

# 참굴(*Crassostrea gigas*) 수정란에 미치는 나노입자의 영향

이병우\* · 박찬일\*\* · 최광수\*\* · 김무찬\*\*\*

\* 경상대학교 해양환경공학과, \*\*, \*\*\* 경상대학교 해양생명과학과

## Effect of Nano Particles on Fertilized Egg of *Crassostrea gigas*

Byeong-Woo Lee\* · Chan-Il Park\*\* · Kwang-Soo Choi\*\* · Mu-Chan Kim\*\*\*

\* Department of Marine Environmental Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 650-160, Korea

\*\* , \*\*\* Institute of Marine Industry, The collage of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong, 650-160, Korea

**요 약** : 나노입자란 직경 100nm 이하의 크기를 가진 입자로 가전, 기능성 화장품, 반도체, 항균제 및 광촉매제 등에 널리 사용되고 있어 본 연구는 9종류의 나노입자가 참굴 수정란에 미치는 영향을 살펴보았다. 나노입자를 첨가하지 않은 대조구에서는 인공 수정한 참굴 수정란의 78%가 D형 유생으로 발생하였다. 은(Ag)이 2% 함유된 AGZ020, Nano silver 및 P-25의 나노입자와 주석산화물인 SnO의 나노입자는 24시간 경과 후 0.05ppm 농도에서 각각 22%, 52%, 58% 및 76%가 D형 유생으로 발생하였으나, 20ppm 농도에서 8시간 이내 참굴 수정란을 모두 파괴하였다. In, Sb, Sn, Zn 및 Ag-TiO<sub>2</sub>의 나노입자는 24시간 경과 후 0.05ppm 농도에서 모두 70%이상의 D형 유생으로 발생하여 상대적으로 낮은 농도에서 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나, 20ppm 농도에서 대조구에 비해 D형 유생 발생율이 각각 57%, 60%, 50%, 65% 및 64%로 저해되었다.

**핵심용어** : 참굴, 나노입자, 수정란, AGZ020, P-25, 은 나노

**Abstract** : A Nano particle is a small particle with at least one dimension less than 100 nm. Nanoparticle is currently used in an area of intense scientific research, due to a wide variety of potential applications in biomedical, optical, and electronic fields. In order to know the biological effect of the nine Nano particles on fertilized egg of *Crassostrea gigas* experiments were performed. Development rates of control (free Nano particles) *C. gigas* to a particular larval stage (D-shape) was 78%. Development rate of *C. gigas* to a particular larval stage (D-shape) after 24 hours exposure to 0.05ppm of AGZ020, Nano silver, P-25 and SnO were 22%, 52%, 58% and 76%, respectively. However, all fertilized eggs were destructed within 8 hours afters exposure to 20ppm of respective paticles. On the other hand, All fertilized eggs were not affected after 24 hours respective exposure to 0.05ppm of In, Sb, Sn, Zn, and Ag-TiO<sub>2</sub> particles. However, development rates of *C. gigas* after 24 hours exposure to 20ppm of In, Sb, Sn, Zn, Ag-TiO<sub>2</sub> were 57%, 60%, 50%, 65%, and 64% respectively.

**Key Words** : *Crassostrea gigas*, Nano particles, fertilized egg, AGZ020, P-25, Nano silver

### 1. 서론

나노(Nano)는 난쟁이를 뜻하는 '나노스(Nanos)'에서 유래되어 10억분의 1이라는 단위로 아주 미세한 물리학적 계량 단위로 쓰이고 있다. 나노기술은 나노미터 크기의 물질들이 갖는 독특한 성질과 현상을 찾아내, 물질을 정렬시키고 조합하여 유용한 성질의 소재나 시스템을 생산하는 과학과 기술을 통칭한다. 지극히 작은 크기가 주는 엄청난 가능성 때문에 국가적인 차원에서 적극적인 개발계획을 마련하는 등 국가 핵심 전략분야로 현재 가장 주목받고 있다.

그러나 나노입자들은 쉽게 파괴되지 않으며, 다른 물질과 쉽게 반응하는 성질, 인간이나 환경에 해로운 물질들을 쉽게 운반하거나 합성할 수 있는 능력, 다른 장소로 쉽게 이동할

수 있는 성질 등을 가지고 있다. 나노입자들의 이러한 특성은 나노 물질을 상업화하는데 장점이면서, 동시에 위험요소로 부각되고 있다. 이처럼 나노입자가 가지는 특성으로 인해 환경 및 인체 유해성 문제에 시급한 과제로 부각되고 있으며, 나노입자의 잠재적 독성에 관한 규제 조치 없이 소비자 제품에 사용되고 있는 것에 대한 우려가 제기되고 있다(최 등, 2007).

2004년미국에서 국가나노기술 전략(NNI: national nano-technology initiative)을 바탕으로 나노입자의 이행 및 변질, 독성 등을 검토하기 시작하였으며, 유럽연합(EU)에서는 NANO SAFE프로젝트 등을 통해 리스크 평가를 행하고 있다. 또한 일본에서도 2005년부터 나노입자의 위험성에 대해 공론화가 시작되어 2006년에는 전년대비 75% 이상의 연구비 지원이 이루어지고 있다(김과 이, 2005). 나노입자가 잠재적 위험성을 지니게 되는 이유는 나노라는 크기 때문인데, 일반적으로 작은 입자일수록, 비표면적이 넓어지면서 생체조직에 대한 악영향을 증가시킨다. 따라서 순작용을 기대하고 나노입자를

\* 대표저자 : fdcfm@nate.com, 055-640-3063

\*\*\* 교신저자 : 종신회원, kmc81@gnsu.ac.kr, 055-640-3063

사용하더라도 반응성을 지니게 되고, 어떠한 물질보다 치명적일 수 있다는 것이다. 나노크기의 입자는 기도나 점막에서 걸러지지 않고 폐포 깊숙이 박히거나 뇌로 이동할 수도 있다. 이와 같이 인체에 어떠한 문제를 일으키는지 정확히 알 수 없지만, 나노입자의 특유 성질로 인한 발현을 무시할 수 없다.

나노입자가 두뇌에 손상을 줄 수 있다는 연구 결과가 발표되었다. 탄소 합성 분자인 버키볼(buckyballs)의 독성 연구를 실시한 결과 나노 입자가 물고기의 두뇌를 손상시켰다. 나노 기술에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 버키볼은 축구공처럼 생긴 탄소로 이뤄진 분자로, 버키볼 하나에 탄소 원자 60~70개로 이뤄져 있다. 버키볼이 수중생물에 주는 영향을 조사하기 위해 물벼룩과 큰입배스(largemouth bass) 두 종류에 독성 테스트를 실시했다. 그 결과 버키볼을 소량 첨가하자 물벼룩 상당수가 죽었으며, 버키볼 500ppm을 첨가한 수조 내의 어린 큰입배스 뇌조직을 조사한 결과 버키볼에 노출되지 않았을 때보다 두뇌 손상이 17배에 달했다(Oberdörster, 2004).

미 환경보호국(EPA) 산하 연구소는 쥐의 신경세포를 보호하는 면역세포(microglia)를 상용화된 나노 입자를 미량 함유한 수용액에 노출시켜 세포변화를 관찰하였다. 그 결과 면역세포(microglia)가 나노입자를 빨아들이며, 또한 세포를 자극하여 활성산소의 생산을 유발했다. 활성산소는 순간적으로 방출되지 않고 1시간 이상씩 장시간 동안 방출함에 따라 주변 신경세포에 손상을 입혔다고 밝혔다(Thomas et al., 2006).

앞으로 수십에서 수 만개의 새로운 나노입자들이 생성될 것으로 예상되어지며, 그에 따라 나노입자에 대한 유해성의 연구도 점차 진행될 것이다.

현재 세계적으로 나노입자들이 해양에 유입이 되었을 경우 어떠한 유해성을 가지고 있는지에 대한 연구는 미비한 실정이기 때문에 본 연구에서 이미 상용화된 나노입자들을 참굴(*Crassostrea gigas*) 수정란에 첨가하여 그에 따른 영향 및 특성에 대해서 알아보았다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 나노입자

본 연구에 사용된 나노입자들은 AGZ020, P-25, Nano silver, In, Sb, Sn, SnO, Zn 및 Ag-TiO<sub>2</sub> 나노입자 등으로 총 9종이며, 영남대학교 이과대학 화학과에서 제공받았다. 이들 나노입자들 중 은(Ag)이 2% 함유되어 있는 AGZ020과 Nano silver의 나노입자는 평균 입자 크기가 20nm정도이며, P-25의 나노입자의 평균 입자 크기는 30-50nm, 그리고 In, Sb, Sn, SnO, Zn 및 Ag-TiO<sub>2</sub>의 나노입자들은 80nm정도의 평균 입자 크기를 가지고 있다.

### 2.2 참굴(*Crassostrea gigas*)

경남 통영시 산양읍에 위치한 경상남도 수산자원 연구소에서 종묘 배양되고 있는 참굴(*C. gigas*)을 실험에 사용하였다. 채묘 한 참굴은 생식소를 절개하여 채란한 후 인공 수정시켰다. 24well Felcon Multi™ plate에 0.45µm Membrane filters로 여과시킨 멸균해수로 각각의 나노입자 농도를 맞추고, 인공 수정된 참굴 수정란을 1ml씩 넣어 실험하였다. 실험이 완료될 때까지 실내(Multi Thermo Incubator Dong won Scientific Co.)와 실외에서 12L:12D의 주기로 23℃를 항상 유지하였다. 관찰 시간은 인공 수정시킨 0시간, 수정란이 제2발생하는 시간인 2시간 후, 상실기로 발생하는 4시간 후, 자유유영 및 회전운동을 시작하는 포배기로 발생하는 6시간, 8시간 후, 담륜자로 발생하는 10시간, 16시간 후, 마지막 D형 유생으로 발생하는 24시간 후로 하였다.

### 2.3 계수측정

참굴 수정란은 파괴 및 비정상적인 발생을 제외한 정상적인 발생단계로 발생하는 것만 계수하였다. 실험은 2회 반복하였으며, 개체수 값은 평균값으로 하였다. 관찰은 NIKON ECLIPSE TS-100 도립 현미경 하에서 실시하였다.

### 2.4 나노입자의 농도

예비실험 결과를 바탕으로 대조구인 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 그리고 20ppm으로 총 10단계 농도로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

참굴 수정란의 소요시간별 발생 단계 형태는 Photo 1에 표시하였다. 인공 수정하기 전의 난의 모습은 A와 같았으며, B는 난과 정자를 인공 수정시키는 모습이다. 인공 수정 후 약 2시간에서 2시간 20분 경과하면, 난의 표면에는 수정막이 생기고, 알은 극체를 방출시키며, 난할기에 들어간다(C). 그리고 인공 수정 후 약 5시간 20분에서 6시간 정도 경과하면 수정란은 난할을 계속하여 상실배를 걸쳐, 자유유영 및 회전운동을 시작하는 포배기(D)로 접어들며, 인공 수정 후 약 9시간 40분에서 10시간이 경과하면 수정란에 섬모환이 생겨 담륜자(E)가 되며, 계속해서 면반(velum)이 발달하며 패각도 만들어져 24시간 후에는 D형 유생(F)으로 되었다.

수정란의 발생과정 단계에서 나노입자에 의해 영향을 받아 파괴되는 모습을 Photo 2에 나타내었다. A는 인공 수정시킨 2시간 후 수정란이 난할기의 발생과정을 이루지 못하고 파괴되는 모습이며, B는 수정란이 난할을 하였지만, 다음 단계인 상실기로 발생되지 않고 파괴되는 모습이다. 그리고 C는 인공 수정된 후 6시간 경과 시점에서 수정란이 포배기로 발생되지 않고 파괴된 모습이다.

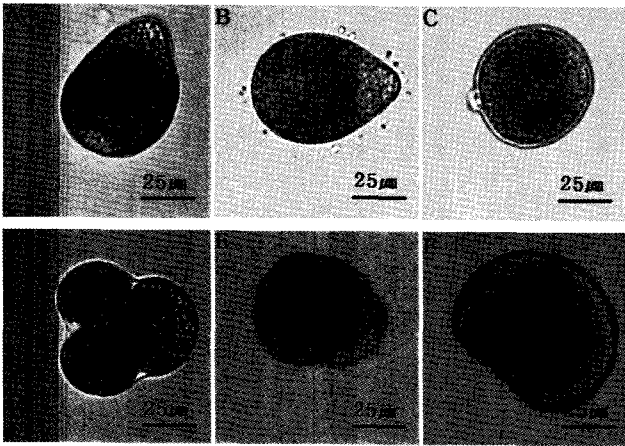


Photo 1. Egg development stages of *Crassostrea gigas* (A: Egg, B: Implantation, C: Fertilized egg, D: Morula, E: Trochophore, F: D-shaped larva).

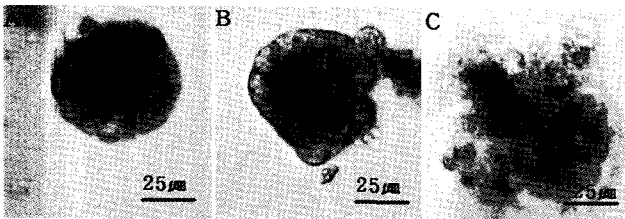


Photo 2. Destruction of a fertilized egg by a nano silver particle(20ppm) during the egg development stages of *C. gigas*.

인공 수정된 수정란에 20ppm 농도로 맞추어진 각 나노입자를 첨가시켜, 나노입자가 수정란에 미치는 유해성을 Fig. 1에 나타내었다. 나노입자를 첨가하지 않은 대조구에서는 인공 수정한 참굴 수정란의 78%가 D형 유생으로 발생하였다.

AGZ020과 Nano silver의 나노입자는 수정란이 상실기로 발생하는 4시간을 경과한 시점에서, 수정란을 모두 파괴시켜 실험한 나노입자 중에서 짧은 시간내 가장 큰 유해성을 보인 것으로 나타났다. 또한 수정란이 포배기로 발생하는 6시간을 경과한 시점에서 SnO 나노입자는 수정란을 모두 파괴시켰으며, P-25 나노입자도 90%를 파괴하여 실험한 9종의 나노입자들 중에서 유해성이 큰 것으로 나타났다. In, Sb, Sn, Zn, 및 Ag-TiO<sub>2</sub> 나노입자를 첨가한 경우 D형 유생 발생률이 각각 57%, 60%, 50%, 65% 및 69%로 대조구에 비해 유해성을 보였지만, AGZ020, Nano silver, P-25의 나노입자 및 SnO의 나노입자에 비해서 상대적으로 미약한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 나노입자가 참굴 수정란 발생단계에 유해성을 미친 것으로 보이지만, 나노입자 성분에 따라서 그 차이가 크다는 것을 알 수 있었다. 특히 AGZ020, Nano silver 및 P-25의 나노입자가 유해성이 크게 나타난 것은 이들 나노입자에 함유된 은(Ag)의 영향으로 생각된다.

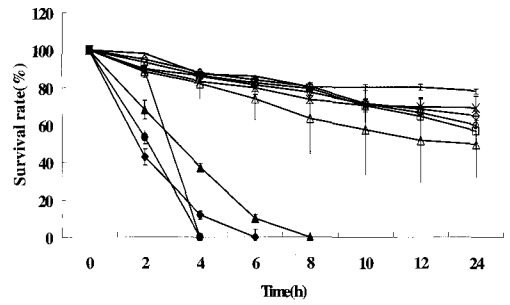


Fig. 1. Effect of various nano particles on fertilized egg of *C. gigas*, at 20ppm concentration(■:control, ▲:AGZ020, ◆:P-25, ◆:Nano silver, ◆:SnO, ◆:In, ◆:Sb, ◆:Sn, ◆:Zn, ◆:Ag-TiO<sub>2</sub>).

AGZ020의 나노입자는 노바론(Novaron)의 한 종류로, 기존의 Zeolite계와 비교시 항균효과의 지속성이 탁월하고, 수용액 및 유기용매에 녹지 않는 특성이 있으며, Nano silver의 나노입자는 병원균의 소화나 호흡, 신진대사를 도와주는 효소 작용을 저해하는 항생제로 650여종의 세균과 바이러스를 살균할 수 있는 것으로 알려져 있다(김, 2004). 또한 P-25의 나노입자는 현재 광촉매로 가장 많이 사용되어지고 있는 물질이지만, 자외선으로 유기물을 분해하는 기능, 환경정화작용(수질, 대기 오염 등), 탈취작용, 항균작용의 기능을 가지고 있는 물질이기도 하다(서 등, 2006). 이와 같이 AGZ020, Nano silver 및 P-25 나노입자의 항균작용은 함유하고 있는 은 이온에 의해 나타난다. 은 이온은 확산에 의해 세포막에 도달하면, 세포막을 이루는 단백질에 흡착됨과 동시에 세포막에 존재하는 효소의 대사기능을 저해하며, 또한 호흡기능을 파괴시키고, 세포질을 누출시키게 만들 뿐만 아니라, 세포막 손상이나 단백질 및 핵산의 불활성화를 초래하여 세포발생을 증식, 억제하는 메카니즘을 가지고 있다(Robert and Charles, 1989; Russel and Hugo, 1994). 또한 세포막을 통과한 은 이온이 세포내 효소의 -SH기와 결합하여 효소의 활동저하로 인해 생육을 억제·사멸시키는 작용도 가지고 있다(Franklin et al., 1989). 이처럼 은(Ag) 이온이 가지는 항균 작용에 의해 참굴 수정란의 발생 단계에 영향을 준 것으로 생각된다. 산소가 결합된 SnO의 나노입자 또한 참굴 수정란의 발생단계에 영향을 미치는 것으로 나타났다. SnO의 나노입자는 유효효과가 우수하며 독성이 없는 것으로 알려져 있는 Sn에 산소를 결합시켜, 가스센서의 감도를 향상시킬 수 있는 광촉매제로(전과 김, 1997; 조 등, 1991), Sn의 나노입자에 비해 D형 유생 발생변화율이 현저히 낮았다. 이는 결합되어 있는 산소가 촉매작용에 의해 부분적으로 활성산소(O<sup>2+</sup>, O<sup>2-</sup>, O)로 전환되고, 활성화 과정에서 생체막의 투과성이 증대하여, 세포의 구조를 손상시키는 기작으로(Alessio, 1993), 수정란의 발생단계에 또한 영향을 미친 것으로 생각된다.

가장 큰 유해성을 보인 AGZ020, Nano silver 및 P-25 나

노입자의 농도별 참굴 수정란에 미치는 영향을 Fig. 2에 나타내었다. 인공 수정된 수정란에 AGZ020 나노입자를 첨가시킨 결과, 인공 수정시킨 2시간 경과 후 모든 농도에서 80% 이상이 난할기에 접어들었지만, 인공 수정 후 4시간이 경과하는 시점에 2ppm과 5ppm에서 각각 21%, 5%, 10ppm과 20ppm에서 모두 파괴되었다. 인공 수정 후 6시간이 지났을 때에는 0.5ppm에서 44%, 1ppm에서 20%만이 포배기로 발생하였다. 24시간 경과 후 0.05ppm에서 22%, 0.1ppm에서 17%만이 D형 유생으로 발생하였을 뿐, 0.5ppm 이상의 농도에서는 D형 유생으로 발생된 것은 전혀 없었다. Nano silver 나노입자의 경우 인공 수정 후 4시간이 경과하는 시점에서 1ppm과 2ppm이 각각 43%, 33%가 상실기로 발생하였지만, 5ppm 이상의 농도에서는 수정란이 모두 파괴되었다. 인공 수정시킨 6시간 후 0.5ppm이, 8시간 후에는 0.1ppm이 각각 49%로 발생과정을 일으켰다. 24시간 경과 후 0.05ppm에서 52%, 0.1ppm에서 50%가 D형 유생으로 발생하였지만, 0.5ppm 이상의 농도에서 D형 유생으로 발생한 수정란은 전혀 없었다. P-25 나노입자는 인공 수정 후 4시간이 경과하면서 5ppm에서 43%, 10ppm에서 42%, 20ppm에서 38%만이 상실기로 발생하였으며, 8시간이 경과하는 시점에 2ppm에서 49%만이 포배기로 발생하였다. 24시간 지난 후에는 0.5ppm 이하의 농도에서는 대부분 60% 이상 D형 유생으로 발생하였다. 그러나 1ppm에서 39%, 2ppm에서 38%가 변화하였을 뿐, 이상의 농도에서는 발생 변화를 일으키지 못하고 파괴되었다. 인공 수정된 수정란에 Sn 나노입자와 SnO 나노입자를 첨가시킨 결과 Fig. 3과 같은 결과가 나타났다. Sn 나노입자의 경우 인공 수정시킨 24시간 후 20ppm에서 50%가 D형 유생으로 발생하였을 뿐, 그 이하의 농도에서는 모두 60% 이상 D형 유생으로 발생하였다. 이는 AGZ020, Nano silver 및 P-25 나노입자들에 비해 유해성이 크게 미치지 않았다. 반면에 산소를 결합시킨 SnO 나노입자에서는 인공 수정된 2시간 후 20ppm에서 43%만이 난할을 하였고, 시간이 지날수록 발생하는 수정란이 감소하여 6시간 경과하는 시점에서 모두 파괴되었다. 인공 수정 후 4시간 경과 5ppm에서 48%, 10ppm에서 43%만이 상실기로 발생하고, 8시간 경과 후 1ppm에서 49%만이 담륜자로 발생하였다. 24시간 후에 모든 농도를 관찰한 결과 0.5ppm 이하의 농도에서는 60% 이상 D형 유생으로 발생하였지만, 1ppm에서 39%, 2ppm에서 14%만이 D형 유생으로 발생하였다.

인공 수정된 수정란에 In, Sb, Zn 및 Ag-TiO<sub>2</sub> 나노입자를 첨가시킨 결과 Fig. 4와 같이, 인공 수정시킨 24시간 후 나노입자의 농도가 높아질수록 수정란에 각각 유해성을 보였지만, AGZ020, Nano silver P-25 및 SnO 나노입자들과 달리 모든 농도에서 50% 이상 D형 유생으로 발생하였다. 특히 Zn 나노입자의 경우 0.05ppm 농도에서 78%로 대조구에서 보인 D형 유생변화율과 같아 크게 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 그러나 20ppm에서는 나노입자에 의해 영향을 받은 것으로 나타났지만, D형 유생 발생률이 64%로 실험한 나노입자 중에서 가장 높았다.

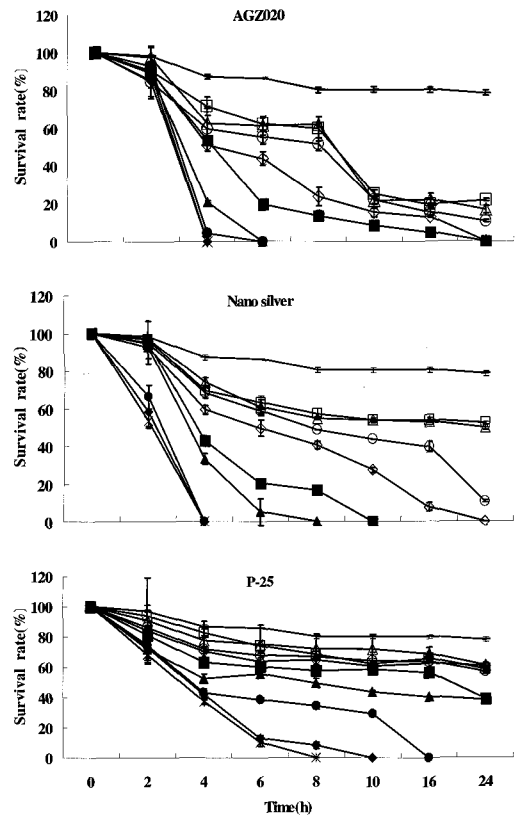


Fig. 2. Effect of nano particles (AGZ020, Nano silver, P-25) on fertilized egg of *C. gigas*, at various concentration (—:0ppm, □:0.05ppm, ▲:0.1ppm, ○:0.2ppm, ◆:0.5ppm, ■:1ppm, ▲:2ppm, ◆:5ppm, ○:10ppm, ★:20ppm).

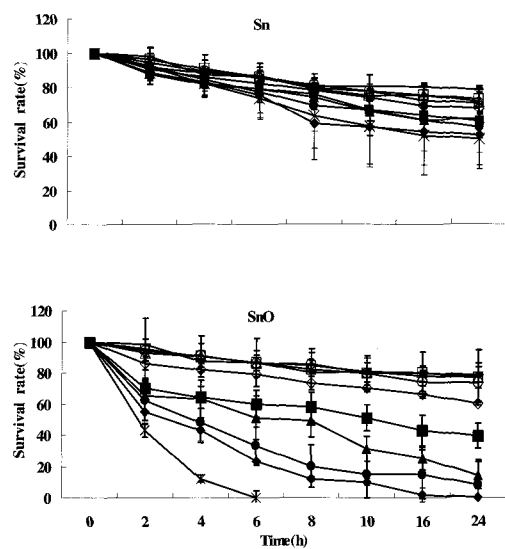


Fig. 3. Effect of nano particles (Sn, SnO) on fertilized egg of *C. gigas*, at various concentration (—:0ppm, □:0.05ppm, ▲:0.1ppm, ○:0.2ppm, ◆:0.5ppm, ■:1ppm, ▲:2ppm, ◆:5ppm, ○:10ppm, ★:20ppm).

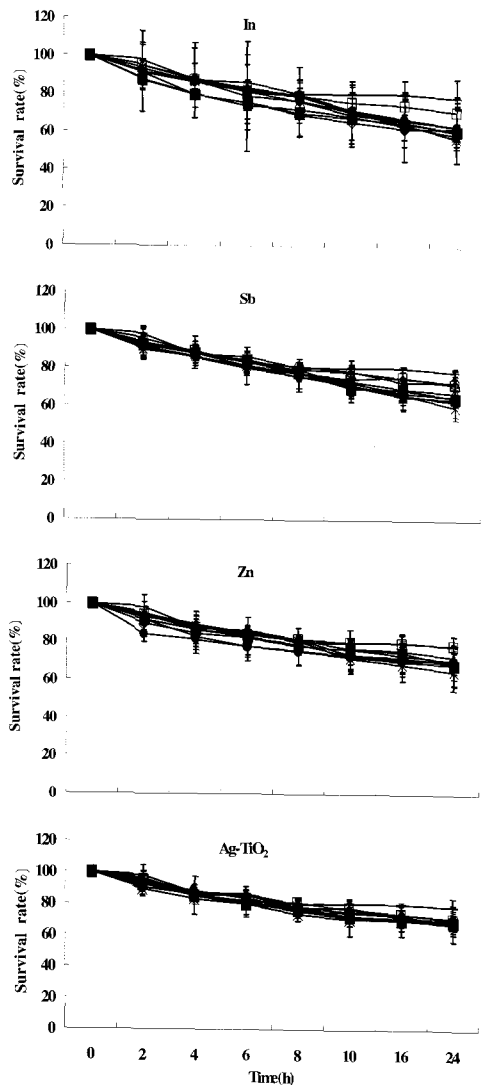


Fig. 4. Effect of nano particles (In, Sb, Zn, Ag-TiO<sub>2</sub>) on fertilized egg of *C. gigas*, at various concentration (—:0ppm, ⊕:0.05ppm, ⊕:0.1ppm, ⊕:0.2ppm, ⊕:0.5ppm, ⊕:1ppm, ⊕:2ppm, ⊕:5ppm, ⊕:10ppm, ⊕:20ppm).

#### 4. 결론

9종의 나노입자들이 인공 수정시킨 참굴 수정란 발생단계 과정에서 어떠한 영향을 주는지에 대해 관찰한 결과, AGZ020, Nano silver, P-25 및 SnO의 나노입자들은 24시간 경과 후 상대적으로 저농도인 0.05ppm에서 각각 22%, 52%, 58% 및 76%가 D형 유생으로 발생하였으며, 20ppm 농도에서 8시간이 경과하는 시점에 참굴 수정란을 모두 파괴되었다. 은(Ag)이 포함되어 있는 AGZ020과 Nano silver의 나노입자 경우 다른 나노입자들에 비해 가장 짧은 시간내 큰 유해성을 보였다. In, Sb, Sn, Zn 및 Ag-TiO<sub>2</sub>의 나노입자는 24시간 경과 후 0.05ppm 농도에서 모두 70% 이상의 D형 유생으로 발생하여

큰 영향을 받지 않은 것으로 나타났으나, 20ppm 농도에서 D형 발생 비율이 57%, 60%, 50%, 65%, 및 64%로 대조구에 비해 저조한 것으로 나타났다. 그러나 AGZ020, Nano silver, P-25 및 SnO의 나노입자에 비해 상대적으로 유해성이 낮았는데, 이는 나노입자에 함유되어 있는 성분에 따라 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 현재 가진, 기능성 화장품, 반도체, 향균제 및 광촉매제 등 일상생활에 이용되는 제품에 이미 사용되고 있으며, 쉽게 파괴되지 않고, 다른 물질과 쉽게 반응을 하며, 쉽게 이동할 수 있는 특성을 가지고 있는 나노입자들은, 연안환경에 유입될 경우 본 연구에 수행한 결과처럼 해양생태계에 유해성을 나타낼 수 있기에, 나노입자가 해양생태계에 미치는 유해성 연구와 연안환경 유입에 대한 *monitoring*을 지속적으로 수행하여야 할 것이다.

#### 5. 참고문헌

- [1] 김영훈, 이종협(2005), 나노기술의 유해성, 한국화학공학회, News & Information for Chemical Engineers, 제 23권 제 3호, pp. 338-342.
- [2] 김장희(2004), 나노 실버 향균 소재 및 응용, 한국화학공학회, News & Information for Chemical Engineers, 제22권 제6호, pp. 656-660.
- [3] 서필원, 최상현, 문상진, 이상진, 장방진, 홍성창(2006), Degussa TiO<sub>2</sub>를 이용한 시료 액상 반응활성의 비교평가를 위한 표준조건, 한국환경분석학회지, 제9권 제2호, pp. 105-113.
- [4] 전희권, 김재창(1997), 귀금속 촉매를 이용한 가스센서 제조 연구, 한국화학공학회, 제35권 제2호, pp. 301-312.
- [5] 조원일, 조병원, 이성래, 윤경석(1991), 산화주석을 이용한 금속-반도체 접합형 가스센서에 관한 연구, 한국화학공학회지, 제 29권 제 1호. pp. 81-88.
- [6] 최봉기, 김경호, 소대섭, 유일재(2007), 나노기술의 환경·보건·안정성 영향에 관한 연구동향. 한국공업화학지, 제 10권 제 1호, pp. 48-71.
- [7] Aleesio, H. M.(1993), Exercise induced oxidative strees Medicine Science & Sport and Exercise, Vol. 25, No. 2, pp. 218-224.
- [8] Franklin, T. J. and G. A., Snow(1989), Biochemistry of antimicrobial action, Chapman and Hall, Lodon, 4th ed, pp. 55-72.
- [9] Oberdörster E.(2004), Manufactured nano materials (Fullerenes, C-60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass, Environ Health Perspectives, Vol. 112, No. 10, pp. 1058-1062.
- [10] Robert, B. T. and Charles, P. G.(1989), The molecular mechanisms of copper and silver ion disinfection of bacteria and viruses, CRC Critical Reviews

Environmental Control, Vol.18, No.4, pp. 295-315.

- [11] Russell, A. D. and Hugo, W. B.(1994), Antimicrobial activity and action of silver, Progress in Medicinal Chemistry, Vol. 31, pp. 351-370.
- [12] Thomas C. Long, Navid Saleh, Robert D. Tilton, Gregory V. Lowry, and Bellina Veronesi(2006), Titanium Dioxide(P25) Produces Reative Oxygen species in Immortalized Brain Microglia (BV2): Implications for Nanoparticle Neurotoxicity. Environmental Science & Technology, Vol. 40, No. 14, pp. 4346-4352.

---

원고접수일 : 2007 년 12월 07일

원고채택일 : 2008 년 03월 21일