaga J, Edmonds JS. The determination of mercury species in environmental and biological samples. *Pure Appl. Chem.* 70: 1585-1615 (1998)
- 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)
- Harada M. Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. *Crit. Rev. Toxicol.* 25: 1-24 (1995)
- KFDA. Food Code I. Food and Drug Administration, Seoul, Korea. ch. 1-1-7 (2008)
- National Fisheries Products Quality Inspection Service, Korea Deep Sea Fisheries Association Available from: <http://www.kosfa.org/data1/view.asp?pageno=1&startpage=1&num=32&list=list>, Available from: [http://www.nfis.go.kr/minwondb/inspe\\_b08.asp?find=y&static\\_type=08](http://www.nfis.go.kr/minwondb/inspe_b08.asp?find=y&static_type=08). Accessed Dec. 06, 2008.
- FAO. CAC(Codex Alimentarius Commission). Guideline levels for methylmercury in fish. CAC/GL 7-1991 FAO Rome, Italy (1991)
- Food and Drug Administration. Fish, shellfish, crustaceans and other aquatic animals-fresh, frozen or processed-methyl mercury (CPG 7108.07). Available from: [http://www.fda.gov/ora/compliance\\_ref/cpg/cpgfod/cpg540-600.html](http://www.fda.gov/ora/compliance_ref/cpg/cpgfod/cpg540-600.html). Accessed Nov. 04, 2007.
- Japanese Society of Food Sanitation. Standard method of analysis in food safety regulation. pp. 2270-2271 (2003)
- Commission Regulation (EC) No 1881/2006. Setting maximum levels for certain contaminant in foodstuff. Official Journal of the European Communities. Available from: [http://www.fsai.ie/uploadedFiles/Regulation\\_EC\\_No\\_1881\\_2006.pdf](http://www.fsai.ie/uploadedFiles/Regulation_EC_No_1881_2006.pdf). Accessed Nov. 04, 2007.
- KFDA. Food Code I. Korea Food and Drug Administration. Seoul, Korea. ch. 2-1-9 (2008)
- Food and Drug Administration. FDA and EPA announce the revised consumer advisory on methylmercury in fish. Available from: <http://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/2004/ucm108267.htm>. Accessed Nov. 04, 2007.
- Health Canada. Food and Nutrition. Consumption advice: Making informed choices about fish. Available from: <http://www.hc-sc.gc.ca/fin-an/securit/chem-chim/environ/mercur/cons-adv-etud-eng.php>. Accessed Nov. 04, 2007.
- Health Canada. Canadian Food Inspection Agency. Fact sheet. Mercury and fish consumption. (2002)
- Food Standards Agency. Scientific Advisory Committee on Nutrition. Advice on fish consumption: benefits & risks. (2004) Available from: <http://cot.food.gov.uk/pdfs/fishreport200401.pdf> Accessed Nov. 04, 2007.
- Japan MHLW. Food Sanitation Committee. Advice 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.
- Lee JO, Oh KS, Sho YS, Park SS, Suh JH, Lee EJ, Lee YD, Choo MH, Song MS, Woo GJ. The monitoring of total mercury and methylmercury in fish. *Annu. Rep. KFDA, Korea* 9: 147 (2005)
- Kim HY, Chung SY, Sho YS, Lee EJ, Lee YD, Suh JH, Park SS, Choi WJ, Eom JY, Song MS, Lee CW. The study on the methylmercury analysis and the monitoring of total mercury and methylmercury in fish. *Annu. Rep. KFDA, Korea* 8-1: 667-679 (2004)
- Storelli MM, Marcotrigiano GO. Fish for human consumption: risk of contamination by mercury. *Food Addit. Contam.* 17: 1007-1011 (2000)
- Dabeka R, McKenzie A, Forsyth D, Conacher H. Survey of total mercury in some edible fish and shellfish species collected in Canada in 2002. *Food Addit. Contam.* 21: 434-440 (2004)
- Food and Drug Administration. Mercury concentrations in fish: FDA Monitoring Program (1990-2004). Available from: <http://www.cfsan.fda.gov/~frf/seamehg2.html>. Accessed Nov. 04, 2007.
- Food and Drug Administration. Mercury levels in commercial fish and shellfish (2006). Available from: <http://www.cfsan.fda.gov/~frf/sea-mehg.html>. Accessed Nov. 04, 2007.
- The Food Standards Agency. Mercury in imported fish and shellfish, UK farmed fish and their products (2003). Available from: [http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/fsis40\\_2003.pdf](http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/fsis40_2003.pdf). Accessed Nov. 04, 2007.

23. The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan. The report of survey for mercury in fishes (2004). Available from: <http://www.maff.go.jp/fisheat/press040817.htm>. Accessed Nov. 04, 2007.
24. KHIDI. In-Depth analysis on the 3<sup>rd</sup> (2005) Korea health and nutrition examination survey-nutrition survey. Korea Health Industry Development Institute, Seoul, Korea (2007)
25. FAO/WHO. Codex general standard for contaminants and toxins in foods, Codex STAN 193-1995. p. 35 FAO/WHO Rome, Italy (2006).
26. 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)
27. Fischnaller S, Anderson P, Norton D. Mercury in edible fish tissue and sediments from selected lakes and rivers of Washington state. Washington State Department of Ecology (USA). No. 03-03-026 (2003). Available from: <http://www.ecy.wa.gov/pubs/0303026.pdf>. Accessed Nov. 04, 2007.
28. Forsyth DS, Casey V, Dabeka RW, McKenzie A. Methylmercury levels in predatory fish species marketed in Canada. Food Addit. Contam. 21: 849-856 (2004)