

우리나라 연안해역 생산 패류 중 다환방향족탄화수소 분석

홍도희 · 강은혜 · 윤민철 · 조미라 · 손광태 · 이가정*

국립수산과학원 식품위생가공과

Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Shellfishes from Korean Coastal Area

Do Hee Hong, Eun Hye Kang, Minchul Yoon, Mi Ra Jo, Kwang Tae Son and Ka Jeong Lee*

Food Safety and Processing Research Division, National Institute of Fisheries Science, 216, Busan 46083, Korea

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) were analyzed and safety evaluation was carried out in Korean coastal area. The target congeners were benzo[a]pyrene, benzo[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, and chrysene. The method of analysis was significant. The highest PAHs 4 congener concentrations (12.2 µg/kg) was found in the mussel of Gangwon area. Comparison among the average concentration of PAHs for each congener showed that, benzo[a]anthracene was found in mussel (0.276 µg/kg), oyster (0.463 µg/kg), ark shell clam (1.92 µg/kg), and chrysene was found in mussel (0.848 µg/kg), oyster (1.36 µg/kg), scallop (0.489 µg/kg), sea squirt (3.07 µg/kg), and ark shell clam (0.449 µg/kg). In addition, benzo[b]fluoranthene was found in mussel (0.253 µg/kg), scallop (0.244 µg/kg), and sea squirt (1.64 µg/kg). The most hazardous benzo[a]pyrene was found in mussel (0.147 µg/kg), and scallop (0.244 µg/kg), it was not detected in the other shellfishes. However, all the PAHs levels recorded in this study did not exceed international MRLs. There was no significant difference among the PAHs concentration in shellfish based on sampling area or species. Body exposure was calculated based on PAHs concentration and intake rate. The results of this study indicated that PAHs in shellfish were within acceptable safe levels.

Keywords: Shellfishes, Bivalves, Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs

서론

다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)는 유류 유출, 자동차 매연, 하수 및 폐수 등 다양한 경로를 통하여 연안 해역에 유입되어 퇴적물 또는 수중 유기체에 흡착 및 축적이 된다. 이러한 이유로 PAHs는 가공되지 않은 생산단계 수산물 및 조리된 수산물에도 존재할 수 있으며, 특히 수산물 중 패류는 주변 환경의 농도보다 높은 농도의 PAHs를 축적하게 된다(Vives et al., 2004; Oliveira Ribeiro et al., 2005; Johnson-Restrepo et al., 2008). 패류는 인간에게 단백질과 지질 등을 공급하는 주요 공급원으로 패류의 섭취로 인한 PAHs에 대한 노출은 흡연자와 직업적으로 노출된 사람을 제외하고는 PAHs에 인간이 노출되는 가장 중요한 경로로 보고된 바 있다(Guillén et al., 1997; Scherer et al., 2000; Falcó et al., 2003).

또한, 일반적인 집단 보다 PAHs에 오염된 식품을 섭취한 집단에서 건강에 대한 위해성이 높았다는 연구도 있다(Marti-Cid et al., 2007, 2008). 이에 각국에서는 식품 중 PAHs에 대한 기준을 설정하여 관리하고 있으며, PAHs의 성분 중 benzo(a)pyrene은 높은 잔류성 및 독성이 있는 위해 물질로 국제암연구소(IARC, 2006)에서는 group 1의 인체발암물질로 분류하고 있다. 특히 식품 중 benzo(a)pyrene의 기준은 우리나라에서는 식품공전에 패류 중의 benzo(a)pyrene이 10 µg/kg으로 설정되어 있으며, EU에서는 benzo(a)pyrene이 5 µg/kg, PAHs 4종 성분(benzo(a)pyrene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, chrysene)의 합이 30 µg/kg으로 설정되어 있다. 수산물 중 패류는 부착성 생물로 이동성이 거의 없고 서식 분포가 넓고 긴 수명을 가지므로 여러 오염물질의 기원 및 실패를 파악할 수 있는 유용한 지표생물(Viarengo and Canesi, 1991)로서 우리나라에서

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2636 Fax: +82. 51. 720. 2619

E-mail address: kajlee@korea.kr



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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0397>

Korean J Fish Aquat Sci 54(4), 397-403, August 2021

Received 28 June 2021; Revised 22 July 2021; Accepted 2 August 2021

저자 직위: 홍도희(연구원), 강은혜(연구원), 윤민철(연구사), 조미라(연구관), 손광태(연구관), 이가정(연구사)

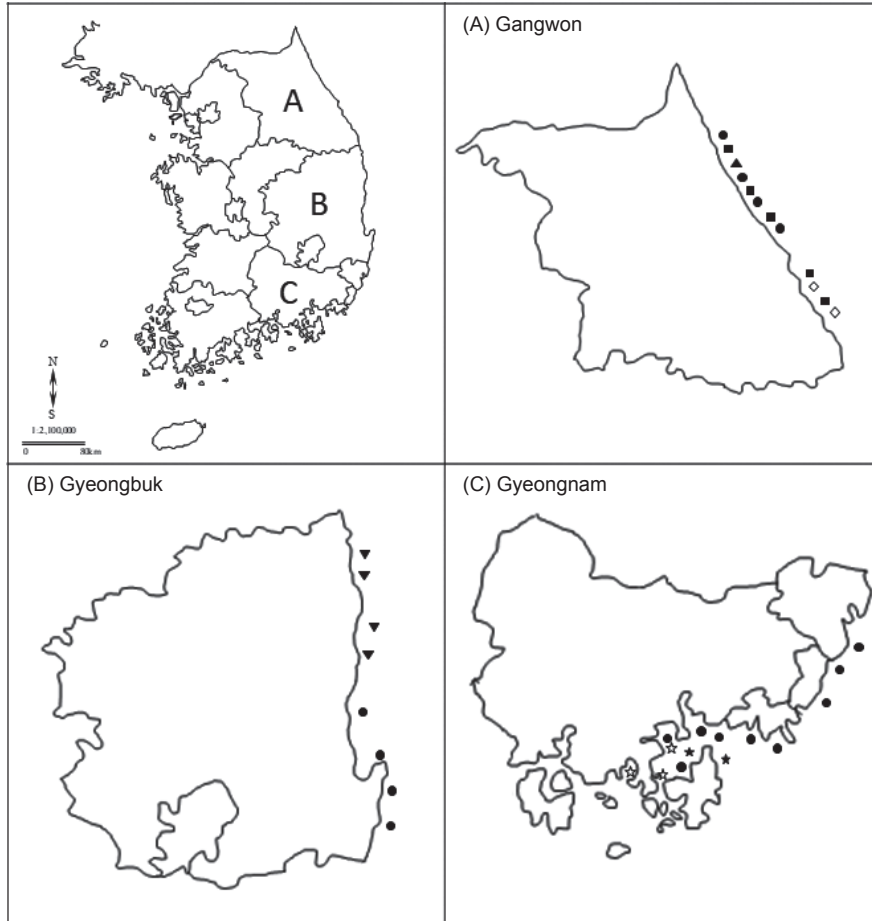


Fig. 1. Sampling stations of shellfishes from the Korean coastal area. ●, Mussel; ■, Scallop; ▲, Equilatera venus; ◇, Abalone; ▼, Sea squirt; ★, Ark shell clam; ☆, Oyster.

식품으로 즐겨 섭취하는 패류에서의 PAHs 오염농도를 조사하는 것은 매우 의미 있는 것이라 사료된다.

현재까지 우리나라에서 패류의 위생관리체계는 대부분 수출 중심으로 이루어지고 있어 내수 공급 패류에 대한 안전관리를 위하여 수출용 패류생산 지정해역 이외의 일반 해역에서 생산되는 패류에 대한 PAHs 잔류조사 및 위해도 평가 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 생산 수산물 중 패류의 안전성 확보 및 식품 오염 방지를 위한 기초자료를 제공하여 국민 보건향상에 기여하고자 일반해역 생산패류 7종에서 PAHs 4종을 모니터링 하고, 검출된 PAHs의 위해평가를 수행하였다.

재료 및 방법

시료 채취 및 방법

패류 시료는 2018년 12월부터 2019년 1월까지 매월 1회 부산, 울산, 경상남도, 경상북도, 강원도 연안의 총 25개소에서 채취한 것을 사용하였다(Fig. 1). 조사대상 패류는 지중해담치

(*Mytilus galloprovincialis*) 17개, 굴(*Crassostrea gigas*) 3개, 참가리비(*Patinopecten yessoensis*) 5개, 떡조개(*Gomphina veneriformis*) 1개, 참전복(*Nordotis discus discus*) 2개, 우렁챙이(*Halocynthia roretzi*) 4개, 피조개(*Scapharca broughtonii*) 2개였으며, 채취한 시료는 식품공전의 수산물 중 중금속 검사를 위한 검체 손질 실무 해설서(MFDS, 2014)에 따라 근육부 또는 전체로 구분해 처리하고, 시험시까지 -18°C 이하에 보관하였다.

시약

다환방향족탄화수소(PAHs) 표준물질 4종(benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzo[a]pyrene)과 전처리 시 오차를 보정하기 위한 대체표준물질(surrogate standard) chrysene- d_{12} 는 AccuStandard (New Haven, CT, USA)에서, 전처리 후의 기기분석 시 오차를 보정하기 위한 내부표준물질(internal standard) 2-fluorobuphenyl은 Sigma-aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. 표준물질 희석, 추출, 정제 용매인 n-헥산, 디클로로메탄은 GC grade (Merck,

Darmstadt, Germany)를 사용하였고, 추출액의 세정을 위한 정제수는 Milli-Q water purification system (Millipore, Bedford, MA, USA)에서 탈이온화하여 사용하였다. 또한, 정제를 위한 카트리지는 Sep-Pak florisisil Vac (Waters, Milford, MA, USA)를 사용하였고, 무수황산나트륨은 GR grade (Junsei, Tokyo, Japan)을 사용하였다. 이외의 기타 시약은 특급시약 또는 잔류농약 분석급 이상을 사용하였다.

다환방향족탄화수소 분석

시료의 전처리에는 식품공전(MFDS, 2019)을 참고하였다. 균질화한 시료 10 g에 chrysene-d₁₂ 200 µg/kg을 주입한 후 1 M KOH/ethanol 100 mL를 넣어 2시간 동안 혼합하였다. 반응시킨 혼합액은 n-헥산 100 mL를 이용하여 2회 추출하였다. 추출액은 정제수 100 mL로 총 3회 세정 후 무수황산나트륨을 이용하여 수분을 제거하고, 질소농축기(EYELA, Tokyo, Japan)를 이용하여 약 2 mL로 농축한 다음 Sep-pak florisisil Vac 카트리지에 통과시켜 정제하였다. 이 때 카트리지는 디클로로메탄 10 mL와 n-헥산 20 mL로 활성화 시켰으며, 이후 n-헥산 10 mL, n-헥산:디클로로메탄(3:1) 8 mL, 디클로로메탄 6 mL 순으로 유기용매를 흘려 용출하였다. 용출액은 질소농축기로 1 mL까지 농축한 다음 2-fluorobiphenyl 200 µg/kg을 넣어 시험용액으로 하였다. GC-MS 기기분석 조건은 Table 1과 같다. 다환방향족탄화수소의 정량분석을 위한 검량선은 각각의 표준물질을 n-헥산에 녹여 100 µg/kg의 stock solution을 조제하고 동일용매로 희석하여 0.1, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10.0 µg/kg의 농도로 조제한 후 이들 표준물질을 3 µL씩 기기에 주입하여 얻은 크로마토그램상의 피크의 면적을 기준으로 각 성분별 표준검량선을 작성하여 다환방향족탄화수소를 정량하였다.

인체노출량 산정을 통한 위해평가

위해평가는 본 연구에서 도출된 패류의 PAHs 농도와 패류 섭취량으로부터 인체노출량을 산출하여 유해물질의 인체노출안전기준 설정을 위한 용량반응 평가 연구(MFDS, 2016) 및 유럽식품안전청(EFSA, 2008)의 인체안전기준과 비교하여 수행하였다.

$$\text{만성인체노출량} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \times IR_i}{BW}$$

C_i, 패류 i에 함유된 해당 PAHs의 잔류량
 IR_i, 패류 i의 섭취량
 BW, 체중

패류 섭취량은 국민건강영양조사(KHIDI, 2016)의 원시자료를 이용하여 산정하였고, 영양조사 중 식품섭취조사의 3차 식품코드명을 기준으로 각 패류의 개인별 24시간 회상조사 자료를 추출하여 영양조사 가중치가 적용된 가중 평균을 산출하였다 (Table 4). 또한, 인체 노출량은 국민건강영양조사의 전체 조사자에 대한 가중평균과 섭취자만을 대상으로 한 가중평균 두 가지 경우에 대해서 각각 산출하였다. 체중은 화학물질 위해성평가의 구체적 방법 등에 관한 규정(NIER, 2020) 중 위해성 평가를 위한 인체 노출계수에 수록된 64.2 kg을 적용하였다.

결과 및 고찰

분석방법의 유효성 검증

본 연구의 분석결과는 해양환경공정시험법(MOF, 2020) 및 CODEX alimentarius commission (2008)의 기준에 따라 검

Table 1. GC-MS operating conditions for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

Instrument	GC-MS ^a (6890A GC/5973N MSD, Agilent)		
Column	DB-EUPAH (L 60 m×I.D. 0.25 mm×Thickness 0.25 µm)		
Carrier gas	He (1.0 mL/min)		
Injection volume	3 µL		
Injector temp.	250°C		
Connector temp.	270°C		
Split ratio	10 : 1		
Oven temp.	120°C (1 min) → 10°C/min, 240°C (0 min)→5°C/min, 300°C (15 min)		
	Standard soln.	Detection time (min)	Selective ion (m/z)
	2-Fluorobiphenyl (IS)	9.38	172, 171
	Chrysene-d12 (SS)	22.82	240, 236
Mass spectrometer	Benzo(a)anthracene	22.76	228, 226
	Chrysene	22.92	228, 226
	Benzo(b)fluoranthene	27.06	252, 250
	Benzo(a)pyrene	28.53	252, 250

^aGC-MS, gas chromatograph-mass spectrometer.

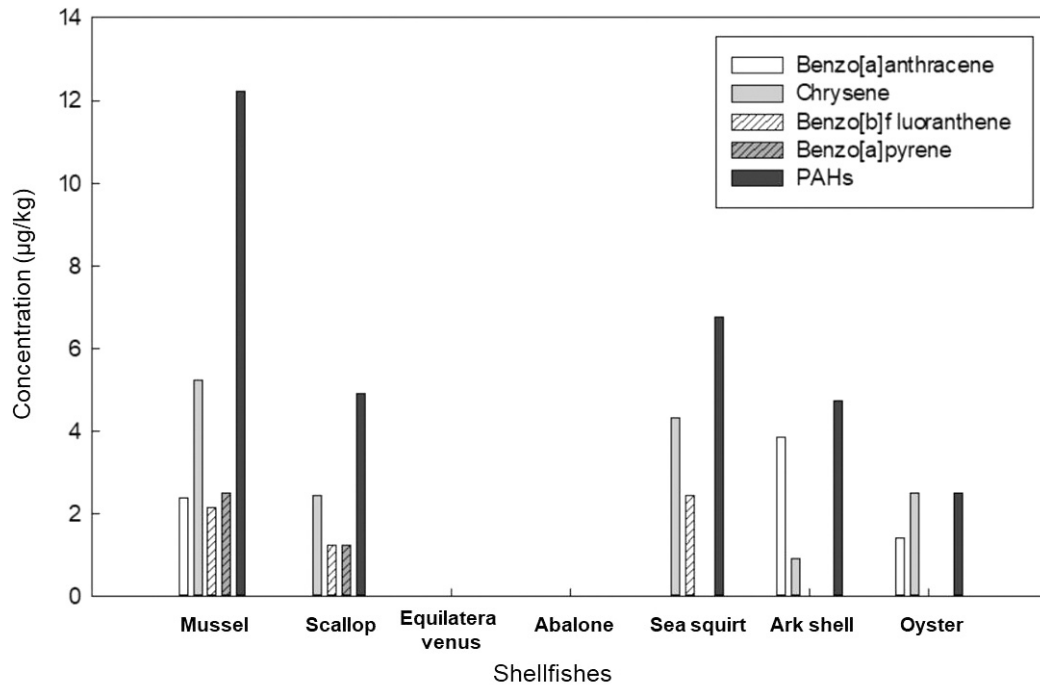


Fig. 2. Comparison of PAHs concentrations in shellfish samples from Korean coastal area. PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons.

정곡선(직선성), 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계 (limit of quantitation, LOQ), 바탕시료, 첨가시료(정확도 및 정밀도), 대체표준물질을 이용한 회수율 등으로 유효성을 검증하였다. 다환방향족탄화수소 4종(benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzo[a]pyrene)의 표준물질을 각각 희석하여 만든 단계별 표준용액을 분석하여 얻은 검정곡선의 결정계수(R²)는 benzo[a]anthracene은 0.9993, chrysene은 0.9996, benzo[b]fluoranthene은 0.9994, benzo[a]pyrene은 0.9996이었다. 시험방법의 유효성 검증 결과는 table 2에 나타내었다. 식품공전(MFDS, 2019)에 규정된 수산물 중 benzo[a]pyrene의 정량한계인 0.9 µg/kg 부근의 농도로 시료에 표준물질 0.1 µg/kg을 주입하여 준비하고, 7회 분석하여 구한 농도의 표준편차에 3.14를 곱한 값을 LOD로, 10을 곱한 값을 LOQ로 결정하였다. 본 분석법에서 LOD는 0.222-0.283 µg/kg 범위, LOQ는

0.706-0.901 µg/kg 범위로 나타났다. 또한, 이전에 PAHs에 오염되지 않은 것으로 확인된 바탕시료를 준비하여 시료와 동일한 과정을 거쳐 분석하여 시험과정의 오염 유무를 파악한 결과 시험에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 시료에 10 µg/kg 농도의 각각의 표준물질을 첨가한 후 7회 분석하여 대상물질의 정확도 및 정밀도를 산출하였다. 그 결과, 정확도는 97.3-110% 범위, 정밀도는 2.97-4.00% 범위로 매우 유의미한 결과를 나타내었다. CODEX alimentarius commission (2008)에서는 첨가한 표준물질의 농도가 0.1-10 µg/g 범위에서는 80-110%, 0.01 µg/g에서는 60-115%, 0.001 µg/g에서는 40-120%의 정확성을 요구하고 있는데, 본 연구에서의 정확도는 CODEX 기준을 만족하였다. 한편, 시료 전처리 전 시료마다 주입한 대체표준물질인 chrysene-d₁₂의 회수율은 61.2-108% 범위로 우리나라의 해양환경공정시험법에 규정된 회수율 60-130%의 범위를 만족하

Table 2. Results of accuracy, precision, LOD, LOQ and recovery of the method

Analyte	Fortified Samples (µg/kg) ^a	Experimental Concentration±RSD ^b (µg/kg)	Accuracy (%)	Precision (%)	LOD ^c (µg/kg)	LOQ ^d (µg/kg)	Recovery ^e (%)
Benzo[a]anthracene	10	11.0 ± 0.327	110	2.97	0.257	0.819	-
Chrysene	10	10.2 ± 0.318	102	3.11	0.241	0.769	-
Benzo[b]fluoranthene	10	9.92 ± 0.397	99.2	4.00	0.283	0.901	-
Benzo[a]pyrene	10	9.73 ± 0.320	97.3	3.29	0.222	0.706	-
Chrysene-d ₁₂	-	-	-	-	-	-	61.2-108

^an=7 replicate sample. ^bRSD, related standard deviation. ^cLOD, limits of detection. ^dLOQ, limits of quantitation. ^en=34 replicate sample.

여 본 시험방법은 유효성이 있는 것으로 확인되었다.

패류 중 다환방향족탄화수소 모니터링

본 연구에서 조사한 패류는 지중해담치 17개, 굴 3개, 참가리

비 5개, 떡조개 1개, 참전복 2개, 우렁챙이 4개, 피조개 2개였으며, 총 34개의 시료에 대한 패류별 PAHs 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 모든 중에서 4종 PAHs의 합인 평균 농도를 비교하였을 때 우렁챙이가 4.71 µg/kg로 가장 높았으며, 피조개

Table 3. Concentrations of PAHs (µg/kg) in shellfishes collected from Korean coastal areas.

Sampling sites	Shellfishes	Concentrations (µg/kg)					
		Benzo[a]anthracene	Chrysene	Benzo[b]fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Sum (PAH4)	
Gangwon	Yangyang	Mussel	2.37	5.23	2.13	2.49	12.2
		Scallop	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
		Equilatera venus	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
		Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	Gangneung	Scallop	<LOQ	2.45	1.22	1.22	4.89
		Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
		Scallop	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
		Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	Samcheok	Scallop	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
		Abalone	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
		Scallop	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
		Abalone	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Gyeongbuk	Uljin	Sea squirt	<LOQ	2.38	1.45	<LOQ	3.83
		Sea squirt	<LOQ	4.32	2.44	<LOQ	6.75
		Sea squirt	<LOQ	3.16	1.14	<LOQ	4.30
	Yeongdeok	Sea squirt	<LOQ	2.42	1.54	<LOQ	3.97
		Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	Pohang	Mussel	<LOQ	4.06	1.03	<LOQ	5.09
		Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	Gyeongju	Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	Ulsan	Mussel	<LOQ	1.41	<LOQ	<LOQ	1.41
		Mussel	<LOQ	3.72	1.14	<LOQ	4.86
Mussel		<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	
Geoje	Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	
	Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	
Gyeongnam	Jinhae bay	Ark shell clam	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
		Ark shell clam	3.84	0.89	<LOQ	<LOQ	4.73
	Masan bay	Mussel	2.32	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2.32
	Gajodo	Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
		Oyster	1.39	0.54	<LOQ	<LOQ	1.93
	Jindong	Mussel	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Oyster		<LOQ	1.57	<LOQ	<LOQ	1.57	
Goseong	Oyster	<LOQ	2.51	<LOQ	<LOQ	2.51	

Mussel *Mytilus galloprovincialis*; Oyster *Crassostrea gigas*; Scallop *Patinopecten yessoensis*; Equilatera venus *Gomphina veneriformis*; Abalone *Nordotis discus discus*; Sea squirt *Halocynthia roretzi*; Ark shell clam *Scapharca broughtonii*; PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons; LOQ, limit of quantitation.

(2.37 µg/kg), 굴(1.823 µg/kg), 지중해담치(1.52 µg/kg), 가리비(0.978 µg/kg) 순으로 나타났고, 딱조개와 참전복에서는 정량한계 이하로 검출되지 않았다. 한편, PAHs 각 성분별로 평균 농도를 비교하여 보았을 때, benzo[a]anthracene은 지중해담치(0.276 µg/kg), 굴(0.463 µg/kg), 피조개(1.92 µg/kg) 순으로 검출되었고, chrysene은 지중해담치(0.848 µg/kg), 굴(1.36 µg/kg), 참가리비(0.489 µg/kg), 우렁챙이(3.07 µg/kg), 피조개(0.449 µg/kg) 순으로 검출되었다. 또한, benzo[b]fluoranthene은 지중해담치(0.253 µg/kg), 참가리비(0.244 µg/kg), 우렁챙이(1.64 µg/kg) 순으로 검출되었고, 위해성이 가장 높은 benzo[a]

pyrene은 지중해담치(0.147 µg/kg), 참가리비(0.244 µg/kg) 순이었으며, 다른 패류에서는 검출되지 않았다.

본 연구에서 패류를 채취한 해역에서 검출된 결과를 비교하여 Table 3에 나타내었다. 지역별로 검출된 시료와 검출되지 않은 시료가 모두 발견되었고, 동일한 지역에서도 다양한 농도로 검출되어 지역별로 유의한 차이는 없는 것으로 확인되었으며, 이 결과는 지역별 차이가 아닌 시료의 개별 차이인 것으로 사료된다. 한편, 국내 일반해역에서 생산된 패류의 안전성 평가를 위하여 국내·외 기준과 본 연구결과를 비교하였다. 본 연구의 패류에서 검출된 benzo[a]pyrene의 최대 농도는 강원도 양양에서 채취한 진주담치에서 2.49 µg/kg으로 국내 및 EU의 기준보다는 낮았고, 4종 PAHs의 합은 최대 12.2 µg/kg으로 검출되어 EU의 기준인 30 µg/kg 이하의 수준인 것으로 나타났다.

Table 4. Ingestion rate (g/day) of shellfishes based on national food and nutrition statistics

Shellfishes	Ingestion rate (g/day)	
	Total person average	Ingestion person average
Mussel <i>Mytilus galloprovincialis</i>	1.4541	22.5776
Oyster <i>Crassostrea gigas</i>	1.1001	38.6825
Scallop <i>Patinopecten yessoensis</i>	0.0614	32.4042
Equilatera venus <i>Gomphina veneriformis</i>	-	-
Abalone <i>Nordotis discus discus</i>	0.4425	18.9439
Ses squirt <i>Halocynthia roretzi</i>	0.2793	72.1370
Ark shell clam <i>Scapharca broughtonii</i>	0.0710	34.8498

인체 노출량 산정을 통한 위해평가

인체 노출량은 국민건강영양조사(KHIDI, 2016)의 전체 조사자에 대한 가중평균과 섭취자만을 대상으로 한 가중평균 두 가지 경우에 대하여 각각 산출하고 그 결과는 Table 5에 나타내었다. 전체 조사자에 대한 인체노출량은 섭취를 하지 않은 경우도 포함된 평균값이므로 실제 섭취자에 대한 영향을 알아보기 위하여 본 조사에서는 섭취자만을 대상으로 한 인체노출량도 추가로 산출하였다. 국민건강영양조사(KHIDI, 2016)의 조사자 전체에 대한 인체노출량은 각 PAHs 물질별로 합계를 나타내었으나 섭취자만을 대상으로 한 경우는 모집단이 서로 상이하

Table 5. Exposure assessment of PAHs in shellfishes

Shellfishes	Acceptable daily intake (mg/kg body weight)				
	Benzo[a]anthracene	Chrysene	Benzo[b]fluoranthene	Benzo[a]pyrene	Sum (PAH4)
Mussel	6.25×10 ⁻⁹	1.92×10 ⁻⁸	5.73×10 ⁻⁹	3.33×10 ⁻⁹	3.44×10 ⁻⁸
Oyster	7.93×10 ⁻⁹	2.33×10 ⁻⁹	-	-	3.12×10 ⁻⁸
Scallop	-	4.68×10 ⁻⁹	2.33×10 ⁻⁹	2.33×10 ⁻⁹	9.35×10 ⁻¹⁰
Equilatera venus	-	-	-	-	-
Abalone	-	-	-	-	-
Ses squirt	-	2.12×10 ⁻⁸	1.13×10 ⁻⁸	-	3.25×10 ⁻⁸
Ark shell clam	2.12×10 ⁻⁹	4.97×10 ⁻¹⁰	-	-	2.62×10 ⁻⁹
Mussel	9.71×10 ⁻⁸	2.98×10 ⁻⁷	8.9×10 ⁻⁸	5.17×10 ⁻⁸	5.35 10 ⁻⁷
Oyster	2.79×10 ⁻⁷	8.19×10 ⁻⁷	-	-	1.1×10 ⁻⁶
Scallop	-	2.47×10 ⁻⁷	1.23×10 ⁻⁷	1.23×10 ⁻⁷	4.94×10 ⁻⁷
Equilatera venus	-	-	-	-	-
Abalone	-	-	-	-	-
Ses squirt	-	3.45×10 ⁻⁶	1.84×10 ⁻⁶	-	5.29×10 ⁻⁶
Ark shell clam	1.04×10 ⁻⁶	2.44×10 ⁻⁷	-	-	1.29×10 ⁻⁶

Mussel *Mytilus galloprovincialis*; Oyster *Crassostrea gigas*; Scallop *Patinopecten yessoensis*; Equilatera venus *Gomphina veneriformis*; Abalone *Nordotis discus discus*; Sea squirt *Halocynthia roretzi*; Ark shell clam *Scapharca broughtonii*; PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons.

인체노출량의 합계는 산출하지 않았다.

PAHs의 인체안전기준은 benzo[a]pyrene이 0.07 mg/kg b.w./d (BMDL₁₀)이고, 4종 PAHs의 합은 0.34 mg/kg b.w./d (BMDL₁₀)이다. 본 연구에서의 PAHs의 인체노출량은 조사자 전체 및 섭취자 대상의 모든 경우에서 인체안전기준 미만으로 패류 섭취로 인한 PAHs의 위험도는 허용 가능한 수준이었다.

본 연구에서의 분석방법은 유의성이 있어 PAHs 검출에 유효한 것으로 판단되었다. 또한, 국내 일반해역 생산패류 중의 PAHs 분석 결과는 국내의 기준 보다 낮은 수준이었고, 패류 섭취량 및 PAHs 검출 농도를 이용하여 산출한 인체노출량 역시 인체안전기준을 만족하였다. 이 결과는 일반해역 생산패류에 함유된 PAHs에 대한 기초자료 및 안전한 수산물 공급을 위한 정책자료로 활용 가능할 것이라 사료된다. 그러나, 국내외에서 위해물질에 대한 관심이 고조되고 있고, 특히 PAHs는 환경에 의한 비의도적인 오염을 통해 수산물을 오염시킬 가능성이 있으므로 생산단계 수산물에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2021년도 국립수산물과학원 수산과학연구소 수산물 생산해역 및 수산물위생조사(R2021060)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사 드립니다.

References

- CODEX alimentarius commission. 2008. Report of the twenty-ninth session of the CODEX committee on methods of analysis and sampling. Geneva, Switzerland, 31-33.
- EFSA (European Food Safety Authority). 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. EFSA, Parma, Italy.
- Falcó G, Domingo JL, Llobet JM, Teixidó A, Casas C and Müller L. 2003. Polycyclic aromatic hydrocarbons in foods: Human exposure through the diet in Catalonia, Spain. *J Food Prot* 66, 2325-2331. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-66.12.2325>.
- Guillén MD, Sopelana DP and Partearroyo MA. 1997. Food as a source of polycyclic aromatic carcinogens. *Rev Environ Health* 12, 133-146. <https://doi.org/10.1515/reveh.1997.12.3.133>.
- IARC (International Agency for Research on Cancer). 2006. Polynuclear aromatic compounds Part 1: Chemical, environmental and experimental data. Vol. 21. IARC, Lyon, France, 211-224.
- Johnson-Restrepo B, Oliverop-Verbel J, Lu S, Guette-Fernández J, Baldiris-Avila R, O'Byrne-Hoyos I, Aldous KM, Addink R and Kannan K. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons and their hydroxylated metabolites in fish bile and sediments from coastal waters of Colombia. *Environ Pollut* 151, 452-459. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.04.011>.
- KHIDI (Korea Health Industry Development Institute). 2016. National food and nutrition statistics I: based on 2013 Korea national health and nutrition examination survey. Retrieved from <http://www.khidi.or.kr/nutristat> on Oct 10, 2019.
- Martí-Cid R, Bocio A, Llobet JM and Domingo JL. 2007. Intake of chemical contaminants through fish and seafood consumption by children of Catalonia, Spain: health risks. *Food Chem Toxicol* 45, 1968-1974. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.04.014>.
- Martí-Cid R, Llobet JM, Castell V and Domingo JL. 2008. Evolution of the dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in Catalonia, Spain. *Food Chem Toxicol* 46, 3163-3171. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.002>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2019. Food code. Chapter 8. General analytical method (Benzo[a]pyrene). Retrieved from http://www.foodsafetykorea.go.kr/food-code/01_03.jsp?idx=12070 on Jul 19, 2021.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2016. Study on dose response evaluation of health-based guidance values for food contaminants. MFDS, Osong, Korea, 71.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2014. Food code. Retrieved from <http://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/safefoodlife/food/foodRvLv/foodRvLv.do> on Sep 3, 2018.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2020. Korean standard method for marine environment, MOF notification No. 2020-143. Retrieved from <http://www.mof.go.kr/article/view.do?menuKey=888&boardKey=35&articleKey=35375> on Sep 4, 2020.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2020. NIER notification No. 2020-1. <http://www.nier.go.kr/NIER/cop/bbs/selectNoLoginBoardList.do#> on Jun 1, 2021.
- Oliveira Ribeiro CA, Vollaire Y, Sanchez-Chardi A and Roche H. 2005. Bioaccumulation and effects of organochlorine pesticides, PAH and heavy metals in the eel *Anguilla Anguilla* at the Camargue Nature Reserve, France. *Aquat Toxicol* 74, 53-69. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.04.008>.
- Scherer G, Frank S, Riedel K, Meger-Kossien I and Renner T. 2000. Biomonitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons of nonoccupationally exposed persons. *Cancer Epidemiol Biomark Prev* 9, 373-380.
- Viarengo A and Canesi L. 1991. Mussels as biological indicators of pollution. *Aquaculture* 94, 225-243. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90120-V](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90120-V).
- Vives I, Grimalt JO, Fernández P and Rosseland B. 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons in fish from remote and high mountain lakes in Europe and Greenland. *Sci Total Environ* 324, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.10.026>.