

TECHNICAL NOTE

## 연안환경 모니터링을 위한 홍합(*Mytilus coruscus*)의 체내 수은 함량 분석

이수용\* · 이장호

국립환경과학원 자연환경연구과

### Determination of Mercury in Korean Mussels (*Mytilus coruscus*) for Marine Environmental Monitoring

Soo Yong Lee\*, Jangho Lee

Natural Environment Research Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, 22689, Korea

#### Abstract

Marine ecosystems are frequently exposed to a variety of chronic and acute pollutants derived from anthropogenic production and consumption activities. Mussels are sessile (can provide location-specific information), medium-sized (have enough tissue matrix for chemical analysis) filter-feeders (show accumulation of pollutant chemicals from seawater). These biological and ecological characteristics make mussels virtually ideal for pollution monitoring. In this study, Korean mussels (*Mytilus coruscus*) were collected from nine different sites situated along the coasts of the western sea to the eastern sea of Korea in 2017. Total mercury concentration was highest (mean  $\pm$  standard error,  $92.7 \pm 3.5$  ng/g dry) on Baengnyeongdo Island in the western sea, and the sites in the southern sea showed the lowest mean concentrations (42.3 - 44.5 ng/g dry). These results were discussed in terms of possible pollution sources.

**Key words** : Korean mussels, Total mercury, Marine environmental monitoring, Korea

#### 1. 서론

환경오염에 대한 모니터링은 매체(수질 등)와 수용체(생물)를 대상으로 할 수 있다. 이 중 생물 모니터링이 중요한 이유는 매체와 달리 생물농축을 통해 오염물질의 영향을 받기 때문이다. 예를 들면, 수은은 인천 연안의 해수에서는 매우 낮은 수준이거나 불검출되는 경우가 많으나(IIHE, 2018), 연안환경 중 상위영양단계(high trophic

level)인 갯벌갈매기 알에서는 높은 수준을 나타낸다(Lee et al, 2017). 이렇듯 매체에서는 오염물질이 저농도라 하더라도 생물에서는 높게 축적될 수 있기 때문에 생물 모니터링을 통한 환경오염 감시가 필요하다. 유럽에서는 수질 오염정도를 생물 모니터링을 통해 평가하도록 규정하고 있으며, 이를 바탕으로 오염물질(Hg 등 11종)의 환경기준 만족 여부를 평가하고 있다(Fliedner et al., 2018).

Received 11 October, 2018; Revised 3 December, 2018;

Accepted 7 December, 2018

\*Corresponding author: Soo Yong Lee, Natural Environment Research Division, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Korea  
Phone : +82-32-560-7549  
E-mail : randol84@korea.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© 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.

국립환경과학원 국가환경시료은행에서는 다양한 생태계의 환경오염물질을 모니터링하기 위해 생물 지표종을 찾는 작업을 수행하고 있으며, 연안환경 오염물질 모니터링을 위한 생물 지표종 선정 작업도 추진 중이다. 연안에 서식하는 대표적인 이매패류(bivalves) 중 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*)는 해양환경공단에서 Mussel Watch Program을 통해 모니터링 시료종으로 활용하고 있으며, 육상기원 오염물질 배출원과 인접한 연안을 따라 오염도를 확인하기 위한 모니터링 연구도 다수 진행된 바 있다(Hwang et al., 1986, 1993a, 1993b; Choi et al., 1992; Kim et al., 2003). 국가환경시료은행에서는 모니터링 대상 시료종으로 홍합(*Mytilus coruscus*)에 주목하고 있다. 홍합은 고착성 생활을 하고, 폭넓은 생육 염도에 적응력이 우수하며, 다양한 물질을 체내에 축적하는 등 지중해담치와 유사한 생태적 습성을 가지고 있으며, 지중해담치가 서식하지 않는 지역에서 모니터링 시료로서 활용이 가능하기 때문이다(Kwon et al., 1993, Jeung et al., 2014; CBD-CHM KOREA, 2018).

수은은 생태계 전반에 미치는 영향이 크기 때문에 2013년 미나마타 국제협약에서 전지구적인 주요 규제 오염물질로 지정되었다. 특히, 유기수은인 메틸수은(methyl mercury)의 경우 먹이사슬(food chain)을 통해 생태계에 미치는 영향이 크다(Choi et al., 2012; Choi et al., 2017). 인간의 경우 주로 수산물 섭취를 통해 체내에 수은을 축적하는데, 유기수은은 인체노출시 심각한 질병을 유발하는 것으로 알려져 있다(Kim and Zoh, 2013). 우리나라는 2014년 미나마타 국제협약에 서명하고 협약의 국내 이행 기반을 구축하기 위해 수은 및 수은화합물의 관리를 위한 ‘잔류성오염물질관리법’을 개정하여 주요한 모니터링 대상으로 포함시켰다(Kim, 2017). 이에 어류 등의 다소비 수산식품을 비롯한 다양한 수산물의 수은 오염정도를 평가하기 위한 다수의 연구가 진행된 바 있다(Jo et al., 2015; Choi et al., 2017).

본 연구에서는 연안환경 오염물질 생태계 영향을 모니터링하기 위한 생물 지표로서 홍합의 활용가능성을 살펴보기 위하여 홍합 시료의 생체특성치를 측정하여 지점간 차이를 비교하였고, 총수은을 분석하여 채취 지점 및 크기 별 농도 분포의 특징을 고찰하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시료 채취

홍합 시료의 채취는 2017년 1월 지역 어촌계 및 수산시장의 어업인과 동행하여 홍합의 채취 가능 지점으로서 동·서·남해안의 총 15곳 이상의 지점을 사전 조사하였다. 조사 결과를 바탕으로 서로 근접하지 않는 9개 지점을 선정하였고, Table 1 및 Fig. 1에 나타내었다.

홍합은 3~4월경에 산란하고, 늦더라도 6월까지의 방란, 방정이 완료되어 생체 중량이 크게 변하므로 본 연구를 위한 시료 채취는 홍합이 산란하기 전, 거의 성숙하는 단계인 3~4월에 완료하였다. 단, 올랑도는 3~4월 중순까지 홍합 채집을 금지하기 때문에 5월에 채취하였고, 각 지점별 채취 위치와 일자는 Table 1과 같다.

시료의 채취는 각 지역의 어업인이 잠수를 통해 채취하였고, 서·남해안의 경우 수심 10 m 내외에서, 동해안에서는 수심 15-20 m 깊이에서 채취가 이뤄졌다.

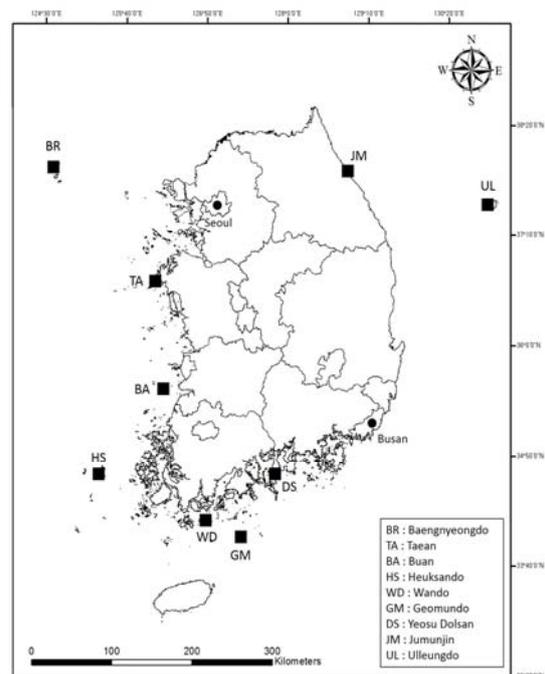


Fig. 1. A Map showing the locations of the sampling sites for analyzing the total mercury in the tissues of Korean mussels in 2017.

**Table 1.** The locations and dates for collection of Korean mussels (n=464), and their groups divided by the size (shell height) and the number of individuals at each location, 2017

Region	Sampling site	Abbreviation	Latitude(N)	Longitude(E)	Sampling Date	Size group	No. of individuals
Western sea	Baengnyeongdo	BR	37°55'10"	124°39'26"	29 Mar	Large (91 ~ 117 mm)	12
						Medium (76 ~ 90 mm)	18
						Small (64 ~ 75 mm)	21
	Tae'an/Anmyeondo	TA	36°43'53"	126°07'23"	24 Mar	Large (86 ~ 94 mm)	29
						Medium (73 ~ 85 mm)	34
						Small (51 ~ 72 mm)	16
	Buan/Wido	BA	35°35'29"	126°15'18"	15 Apr	Large (85 ~ 101 mm)	14
						Medium (75 ~ 84 mm)	20
						Small (35 ~ 74 mm)	16
Heuksando	HS	34°40'20"	125°23'28"	29 Apr	Large (90 ~ 111 mm)	7	
					Medium (80 ~ 89 mm)	18	
					Small (72 ~ 79 mm)	20	
Southern sea	Wando/Cheongsando	WD	34°11'45"	126°50'59"	24 Mar	Large (125 ~ 145 mm)	7
						Medium (117 ~ 124 mm)	23
						Small (107 ~ 116 mm)	11
	Yeosu/Geomundo	GM	34°01'19"	127°19'19"	15 Apr	Large (119 ~ 147 mm)	11
						Medium (106 ~ 118 mm)	19
						Small (31 ~ 105 mm)	16
	Yeosu/Dolsan	DS	34°41'30"	127°47'29"	15 Apr	Large (126 ~ 146 mm)	7
						Medium (116 ~ 125 mm)	18
						Small (108 ~ 115 mm)	15
Eastern sea	Ulleungdo	JM	37°30'35"	130°47'42"	19 May	Large (121 ~ 146 mm)	16
						Medium (115 ~ 120 mm)	20
						Small (108 ~ 114 mm)	15
	Gangneung/Jumunjin	UL	37°54'24"	128°49'52"	6 Apr	Large (104 ~ 126 mm)	19
						Medium (92 ~ 103 mm)	27
						Small (59 ~ 91 mm)	15

## 2.2. 채취 시료 특성치 측정 및 분석용 시료조제

채취한 홍합(n=464)은 현장에서 현지 해수를 이용하여 세척하였고, 크기(각장, shell length; 각고, shell height)와 무게를 측정하였다. 각 지점별 시료의 크기는 각고(Fig. 2)를 기준으로 3개 그룹(large, midium, small)으로 구분하였다(Table 1). 단, 각 지점마다 채취한 홍합의 생육상태가 상이하므로 동일한 크기 기준이 아닌 지역별 상대적 기준으로 구분하였다. 이후 냉장상태(5°C 미만)를 유지하여 실험실로 이송하였고, 이송 직

후 2 ~ 3일 안에 연체를 분리하였다. 시료 처리는 스테인레스 재질로 된 도구(가위, 칼, 집게 등)를 사용하였으며, 오염방지를 위해 인산(phosphorus acid, 30%)으로 세척하여 건조한 후, 알코올 소독과 3차 증류수 세척을 한 후 사용하였다(Wagner et al., 2003; Lee et al., 2017).

연체 분리는 먼저 칼 등을 이용하여 틈을 만들었으며, 가위를 사용하여 패각근을 잘라 껍질이 잘 열리도록 하였고, 껍질에 붙어있는 이물질이 유입되지 않도록 주의하여 연체와 껍데기를 분리하였다. 분리된 연체는 체에

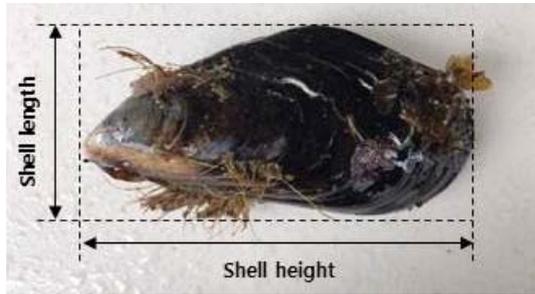


Fig. 2. Biometric measurements of Korean mussel.

발쳐 약 30 ~ 60분 동안 유지하여 내장수를 제거하였고, 스테인레스 저장용기에 옮겨 담아 초저온(-150℃)보관하였다.

시료의 분쇄는 독일 환경시료은행의 표준운영절차(Wagner et al., 2003)와 이를 바탕으로 작성된 국가환경시료은행의 표준운영절차(Lee et al. 2017)를 기준으로 진행되었다. 분쇄의 전 과정은 청정실(ISO Class 7, 먼지입자 352,000개/m<sup>3</sup> 이하)에서 진행되었고, 액체질소 공급설비를 사용하여 분쇄 과정을 초저온으로 유지하였다. 1차 분쇄는 텅스텐 카바이드 사발을 사용하였고, 이후 분쇄기(DE/pulverisette 23 Mini Mill, FRITSCH, Germany)로 분말화하여 시료의 90% 이상이 200  $\mu\text{m}$  이하가 되도록 균질화하였다. 분쇄가 완료된 시료는 시료정보를 담은 바코드 라벨을 부착한 바이알(glass vial, 20 mL 용량)에 담아 초저온으로 저장하였다. 분쇄 전에 각 지점에서 채취된 시료를 지점 별로 대·중·소로 구분하였고, 구분된 시료를 각각 혼합(pooling)하여 분쇄하였다. 이후 각 지점별로 대·중·소로 구분되어 저장된 바이알을 각각 1개씩 사용하여, 지점 당 3개씩 총 27개의 바이알을 동결건조(일신바이오, -70℃, 30 mTorr이하)하였다.

### 2.3. 총수은 분석

수은의 표준원액(1,005 mg/L)은 Kanto Chemicals

(Tokyo, Japan), 인증표준물질은 National Institute of Standards and Technology 제품(NIST SRM 2976, mussel tissue, Maryland, USA)을 사용하였고, 표준용액 희석을 위한 L-cysteine은 Junsei ( $\geq 98\%$ , Tokyo, Japan) 시약을 사용하였다.

총수은을 정량하기 위한 수은 표준용액은 표준원액(1,005 mg/L)을 0.01% L-cysteine 용액으로 희석하여 10, 50, 100  $\mu\text{g/L}$ 의 표준용액으로 만들었다. 이때 0.01% L-cysteine 용액은 L-cysteine 100 mg을 평량하여 질산(Sigma-Aldrich ACS급)과 저항값 18 M $\Omega$ 의 3차 증류수로 용해하여 준비하였다. 이들 표준용액을 수은분석용 보트에 취하여 분석하였고, 검출된 총수은의 흡광 면적을 이용하여 검정곡선을 구하였다. 정량의 정확성을 높이기 위하여 검정곡선은 저농도와 고농도 범위의 검정곡선을 각각 구하였고, 회수율 실험은 인증표준물질(NIST SRM 2976, mussel tissue, 61.0  $\pm$  3.6  $\mu\text{g/kg}$ )을 사용하여 실시(n=10)하였다.

홍합 시료의 총수은 분석은 다른 전처리 없이 가열기화 골드아말감법(gold amalgamation method)과 원자흡수분광광도계(atomic absorption spectrometry)를 사용하는 자동 수은분석기(MA 3000 Mercury analyzer, Nippon Instruments Corporation, Tokyo, Japan)를 이용하여 실시하였다. 시료의 연소를 위하여 고순도 산소를 사용하였으며, 그 외 분석조건은 Table 2와 같다. 분석에 사용된 시료는 1개 바이알 당 3회씩 분취하여 지점 당 총 9회 분석을 진행하였고, 이와 더불어 분석시료 10개마다 인증표준물질을 분석하여 기기의 재현성을 확인하였다.

총수은 분석의 정확·정밀성을 검증하기 위한 직선성, 검출한계, 정량한계, 인증표준물질의 회수율을 확인한 결과, 직선성은 결정계수(r) 0.999 이상이었으며, 방법검출한계와 정량한계는 각각 0.40 ng/g, 1.28 ng/g이었고, 회수율은 95.3 ~ 104.4% 이었다.

Table 2. The operating conditions of mercury analyzer (MA 3000)

Conditions	Heating temperature (°C)	Heating time (s)	Flow (L/min)	Slope time (s)
1st Decomposition	180	120	0.4	120
2nd Decomposition	850	120	0.4	30

**Table 3.** Coefficients of correlation among biometric measurements of Korean mussels (n = 464)

Feature	Shell height	Total weight
Shell length	0.94**	0.89**
Shell height	-	0.94**

\*\* :  $p < 0.05$

**2.4. 통계 분석**

홍합의 생체특성치(각고, 각장, 중량)의 지점간 비교는 각 시료가 30개 이상이므로 정규성을 만족한다고 가정 후 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 홍합 수은 농도의 지점 및 크기별 비교는 각 지점별로 분석 시료 수가 9개(대·중·소 크기 세 그룹으로 각각 혼합·분쇄하여 3회씩 분석) 씩으로 적어 정규성 검정(Kolmogorov-Smirnov test)을 실시하였으나, 일부 지점에서 정규성을 만족하지 못하여 비모수 통계방법(Kruskal-Wallis test)을 적용하였다. 다중비교는 원자료를 순위변환한 후 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)과 Tukey HSD 방법에 의한 사후검정으로 수행하였다. 모든 통계 분석의 유의 수준은  $p=0.05$ 로 하였다.

**3. 결과 및 고찰**

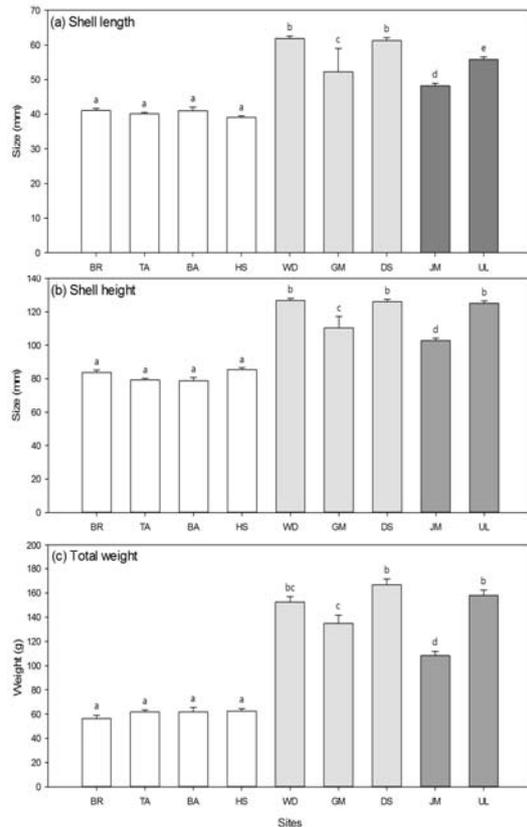
**3.1. 지점별 홍합 생체특성치 비교**

9개 지점별로 채취된 홍합의 총중량(total weight), 각고(shell height), 각장(shall length)을 측정하여 생체특성치 간 상관관계를 분석하였다. Table 3의 결과와 같이 총중량, 각고, 각장의 생체특성치들 간의 상관계수( $r$ )가 0.89이상으로 높게 나타났다.

채취한 홍합의 생체특성치를 지점별로 비교한 결과(Fig. 3), 서해안(백령도, 태안, 부안, 흑산도)에서 채취한 홍합의 크기와 중량이 남해안과 동해안 지점에서 채취한 홍합의 크기 및 중량에 비해 상대적으로 작았다.

**3.2. 홍합의 크기에 따른 총수은 농도 비교**

백령도 등 9개 지점에서 채취한 홍합을 대·중·소로 분류하여 총수은 농도를 측정하고 각 그룹의 평균값을 구한 결과, Fig. 4에서 보는 바와 같이 9개 지점 중 3개 지점(백령도( $n=9$ ,  $X^2=5.42$ ,  $p = 0.07$ ), 완도( $n=9$ ,  $X^2 = 0.67$ ,  $p = 0.72$ ), 울릉도( $n=9$ ,  $X^2=5.63$ ,  $p = 0.06$ ))은 홍합의 크기와 총수은 농도 간에 통계적으로 유의성을 나



**Fig. 3.** Biometric features of Korean mussels collected from different sampling sites. Error bars represent standard errors. Same letter super scripts denote insignificant differences among the sites from post hoc tests.

타내지 않았다(Fig. 4 (a), (e), (i)). 반면, 부안( $n=9$ ,  $X^2=6.56$ ,  $p < 0.05$ )과, 돌산( $n=9$ ,  $X^2=7.09$ ,  $p < 0.05$ )에서는 대 그룹과 중·소 그룹 간 유의적인 차이가 확인되었으며(Fig. 4 (c), (g)), 흑산도( $n=9$ ,  $X^2=6.06$ ,  $p < 0.05$ )와 거문도( $n=9$ ,  $X^2=6.56$ ,  $p < 0.05$ )에서는 대 그룹에서 통계적으로 낮은 농도가 나타났다(Fig. 4 (d), (f)). 태안

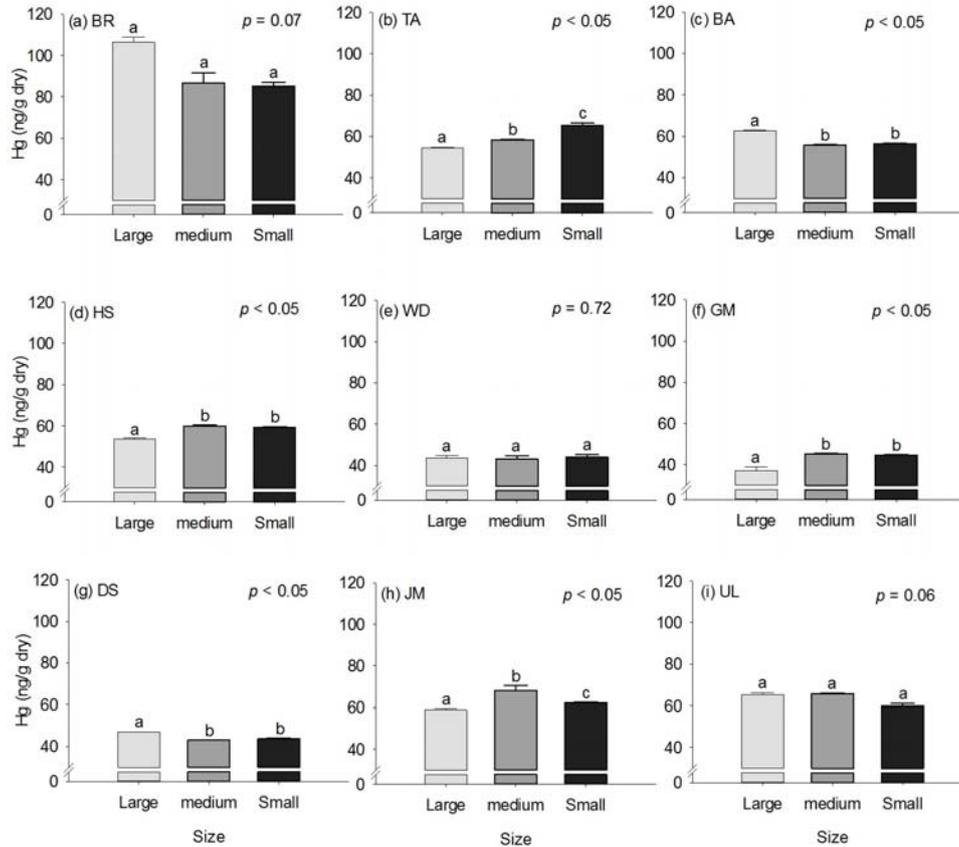


Fig. 4. Total mercury concentrations (T-Hg, average±standard error) of Korean mussels groups at different sampling sites. Same letter super scripts denote insignificant differences among the sizes from post hoc tests.

( $n=9$ ,  $X^2=7.32$ ,  $p < 0.05$ )과 주문진( $n=9$ ,  $X^2=7.26$ ,  $p < 0.05$ )의 경우, 각 크기 그룹별로 총수은 농도가 모두 유의적인 차이를 보이는 것으로 분석되었다(Fig. 4 (b), (h)). 기존 연구 중 일본 규슈지역에서 채취된 지중해담치에서는 크기와 총수은 농도 간의 차이가 없는 것으로 보고한 바 있다(Szefer et al., 1999). 하지만 본 연구의 시료종인 홍합에서의 크기에 따른 오염물질 축적 경향 여부는 지점별 로 차이를 나타내고 있어 추후 별도의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.3. 지점별 홍합의 총수은 농도 비교

우리나라 연안 9개 지점에서 채취한 홍합 시료에 대한 총수은 분석결과를 Fig. 5에 나타내었다. 각 지점의 총수은 평균값은 백령도 지점이 다른 채취 지점에 비해 높은

농도( $92.7 \pm 3.5$  ng/g dry,  $n=9$ )를 보였는데(각  $n=9$ ,  $X^2 = 67.8$ ,  $p < 0.05$ ), 이는 같은 서해안의 태안( $59.3 \pm 1.5$  ng/g dry,  $n=9$ ), 부안( $58.2 \pm 1.0$  ng/g dry,  $n=9$ ), 흑산도( $57.6 \pm 0.9$  ng/g dry,  $n=9$ )의 홍합보다도 높은 수치였다. 남해안의 완도( $43.5 \pm 0.6$  ng/g dry,  $n=9$ ), 거문도( $42.3 \pm 1.3$  ng/g dry,  $n=9$ ), 여수( $44.5 \pm 0.5$  ng/g dry,  $n=9$ )의 총수은 평균농도는 서로 유사한 평균농도를 보였다. 동해안의 주문진( $63.1 \pm 1.4$  ng/g dry,  $n=9$ ), 울릉도( $63.6 \pm 0.9$  ng/g dry,  $n=9$ ) 홍합 시료의 총수은 평균값도 서로 비슷한 수준이었다.

홍합의 체내 수은 축적은 개체의 연령, 영양상태, 계절적 변동, 서식환경의 오염 정도 등 많은 인자의 영향을 받을 수 있다(Szefer et al., 2004). 본 연구에서 지점 간 비교 결과, 백령도가 상대적으로 높은 수은 농도를 보였다

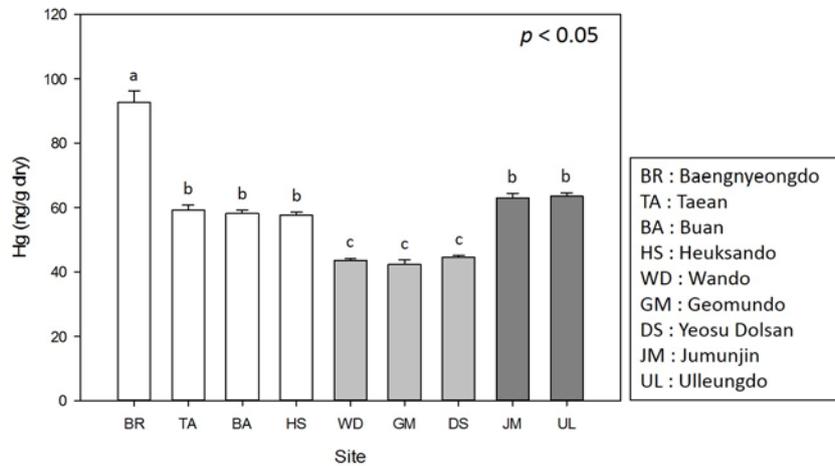


Fig. 5. Total mercury concentrations (T-Hg, average $\pm$ standard error) of Korean mussels collected at different sampling sites. Same letter super scripts denote insignificant differences among the sites from post hoc tests.

(Fig. 5). 연령에 따른 수은 축적도를 이번 조사에서 직접적으로 확인하기는 어려우나, 간접적으로 크기를 고려하여 검토해 보면, Fig. 3에 나타난 바와 같이 백령도 지점의 홍합이 다른 지점에 비해 크기가 상대적으로 작은 것으로 나타남에도 불구하고, 총수은 농도는 높은 값을 보였다(Fig. 5). 물론 크기가 작다고 해서 반드시 연령이 어린 개체라고 단정할 수는 없기 때문에 추후에 연령, 크기 등과 수은 축적도의 상관관을 살펴보는 연구가 필요하다.

다음으로 서식환경 중 오염정도의 영향 측면에서 살펴보면, 연안 환경으로의 수은 유입은 육상에서 연안으로 하천에 의해 유입되거나, 대기 중 강우, 입자에 의한 낙하, 해수면에서의 용해, 해저에서의 용출 등 다양한 경로가 있다. 대기로부터 수은 유입은 범위가 광범위하고 경로를 특정하기 어렵기 때문에 그 정도가 모든 연안에 비슷하게 영향을 준다고 가정하면, 백령도 홍합에서 나타나는 총수은 농도의 유의적인 차이를 설명하기 위해서는 백령도 주변의 육상 기원에 의한 수은 유입을 조사할 필요성이 있다. 백령도의 경우, 한강, 임진강 등 육상으로부터 기원될 만한 요인들과의 거리가 멀기 때문에 국내의 육상기인 오염물질의 영향을 덜 받을 수 있다. 하지만, 백령도와 북한 황해도와의 거리는 불과 20 여 km에 불과하며 중국과도 지리적으로 인접해 있다. 따라서 오염물질의 월경성 유입에 의한 영향이 있을 수 있는데, 향후 북한 연안의 시료종 확보를 통한 분석 및 모델링을 포함

한 백령도 주변 지역의 수은 거동에 대한 종합적인 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 연안환경 오염물질 생태계 영향을 모니터링하기 위한 생물종 발굴의 일환으로 이매패류인 홍합을 대상으로 체내 총수은 함량 분석을 실시하였다. 홍합은 대표적인 모니터링 종인 지중해담치와 같은 속에 해당하는 종으로서 생리적, 생태적 습성이 비슷한 면이 있다. 본 연구의 분석결과, 각 지점별로 총수은 농도가 다르게 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 홍합도 지중해담치와 마찬가지로 서식지 주변의 오염물질을 축적하고 있으며, 모니터링 대상 종으로서의 활용 가능성이 있음을 보여주고 있다고 판단된다. 하지만, 본 연구의 결과만으로는 모니터링 지표종으로서 홍합의 적용성을 제대로 확인하기에는 한계가 있다. 추후 오염물질의 종류나 환경 중 오염도의 차이에 따른 모니터링 결과의 비교가능성 등을 세부적으로 조사하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER 2017-01-01-054).

## REFERENCES

- CBD-CHM KOREA, 2018, <http://www.kbr.go.kr/>
- Choi, H., Park, S. K., Kim, M., 2012, Risk assessment of mercury through food intake for Korean population, *Kor J. Food Sci. Technol.*, 44, 106-113.
- Choi, H. G., Park, J. S., Lee, P. Y., 1992, Study on the heavy metal concentration in mussels and oysters from the Korean coastal waters, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25(6), 485-494.
- Choi, M. K., Yun, S. R., Park, H. J., Lee, J. Y., Lee, I. S., Hwang, D. W., Yoon, M. C., Choi, W. S., 2017, Concentrations and risk assessment of total mercury and methyl mercury in commercial marine fishery from Korea, *Korean J. Fish Aquat. Sci.*, 50(6), 675-683.
- Fliedner, A., Rudel, H., Lohmann, N., Buchmeier, G., Koschorreck, J., 2018, Biota monitoring under the Water Framework Directive: On tissue choice and fish species selection, *Environ. Pollut.*, 235, 129-140.
- Hwang, G. C., Kim, S. J., Song, K. C., Wi, C. H., Park, J. H., 1986, Heavy metal concentration in oyster, *Crassostrea gigas* and blue mussel, *Mytilus edulis* in Hansan-K je Bay, *Bull. Fish. Res. Dev. Agency.*, 37, 201-223.
- Hwang, G. C., Song, K. C., Wi, C. H., Park, J. H., Kim, S. J., 1993a, Heavy metal concentration of sea water and shellfish in Kamak Bay, *Bull. Fish. Res. Dev. Agency.*, 48, 205-215.
- Hwang, G. C., Song, K. C., Wi, C. H., Park, J. H., Kim, S. J., 1993b, Heavy metal concentration of sea water and shellfish in Charanman-Saryangdo and Mirukdo area, *Bull. Fish. Res. Dev. Agency.*, 48, 217-225.
- Incheon Institute of Health and Environment, 2018, The third quarter marine water quality monitoring network management in 2018, Incheon. <http://ecopia.incheon.go.kr/>
- Jeung, H. D., Lee, J. Y., Yanin, L., Park, K. I., Kang, H. S., Kim, C. W., Kim, H. S., Choi, K. S., 2014, Histopathologic observation of the mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) during a spawning season, *Ocean Polar Res.*, 36(2), 121-134.
- Jo, M. R., Kim, K. H., Jo, M. R., Kwon, J. Y., Son, K. T., Lee, H. J., Kim, J. H., Lee, T. S., Kang, S. I., Kim, J. S., 2015, Mercury contamination and risk evaluation in commonly consumed fishes as affected by habitat, *Korean J. Fish Aquat. Sci.*, 48(5), 621-630.
- Kim, J. H., Lim, C. W., Kim, P. J., Park, J. H., 2003, Heavy metals in shellfishes around the South coast of Korea, *J. Fd. Hyg. Safety.*, 18(3), 125-132.
- Kim, M. K., Zoh, K. D., 2013, Fate and transport of mercury in the environmental media and its exposure to human, *J. Public Health.*, 50, 15-26.
- Kim, S. M., 2017, A study on the EU's legislative proposal for a regulation on mercury for the implementation of the Minamata Convention, *J. Kor. Law.*, 17, 1-23.
- Kwon, O. k., Park, K. M., Lee, J. S., 1993, Coloured Shells of Korea, 1<sup>st</sup> ed, Academy Publishing Company., Seoul, 343-344.
- Lee, J. H., Lee, J. C., Choi, J. H., Lee, S. Y., Kim, Y. M., Jang, H. Y., 2017, Understanding of environmental representative specimen: Coastal ecosystem, Korean mussel (*Mytilus coruscus*), National Environmental Specimen Bank, National Institute of Environmental Research.
- Lee, J. H., Lee, J. C., Jang, H. Y., Park, J. H., Choi, J. H., Lee, S. Y., Shim, K. Y., 2017, Mercury concentrations of Black-tailed Gull eggs depending on the egg-laying order for marine environmental monitoring, *J. Environ. Impact Assess.*, 26(6), 538-552.
- Szefer, P., Kim, B. S., Kim, C. K., Kim, E. H., Lee, C. B., 2004, Distribution and coassociations of trace elements in soft tissue and byssus of *Mytilus galloprovincialis* relative to the surrounding seawater and suspended matter of the southern part of the Korean Peninsula, *Environ. Pollut.*, 129, 209-228.
- Szefer, P., K, Ikuta, K, Frelek, I, Zdrojewska, M, Nabrzycki, 1999, Mercury and other trace metals (Ag, Cr, Co, and Ni) in soft tissur and byssus of *Mytilus edulis* from the east coast of Kyushu Island, Japan, *Sci. Total Environ.*, 229, 227-234.
- Wagner, G., Bartel, M., Klein, R., Neitzke, M., Nentwich, K., Paulus, M., Quack, M., 2003, Guideline for sampling and sample treatment, Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), Trier University, Germany.