

# 국내 유통 어패류 및 가공품 중 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 함량

허수정 · 김미혜 · 오남수 · 하 진 · 최광식 · 권기성\*

국립독성연구원 위해성연구부

## Levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fish, Shellfish and their Processed Products

Soojung Hu, Meehye Kim, Nam Su Oh, Jin Ha, Kwang Sik Choi, and Ki-Sung Kwon\*

Department of Risk Analysis, National Institute of Toxicological Research

**Cocentrations of PAHs [benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene] in fish (n=120), shellfish (n=50) and their products (n=35) were estimated by saponification and extraction with n-hexane, clean-up on Sep-Pak Florisil Cartridges and HPLC/FLD. Overall recoveries for eight PAHs spiked into samples ranged from 90 to 106%. Mean level of benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene and indeno(1,2,3-c,d)pyrene were not detected, 0.01, 0.04, 0.07, 0.05, 0.004, 0.0008 and 0.06 ng/g, respectively, similar to those reported by other countries.**

**Key words:** PAHs, benzo(a)pyrene, fish, shellfish

### 서 론

산업이 발달함에 따라 많은 종류의 유기화합물이 주변 환경을 통해 배출되고 있으며, 이들 화합물 중 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)는 인체위해성이 큰 물질로 알려져 있다(1-5). PAHs의 오염원은 매우 다양하며 모든 탄수화합물의 연소 과정에서 나타날 수 있다. 대표적 오염원으로 화석연료를 사용하는 산업 공정, 자동차 연료 및 배출가스, 나무의 연소, 담배 및 그을린 음식 등과 같은 인위적 발생원과 화산, 산불, 원유 등 자연적 발생원을 들 수 있다. 일반적으로 인위적 오염원이 자연적 오염원보다 훨씬 많은 양의 PAHs를 방출하고 있다(2,3). 이러한 환경오염 등으로 인해 농산물, 어패류 등 조리·가공하지 않은 식품에도 PAHs가 존재하며 식품의 조리·가공 시 식품의 주성분인 탄수화물, 단백질, 지질 등이 분해되어 생성되기도 한다(4). 특히 국제암연구소(IARC: International Agency for Research on Cancer)에서는 PAHs 화합물 중 Benzo(a)anthracene, Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene을 Group 2A의 유력한 인체발암물질(probably carcinogenic to humans)로 분류하고 있으며 캐나다(8종) 및 미국 EPA(16종) 등에서는 PAHs 중 우선순위대상을 선정하여 관리하고 있다(1). 외국에서는 주요 급원인 곡류, 채소류, 어류 등 모든 식품에 함

유된 PAHs 함량을 조사하여 식품을 통한 노출수준을 평가하고 있으며 독일, 오스트리아, 폴란드 같은 일부 유럽 국가에서는 smoking agents를 사용한 식품 및 훈연식품 중 벤조피렌 기준을 설정하여 관리하고 있으나(6-8) 우리나라에서는 식품 중 벤조피렌 등 PAHs 함량에 대한 분석법 및 모니터링 자료가 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 어패류 및 그 가공품 중의 PAHs 분석방법을 확립, 오염실태를 파악하여 국내에서 유통되고 있는 이들 식품에 대한 PAHs 자료 축적 및 오염도를 파악하고자 하였다.

### 재료 및 방법

#### 재료 및 시약

국민 다소비식품 중 섭취량이 많은(9) 어류 12종, 패류 5종, 가공품 7종을 서울, 춘천, 대전, 광주, 부산의 5대 도시 두 지역에서 각각 채취하여 총 205시료를 대상으로 하였다(Table 1). 또한, 8종의 PAHs 개별표준용액(Fig. 1)과 혼합표준용액, 내부 표준용액인 3-methylcholanthrene(Chem Service, West Chester, USA)을 구입하여 조제 및 희석하여 사용하였다. 시약 n-hexane, ethanol, dichloromethane, acetonitrile 등은 HPLC용(Merck, Darmstadt, Germany)을 사용하였다.

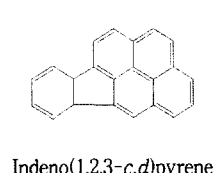
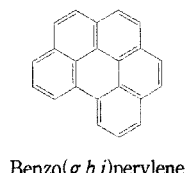
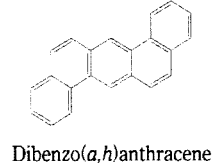
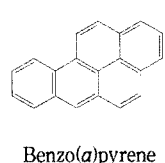
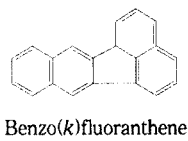
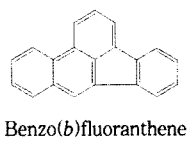
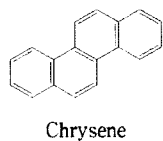
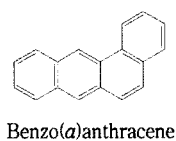
#### 분석 대상 물질

PAHs의 분석대상물질은 benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene의 8종 PAHs로 선정하였다(Fig. 1).

\*Corresponding author: Ki-Sung Kwon, Department of Risk Analysis, National Institute of Toxicological Research, Korea Food and Drug Administration, 5 Nokbun-dong, Eunpyung-gu, Seoul 122-704, Korea  
Tel: 82-2-380-1877  
Fax: 82-2-380-1879  
E-mail: kisungk@kfda.go.kr

Table 1. List and average consumption of food samples

Food group	Food item	Daily intake (g/day)	Lipid (%)	Sample No.
Fish	Squid (오징어)	6.1	1.0	10
	Mackerel (고등어)	5.6	20.8	10
	Alaska pollack (명태)	5.3	1.5	10
	Yellow croaker (조기)	4.0	6.2	10
	Anchovy (멸치)	3.1	4.9	10
	Hair tail (갈치)	2.5	7.5	10
	Flatfish (넙치)	1.5	1.7	10
	Spanish mackerel (삼치)	1.1	10.6	10
	Tuna (다랑어)	1.0	1.0	10
	Pacific saury (꽁치)	0.9	19.4	10
	Pacific cod (대구)	0.9	1.1	10
	Herring (청어)	0.0	19.0	10
Subtotal (average)		32.0	(7.9)	120
Shellfish	Short-necked clam (바지락)	2.0	1.1	10
	Oyster (굴)	1.1	2.1	10
	Granulated ark (꼬막)	0.4	1.5	10
	Kind of clam (백합)	0.3	1.0	10
	Sea mussel (홍합)	0.3	1.7	10
	Subtotal (average)		4.1	(1.5)
Processed products	Tuna can (참치통조림)	2.0	2.1	5
	Mackerel can (고등어통조림)	-	9.9	5
	Saury can (꽁치통조림)	-	18.8	5
	Whelk can (골뱅이통조림)	-	0.7	5
	Pollack slice (명태포)	1.0	2.4	5
	Squid slice (오징어포)	0.9	2.7	5
	Dried file fish fillet (쥐치포)	0.3	-	5
Subtotal (average)		4.2	(5.2)	35
Total	24종	40.3		205



표준검량곡선 작성

HPLC/FLD의 검량선 작성에 사용된 표준용액은 100 mL 정 용플라스크에 100 mg/g 농도의 PAHs 혼합표준용액 1 mL를 취하여 acetonitrile로 정용하여 1 µg/g 농도로 조제하였다. 이를 단계별로 희석하여 0.5, 1, 5, 10, 20, 50, 100 ng/g의 혼합표준용액을 조제하고 농도별로 분석하여 검량선을 작성하였다.

시료 전처리 방법

어류는 머리, 꼬리, 내장, 뼈 등을 제거한 가식부를 취하여 blender로 분쇄하였으며 패류는 가식부를 취하여 칼로 다져서 사용하였다. 또한, 가공식품 중 고등어와 꽁치 통조림은 뼈를 제거한 후 다른 가공식품과 같은 방법인 blender로 분쇄하였다. 모든 시료는 해당 지역당 두 곳에서 채취하여 혼합·균질화하여 하나의 composite 시료로 조제하였으며 분석 전까지 냉동 보관(-30°C)하였다. 전처리 과정은 Fig. 2와 같으며 냉동 보관한 시료를 실온으로 해동한 후 약 10 g을 칭량하고 1 M KOH·ethanol 용액 100 mL와 함께 flask에 넣고 내부표준물질(100 ng/g) 1 mL를 첨가하였다. 이 때 공시료(blank)와 대조시료(QC)에도 1 M KOH·ethanol 용액 100 mL와 내부표준물질(100 ng/g) 1 mL를 넣고 대조시료에는 혼합표준용액(1 µg/g) 100 µg를 첨가한 후 환류냉각장치를 부착시켰다. 그리고 가열추출기(80°C)에

Fig. 1. Lists and structures of PAHs.

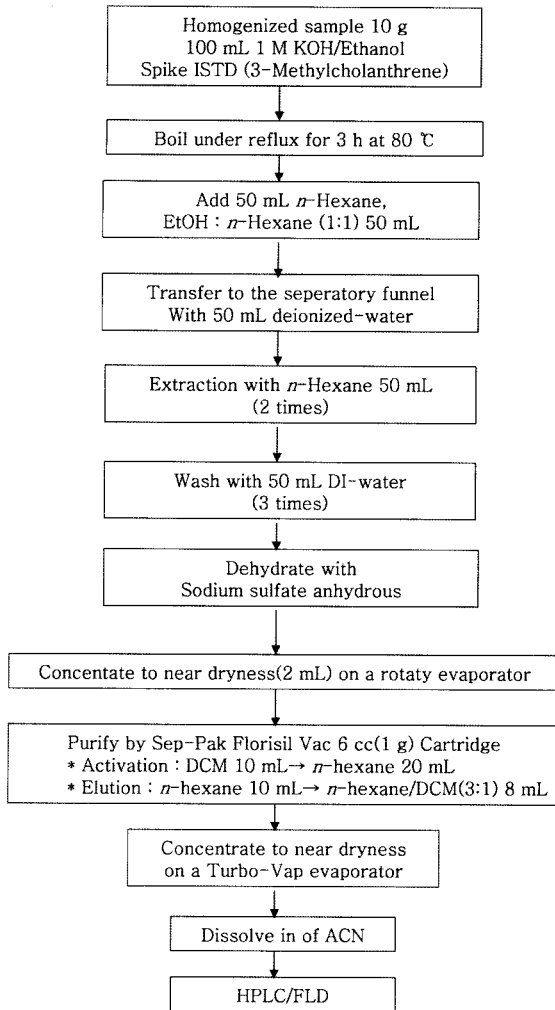


Fig. 2. Flow diagram of PAHs analysis in fish, shellfish and their processed products.

서 3시간 동안 알칼리 분해시키고 신속히 냉각시켰다. 냉각 후 *n*-hexane 50 mL를 환류냉각기를 통하여 넣어주고 ethanol : *n*-hexane(1 : 1)용액 50 mL를 이용해서 분액여두에 옮겼다. 분액여두에 50 mL의 증류수를 넣고 진탕시켜 물층과 *n*-hexane층으로 분리시킨 후 *n*-hexane층을 분리하여 다른 분액여두에 받아두고 물층에 *n*-hexane 50 mL를 넣어 추출하는 과정을 두 번 반복하여 얻은 *n*-hexane층을 모두 합쳤다. *n*-hexane층을 증류수 50

Table 2. Operating condition of HPLC/FLD

Column	Supelcosil LC-PAH column (25 cm × 4.6 mm) with Supelguard LC-18		
Flow rate	1 mL/min		
Solvent system	0 min	ACN	H <sub>2</sub> O
	20 min	80%	20%
	25 min	100%	0%
	27 min	80%	20%
	40 min	80%	20%
Injection volume	20 μL		
Wavelength (Ex/Em)	0-15min	254 nm/390 nm	
	15-26min	260 nm/420 nm	
	26-40min	293 nm/498 nm	

Table 3. Limits of detection (LOD), mean recoveries (R) and coefficients of variation (CV) of PAHs spiked to tuna samples (n=10)

PAHs	LOD (ng/g)	R (%)	CV (%)	R <sup>2</sup>
Benzo(a)anthracene	0.02	106.3	5.1	0.9998
Chrysene	0.02	102.8	5.4	0.9998
Benzo(b)fluoranthene	0.002	103.4	3.9	0.9998
Benzo(k)fluoranthene	0.005	104.2	5.1	0.9998
Benzo(a)pyrene	0.013	103.9	3.7	0.9997
Dibenzo(a,h)anthracene	0.03	99.1	6.2	0.9998
Benzo(g,h,i)perylene	0.03	89.6	5.8	1.0000
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	0.5	100.6	4.7	0.9995

mL로 3회 세척한 후 무수 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 통과시켜 탈수시키고 이 액을 회전감압농축기(35°C, 수욕조)를 사용하여 약 1 mL까지 농축하였다. Sep-Pak florisil cartridge(Waters, USA)를 dichloromethane 10 mL와 *n*-hexane 20 mL로 활성화한 후 사용하였다. 활성화시킨 Sep-Pak florisil cartridge에 시험용액을 가하여 *n*-hexane 10 mL와 *n*-hexane : dichloromethane(3 : 1) 8 mL로 차례로 용출시켰다. 정제가 끝난 용출액은 수욕조(35°C)에서 질소가스로 농축한 후 잔사를 acetonitrile로 녹여서 전량을 1 mL로 하여 이를 0.45 μm membrane filter를 통과시켜 HPLC/FLD용 시험용액으로 사용하였다(Fig. 2).

### 기기 분석

PAHs 분석을 위한 HPLC 컬럼은 Supelguard LC-18(Supelco,

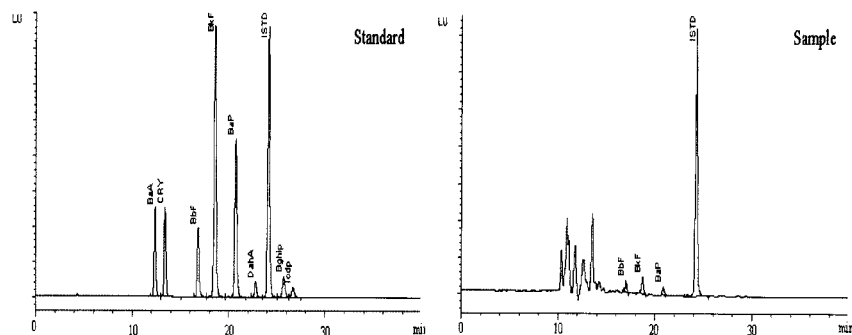


Fig. 3. HPLC/FLD Chromatogram of PAHs.

BaA: benzo(a) anthracene, CRY: chrysene, BbF: benzo(b)fluoranthene, BkF: benzo(k)fluoranthene, BaP: benzo(a)pyrene, DahA: dibenzo(a,h)anthracene, ISTD: 3-methylcholanthrene BghiP: benzo(g,h,i)perylene, IcdP: indeno(1,2,3-c,d)pyrene.

**Table 4. Concentration of PAHs in fish, shellfish and their processed products** (unit: ng/g)

	BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	DahA	BghiP	IcdP	Total
Squid	0.00 <sup>1)</sup> (ND-ND)	0.00 (ND <sup>2)</sup> -ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.56 (ND-1.05)	0.05 (ND-0.49)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.61 (ND-1.41)
Mackerel	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)
Alaska Pollack	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.01 (ND-0.14)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.01 (ND-0.14)
Yellow Croaker	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.09 (ND-0.93)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.09 (ND-0.93)
Dried Anchovy	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.01 (ND-0.09)	0.01 (ND-0.07)	0.03 (ND-0.24)	0.00 (ND-ND)	0.02 (ND-0.23)	0.65 (ND-3.08)	0.72 (ND-3.08)
Hair Tail	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.01 (ND-0.09)	0.02 (ND-0.23)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.03 (ND-0.32)
Flatfish	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.10 (ND-0.97)	0.07 (ND-0.66)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.16 (ND-1.63)
Spanish Mackerel	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.001 (ND-0.001)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.001 (ND-0.01)
Tuna	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.57 (ND-1.64)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.57 (ND-1.64)
Pacific Saury	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.76 (ND-2.62)	0.76 (ND-2.62)
Pacific Cod	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.03 (ND-0.17)	0.03 (ND-0.21)	0.04 (ND-0.44)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.11 (ND-0.62)
Herring	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)
<b>Subtotal</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.008</b> <b>(ND-0.93)</b>	<b>0.06</b> <b>(ND-1.64)</b>	<b>0.06</b> <b>(ND-1.05)</b>	<b>0.008</b> <b>(ND-0.49)</b>	<b>0.002</b> <b>(ND-0.23)</b>	<b>0.12</b> <b>(ND-3.08)</b>	<b>0.26</b> <b>(ND-3.08)</b>
Short-necked Clam	0.00 (ND-ND)	0.21 (ND-0.86)	0.32 (ND-0.66)	0.19 (0.08-0.30)	0.28 (ND-0.56)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	1.01 (ND-1.42)
Oyster	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.16 (ND-0.58)	0.30 (ND-0.81)	0.07 (ND-0.35)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.54 (ND-1.13)
Granulated Ark	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.21 (ND-2.12)	0.08 (ND-0.52)	0.02 (ND-0.18)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.31 (ND-2.82)
Kind of Clam	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)
Sea Mussel	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.40 (ND-4.00)	0.05 (ND-0.44)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.45 (ND-4.00)
<b>Subtotal</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.04</b> <b>(ND-0.86)</b>	<b>0.22</b> <b>(ND-4.00)</b>	<b>0.12</b> <b>(ND-0.81)</b>	<b>0.07</b> <b>(ND-0.56)</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.46</b> <b>(ND-4.00)</b>
Tuna Can	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)
Mackerel Can	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)
Saury Can	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)
Whelk Can	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)
Pollack Slice	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.17 (ND-0.31)	0.20 (ND-0.52)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.38 (ND-0.83)
Squid Slice	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.04 (ND-0.19)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.04 (ND-0.19)
Dried File Fish Fillet	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.02 (ND-0.08)	0.01 (ND-0.05)	0.01 (ND-0.03)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.00 (ND-ND)	0.03 (ND-0.16)
<b>Subtotal</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.003</b> <b>(ND-0.08)</b>	<b>0.03</b> <b>(ND-0.31)</b>	<b>0.03</b> <b>(ND-0.52)</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.06</b> <b>(ND-0.83)</b>
<b>Total</b>	<b>0.00</b> <b>(ND-ND)</b>	<b>0.01</b> <b>(ND-1.25)</b>	<b>0.04</b> <b>(ND-4.00)</b>	<b>0.07</b> <b>(ND-1.64)</b>	<b>0.05</b> <b>(ND-1.05)</b>	<b>0.004</b> <b>(ND-0.49)</b>	<b>0.0008</b> <b>(ND-0.23)</b>	<b>0.06</b> <b>(ND-3.08)</b>	<b>0.23</b> <b>(ND-4.07)</b>

<sup>1)</sup>The values indicate mean (min-max) of data.

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

USA)을 장착시킨 LC-PAH column(25 cm×4.6 mm, I.D. 5, Supelco, USA)을 사용하였고 autosampler와 fluorescence detector가 장착된 HPLC/FLD(model 1100 series, Agilent, USA)를 사용하여 Table 2의 조건으로 분석하였다.

### 결과 및 고찰

내부표준물질로 정성·정량 분석한 대상물질인 8종 PAHs에 대한 HPLC/FLD 상의 크로마토그램은 Fig. 3과 같았다. 검출한계는 PAHs에 따라 0.002-0.5 ng/g이었으며 분석방법의 정확도와 정밀도를 알 수 있는 회수율과 변동계수는 각각 약 90-106%와 6.2% 이하로 만족할만한 수준이었다. 또한 이들 모두 내부표준 물질을 사용한 검량선 작성 시 0.999 이상의 상관계수를 나타내었다(Table 3).

#### 어패류 및 그 가공품 중 총 PAHs 함량

총 205건의 어류, 패류 및 그 가공품에 대한 8가지 PAHs의 개별 및 총 함량은 Table 4, Fig. 4-6와 같다. 이들 식품 중 8가지 총 PAHs의 평균 함량은 0.23 ng/g이었으며 개별 PAHs 함량은 benzo(a)anthracene 불검출, chrysene 0.01 ng/g, benzo(b)fluoranthene 0.04 ng/g, benzo(k)fluoranthene 0.07 ng/g, benzo(a)pyrene 0.05 ng/g, dibenzo(a,h)anthracene 0.004 ng/g, benzo(g,h,i)perylene 0.0008 ng/g, indeno(1,2,3-c,d)pyrene 0.06 ng/g이었다. 8종 PAHs의 총 평균함량은 어류 0.26 ng/g, 패류 0.48 ng/g, 가공품 0.06 ng/g으로 Kellice 등(10,11)의 연구 결과와 비슷한 수준이었으며 패류, 어류, 가공품의 순으로 높았다.

소수성(hydrophobic) 성질을 갖는 PAHs는 생물상의 유기성분 특히, 지방에 대한 큰 친화도에 의해 생물체 및 그들의 먹이에 축적되므로 지방함량과 PAHs 함량은 비례할 것으로 추측할 수

있다. 그러나 어류의 평균 지방함량은 약 8%로 패류의 평균 지방함량 1.5% 보다 높음에도 불구하고 어류의 PAHs 함량이 패류보다 낮게 나타났다. 이러한 결과는 생물체가 PAHs에 대한 생물전환력(biotransformation)이 어류 > 새우류 > 갑각류 > 패류 순으로 어류의 생물전환력이 가장 크기 때문인 것으로 사료된다(12,13). 또한, 퇴적물로 형성된 갯벌 등과 같은 패류의 서식지도 한 요인으로 볼 수 있다(14).

어류 중 총 PAHs 함량이 가장 높게 나타난 쫄치의 경우 총 PAHs 함량이 0.76 ng/g으로 indeno(1,2,3-c,d)pyrene만이 검출되었으며 참치의 경우도 총 PAHs 함량이 0.57 ng/g으로 benzo(k)fluoranthene만이 검출되었다. 비교적 크기가 큰 어류인 고등어, 삼치, 청어에서는 PAHs가 검출되지 않았으며 이는 작은 어류보다 생물전환력이 크기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 오징어에서는 비교적 많은 PAHs가 검출되었는데 이는 무척추생물이 생물전환력을 지니고 있지 않기 때문이다(12). 멸치의 PAHs 함량은 0.72 ng/g으로 어류 중 두 번째로 높았는데 이는 생물전환력이 작고 수분을 제거한 건조상태이기 때문으로 사료된다.

한편 WHO에서는 독성이 강한 benzo(a)pyrene의 TEF(toxicity equivalent factor)값을 1로 하여 다른 PAHs에 대해 상대적 TEF 값을 결정(benzo(a)anthracene 0.1, chrysene 0.01, benzo(b)fluoranthene 0.1, benzo(k)fluoranthene 0.1, benzo(a)pyrene 1.0, dibenzo(a,h)anthracene 1.0, benzo(g,h,i)perylene 0.01, indeno(1,2,3-c,d)pyrene 0.1)하고 있어 식품 중 PAHs 함량에 이 값을 적용하여 농도에 TEF값을 곱한 TEQ(toxic equivalent)값으로 나타내었다(Fig. 5).

어류에서는 오징어가 0.61 ngTEQ/g으로 가장 높았는데 이는 TEF값이 큰 benzo(a)pyrene과 dibenzo(a,h)anthracene이 검출되었기 때문이며 쫄치는 0.076 ngTEQ/g, 멸치는 0.095 ngTEQ/g으로 나타났다. 패류에서는 8종 PAHs 중에서 방향족고리 수가 낮은

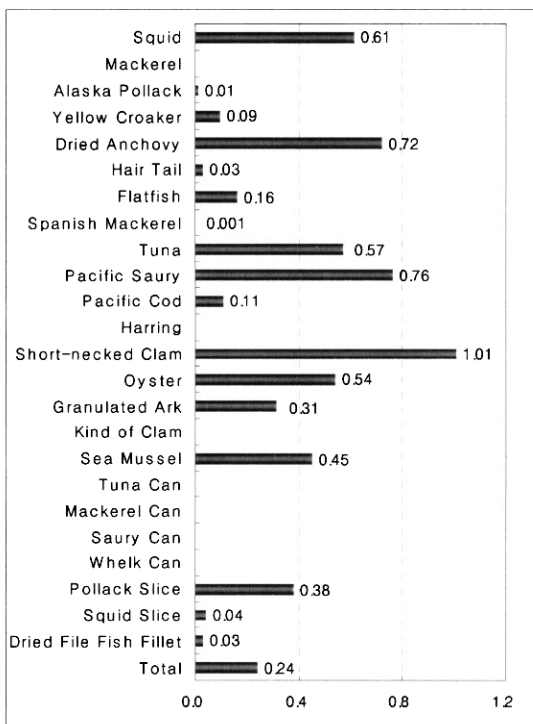


Fig. 4. Levels of average PAHs (ng/g) in fish, shellfish and their processed products.

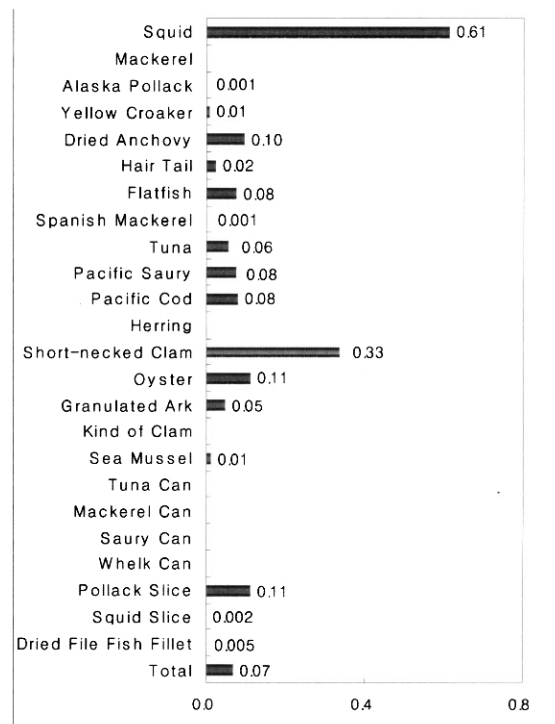


Fig. 5. Levels of average PAHs (ngTEQ/g) in fish, shellfish and their processed products.

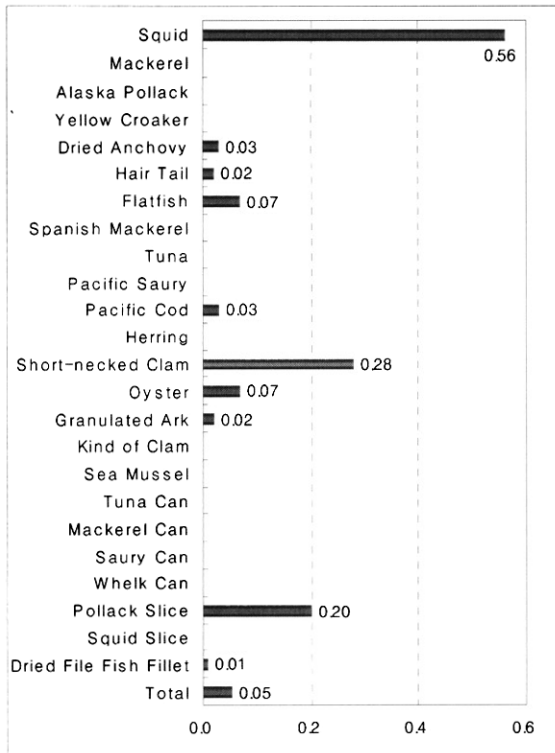


Fig. 6. Levels of average benzo(a)pyrene (ng/g) in fish, shellfish and their processed products.

Table 5. PAHs intakes of Korean from fish, shellfish and their processed products

Concentration of benzo(a)pyrene (ng/g)	0.05
Concentration of PAHs (ng/g)	0.23
Daily intakes of fish, shellfish and their products (g/person/day)(9)	40.30
Daily intakes of benzo(a)pyrene from fish, shellfish and their products (ng/person/day)	2.02
Daily intakes of PAHs from fish, shellfish and their products (ng/person/day)	9.27

4-5고리 화합물인 chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene 등이 골고루 검출되었으며, 어패류 중 총 PAHs 함량이 가장 높게 나타난 바지락의 경우 총 PAHs 함량이 1.01 ng/g이었고 굴 0.54 ng/g, 꼬막 0.31 ng/g, 홍합 0.45 ng/g으로 어류보다 전반적으로 PAHs 함량이 높게 나타났다(Fig. 4).

가공품의 PAHs 함량은 낮았으며 0.38 ng/g으로 나타난 명태 또는 수분 함량의 차이가 원인으로 사료되며 쥐치포의 경우 굵기·튀기기 등 여러 가공과정 중에서도 검게 그을려진 시료에서만 PAHs가 검출되어 그을린 음식이 PAHs의 주요 급원 중 하나임을 알 수 있었다(6).

#### 어패류 및 그 가공품 중 벤조피렌 함량 및 PAHs 섭취량

벤조피렌의 평균 함량(단위: ng/g)은 오징어 0.56, 멸치 0.03, 갈치 0.02, 광어 0.07, 대구 0.03, 바지락 0.28, 굴 0.07, 꼬막 0.02, 명태포 0.20, 쥐치포 0.01(전체 평균 0.05)로 나타났으며 (Table 4, Fig. 6), 오징어, 바지락, 명태포에서 벤조피렌 함량이 높게 나타났는데 이들 식품의 총 PAHs 평균 함량도 다른 식품에 비해서 높았다. 고등어통조림, 참치통조림, 꽁치통조림, 골

뱅이통조림, 오징어포에서는 벤조피렌이 검출되지 않은 것으로 보아 그을림의 가공과정을 제외한 통조림 등의 가공과정에서는 벤조피렌이 생성되지 않는 것으로 사료된다(Fig. 6).

2001 국민건강·영양조사(9)에 의하면 우리나라 국민의 1인 1일 어패류 및 가공품의 평균 섭취량은 40.3 g으로 조사되었다. 이들 식품 중 벤조피렌 등 총 PAHs 함량 결과와 1인 1일 평균 섭취량을 토대로 산출한 우리나라국민이 이들 식품을 통해 섭취하는 1일 PAHs 섭취량은 9.27 ng, 벤조피렌 섭취량은 2.02 ng으로(Table 5) 이는 스페인(PAHs 1870 ng, 벤조피렌 120 ng)(15), 영국(PAHs 25.3 ng, 벤조피렌 2.5 ng)(16), 독일(PAHs 10.63 ng, 벤조피렌 0.7 ng)(17) 국민이 이들 식품을 통해 섭취하는 1일 PAHs 섭취량에 비해 낮은 수준이었다.

## 요 약

본 연구에서는 어패류 및 그 가공품 중 PAHs(polycyclic aromatic hydrocarbons, 다환방향족탄화수소) 분석방법을 확립하고 오염실태를 파악하기 위하여 서울·춘천·대전·광주·부산의 5대 도시 시장에서 어류 12종, 패류 5종, 가공식품 7종 총 205건을 채취하였다. 균질화된 시료를 알칼리 분해하여 n-hexane으로 추출하고 증류수로 세척한 후 Sep-Pak florisil cartridge로 정제하여 HPLC/FLD로 동시 정량 분석하였다. 각각의 PAHs에 대한 회수율은 약 90-106%였으며 검출한계는 PAHs에 따라 차이는 있으나 0.002-0.5 ng/g 수준이었다. 어패류 및 그 가공품 중 8가지 총 PAHs의 평균 함량은 0.23 ng/g이었으며 개별 평균 PAHs 함량은 benzo(a)anthracene 불검출, chrysene 0.01 ng/g, benzo(b)fluoranthene 0.04 ng/g, benzo(k)fluoranthene 0.07 ng/g, benzo(a)pyrene 0.05 ng/g, dibenzo(a,h)anthracene 0.004 ng/g, benzo(g,h,i)perylene 0.0008 ng/g, indeno(1,2,3-c,d)pyrene 0.06 ng/g이었다. 또한, 우리나라 국민이 이들 식품을 통해 섭취하는 1일 PAHs 섭취량은 약 9 ng, 벤조피렌 섭취량은 약 2 ng이었으며 이 수준은 다른 나라에서 보고된 결과에 비해 낮은 수준이었다.

## 문 헌

1. U.S. EPA. U.S. EPA Method 610-Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Methods for organic chemical analysis of municipal and industrial wastewater. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, USA.
2. Dabestani R, Ivanov IN. A comparison of physical, spectroscopic photophysical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. Photochem. Photobiol. 70: 10-34 (1999)
3. Vo-Dinh T, Fetzner J, Campiglia AD. Monitoring and characterization of polyaromatic compounds in the environment. Talanta 47: 943-969 (1998)
4. European Commission. Opinion of the scientific committee on food in the risks to human health of polycyclic aromatic hydrocarbons in food. SCF/CS/CNTM/ PAH/29 Final. 4 December (2002)
5. IARC. IARC Monographs in the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Suppl. 7. International Agency for Research on Cancer (1987)
6. Garcia MS, Amigo SG, Yusty MA and Lazano JS. Determination of benzo(a)pyrene in some Spanish commercial smoked products by HPLC-FL. Food Addit. Contam. 16: 9-14 (1999)
7. Šimko P. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. J. Chromatogr. B. 770: 3-18 (2002)
8. Perache R. Toxicologia y Seguridad de los Alimentos. pp. 296-317 (1990)

9. Ministry of Health and Welfare. Report on 2001 National Health and Nutrition Survey. Seoul, Korea (2002)
10. Kellice P. Hydrocarbons in Rowley Shelf(Western Australia) oysters and sediments. *Marine Poll. Bull.* 24: 210-215 (1992)
11. Keigo T, Shigerru S, Nobutoshi S. Isamu U. Liquid chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish and shellfish. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 68: 945-949 (1985)
12. U.S. HHS. Toxicological profiles for polycyclic aromatic hydrocarbons. U.S. Department of Health & Human Services, Washington, DC, USA (1995)
13. Vives I, Grimalt JO, Fernandez P, Rosseland B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in fish from remote and high mountain lakes in Europe and Greenland. *Sci. Total Environ.* 324: 67-77 (2004)
14. Law RJ, Whinnett JA. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in muscle tissue of harbour porpoises (*phocoena phocoena*) from UK waters. *Marine Poll. Bull.* 24: 550-553 (1992)
15. Gemma F, Jose LD, Juan ML, Angel T, Conrad C, Lutz M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in foods: Human exposure through the diet in Catalonia, Spain. *J. Food Prot.* 66: 2325-2331 (2003)
16. FSA, U.K. Food standard. PAHs in the UK Diet. (2002)
17. de Vos RH, van Dokkum W, Schouten A, de Jong-Berkhout P. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Dutch total diet samples. *Food Chem. Toxicol.* 28: 263-268 (1990)

---

(2005년 2월 21일 접수; 2005년 9월 22일 채택)