

## 말뚝성게 (*Hemicentrotus pulcherrimus*)의 수정 및 배 발생률을 이용한 해양배출 폐기물의 독성평가

황운기\*, 류향미, 김성길<sup>1</sup>, 박종수, 안경호

서해수산연구소 자원환경과, <sup>1</sup>국립수산과학원 연구과

## Toxicity Assessment of Ocean Dumping Wastes Using Fertilization and Embryo Development Rates in the Sea Urchin (*Hemicentrotus pulcherrimus*)

Un-Ki Hwang\*, Hyang-Mi Ryu, Sung-Gil Kim<sup>1</sup>,  
Jong-Soo Park and Kyoung-Ho An

West Sea Fisheries Research Institute, Fisheries Resources & Environment Division,  
Incheon 400-420, Korea

<sup>1</sup>Marine Environment Management Division, National Fisheries Research &  
Development Institute (NFRDI), Busan 619-705, Korea

### ABSTRACT

Toxicity assessment of ocean dumping wastes (dye waste, urban sewage, food waste) were examined in the fertilization and embryo development rates of the Sea Urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*. Spawning was induced by injecting 1 mL of 0.5 M KCl into coelomic cavity. Males released white or cream-colored sperms and females released yellow or orange-colored eggs. Experiments were began within 30 min the collection of both gametes. The fertilization and embryo development rates test were performed for 10 min and 64 h after fertilization, respectively. The fertilization and embryo development rates in the control condition (not including ocean dumping wastes sludge elutriate) were greater than 90%, but suddenly decreased with increasing of ocean dumping waste sludge elutriate concentrations. The fertilization and normal embryogenesis rates were significantly inhibited in all waste sludge elutriate from dye waste ( $EC_{50}=4.37$ ;  $EC_{50}=1.76$ ), urban sewage ( $EC_{50}=5.79$ ;  $EC_{50}=2.00$ ) and food waste ( $EC_{50}=7.68$ ;  $EC_{50}=2.16$ ), respectively. The NOEC (< 3.13) and LOEC (3.13) of fertilization and normal embryogenesis rates very similar in all waste sludge elutriate. These results suggest that biological assay using the fertilization and embryo development rates of *H. pulcherrimus* are very useful test method for the ecological toxicity assessment of ocean dumping wastes.

**Key words** : *Hemicentrotus pulcherrimus*, fertilization rate, embryogenesis, ocean dumping wastes, toxicity

### 서 론

\* To whom correspondence should be addressed.  
Tel: +82-33-660-8533, Fax: +82-33-661-3923  
E-mail: vngi1@nfrdi.go.kr

해양은 어업 및 선박 운항, 레저 활동 등으로 다

양하게 이용되고 있을 뿐만 아니라, 인간 활동에 의하여 발생하는 각종 폐기물의 투기 및 배출장소로도 큰 역할을 담당하고 있다(Chapman, 1995; Woodworth *et al.*, 1999). 이것은 해양이 각종 폐기물을 희석하여 오염물질로 인한 피해를 완화해 준다는 것에서 비롯되었으나(Fairweather, 1990), 해양이 대량으로 유입되는 모든 오염물질에 대해 자정작용을 할 수 있는 것은 아니기 때문에, 인류는 해양의 자정능력을 넘어서는 오염행위에 대해서는 대책을 세워야 한다. 현재, 우리가 인위적으로 해양에 투기하고 있는 폐기물은 육상처리 부담을 경감시키고 하천 및 연안을 보호한다는 목적으로 해양오염방지법에 의해 지난 1988년 도입되어, 현재 연안에서 멀리 떨어진 3개 해역이 해양투기지역으로 지정되어 있다. 폐기물 육상처리의 제한 및 재활용 저조, 재활용품에 대한 수요처 확보 어려움 등에 따라 육상위주의 폐기물 정책으로 1995년에는 약 1,000만 톤이라는 대량의 육상 폐기물이 바다에 버려졌다. 그 이후 해양환경 보전에 대한 국민적 관심 증가로 해양폐기물의 양은 급격히 감소하는 추세에 있다(해양수산부, 2007). 하지만, 경제발달과 더불어 우리가 인위적으로 만들어 사용하는 물질이 다양화 되면서 염색폐수처리오니, 하수오니, 축산폐수 및 음폐수와 같은 폐기물에 포함된 오염물질은 급격히 증가될 것으로 판단된다. 폐기물에 포함된 다양한 오염물질은 해양환경을 악화시킬 뿐만 아니라 먹이사슬을 통해 수산생물에 축적되어 이를 섭취하는 인류의 건강에까지 악 영향을 미칠 수 있다. 특히, 산업활동으로 인해 방출되는 폐기물은 생화학적산소요구량(BOD: Biochemical Oxygen Demand)과 부유물질농도가 높고, 고농도의 독성물질을 포함하기 때문에 생물체를 치사시킬 확률이 높아, 생물검정을 통한 영향을 사전에 판단할 필요가 있을 것으로 판단된다.

환경오염물질이 생물체에 미치는 영향은 오래전부터 무척추동물을 대상으로 진행되어 왔으며(Okubo and Okubo, 1962; Kobayashi, 1971; Lonning and Hagstrom, 1975), 이 중 성게는 유용수산 생물자원으로 산란시기가 차이가 있기 때문에 연중 시험생물로 이용할 수 있다(Hwang *et al.*, 2008). 또한, 수정 및 배 발생률과 같은 초기생활사를 독성평가에 이용함으로써, 민감성이 뛰어날 뿐만 아니라 짧은 시간 내에 평가할 수 있다는 장점 때문에 환경오염물질의 독성평가 재료로 오래전부터 널리 사용되어 왔

다(Kobayashi, 1973, 1977, 1980, 1981; Greenwood, 1983; Dinnel *et al.*, 1989). 이러한 이유로 인해 국내에서도 성게의 수정 및 배 발생단계를 이용한 연구가 진행되었으나(Wui *et al.*, 1992; Yu, 1998, 2004; Hwang *et al.*, 2008, 2009a, b), 다양한 유해물질이 존재하는 해양폐기물질의 독성을 평가한 연구는 대단히 미비한 실정이다. 본 연구는 Hwang *et al.* (2009a)에 의해 발표된 말뚝성게, *Hemicentrotus pulcherrimus*의 수정 및 배 발생률에 관한 시험법을 이용하여, 해양에서 가장 많이 투기되고 있는 유기성 오니류의 일종인 염색폐수처리오니, 하수처리오니 및 식품처리오니의 독성 평가를 실시하였다.

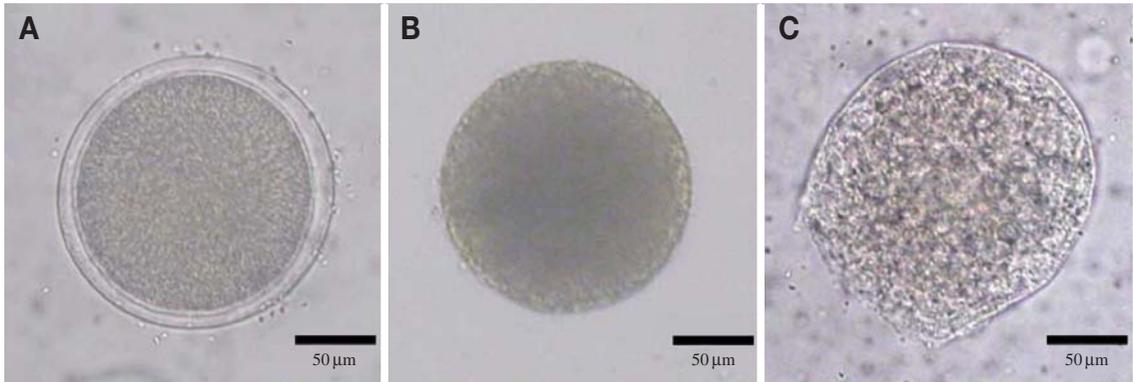
## 재료 및 방법

### 1. 실험생물 및 채집

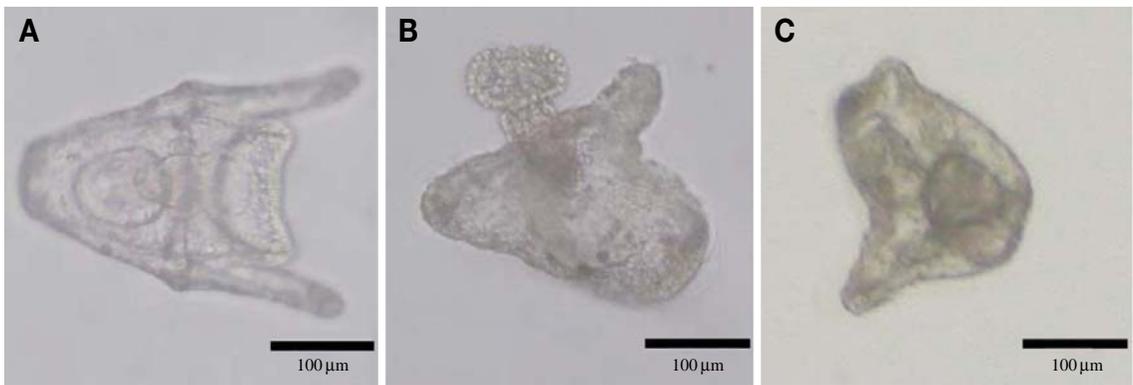
본 연구에 사용된 시험생물은 분류학적으로 극피동물문(Echinodermata)의 일종인 말뚝성게(*Hemicentrotus pulcherrimus*)로 우리나라 전 연안의 암반 지역에 널리 분포하고 있으며, 서식지역의 수온에 따라 산란시기가 다르고 조간대 지역에 서식하고 있어 성숙한 개체를 오랫동안 손쉽게 채집할 수 있다. 시험 생물은 2008년 주 산란시기인 3~4월에 전라북도 부안군 변산면 격포리 부안종묘 시험장 인근해역의 조간대에서 채취하였다. 채취된 성게는 실험실에 운반하여 약  $15 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 수온에서 1주일 이상 순치하여 실험에 이용하였다.

### 2. 방정 및 방란

실험에 사용하기 직전에 성게의 표면에 묻어 있을지 모르는 원생동물이나 기타 이물질들을 제거하기 위하여 멸균된 해수를 이용하여 세척 후, 실험에 이용하였다. 방정과 방란을 위해 사용된 실험생물 수는 24개체로, 크기는 각경 3.5 cm 이상 이었으며, 해수는 membrane filter (pore size 0.45  $\mu\text{m}$ )로 여과된 자연해수를 멸균하여 사용하였다. 100 mL의 비이커에 여과된 자연해수를 가득 넣고 생식공이 충분히 잠기게 한 후, 0.5 M KCl 용액 1 mL를 체강내로 주입시켰다. 30분 동안 방정·방란 시켜 얻은 배우자를 정자용액은 1회, 난자용액은 3회 세정하여 실험에 사용하였다(Fujisawa, 1989).



**Fig. 1.** Diagnostic features of normal (A) and abnormal (B, C) fertilized egg in the sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*.



**Fig. 2.** Diagnostic features of normal (A) and abnormal (B, C) pluteus in the sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*.

### 3. 폐기물의 추출

실험에 이용된 3종의 폐기물(염색폐수처리오니, 하수처리오니 및 식품폐수처리오니)은 위탁업체에서 배출업체로 운반된 차량으로부터 채취해, 독성실험을 위하여 냉동 보관 후 실험에 사용하였다.

폐기물 50 g에 0.45  $\mu\text{m}$ 으로 여과된 멸균해수 450 mL를 1L 테프론 진탕용기에 넣어 진폭 4~5 cm로 6시간 진탕시켰다. 진탕 후, 고형물질을 제거하기 위하여 2~3시간 동안 침전시켰으며 그 후, 4,000 rpm에 20분간 원심 분리하여 상등 액을 추출액으로 사용하였다(Lee *et al.*, 2008; Hwang *et al.*, 2009). 실험에 사용된 폐기물 농도는 다양한 농도범위(0~100%)로 설정된, 사전실험을 통하여 0, 3.13, 6.25, 12.50, 25.00, 50.00%의 6개 농도구로 설정되었다.

### 4. 수정률 및 배 발생률을 이용한 생물검정

각각의 폐기물 시료에 방정과 방란을 통해서 얻은 정자를 30분씩 노출시키고, 난자를 접촉해 10분 경과 후 수정막의 형성 유·무로 수정률을 파악하였다. 수정막의 유·무는 cap tube에 분주하여 formalin 용액(3%)으로 고정해 광학현미경으로 관찰하였다(Fig. 1).

정상적인 배 발생률은 난자를 첨가한지 64시간에 formalin 용액(3%)으로 고정해 광학현미경으로 관찰하여, 정상과 비정상(작은 크기 혹은 기형) pluteus으로 나누어 관찰하였다(Pagano *et al.*, 1985a, b; Hwang *et al.*, 2009a)(Fig. 2).

실험은 각 폐기물로부터 추출해 조성한 실험농도 별로 3회를 실시한 후, 실험 액에 노출된 100개 이

**Table 1.** Experimental culture conditions using the sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*

Test parameters	Conditions
Culture type	Static non-renewal 10 min ~ 64 h toxicity test
Photoperiod	Ambient light condition and 8L : 16D periods
Temperature	16 ± 0.5°C
pH	7.8 ~ 8.2
Salinity	32 ± 1.0
Chamber volume	80 mL glass
Solution	Filtered (0.45 µm) and sterilized seawater
Solution exchange	None
Experiment period	10 min ~ 64 hr
Investigation item	Fertilization, larval development rates
Acceptability criterion	>90% fertilized eggs and pluteus larvae at control

상의 배아를 3회 반복 계수하여 고정된 배아 수에 대한 정상적인 배아 수의 백분율을 산출하였다. 이들 결과를 이용하여 폐기물의 독성을 평가하기 위하여 수정 및 배 발생률에 대한 반수영향농도 (50% Effective Concentration, EC<sub>50</sub>)와 95% 신뢰구간 (95% Confidence Limit, 95% CI)를 probit 통계법을 이용하여 분석하였다. 또한, 무영향관찰농도 (No Observed Effective Concentration, NOEC), 최소영향관찰농도 (Lowest Observed Effective Concentration, LOEC)는 Dunnett's test를 이용하여 분석하였다.

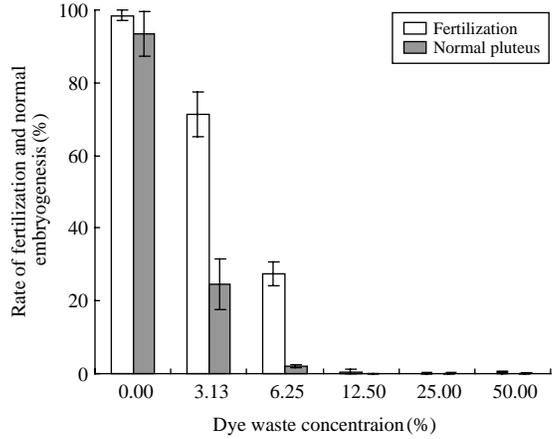
**5. 배양조건**

실험에 사용된 폐기물 농도를 조성한 배양액의 pH는 7.8~8.2, 온도는 16 ± 0.5°C를 유지하는 배양 조건으로 조성하였다. 적정량의 정자 첨가를 위한 사전실험을 통하여 정자는 2,000~2,500배 희석하였으며, 실험수 1 mL에 수정란 1,500~2,000개를 첨가해 Table 1의 조건으로 배양하였다 (Hwang *et al.*, 2009a).

**결 과**

**1. 수정 및 배 발생률의 변동**

각기 다른 염색, 하수 및 식품폐수처리오니의 추



**Fig. 3.** Changes in the rate of fertilization and normal embryogenesis according to the dye waste in the sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*. Vertical bars represent the SE of the mean for three times.

출물을 여과된 자연해수를 이용해 0, 3.13, 6.25, 12.50, 25.00 및 50.00%의 농도로 조성하여 독성실험을 실시하였다. 실험 농도별로 정자를 30분간 노출시킨 후, 난자에 첨가하여 10분경과 후에 수정막의 유·무로 수정률을 나타냈으며 (Fig. 1), 배 발생률은 수정 후 64시간에 정상 pluteus 유생을 계수하여 백분율로 나타내었다 (Fig. 2).

해양폐기물의 추출물을 첨가하지 않은 대조구에서의 수정률은 98.49%를 나타냈고, 배 발생률은 93.64%를 나타냈으나, 6.25%의 염색폐수처리오니 추출물을 첨가한 해수에서의 수정률은 27.54%를 나타냈고, 배 발생률은 최소농도인 3.13%에서 24.68%로 급격히 감소하였다. 염색폐수처리오니의 추출물 농도가 증가할수록 수정 및 배 발생률은 급격히 감소해 12.5%의 염색폐수처리 농도에서 각각 0%를 나타냈다 (Fig. 3).

하수처리오니 추출물의 경우는 6.25% 첨가한 실험구에서 수정률은 40.32%를 나타냈고, 배 발생률은 최소농도인 3.13%의 농도에서 24.68%로 급격히 감소하였다. 추출물 농도가 증가할수록 수정 및 배 발생률은 급격히 감소해 12.5%의 농도에서는 26.57%와 0%를 각각 나타냈으며, 50%의 농도에서는 모두 0%를 나타내었다 (Fig. 4).

식품폐수처리오니 추출물도 6.25% 첨가한 실험구에서 수정률 및 배 발생률은 각각 60.44%와

2.63%로 급격히 감소했다. 식품폐수처리오니도 추출물 농도가 증가할수록 수정 및 배 발생률은 급격히 감소해 12.25%의 농도에서는 28.46%와 0%를 각각 나타냈으며, 50%의 농도에서는 모두 0%를 나타내었다 (Fig. 5).

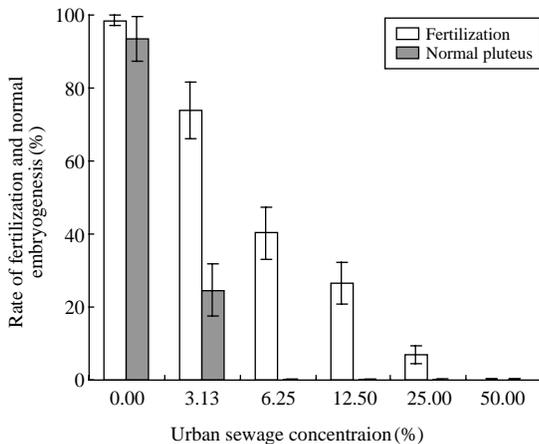
## 2. 수정 및 배 발생률을 이용한 독성평가

염색폐수, 하수처리 및 식품폐수처리오니의 추출물이 *H. pulcherrimus*의 수정 및 배 발생률에 미치는 영향에 대한 실험결과를 바탕으로, probit 통계법

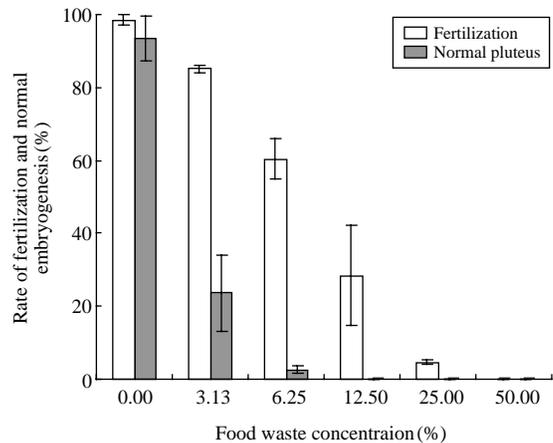
을 이용해 EC<sub>50</sub>와 95% CI를 산출하였고, Dunnett's test을 이용하여 산출한 NOEC와 LOEC을 산출하여 Table 2에 나타내었다.

염색폐수처리오니의 추출물에 대한 수정률의 EC<sub>50</sub>은 4.37%를 나타냈고, 배 발생률에 대한 EC<sub>50</sub>은 1.76%를 나타냈으며, EC<sub>50</sub>에 대한 95% CI는 수정률의 경우 4.12~4.61%, 배 발생률은 1.44~2.03%를 나타냈다. 수정 및 배 발생률의 NOEC는 3.13%미만을 나타냈으며, LOEC는 최소농도인 3.13%를 나타냈다 (Table 2).

하수처리오니의 추출물에 대한 수정률의 EC<sub>50</sub>은



**Fig. 4.** Changes in the rate of fertilization and normal embryogenesis according to the urban sewage in the sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*. Vertical bars represent the SE of the mean for three times.



**Fig. 5.** Changes in the rate of fertilization and normal embryogenesis according to the food waste in the sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*. Vertical bars represent the SE of the mean for three times.

**Table 2.** Toxicological estimation using the form of a fertilization membrane and normal pluteus in the *Hemicentrotus pulcherrimus* exposed to ocean dumping wastes sludge elutriates

Items	Toxicity (End-points)	Wastes sludge elutriate (%)		
		Dye waste	Urban sewage	Food waste
EC <sub>50</sub>	Fertilization membrane	4.37	5.79	7.68
	Normal pluteus	1.76	2.00	2.16
95% CI	Fertilization membrane	4.12~4.62	3.96~7.68	7.16~8.22
	Normal pluteus	1.44~2.03	1.60~2.35	1.77~2.46
NOEC	Fertilization membrane	< 3.13	< 3.13	< 3.13
	Normal pluteus	< 3.13	< 3.13	< 3.13
LOEC	Fertilization membrane	3.13	3.13	3.13
	Normal pluteus	3.13	3.13	3.13

EC<sub>50</sub>: 50% Effective concentration, 95% CI: 95% Confidence limit, NOEC: No observed effective concentration, LOEC: Lowest observed effective concentration.

5.79%를 나타냈고, 배 발생률의 EC<sub>50</sub>은 2.00%를 나타냈으며, EC<sub>50</sub>에 대한 95% CI는 수정률의 경우 3.96~7.68%, 배 발생률은 1.60~2.35%를 나타냈다. 수정 및 배 발생률의 NOEC는 3.13% 미만을 나타냈으며, LOEC는 최소농도인 3.13%를 나타냈다 (Table 2).

식품폐수처리오니의 추출물에 대한 수정률의 EC<sub>50</sub>은 7.68%를 나타냈고, 배 발생률에 대한 EC<sub>50</sub>은 2.16%를 나타냈으며, EC<sub>50</sub>에 대한 95% CI는 수정률의 경우 7.16~8.22%, 배 발생률은 1.77~2.46%를 나타냈다. 수정 및 배 발생률의 NOEC는 3.13% 미만을 나타냈으며, LOEC는 최소농도인 3.13%를 나타냈다 (Table 2).

## 고 찰

해양생물을 이용하여 해양에 유입되는 독성을 평가하기 위한 연구들이 활발하게 진행되고는 있지만 (Hwang *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2008), 시험생물종과 노출시기와 같은 시험방법의 차이로 인해 독성의 영향은 다양하게 나타날 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 시험방법을 단일화 시키고, 시험생물 종으로서의 이용가능성을 파악하는 기초연구는 대단히 중요하다. 이러한 기초 연구를 통해서 해양생태독성을 정확하게 평가할 수 있는 공정시험법을 만드는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 이런 연구의 일환으로 말뚝성게 (*Hemicentrotus pulcherrimus*)의 수정 및 배 발생률에 관한 시험법이 해양에 유입되는 폐기물의 독성을 평가하기에 적절한 시험법인가를 평가하고자 하였다.

본 실험에서 폐기물을 첨가하지 않은 대조 실험구에서는 수정 및 배 발생률의 실험결과가 매번 90% 이상을 나타내, 시험기준에 적합한 재현성을 나타냈다. 실험에 사용한 3종 폐기물 처리오니의 추출액으로 조성된 시험에서 *H. pulcherrimus*의 수정은 대부분 6.25%에서, 배 발생률은 최소농도인 3.13%에서 급격히 감소하였다. 또한, 폐기물 처리오니 농도 증가와 더불어 수정 및 배 발생률이 급격히 감소해 농도 의존성이 뚜렷하게 나타나, *H. pulcherrimus*의 수정 및 배 발생률에 관한 실험은 해양폐기물의 독성평가에도 적합한 것으로 판단된다. 동일 폐기물 처리오니의 추출물 농도에서 배 발생률의 경우는

3.13%의 농도에서 수정률은 6.25%의 농도에서 급격히 감소하는 것으로 나타나 배 발생률이 수정률보다 저해현상이 더 민감하게 나타났다. 이는 pluteus 유생시기의 배아가 유해물질에 더 오랫동안 노출되어 배 발달 과정시 저해정도가 증가되었을 것으로 판단된다 (Hwang *et al.*, 2008; Hwang *et al.*, 2009a, b). 또한, 폐기물처리오니의 추출물에 의해 pluteus 유생 이전 시기부터 영향을 받았다 할지라도, 형태적으로 분화정도가 진전된 pluteus 유생시기의 배아가 독성에 대해 증폭되어 표현되기 때문에 pluteus 형성 시기가 수정률에 비해 더욱 민감하게 나타나는 것으로 판단된다 (Wui *et al.*, 1992; Hwang *et al.*, 2008; Hwang *et al.*, 2009a, b).

해양에 유입되는 폐기물이 *H. pulcherrimus*의 수정 및 배 발생률에 미치는 영향을 단순히 EC<sub>50</sub>만으로 독성의 강·약을 판단한다면, 염색폐수처리오니 > 하수처리오니 > 식품폐수처리오니 순으로 나타났다. Lee *et al.* (2008)이 발표한 해산 규조류 (*Skeletonema costatum*)의 개체군 성장률에 대한 독성실험 결과는 하수처리오니 > 염색폐수처리오니 > 식품폐수처리오니 순으로 독성이 강한 것으로 나타나, 현재의 결과와는 다소 차이를 나타내고 있다. 이러한 결과를 바탕으로 보면, 해양생물을 이용한 유해물질의 영향은 시험 종에 따라 상이한 결과가 나타날 수 있으므로, 단일 종에 대한 생물검정을 실시하기 보다는 생태적 위치가 다른 다양한 종을 이용하는 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다 (Walsh and Alexander, 1980).

*H. pulcherrimus*의 수정 및 배 발생률을 이용한 본 실험에서 3종의 폐기물 추출액에서 동일하게 NOEC는 <3.13%로 나타났으며, LOEC는 최소농도인 3.13%로 나타나, 유해물질의 독성에 대단히 민감한 것으로 판단된다. 해조류인 파래의 포자 형성률을 이용한 염색폐수처리오니 추출물에 대한 EC<sub>50</sub>은 13.45%를 나타냈고, NOEC는 6.25% 미만을, LOEC는 6.25%를 나타내 (Han *et al.*, 2008), *H. pulcherrimus*에 비해서는 독성에 다소 덜 민감한 것으로 나타났으며, 저서요각류인 경우에도 염색폐수처리오니에 대한 LC<sub>50</sub>이 40.40~70.20%, NOEC와 LOEC가 6.25%와 12.50%로 나타나 (Lee *et al.*, 2008), 생태적 위치가 다른 시험 생물종에 따라서 독성의 영향은 차이가 있는 것으로 판단된다. 따라서, 해양생물을 이용하여 생태독성 평가를 실시할

경우에는 반드시 시험조건을 제시해야 하며, 서식환경이 유사한 동일 지역에서 채집된 시험 종을 대상으로해야 할 것으로 판단된다. 이러한 문제점 때문에 해양생태독성 평가를 위한 시험생물 종으로, 실험실 내에서 사육이나 관리가 손쉬운 동·식물 플랑크톤을 중심으로 연구가 진행되어왔다 (Han *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2008). 하지만, 최근에는 수산식품 안전성과 관련하여 해양 오염물질에 대한 국민적 관심이 집중되고 있어, 성게류와 같은 유용 수산생물자원의 영향을 구명하는 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 따라서, 유용 수산생물자원에 대한 새로운 시험법의 개발과 더불어 실험의 재현성을 높이고 실험기관간의 오차를 줄이고 좀더 정확한 결과를 도출하기 위한 공정시험법의 개발이 필요하다.

본 실험실에 이용한 *H. pulcherrimus*의 생물검정 시험법 (Hwang *et al.*, 2009a)은 해양 폐기물의 독성을 평가하기에 적절한 시험법으로 판단되며, 향후 이 시험법과 시험결과가 해양의 생태독성 평가를 위한 공정시험법의 기초 자료로 널리 활용되기를 기대한다.

## 결 론

본 연구는 말뚝성계, *Hemicentrotus pulcherrimus*의 수정 및 배 발생률을 이용해 해양배출 폐기물인 염색폐수처리오니, 하수처리오니 및 식품폐수처리오니의 생태독성을 평가하였다.

3종의 오니추출물에 대해 *H. pulcherrimus*의 수정률은 6.25%에서, 배 발생률은 3.13%에서 급격히 감소하였고, 추출물의 농도가 증가할수록 수정 및 배 발생률이 감소하는 농도의존성을 나타냈다. 염색폐수처리오니에 대한 수정 및 배 발생률의 EC<sub>50</sub>은 4.37과 1.76%로 나타났으며, 하수처리오니의 경우는 5.79와 2.00%, 식품폐수처리오니는 7.68과 2.16%로 나타났다. 3종의 오니추출물에 대한 NOEC는 3.13% 미만 이었고, LOEC는 3.13%로 나타났으며, 말뚝성계의 수정 및 배 발생률에 미치는 독성은 염색폐수처리오니 > 하수처리오니 > 식품폐수처리오니 순으로 나타났다. 이들 결과를 바탕으로 *H. pulcherrimus*의 수정 및 배 발생률은 해양배출 폐기물의 독성을 평가하기 위한 유용한 생물검정시험법으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 국립수산과학원 (RP-2010-ME-033) 경 상과제 연구비로 이루어진 것입니다.

## 참 고 문 헌

- 해양수산부. 폐기물 해양배출 종합관리시스템 (IV), 2007.
- Chapman MG, Underwood AJ and Skilleter GA. Variability at different spatial scales between a subtidal assemblage exposed to the discharge of sewage and two control assemblages, *J Exp Mar Biol and Ecol* 1995; 189: 103-122.
- Dinnel PA, Link JM, Stober QJ, Letourneau MW and Roberts WE. Comparative sensitivity of sea urchin sperm bioassay to metals and pesticides, *Com Toxi* 1989; 18: 748-755.
- Fairweather PG. Sewage and the biota on seashores: assessment of impact in relation to natural variability, *Environ Monit Assess* 1990; 14: 197-210.
- Fujisawa H. Differences in temperature dependence of early development of sea urchins with different growing season, *Ref Biol* 1989; 176: 96-102.
- Greenwood PJ. The influence of an oil dispersant chemserve OSE-DH on the viability of sea urchin gametes. Combined effects of temperature, concentration and exposure time on fertilization, *Aqua Toxicol* 1983; 4: 15-29.
- Han TJ, Han YS, Park GS and Lee SM. Development of marine ecotoxicological standard methods for *Ulva* sporulation test, *Kor J Soc Oceanography* 2008; 13(2): 121-128.
- Hwang UK, Lee CW, Lee SM, An KH and Park SY. Effects of salinity and standard toxic metals (Cu, Cd) on fertilization and embryo development rates in the sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*), *J Environ Sci* 2008; 17(7): 775-781.
- Hwang UK, Rhee CW, Kim KS, An KH and Park SY. Effects of salinity and standard toxic metal (Cu, Cd) on fertilization and embryo development rates in the sea urchin (*Hemicentrotus pulcherrimus*), *J Environ Toxicol* 2009a; 24(1): 9-16.
- Hwang UK, Rhee CW, Kim KS, Kim HC, An KH and Park SY. Toxicity assessment of ocean dumping wastes using fertilization and embryo development rates in the sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*), *J Environ Toxicol* 2009b; 24(1): 25-32.
- Kobayashi, N. Fertilized sea urchin egg as an indicator material for marine pollution bioassay preliminary experi-

- ment, *Pul Seto Mar Biol Lab* 1971; 19: 379-406.
- Kobayashi N. Studies on the effects of some agents on fertilized sea urchin eggs, as a part of the bases for marine pollution bioassay I, *Publ Seto Mar Biol Lab* 1973; 19: 109-114.
- Kobayashi N. Preliminary experiments with sea urchin pluteus and metamorphosis in marine pollution bioassay, *Publ Seto Mar Biol Lab* 1977; 24: 9-21.
- Kobayashi N. Comparative toxicity of various chemicals, oil extracts and oil dispersant to Canadian and Japanese sea urchin eggs, *Publ Seto Mar Biol* 1980; 27: 76-84.
- Kobayashi N. Comparative toxicity of various chemicals, oil extracts and oil dispersant extracts to Canadian and Japanese sea urchin egg, *Publ Seto Mar Biol Lab* 1981; 26: 123-133.
- Lee JS, Lee SM and Park GS. Development of sediment toxicity test protocols using Korean indigenous marine benthic amphipods, *Kor J Soc Ocean* 2008; 13(2): 147-155.
- Lee SM, Park GS, An KH, Park SY and Lee SH. Application of the ecotoxicological standard method using population growth inhibition of marine phytoplankton, *Kor J Soc Ocean* 2008; 13(2): 112-120.
- Lonning, S. and Hagstrom BH. The effects of oil dispersants on the cell in the fertilization and development, *Norw J Zool* 1975; 23: 131-134.
- Okubo K. and Okubo T. Study on the bioassay method for the evaluation of water pollution-II, Use of the fertilized eggs of sea urchins and bivalves, *Bull. Tokai regional Fish Res Lab* 1962; 32: 13-140.
- Pagano G, Cipollaro M, Corsale G, Esposito A, Ragucciand E and Giordano GG. pH-induced changes in mitotic and developmental patterns in sea urchin embryogenesis, I. Exposure of embryos. *Teratogenesis Carcinog Mutagen* 1985a; 5: 101-112.
- Pagano G, Cipollaro M, Corsale G, Esposito A, Ragucciand E and Giordano GG. pH-induced changes in mitotic and developmental patterns in sea urchin embryogenesis, II. Exposure of sperm. *Teratogenesis Carcinog Mutagen* 1985b; 5: 113-121.
- Walsh GE and Alexander SV. A marine algal bioassay method: results with pesticides and industrial waste, *Water Air Soil Pollut* 1980; 13: 45-55.
- Woodworth JG, King C, Miskiewicz AG, Laginestra E and Simon J. Assessment of the comparative toxicity of sewage effluent from 10 sewage treatment plants in the area of Sydney, Australia using an amphipod and two sea urchin bioassays, *Mar Pollut Bull* 1999; 39(1-12): 174-178.
- Wui IS, Lee JB and Yoo SH. Bioassay on marine sediment pollution by using sea urchin embryo culture in the southwest inland sea of Korea, *J Environ Biol* 1992; 10(2): 92-99.
- Yu CM. A study on the effect of heavy metals on embryos formation of sea urchins, *Kor J Env Hlth Soc* 1998; 24(3): 6-10.