

성게배아를 이용한 선체부착생물 제거 방법 별 부산물에 대한 위해성 평가 연구

서진영*, 장민철**, 신경순**

*한국해양과학기술원 위해성분석연구센터

**한국해양과학기술원 선박평형수연구센터

e-mail:jyseo@kiost.ac.kr

A study on risk assessment using sea urchin embryo for by-products of each method of removing hull attachment

Jin-Young Seo*, Min-Chul Jang**, Kyoungsoon Shin**

*Risk Assessment Research Center, KIOST, Geoje 53201, Republic of Korea

**Ballast Water Research Center, KIOST, Geoje 53201, Korea

요약

본 연구에서는 한국해양과학기술원의 대양급 R/V 이사부호를 대상으로 선체부착생물 제거 방법에 따라 발생하는 부산물에 대한 위해성 평가를 수행하였다. 선체부착생물 제거방법에 따라 시료는 육상에서 수행된 고압세척용출수 (Water Jet Cleaning Water), 수중에서 다이버에 의해 수행된 수중제거과생물 (In-water Cleaning Water), 수중에서 로봇이 부착생물을 제거한 로봇제거과생물 (Robot Cleaning Water)로 구분되었다. 이 시료들을 확보 후 원액과 0.45 μ m로 여과한 시료에 대해 독성실험을 수행하였다. 독성실험에는 연안에서 주로 서식하고 있는 둥근성게의 배아를 이용하였고, 수정률 실험을 통해 위해성을 평가하였다. 그 결과, 로봇제거과생물 중 원액시료의 독성이 가장 강한 것으로 나타났고 (EC₅₀: 0.33%), 다음으로 수중제거과생물의 독성이 강한 것으로 나타났다 (EC₅₀: 1.5%). 그 외에도 로봇제거과생물이 로봇 내 필터를 통과한 시료 (RIWC)와 고압세척용출수의 독성도 상대적으로 강한 것으로 나타났다. 그에 반해, 원액시료를 여과하여 실험에 사용한 시료들의 독성은 상대적으로 낮게 나타났고, 시료들 중 로봇 내 필터를 통과한 시료 (RIWC)를 다시 실험실에서 여과하여 사용한 시료 (FRIWC)와 수중제거과생물을 여과하여 사용한 시료의 EC₅₀이 각각 30.9%와 30.6%로 가장 낮았다.

1. 서론

선체에 생물이 부착되면 선박의 에너지 효율이 감소되고, invasive species와 같은 문제가 발생하는 등 해양생태계에도 악영향을 미친다. 이러한 선체에 부착된 생물을 제거하기 위해 수중다이버에 의한 수중 청소 및 육상에서 고압세척법이 주로 이용되고 있다. 선체 부착생물을 제거하는 과정에서 탈각된 페인트 조각과 함께 방오페인트에 함유된 물질이 생물과 함께 탈각되고 용출되어 나온다. 선체 생물 부착을 방지하기 위해 사용되는 방오페인트 내에는 살조물질 (Biocide)이 포함되어 있다. 선체부착생물 제거 과정에서 발생하는 생물 잔해 및 방오도료는 곧바로 해저 바닥으로 떨어져 항만 고유 생태계를 교란시켜 심각한 오염을 야기한다. 본 연구에서는 선체부착생물 제거 과정에서 발생하는 과생물에 대한 위해성 평가를 연안에 서식하는 생물 중 하나인 둥근성게의 배아를 이용하여 수행해 보고자 한다.

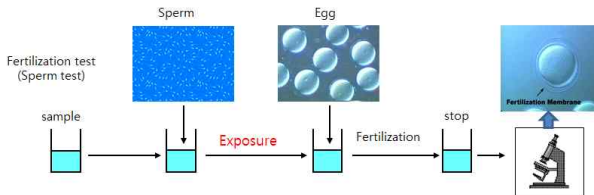
성게는 민감도가 좋고 실험 방법이 간단하여 전 세계적으

로 환경 평가 및 모니터링에 많이 이용되고 있다 (Nacci *et al.*, 1986; Dinnel *et al.*, 1987). 수정률 실험은 정자가 오염물질에 어느 정도의 영향을 받는지를 파악하는 것으로, 건강한 정자를 일정시간 동안 오염물질에 노출시킨 후 알을 넣어서 수정률을 측정하는 방법이다 (Nacci *et al.*, 1986; Dinnel *et al.*, 1987; Carr *et al.*, 1996). 수정 실험은 절차가 간단하며, 한 쌍의 어미로부터 얻은 배우체를 이용하여 동시에 많은 양의 시료를 한꺼번에 분석할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 선체부착생물 제거과정에서 발생하는 과생물에 대한 위해성 평가를 둥근성게의 배아를 이용하여 수행해 보고자 한다. 그를 위해 한국해양과학기술원의 R/V 이사부호에서 채집한 고압세척용출수 (water jet cleaning water), 수중에서 다이버가 브러쉬로 선체 부착생물을 제거한 후 발생한 과생물 (In-water cleaning water), 그리고 수중에서 로봇을 활용해 선체부착생물을 제거하고 그 과정에서 발생한 과생물 (Robot cleaning water)에 대해 위해성 평가를 수행해 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

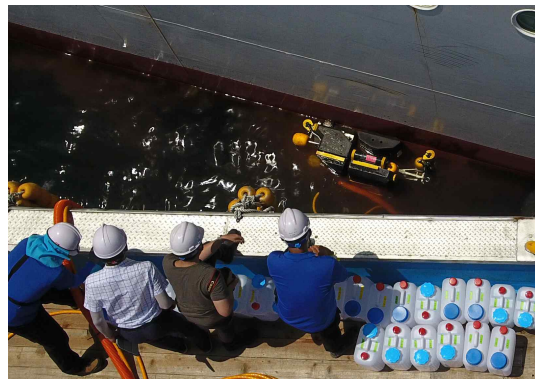
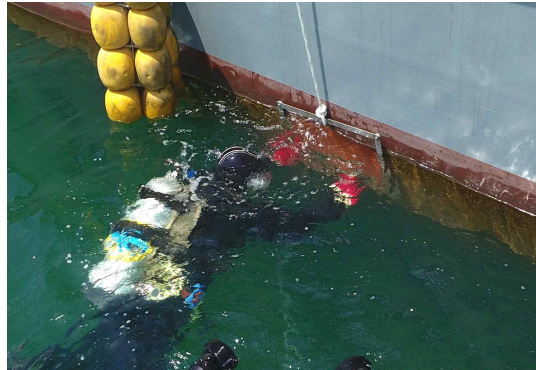
실험에 사용된 등근성게(*Mesocentrotus nudus*)는 경남 거제도 주변해역에서 잠수작업을 통하여 채집되었다. 채집된 성게 어미를 실험실로 옮겨 2 톤 용량의 수조에 실험이 실시되기 전까지 사육하였다. 사육하는 동안 먹이로는 건조된 다시마 (*Laminaria* sp.)를 공급하였고, 물은 2일에 1회 1/2씩 환수하였고, 사육수의 온도는 18℃로 조절하였다. 성게를 이용한 독성실험은 ASTM (1995)과 USEPA (1995)의 표준지침서를 Lee (2000) 및 Won (2000)에 의해 수정된 방법을 적용하여 수행하였다. 성게를 이용한 독성 실험의 최종반응(endpoint)으로는 수정률과 발생률의 두 가지가 있으며, 본 조사에서는 수정률을 최종반응으로 선택하였다(그림 1). 수정률 실험은 정자를 시료에 노출시켜 정자의 활력이 얼마나 감소하는지를 알아보는 실험이다.



[그림 1] 성게 수정률 실험 과정 모식도

시료는 선체부착생물의 제거 방법에 따라 구분하였다(그림 2). 실험 농도는 각 물질을 여과해수로 희석한 용액을 사용하였고, 농도는 10배수로 희석하여 사용하였다. 대조실험을 위해 거제 장목만의 해수를 여과하여 사용하였고, 모든 실험의 희석수 역시 여과한 해수를 사용하였다. 실험에 사용한 sample list는 다음과 같다.

- WCW: 고압세척수 용출수 (Water jet Cleaning Water)
- Whole_ICW: 수중제거과생물 (In-water Cleaning Water)
- Filter_ICW: Whole_ICW를 0.45 μ m로 여과한 시료
- RC (Robot Control): Robot을 통과한 해수
- Whole_RCW: Robot brushing을 통해 채집된 In-Water Cleaning water
- Filter_RCW: Whole_RCW를 0.45 μ m로 여과한 용액
- RIWC: Robot In-Water Cleaning water (로봇 내 필터를 통과한 시료)
- FRIWC: RIWC를 실험실에서 다시 0.45 μ m로 여과한 용액

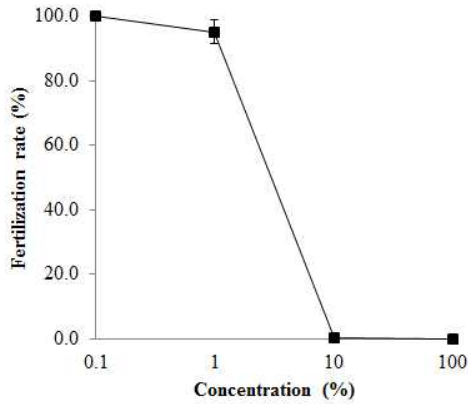


[그림 2] 육상에서 고압수로 선체 부착생물을 제거하는 모습(상), 수중에서 다이버가 브러쉬로 부착생물을 제거하는 모습(중), 수중에서 로봇이 부착생물을 제거하는 모습(하)

3. 결과 및 고찰

3.1. 고압세척용출수 (WCW)

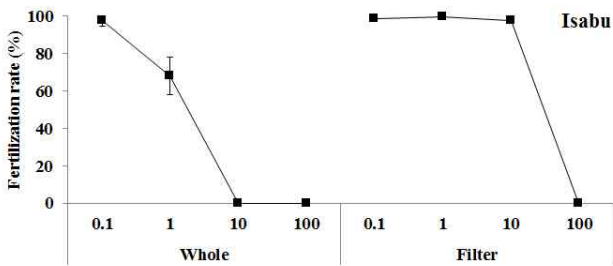
이사부호 고압세척용출수에 대한 등근성게 수정 실험 결과, 원액(100%)과 10배 희석액(10%)에서는 수정률이 각각 0%, 0.2%로 매우 낮았다. 100배 희석액(1%)에서는 수정률이 95.2%로 대조구와 통계적으로 차이를 보이지 않았다(그림 3). 이사부호의 water jet 샘플의 경우 원액을 실험에 사용하였기 때문에 시료 내 입자성 물질에 의한 영향을 파악하기 위해 시료를 여과하여 실험을 재수행하였다. 그 결과, 여과 전과 동일하게 원액과 10배 희석액에서는 수정률이 거의 0%로 매우 낮았고, 100배 희석액에서부터 수정률이 90%이상으로 나타났다.



[그림 3] 이사부호 고압세척수용출액 (Water Jet Cleaning Water: WCW)에 대한 등근성계 수정률

3.2. 수중제거과생물 (ICW)

Whole_ICW은 100%와 10% 용액에서 수정률이 0%였고, 1% 용액에서는 수정률이 68%, 0.1% 용액에서는 수정률이 97.5%였다 (그림 4). Filter_ICW는 100% 용액에서만 수정률이 0%였고, 10%부터 0.1% 용액에서는 수정률이 모두 90% 이상으로 나타났다. Whole과 Filter의 EC₅₀은 각각 1.5%, 30.6%였다.

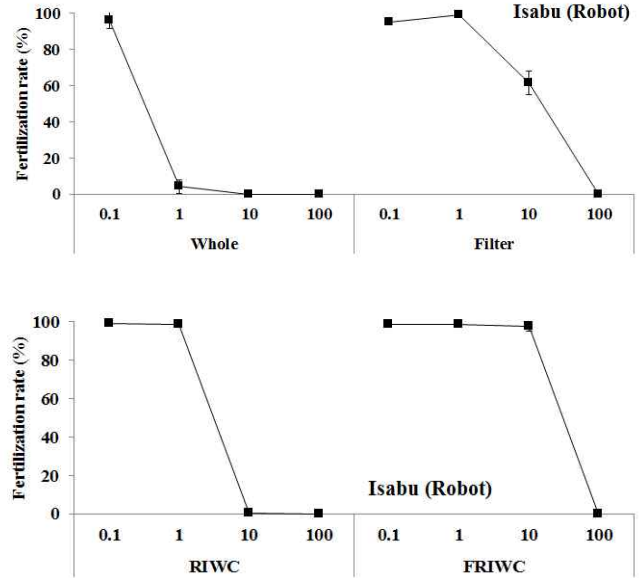


[그림 4] 이사부호 수중제거과생물 (In-water Cleaning Water: ICW)에 대한 등근성계 수정률

3.3. 수중로봇제거과생물

Whole_RCW은 10%, 100% 용액에서 모두 수정률이 0%였으며, 1% 용액에서도 수정률이 4.3%로 매우 낮았다. Filter_RCW은 100% 용액에서는 수정률이 0%였으나, 0.1%와 1%용액에서는 수정률이 90%이상으로 높았고, 10% 용액에서도 수정률이 61.4%로 나타났다 (그림 5). RIWC는 0.1%와 1% 용액에서는 수정률이 90%이상으로 나타났고, 10%와 100% 용액에서는 수정률이 거의 0%였다. FRIWC는 100% 용액에서는 수정률이 0%였으나, 0.1%, 1%, 10% 용액에서는 수정률이 90%이상으로 높게 나타났다. 이사부호 RCW에 대한 등근성계 독성 시험 결과, EC₅₀은 Whole_RCW 0.33%, Filter_RCW 12.9%, RIWC 3.2%, FRIWC 30.9%로 Whole_RCW의 독성이 가장 강한 것으로 나타났다,

Whole_RCW > RIWC > Filter_RCW > FRIWC의 순으로 독성이 나타났다.



[그림 5] 이사부호 로봇제거과생물 (Robot Cleaning Water: RCW)에 대한 등근성계 수정률

연구결과, 이사부호의 선체부착생물 제거 방법 중 가장 위해도가 높은 제거 방법은 로봇에 의한 수중제거 과생물이었다. 실제 이사부호의 페인트 내 성분 중 가장 높은 비중을 차지하는 중금속은 Cu와 Zn이었고, 그 외에도 Mn, Fe, Ba, Ni 등의 농도가 상대적으로 높게 나타났다. Biobide의 농도는 ZnPT와 CuPT의 농도가 높은 것으로 나타났다 (한국해양과학기술원, 2018). 제거방법에 따른 화학물질의 정량적인 데이터가 없어 직접적 비교는 어려웠으나, 높은 농도를 보인 화학물질은 모두 성계 배아에 독성을 미치는 것으로 알려진 물질들이다. 또한 연구기간 동안 이사부호의 페인트 교체 작업은 수행되지 않은 점을 고려할 때, 선체부착생물을 제거하는 강도에 따라 독성의 강도가 달라지는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 한국해양과학기술원의 대양급 R/V 이사부호를 대상으로 선체부착생물 제거 방법에 따라 발생하는 부산물에 대한 위해성 평가를 수행하였다. 실험에는 연안에서 주로 서식하고 있는 등근성계의 배아를 이용하였고, 수정률 실험 (EC₅₀)을 통해 위해성을 평가하였다. 그 결과, 로봇제거 과생물 중 원액시료의 독성이 가장 강한 것으로 나타났고 (EC₅₀: 0.33%), 다음으로 수중제거과생물 (ICW)의 독성이 강한 것으로 나타났다 (EC₅₀: 1.5%). 그 외에도 RIWC (로봇 내 필터를 통과한 시료)와 고압세척용출수 (WCW)의 독성도 상대적으로 강한 것으로 나타났다. 그에 반해, 원액시료를 여과

하여 실험에 사용한 시료들의 독성은 상대적으로 낮게 나타났다.

참고문헌

- [1] 한국해양과학기술원, 미래구제대응 선박부착생물제어기술 위해성 평가기법개발: 수중제거기술 (BSPE9956-11460-3), 2018년..
- [2] Carr RS, ER Long, HL Windom, DC Chapman, G Thursby, G Sloane and DA Wolfe, Sediment quality assessment studies of Tampa Bay, Florida. Environ. Toxicol. Chem. 15:1218-1231, 1996.
- [3] Dinnel PA, JM Link and QJ Stober. Improved methodology for a sea urchin sperm cell bioassay for marine waters. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 16:23-32, 1987.
- [4] Lee CH, A study on the sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*) bioassay: Sperm and fertilized egg tests. Ph.D. Thesis. Seoul National University. p. 185, 2000.
- [5] Nacci DE, R Walsh and E Jackim, Guidance manual for conducting sperm cell tests with the sea urchin, *Arbacia punctulata*, for use in testing complex effluents. p. 34. In Aquatic Toxicology Testing Manual. USEPA Environmental Res. Lab., Narragansett, RI, 1986.
- [6] Won NI. Sea urchin bioassay using Korean purple sea urchin *Strongylocentrotus nudus*: Standardization of well plate method. MS Thesis. Seoul National University. p. 106, 2000.