

등근성게 (*Strongylocentrotus nudus*)의 수정과 초기 배발생에 미치는 빈산소의 영향

이건섭¹, 황진익¹, 정영재², 김동균³, 모상현⁴, 장만¹, 이택건^{1*}

¹한국해양연구원, ²신경대학교 생명공학과, ³신라대학교 생물학과, ⁴바이오에프디엔씨 항노화연구소

Effects of Hypoxia on the Fertilization and Early Development of Sea Urchin, *Strongylocentrotus nudus*

Gunsup Lee¹, Jinik Hwang¹, Youngjae Chung², Donggiun Kim³, Sang Hyun Moh⁴,
Man Chang¹ and Taek-Kyun Lee^{1*}

¹South Sea Environment Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute

²Department of Life Science and Biotechnology, Shin Gyeong University

³Department of Biological Science, Silla University

⁴Anti-aging Research Institute of BIO-FD&C Co.,Ltd.

요 약 용존산소량 수생생물의 생장을 조절하는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 일반적으로 빈산소란 2.8 mg O₂/L (91.4 mM과 동량) 이하의 용존산소로 정의된다. 따라서 빈산소 해역은 해양생태계에서 심각한 문제를 야기할 수 있다. 본 연구에서는 성계에 대한 빈산소의 배아독성 (수정 및 배발생률) 영향을 연구하기 위하여 등근성게 (*Strongylocentrotus nudus*)를 용존산소 7.6 mg O₂/L (normoxia)과 1.8 mg O₂/L (hypoxia)에서 2일, 15°C 및 33 %에 노출하였다. 또한 빈산소에 노출된 성계에서의 스트레스 관련유전자인 HSP70과 항산화 관련 유전자인 glutathione reductase의 발현을 immunoblotting assay와 RT-PCR을 통하여 확인하였다. 연구결과 배발생률이 현저하게 감소하였다. 분자분석 결과 빈산소에 노출된 성계가 정상상태의 성계에 비해 HSP70 단백질은 약 5.5배 glutathione reductase는 약 2.79배 증가하였다. 본 연구의 결과는 빈산소가 성계의 비정상적 배발생을 유도하며, 스트레스와 항산화 반응을 유발할 수 있음을 추측케 한다.

Abstract Dissolved oxygen is one of the most important factors controlling growth in aquatic organisms. Hypoxia is generally defined as dissolved oxygen less than 2.8 mg O₂/L (equivalent to 2 mL O₂/L or 91.4 mM). Therefore, hypoxia zone can cause a serious problem in marine ecosystem. In this study, to investigate embryotoxic (fertilization and embryo development rates) effects of hypoxia on sea urchin *Strongylocentrotus nudus* were exposed to dissolved oxygen levels of 7.6 mg O₂/L (normoxia) and 1.8 mg O₂/L (hypoxia) for 2 days at 15°C and 33 %. Also, Expression levels of stress related gene (HSP70) and antioxidant related gene (glutathione reductase) in the sea urchins exposed to hypoxia were confirmed by Immunoblotting and RT-PCR analysis. In results, we showed that developmental rates were dramatically reduced in hypoxia condition. Molecular analysis demonstrated that higher HSP70 (5.5 fold) and glutathione reductase gene (2.79 fold) were present in the sea urchin exposed to hypoxia. Our results suggested that hypoxia can cause the abnormal development and elicits a stress and antioxidant response on sea urchin.

Key Words : Hypoxia, *Strongylocentrotus nudus*, HSP70, Glutathione reductase

본 논문은 국토해양부(PJT200461)와 해양과학기술원(PE98753)의 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Taek-Kyun Lee

Tel: +82-55-639-8630 email: tklee@kiost.ac

접수일 12년 06월 26일

수정일 12년 07월 23일

게재확정일 12년 08월 09일

1. 서론

Hypoxia (oxygen depletion)는 DO (dissolved oxygen) 수치가 2.8 mg O₂/L 이하로 줄어든 해양 환경에서의 현상을 말한다. 산소가 고갈돼 생물이 살아가기 힘든 환경인 hypoxia zone은 1960년대 이래로 지속적으로 증가하고 있으며, 전체면적은 245,000 km²에 이른다 [1]. Raquel Vaquer-sunyer과 Carlos M. Duarte는 2008년 논문에서 hypoxia zone이 해마다 5.54% 이상 증가하고 있으며, 대부분의 hypoxia zone이 근해에서 이루어지고, 해변 생태계를 심각하게 변화시키고 있음을 보고하였다[2]. 또한 어류, 극피동물, 갑각류, 연체동물, 자포동물 등에서 여러 실험 논문을 토대로 hypoxia 상태에서 평균 50%가 죽는 lethal time으로 116시간이 소요되며, 극심한 생태계 파괴의 주요 요인으로 보고하였다 [2].

성계는 해양오염을 비롯한 해양환경변화로 유발되는 해양생물의 스트레스에 대한 단기간 생물검정실험에 가장 적합한 생물 종의 하나이다. 성계 배양은 유용한 발생학적 모델시스템이며 수정과 초기 배발생 동안의 생리 및 생화학적 측면이 잘 이해되고 있다. 배아나 유생시기의 성계는 해수와 퇴적물에 대한 반응이 매우 민감하기 때문에 성체에 비해 해양환경변화를 평가하는데 많이 사용되어 왔다 [5,6]. 특히 최근에는 보라성계에 대한 계능 연구가 활발하게 진행되어 발생독성학 분야에서 분자생리학적 연구가 활발해 진행되고 있는 추세이다 [7].

외부환경에 대한 해양생물의 반응을 분석하기 위하여 다양한 바이오마커가 활용되어 왔다. 특히 70 kDa heat shock protein (HSP70)과 glutathione reductase (GR, EC 1.6.4.2)는 각각 일반적 및 산화적 스트레스에 반응하는 주요 단백질이다 [8-10]. HSP70은 모든 스트레스 단백질 중 가장 풍부하고 진화적으로 보존되어 있으며 [11-13], 진핵생물의 모든 주요 세포내 기관에 존재하고 스트레스 손상으로부터 세포를 보호하는 기능을 수행하는 스트레스 단백질 중의 하나이다 [14-16]. 일반적으로 스트레스 단백질은 일차적인 방어기작 중의 하나로 인식되고 있는데, 이러한 스트레스 단백질 중 HSP70은 세포의 건강상태를 평가하는 유용한 도구로 사용되어 왔다. 특히 해양 무척추동물에서 HSP70의 발현은 오염물질에 대한 노출의 지시자로 많이 활용되고 있다 [17-19].

GR은 가장 풍부한 항산화 물질 중의 하나이며, 신호 전달과 같은 중요한 기능에 관여하는 것으로 알려진 glutathione의 대사에 관여하는 항산화효소이다 [20,21]. GR은 reduced glutathione의 세포내 농도를 조절함으로써 단백질 활성에 영향을 주며, 산화 환원 완충작용에 중요한 역할을 담당하게 한다 [22,23].

등근 성계는 strongylocentrotidae과에 속하는 성계로써 한국 연안에 대부분이 존재하는 종이며, 직경은 20-100 mm를 갖는다. 산란기는 6월과 8월이며, 실험을 위한 정자와 난자의 획득이 용이하고, 수정막의 형성 및 발생과정 동안 외형적 구분이 뚜렷하여 외부적 스트레스에 의한 초기반응 연구의 실험생물로 이용하기에 유용한 장점을 가지고 있다. 본 과제에서는 빈산소 상태에서의 등근 성계의 수정 및 배발생 과정 변화와 생식소 (gonad)에서의 HSP70과 GR의 발현 변화를 분석하여, 빈산소에 노출된 성계의 반응을 조사하고자 하였다. 본 연구는 이제까지 국내에서는 보고된 바 없는 빈산소에 대한 최초의 성계 반응연구인 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

2.1 성계배양

실험에 사용한 등근성계 (*Strongylocentrotus nudus*) 성체는 8월에 경남 거제 연안에서 직접 채집하여 한국해양연구원 남해연구소 양식동의 수조에서 다시마를 먹이로 하여 배양하였다.

2.2 정자 및 난자 추출 방법

산란기에 있는 성계 수컷에 1 N KCl 용액으로 자극을 주어 정자를 추출했다. 성계를 수조에서 꺼낸 후 입을 위로 하고 입 주위의 막을 주사기로 찢어 KCl 용액을 주입한 후 항문 주위 생식공에서 나오는 우유빛의 정자를 파스퇴르 피펫으로 모았다. 정자의 추출과 마찬가지로 성계 암컷에 1 N KCl을 주입하고 해수가 담긴 비커에 거꾸로 올려 놓은 후 생식공에서 방출하는 주황색 난자를 모았다. 약 30분 동안 난자를 모은 후 난자 사이의 점액질 제거를 위해 난자를 세척하였다 [24].

2.3 수정률 실험

빈산소에 정자를 노출시킨 후 난자와 혼합하였고 상온에서 20분 정도 수정시켰다. 포르말린 용액을 주입하여 수정을 중단시킨 후 수정률을 측정하였다. 수정률은 난자의 바깥쪽에 수정막이 형성되어 있는지 여부를 관찰하여 수정란과 미수정란으로 구분하였다.

2.4 초기 배발생 실험

배발생 실험은 추출한 난자에 정자 원액을 처리하여 체외 수정시킨 후 실시하였다. 약 10분 후 일부의 수정률을 측정하여 95 % 이상의 난자가 수정에 성공했을 때 빈

산소 노출용 수정란으로 사용했으며, 수정란은 200 cell/mL 정도의 적정밀도로 희석하였다. 수정이 시작되면 발생이 계속 진행되므로 빈산소에 노출시켜 발생률을 측정했다. 발생률은 플루테우스 유생으로 발생이 진행된 정상유생과 비정상 유생으로 구분했으며, 비정상 유생은 발생이 멈추거나 지연되어 포배기 혹은 낭배기까지 발생된 경우 등을 모두 포함하였다.

2.5 Western blot

산란기의 성계 성체를 빈산소에 72시간 동안 노출시킨 후 성계 생식소를 채집하였다. 빈산소에 노출된 성계 성체를 반으로 잘라 spatula를 사용해서 생식소를 분리하였다. 분리된 생식소는 protein extract solution (Intron)을 사용해서 단백질을 추출하였고, 추출한 단백질은 nano drop (Thermo scientific)을 사용해서 정량하였다. 추출한 단백질은 SDS-PAGE에 전기영동한 후 stacking gel을 제거했다. 이후 3 M paper와 SDS-PAGE gel을 cassette에 조립한 후 transfer하였다. Transfer가 끝난 후 TBS로 3 M paper를 15분간 2회 세척한 후 5 % skip milk에 30분 동안 담가두었으며, 이후 TBS로 다시 2회간 세척하고 primary antibody (HSP70) (Sigma)와 secondary antibody (mouse-IgG)에 1시간씩 반응시켰다. 3 M paper의 단백질은 형광물질 ECL solution을 사용하여 필름으로 확인하였다 [25].

2.6 RT-PCR

성계 생식소를 채취하고 trizol reagent를 이용하여 total RNA를 준비하였다. Housekeeping 유전자인 actin 유전자 (Forward:CGGATTCGCCGAGA CGATGC, Reverse: AGGGCGTAACCTCGTAGA TGG)를 사용하여 glutathion reductase (Forward: ATGGAACAAGGCAGAGCATCTC, Reverse: TT GACTTCAGCTCCGCGCCTT) 유전자의 발현량을 비교하였다 [26]. PCR 증폭 반응은 10X reaction buffer 2 μ L, 2.5 mM dNTPs 2 μ L, Taq DNA polymerase 0.5 μ L, cDNA 5 μ L를 혼합하여 수행하였고 반응 조건은 94 $^{\circ}$ C에서 20초, 55 $^{\circ}$ C에서 20초 그리고 72 $^{\circ}$ C에서 15초씩 각각 25 사이클을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 빈산소에 의한 성계에서의 수정률 비교

용존산소농도 2 ppm 이하의 해수에 20분 동안 노출된 정자에 난자를 첨가한 후 수정률을 비교하였다. 빈산소를

처리하지 않은 그룹을 대조군으로 하여 5번 반복 실험하였으며, 빈산소를 처리한 실험군 또한 5번 반복 실험을 통하여 결과를 비교하였다 (표 1). 대조군의 경우 평균 97.85 %의 높은 수정률을 보였으며, 실험군에서도 95.68 %의 비교적 높은 수정률을 확인할 수 있었다. 따라서 빈산소에 의해 수정률의 변화는 크게 변화하지 않는 것을 알 수 있었다.

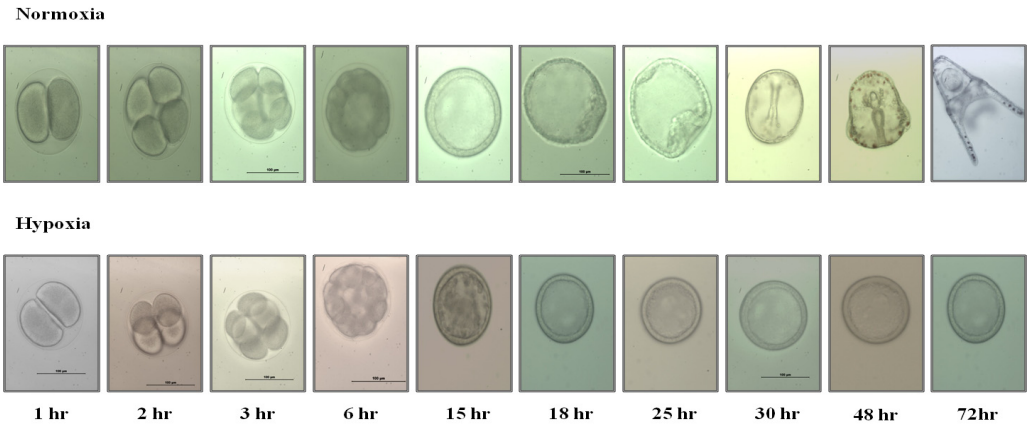
[표 1] 빈산소에 의한 대조군과 실험군의 수정률 확인 비교
[Table 1] Comparison of fertilization rates by hypoxia condition

	대조군1	대조군2	대조군3	대조군4	대조군5	합계
수정	162/164	154/157	181/187	176/178	147/151	
미수정	2/164	3/157	6/187	2/178	4/151	
평균	98.78	97.45	96.79	98.88	97.35	97.85
	실험군1	실험군2	실험군3	실험군4	실험군5	합계
수정	164/168	157/164	154/163	136/144	149/155	
미수정	4/168	7/164	9/163	8/144	6/155	
평균	97.62	95.73	94.48	94.44	96.13	95.68

3.2 빈산소에 의한 성계에서의 발생률의 비교

추출한 난자에 성계 정자를 혼합하여 체외 수정을 유도하였으며, 일반 해수에서 처리한 대조군과 빈산소를 처리한 실험군으로 나누어 실험을 수행하였다 (표 2). 각 100개 이상의 난자를 이용하여 수정을 유도하였으며, 3 반복 실험 후 평균값을 얻었다. 수정 후 15 시간 경과하면 blastula 단계에 도달하게 되고, blastula 단계에 도달한 배아를 계수한 결과 수정된 모든 개체가 정상적인 blastula 단계에 도달하였다. 그러나 수정 후 48 시간경과 하였을 때 즉, prism 단계에서의 배발생률은 크게 감소하였다. 대조군의 경우 모두 prism 까지 배발생이 진행되었으나 빈산소 처리 그룹에서는 모든 배아가 blastula 상태에서 prism 상태로 진행이 되지 않았다. 현미경을 통해 관찰하였을 때, 빈산소에 노출된 배아의 경우 blastula 상태에서 배발생 과정이 멈추고 더 이상 진행되지 않았다 (그림 1).

Shang과 Wu의 보고에 의하면 zebrafish의 배발생 과정 중 각각의 발생 단계에서의 생존률을 측정하였을 때, 용존산소량의 감소함에 따라 배발생 초기에는 생존율의 차이가 크지 않았으나, 시간이 지남에 급격히 세포 사멸이 증가하였다 [27]. 본 논문에서의 결과에서도 마찬가지로 초기 배발생 단계에서는 빈산소에 의해 거의 영향이 없는 것에 반해 후기 배 발생 단계에서는 매우 다른 반응을 보이는 것으로 나타났다.



[그림 1] 배발생 과정 동안 정상상태와 빈산소 상태에서의 성게 배아의 배발생 과정에서의 형태학적 변화
 [Fig. 1] Morphological changes in the embryogenesis of sea urchin embryo exposed to normoxia or hypoxia conditions.

[표 2] 빈산소에 의한 대조군과 실험군의 발생률 비교
 [Table 2] Comparison of developmental rates by hypoxia condition

A. Blastula 단계에서의 발생률 비교

	대조군1	대조군2	대조군3
Blastula	100/100	161/161	167/167
Blastula (X)	0/100	0/161	0/167
평균	100	100	100

	실험군1	실험군2	실험군3
Blastula	124/124	196/196	147/147
Blastula (X)	0/124	0/196	0/147
평균	100	100	100

B. Prism 단계에서의 발생률 비교

	대조군1	대조군2	대조군3
Prism	108/108	121/121	136/136
Prism (X)	0/108	0/121	0/136
평균	100	100	100

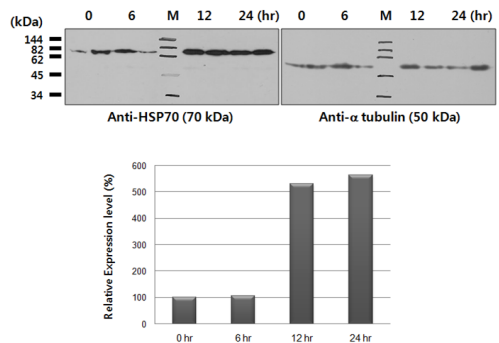
	실험군1	실험군2	실험군3
Prism	0/162	0/178	0/121
Prism (X)	162/162	178/178	121/121
평균	0	0	0

3.3 HSP70과 GR 발현 분석

빈산소에 노출될 경우 가장 빈번한 유전자의 발현량 차이를 보일 것으로 예상되어지는 HSP70 유전자와 항산

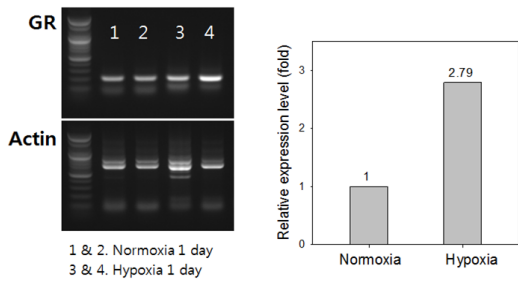
화 효소인 GR 발현 차이를 확인해 보았다. HSPs70은 정상 환경에서 chaperons과 관련된 유전자로 알려져 있으며, 빈산소와 같은 다양한 스트레스에 빠르게 유도되는 유전자이다 [28,29].

성체를 빈산소에 노출시키고 생식소를 채취한 후 HSP70의 상대적인 발현량을 western blot analysis를 이용하여 분석하였다 (그림 2). 빈산소에 노출된 성체 생식소에서 HSP70의 발현은 0 시간과 비교하여 12시간째에 약 5.32배가 증가하였으며, 24시간째에도 5.64배가 증가하였다.



[그림 2] 빈산소에 노출된 성체 gonad에서의 HSP70의 발현.
 [Fig. 2] Expression of HSP70 in the sea urchin gonad exposed to hypoxia.

또한 항산화 효소 중의 하나인 GR 유전자 발현변화는 real-time PCR법을 이용하여 분석하였다. 빈산소에 노출된 성체 생식소에서 GR 유전자 발현은 정상상태에 노출된 성체 생식소에 비해 약 2.79배 증가하였다 (그림 3).



[그림 3] 빈산소에 노출된 성게 gonad에서의 glutathione reductase 유전자의 발현.

[Fig. 3] Expression of glutathione reductase gene in the sea urchin gonad exposed to hypoxia.

4. 결 론

빈산소에 노출된 둥근성게의 수정률의 변화는 없었으나, 배발생 과정 동안 빈산소에 노출된 성게의 경우 blastula 상태에서 더 이상 진행되지 않았다. 스트레스 반응 단백질인 HSP70의 발현이 빈산소에 노출되는 기간이 길수록 증가하였으며, 항산화 효소 중의 하나인 GR의 유전자 발현은 정상상태의 성게에 비해 빈산소에 노출된 성게에서 크게 증가함이 관찰되어 빈산소가 둥근성게의 초기 배발생 및 스트레스 관련 반응에 크게 영향을 미치고 있음이 관찰되었다.

References

[1] R. J. Diaz, and R. Rosenberg, "Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems", *Science*, 321, 926-929, 2008.

[2] R. Vaquer-Sunyer, and C. M. Duarte, "Thresholds of hypoxia for marine biodiversity", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 15452, 2008.

[3] A. Fuji, "Studies on the biology of the sea urchin: Size at First Maturity and Sexuality of Two Sea Urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*", *Bulletin of the faculty of fisheries Hokkaido university*, 11, 43-48, 1960.

[4] A. Fuji, "Studies on the biology of the sea urchin: Superficial and Histological Gonadal Changes in Gametogenic Process of Two Sea Urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*", *Bulletin of the faculty of fisheries Hokkaido university*, 11, 1-14, 1960.

[5] R. Beiras, E. His, and M. N. L. Seaman, "Effects of storage temperature and duration on toxicity of sediments assessed by *Crassostrea gigas* oyster embryo bioassay.", *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17, 2100-2105, 1998.

[6] J. Bellas, R. Beiras, J. C. Marino-Balsa, and N. Fernandez, "Toxicity of organic compounds to marine invertebrate embryos and larvae :a comparison between the sea urchin embryogenesis bioassay and alternative test species.", *Ecotoxicology*, 14, 337-353, 2005.

[7] L. Hood, and N. Fernandez, "Gene regulatory networks and embryonic specification.", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 5951-5952, 2008.

[8] S. Lindquist, and E. A. Craig, "The heat-shock proteins", *Annu. Rev. Genet.* 22, 631-677, 1998.

[9] H. R. B. Pelham, "Functions of the hsp70 protein family: an overview", in: R.I. Morimoto, A. Tissiers, G. Georgopoulos (Eds.), *Stress Proteins in Biology and Medicine* Cold Spring, Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY, 287 - .299, 1990.

[10] A. Doyotte, C. Cossu, M. C. Jacquin, M. Babut, and P. Vasseur, "Antioxidant enzymes, glutathione and lipid peroxidation as relevant biomarkers of experimental or field exposure in the gills and the digestive gland of the freshwater bivalve *Unio tumidus*", *Aquatic Toxicology*, 39, 93-110, 1997

[11] M. J. Gething, J. F. Sambrook, and N. Fernandez, "Protein folding in the cell", *Nature*, 355, 33 - 45. 1992

[12] B. Bukau, and A. L. Horwich, "The Hsp70 and Hsp60 chaperone machines", *Cell*, 92, 351 - .366, 1998

[13] R. J. Ellis, and S. M. van der Vies, "Molecular chaperones", *Annu. Rev. Biochem.*, 60, 321 - 347, 1991.

[14] F. U. Hartl, and M. Hayer-Hartl, "Molecular chaperones in the cytosol: from nascent chain to folded protein", *Science*, 295, 1852 - 1858, 2002

[15] W. J. Chirico, M. G. Waters, and G. Blobel, "70K heat shock related proteins stimulate protein translocation into microsomes", *Nature*, 332, 805 - .810, 1988.

[16] Y. Shi, and J. O. Thomas, "The transport of proteins into the nucleus requires the 70-kilodalton heat shock protein or its cytosolic cognate", *Mol. Cell. Biol.*, 12, 2186 - 2192, 1992.

[17] C. R. Brown, L. Q. Hong-Brown, S. J. Doxsey, R. L. Martin, and W. J. Welch, "Molecular chaperones and the centrosome. A role for HSP73 in centrosomal repair following heat shock treatment", *J. Biol. Chem.*, 271, 833 - .840, 1996.

[18] C. Agueli, F. Geraci, G. Giudice, L. Chimentì, D.

Cascino, and G. Sconzo, "A constitutive 70 kDa heat-shock protein is localized on the fibres of spindles and asters at metaphase in an ATP dependent manner: a new chaperone role is proposed", *Biochem. J.*, 360, 413 - 419, 2001.

[19] G. Sconzo, G. Scardina, and M. G. Ferraro, "Characterization of a new member of the sea urchin *Paracentrotus lividus* hsp70 gene family and its expression", *Gene*, 121, 353 - 358, 1992.

[20] L. Gomez, G. Noctor, M. Knight, and C. H. Foyer, "Regulation of calcium signalling and gene expression by glutathione.", *Journal of experimental botany*, 55, 1851-1859, 2004.

[21] C. H. Foyer, and G. Noctor, "Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context.", *Plant Cell & Environment*, 28, 1056-1071, 2005.

[22] I. Rudneva, "Antioxidant system of Black Sea animals in early development.", *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 122, 265-271, 1999.

[23] G. G. Yannarelli, A. J. Fernandez-Alvarez, D. M. Santa-Cruz, and M. L. Tomaro, "Glutathione reductase activity and isoforms in leaves and roots of wheat plants subjected to cadmium stress.", *Phytochemistry*, 68, 505-512, 2007.

[24] D. Epel, "Mechanisms of activation of sperm and egg during fertilization of sea urchin gametes", *Curr Top Dev Biol*, 12, 185-246, 1978.

[25] K. J. Park, S. H. Lee, T. I. Kim, H. W. Lee, C. H. Lee, E. H. Kim, J. Y. Jang, K. S. Choi, M. H. Kwon, and Y. S. Kim, "A human scFv antibody against TRAIL receptor 2 induces autophagic cell death in both TRAIL-sensitive and TRAIL-resistant cancer cells", *Cancer Res*, 67, 7327-34, 2007.

[26] R. Haimov-Kochman, S. J. Fisher, and V. D. Winn, "Modification of the standard Trizol-based technique improves the integrity of RNA isolated from RNase-rich placental tissue", *Clin Chem*, 52, 159-60, 2006.

[27] E. H. H. Shang, and R. S. S. Wu, "Aquatic hypoxia is a teratogen and affects fish embryonic development", *Environmental science & technology*, 38, 4763-4767, 2004.

[28] C. Ton, D. Stamatiou, V. J. Dzau, and C. C. Liew, "Construction of a zebrafish cDNA microarray: gene expression profiling of the zebrafish during development", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 296, 1134-1142, 2002.

[29] M. S. Clark, and L. S. Peck, "Triggers of the HSP70 stress response: environmental responses and laboratory manipulation in an Antarctic marine invertebrate (*Nacella concinna*)", *Cell Stress and Chaperones*, 14, 649-660, 2009.

이 건 섭(Gunsup Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 (이학석사)
- 2010년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 (이학박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 해양과학기술원 연수연구원

<관심분야>
분자생물학, 해양 독성학

황 진 익(Jinik Hwang)

[정회원]

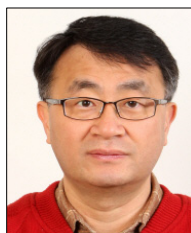


- 2002년 3월 ~ 2008년 2월 : 신라대학교 학사 졸업
- 2007년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연수연구원
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술연합대학원대학교 석·박사 통합과정 재학

<관심분야>
환경독성학, 분자생물학

정 영 재(Youngjae Chung)

[정회원]

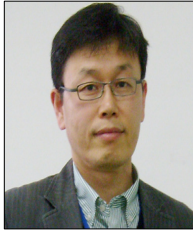


- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학박사)
- 1997년 3월 ~ 2007년 2월 : 서남대학교 생명과학과 교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : 신경대학교 생명공학과 교수

<관심분야>
식물형태 및 계통분류학, 식물유전자원학

김 동 균(Dong Giun Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1999년 3월 : 미국오하이오대학교 대학원 생물학과 (식물학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 생물학과 교수

<관심분야>

식물학, 생화학, 분자생물학, 생리학

이 택 건(Taek-Kyun Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 생물학 (이학석사)
- 1998년 2월 : 성균관대학교 식물분자생리학 (이학박사)
- 1998년 9월 ~ 2000년 8월 : 한국해양연구원 연수연구원
- 2000년 ~ 현재 : 해양과학기술원 남해특성연구부 책임연구원

<관심분야>

환경분자생리학, 해양환경독성학

모 상 현(Sang Hyun Moh)

[정회원]



- 2003년 8월 : 광주과학기술원 생명과학과 (이학석사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 나노과학기술협동학부 (이학박사과정)
- 2005년 11월 ~ 현재 : (주)바이오에프디엔씨 대표이사

<관심분야>

생명과학, 나노과학

장 만(Man Chang)

[정회원]



- 1985년 8월 : 서울대학교대학원 해양학과 (이학석사)
- 1990년 8월 : 서울대학교대학원 해양학과 (이학박사)
- 1992년 8월 : State Univ. of New York 연수연구원
- 2008년 1월 ~ 2009년 12월 : 한국 환경생물학회 회장
- 1995년 ~ 현재 : 해양과학기술원 해양생태계연구부 책임연구원

<관심분야>

환경분자생리학, 해양환경독성학