

마대 오분자기 (*Haliotis diversicolor* *diversicolor*)의 난 발생에 미치는 염분농도의 영향

좌민석 · 김필연

I. 서 론

제주도에는 오분자기 2품종, 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*)와 마대 오분자기(*Haliotis diversicolor diversicolor*)가 서식한다. 오분자기는 전복에 비하여 소형종으로 1년에 각장 2~2.5cm, 2년 각장 3~4cm, 3년에 4~6cm로 성장한다. 오분자기의 생산량은 1990년대 150톤을 넘었으나 지구 온난화와 해양환경 변화등으로 많은 어족 자원이 감소하고 있는 실정이다. 특히, 수온과 염분은 해양생물의 생리적 활성화에 매우 중요한 물리적 요인으로 짧은 기간 동안 수온 및 염분농도의 변화에 노출되면 생물의 반응은 종과 크기에 따라 다양하게 나타난다(Kinne, 1963; Widdows, 1985). 연안에서의 염분변화는 계절에 따라 다르고 어류에 비해 이동성이 낮은 패류에서는 매우 심각한 생물 반응을 유발시킬 수 있다(Sastry and Vargo, 1977; Widdows, 1985). 계절적인 변화로 인해 여름철 장마기간 동안 저염분 현상이 나타나는 경우에는 오분자기 생산에 있어서 많은 문제를 발생시키는 것으로 알려져 있다. 제주도의 경우 여름철 장마기간 동안 조간대 표층수의 염분 농도를 측정한 결과 28 Psu까지 염분농도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 대부분의 패류들은 150~50‰의 해수범위에서는 등장성(isomotic)이며, 염분농도에 따라 성장, 생존, 산소소비, 암모니아 배설, 심장박동수 등 다양한 생리적 변화가 나타난다(Pierce and Greenberg, 1972). 오분자기에 관한 연구는 생식주기 및 성분화와 생식소 발달(Kim et al., 2012)등이 있으나, 초기 생활사 및 종묘생산에 관한 기초적인 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제주도의 주요 특산품인 오분자기 자원회복 및 종보존을 위한 일환으로 초기 생활사 및 염분농도에 따른 종묘생산에 관한 기초자료를 수립하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 어미관리 및 인공수정

실험에 사용된 모패는 2015년 8월 12일 제주특별자치도 해양수산연구원 수산종자연구센터에 사육중이던 마대 오분자기 암컷, 수컷 중 성숙된 개체를 선별하여 암컷 20마리, 수컷 10마리를 사용하였으며 평균 각장 $5.78 \pm 4.84\text{cm}$, 각폭 $4.25 \pm 3.77\text{cm}$, 무게 $38.34 \pm 8.67\text{g}$ 의 개체를 사용하였다. 마대 오분자기 모패는 사육수온 $18 \pm 1.0^\circ\text{C}$, 염분 $32 \pm 0.5\text{psu}$ 에서 사육하였으며 먹이로는 생다시마를 3일 1회 충분히 공급하고 청소를 실시하였다. 종묘생산을 위해 선별된 모패는 30분간 음지에서 간출한 후 30°C 의 실내에서 1시간 고온 간출 자극을 실시하여 자외선 조사해수를 공급하였다. 모패는 방란과 방정이 이루어 질 때까지 1시간 간격으로 자외선 조사해수를 교체하였으며, 방란과 방정이 이루어졌을 때 인공 수정시켜 망목 100의 물러가제로 수정란을 수거하였다.

2. 염분농도에 따른 수정란의 기형률 및 부화율

인공 수정란의 염분농도에 따른 기형률, 부화율을 측정하기 위하여 2L 투명 플라스틱 비커에 사육수온을 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였고, 증류수를 이용하여 염분농도가 각각 20, 25, 27, 29, 32 psu의 5개 실험구(3반복)로 설정하였다. 수정란은 각 실험구당 500개씩 수용하여 0, 2, 4, 8, 12h 동안 20개의 알을 무작위로 채취하여 기형률 및 부화율을 측정하였다. 각 단계별 발생은 광학현미경(OLYMPUS BX-51)로 관찰하였다.

3. 통계처리

실험결과에 대한 통계처리는 SPSS 통계 패키지(version 9.0)를 이용하여 one-way ANOVA test를 실시하고, 사후검정으로 Duncan's multiple test를 통해 평균 간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.

III. 결 과

1. 마대 오분자기 정상 수정란 발생과정

마대 오분자기 암컷과 수컷이 방란·방정하여 인공수정 시킨 수정란 발생과정은 그림 1과 같다. 사육수온 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 유생을 사육한 결과 수정 1시간 30분 후 2세포기, 2시간 후 4세포기, 4시간 후 8세포기, 6시간 후 상실기, 8시간 후 담륜자기, 16시간

후 벨리저기, 70시간 후에는 부착단계로 발생하여 채묘를 실시하였다. 채묘 2주 후에는 juvenile small abalone로 성장하였다.

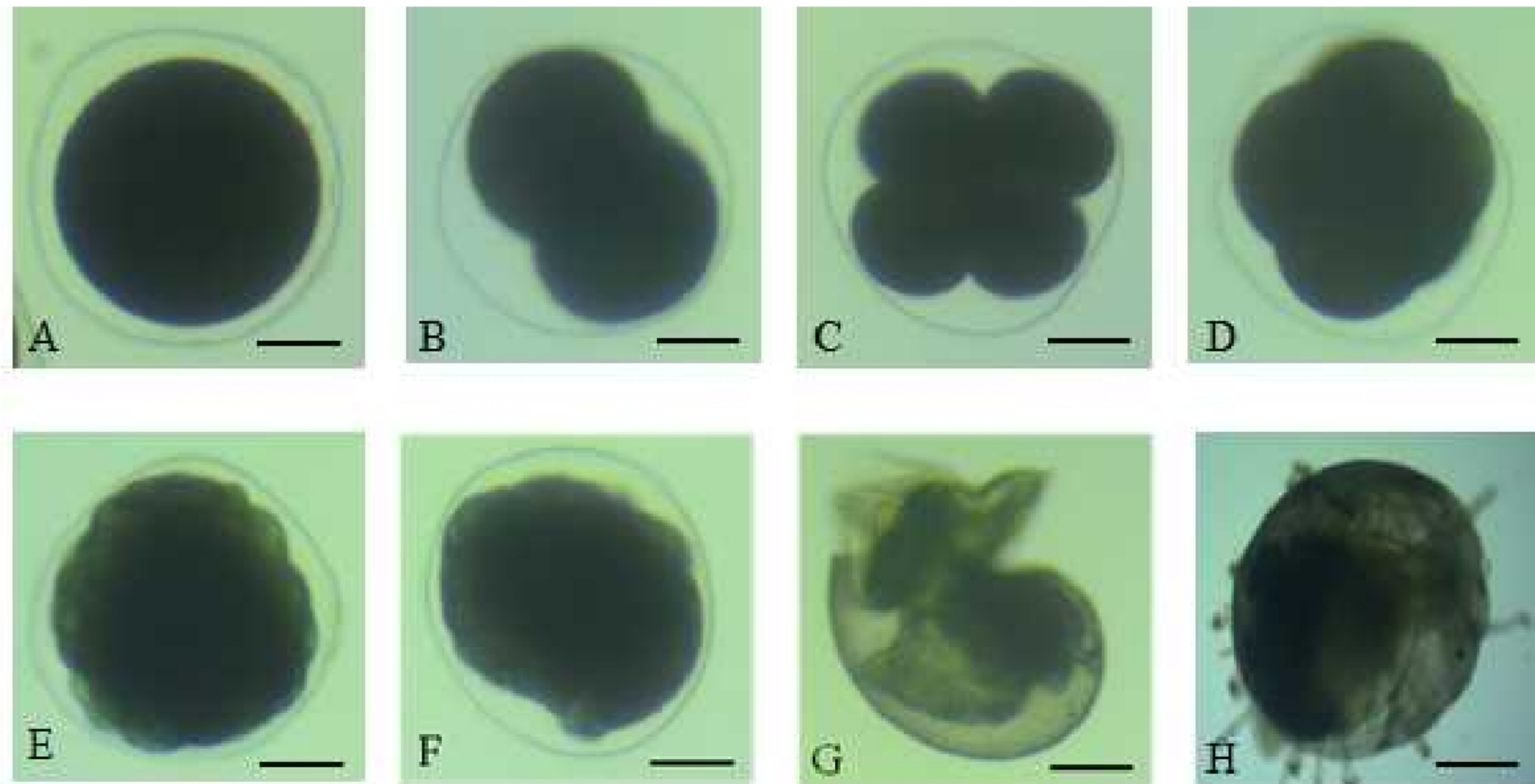


그림 1. A: 수정란, B: 2세포기, C: 4세포기, D: 8세포기, E: 상실기, F: 담륜자기, G: 벨리저기, H: 부착기 (scale bar = 50)

2. 기형률

마대 오분자기의 난 발생 과정에서 시간대 염분별 기형률은 표 1과 같다. 마대 오분자기가 방란, 방정 후 인공 수정하여 수정된 알을 염분농도가 각각 20, 25, 27, 29, 32psu 로 설정된 비커에 500개씩 수용하여 기형률을 관찰하였다. 알을 수용한 시간을 0h으로 설정하여 시간대별로 관찰한 결과 0h 쯤에는 모든 실험구에서 기형률이 나타나지 않았다. 2h째 20, 25psu에서는 100%의 기형률, 27psu에서는 $17 \pm 1.2\%$, 29psu에서는 $7.7 \pm 1.5\%$ 의 기형률을 나타내었고 32psu에서는 기형률이 나타나지 않았다. 4h째 27psu에서는 $40.5 \pm 1.5\%$, 29psu에서는 $7.1 \pm 1.7\%$, 32psu에서는 기형률이 나타나지 않았다. 8h째 27psu에서는 $59.5 \pm 2.0\%$, 29psu에서는 $40.1 \pm 0.5\%$, 32psu에서는 기형률이 나타나지 않았다. 마지막 12h째 27psu에서는 $75.5 \pm 1.5\%$, 29psu에서는 $60.5 \pm 2.1\%$ 의 기형률을 나타내었고, 32psu에서는 시험시작 0h 부터 12h까지 기형률이 나타나지 않았다($P < 0.05$).

표 1. 시간별 염분농도에 따른 기형률

Time(h)	Water salinity				
	20psu	25psu	27psu	29psu	32psu
0	0%	0%	0%	0%	0%
2	100%	100%	$17 \pm 1.2\%^*$	$7.7 \pm 1.5\%^*$	0%
4	100%	100%	$40.5 \pm 1.5\%^*$	$7.1 \pm 1.7\%^*$	0%
8	100%	100%	$59.5 \pm 2.0\%^*$	$40.1 \pm 0.5\%^*$	0%
12	100%	100%	$75.5 \pm 1.5\%^*$	$60.5 \pm 2.1\%^*$	0%

염분농도에 따른 기형 수정란은 그림 2와 같다. 20, 25psu에서는 수정 2h 후 2세포기부터 기형란이 발생하기 시작하였고, 27psu에서는 수정 6h 후 상실기 단계에서 기형란이 발생하였으며, 29psu에서는 수정 8h 후 담륜자기 단계에서 기형란이 발생하였다.

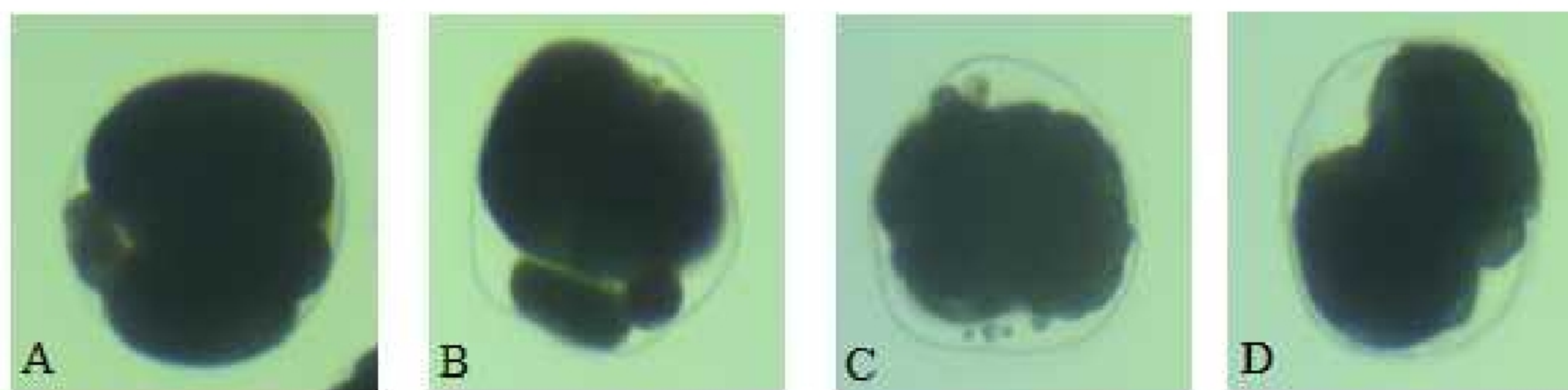


그림 2. A: 20psu, B: 25psu, C: 27psu, D: 29psu

3. 부화율

마대 오분자기의 부화율 그림 3을 보면 염분별 부화율은 20, 25psu에서 0%, 27psu에서 $25.1 \pm 0.5\%$, 29psu에서 $40.2 \pm 2.1\%$, 32psu에서 $90.5 \pm 5.5\%$ 로 부화율이 가장 높은 것으로 나타났다($P < 0.05$).

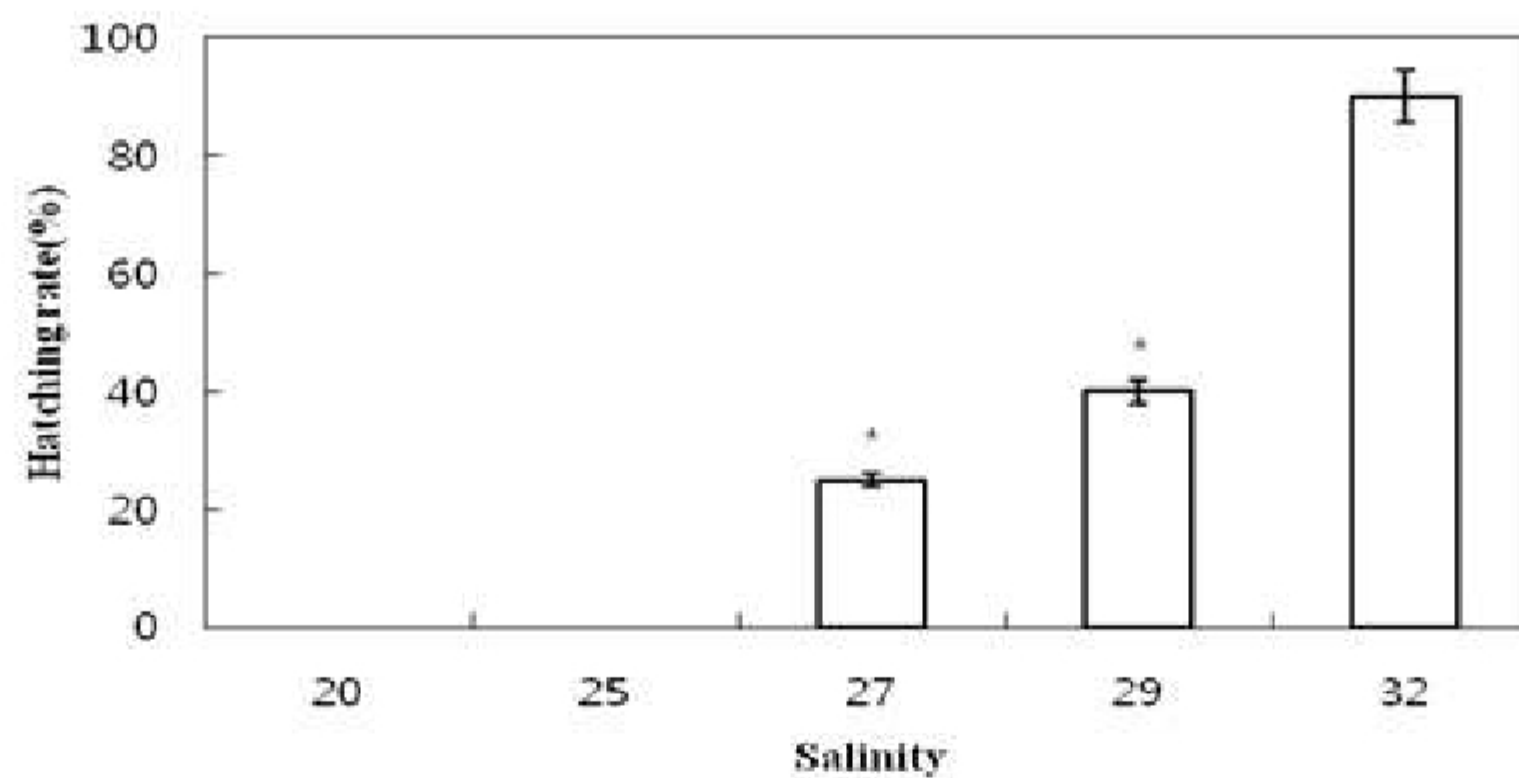


그림 3. 염분농도에 따른 부화율

IV. 고 찰

오분자기는 제주도의 주요 특산품으로 1990년대 150톤 이상 생산 되었으나 해양환경 변화 등으로 인하여 자원량이 감소하고 있는 실정이다. 제주도의 경우 도로개설 및 하천정비로 인해 여름철 집중호우 시 연안해역에 대량의 토사 및 담수가 유입되면서 염분농도가 낮아지는 실정이다. 주로 조간대에 서식하는 오분자기는 환경변화의 영향을 직접적으로 받기 때문에, 여름철 고수온 및 저염분 등에 의하여 양식생물의 폐사를 유발하는 등 생산량에도 영향을 미친다(Shin et al., 2012).

또한, Jwa et al. (2009)에 의하면 둥근전복에 25, 30psu의 저염분 자극을 주었을 때 폐사하는 개체가 관찰되는 것으로 보고하고 있다. 특히 급격한 수온과 염분변화는 스트레스로 작용하며 전복과 같이 이동성이 제한적인 부착생물은 외부 환경변화에 대하여 안정적인 세포 내부 환경을 유지하기 위해 다양한 생리적 반응을 보인다(Park et al., 2012). 수산생물은 외부환경의 변화에 따라 어느 수준까지는 스트레스를 견딜 수 있으나, 임계 수준을 넘어서면 스트레스로 인해 생리활성이 떨어져 폐사를 유발시킬 수 있다(Barton, 1991). 패류의 종묘생산 과정에서 수온은 성장과 생존에 영향을 미치는 중요한 환경 요인 중 하나이다. 일반적으로 높은 수온에서 알의 발생속도가 빨라지고 낮은 수온에서는 발생이 지연되는 경향을 보여준다고 보고하였다(Hwang et al., 2008). 오분자기는 7~10월에 산란하는 하계 산란형에 속하며(Lee et al., 1982), 수온 27℃ 까지는 폐사율이 낮은 품종이다.

오분자기 산란시기인 7월에는 해수 수온이 $20 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 로 인공종묘생산 후 수정란을 사육수온 $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 유생 사육한 결과 수정 1시간 30분 후 2세포기, 2시간 후 4세포기, 4시간 후 8세포기, 6시간 후 상실기, 8시간 후 담륜자기, 16시간 후 벨리저기, 70

시간 후에는 부착단계로 발생하였다. Kim 등(2011)에서는 말백합 수정란을 20, 30℃에서 사육한 결과 D형 유생까지 20℃에서는 37시간, 30℃에서는 15시간이 소요 되었다고 보고 한 바 있다. 이와 같이 패류의 유생인 경우에는 수정란 사육수온이 높을수록 유생발달이 빠를 것으로 보여진다.

한편, 환경요인 중 염분은 알에 있어서 산란, 발생, 부화하는데 큰 영향을 준다(Holliday, 1969). 오분자기는 7~8월이 주 산란 기간으로 장마기간과 겹친다. 따라서 본 실험에서는 장마로 인해 해수 염분농도가 낮아졌을 때 자연에서 오분자기 수정란의 정상 발생 및 기형률을 파악하고자 실시하였고, 그 결과 2h째 20, 25psu에서는 100%의 기형률, 27psu에서 $17 \pm 1.2\%$, 29psu에서는 $7.7 \pm 1.5\%$ 의 기형률, 32psu에서는 기형률이 나타나지 않았다. 4h째 27psu에서는 $40.5 \pm 1.5\%$, 29psu에서는 $7.1 \pm 1.7\%$, 32psu에서는 기형률이 나타나지 않았다. 8h째 27psu에서는 $59.5 \pm 2.0\%$, 29psu에서는 $40.1 \pm 0.5\%$, 32psu에서는 기형률이 나타나지 않았다. 마지막 12h째 27psu에서는 $75.5 \pm 1.5\%$, 29psu에서는 $60.5 \pm 2.1\%$ 의 기형률을 나타내었고, 32psu에서는 시험시작 0h 부터 12h까지 기형률이 나타나지 않았다($P < 0.05$).

염분에 따른 부화율은 20, 25psu에서는 0%, 27psu에서 $25.1 \pm 0.5\%$, 29psu에서 $40.2 \pm 2.1\%$, 32psu에서 $90.5 \pm 5.5\%$ 로 부화율이 가장 높은 것으로 나타났다($P < 0.05$). 이러한 결과는 오분자기의 주 산란시기에 장마로 인해 해수 염분농도가 낮아지면서 수정란 기형률이 높아지면서 생존율과 부화율을 감소시키는 것으로 판단된다. Yong et al.(1993)에 의하면 독가시치류의 난 발생 과정에서 높은 염분에서는 배 발달의 속도를 증가, 부화시간 단축, 생존율과 부화율을 감소시킨다고 보고하였고, Go et al. (1996)에서는 자주복의 경우 저염분에서 부화가 이루어졌다고 하더라도 기형률의 증가나 시간이 경과하면서 부화자어의 높은 폐사로 이어졌다고 보고한 바 있다. 이러한 결과는 어류나 패류 역시 염분농도에 의해 기형률이 높아지며 시간이 경과함에 따라 폐사량이 증가하는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 자연에서 오분자기 방란·방정으로는 수정이 이루어지지 않아 자원회복이 불가능 할 것이며, 육상에서 대량 종묘생산 후 방류해야 자원회복이 가능 할 것으로 판단되어 추후 이에 대한 세부적인 실험을 통하여 그 지표설정을 위한 연구를 실시하고자 한다.

V. 참고문헌

- Barton BA. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis in the response and effects of corticosteroids. *Ann Rev Fish is* 1: 3-26.
- Go HB and Rho S. 1996. Low salinity tolerance of eggs and juveniles of tiger puffer *Takifugu rubripes*. *J Aquacult* 9, 43-55.
- Holliday FG T. 1969. The effects of salinity on the eggs and larvae of teleost. *Fish Physiology*, Vol. I. Academic Press, New York, 293-310.
- Hwang HK, Kim DH, Park MW, Yoon SJ and Lee YH. 2008. Effects of Water Temperature and Salinity on the Egg and Larval of Chub Mackerel *Scomber japonicas*. *J Aquaculture* 21, 234-238.
- Jwa MS, Kang KP, Choe MK and Yeo IK. 2009. Effects of low salinity stresses on the physiology of disc abalone, *Haliotis discus discus*. *J Fish athol* 22, 293-303
- Kinne O. 1996. Physiological aspects of animal in estuaries with special reference to salinity. *Netherlands Journal of Sea Research*, 3: 222-244.
- Kim SH, Lee CH, Song YB, kim By, Hyun SY and Lee YD. 2012. Reproductive Cycle of Small Abalone, *Haliotis diversicolor aquatilis* in Jeju Coastal Waters. *Dev. Reprod.* Vol. 16: 145-153.
- Lee JJ and Lee CK. 1982. Gametogenesis, reproductive cycle and inducing spawning of the abalone, *Sulculus diversicolor aquatilis* (Reeve). *Bull Mar Resour Res Inst* 6: 9-25.
- Park HJ and Kang JC. 2012. Biochemical changes in the hemolymph and hepatopancreas of abalone *Haliotis discus hannai* exposed to copper. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45: 154-160.
- Pierce SK and Greenberg MJ. 1972. The nature of cellular volume regulation in marine bivalves. *Journal of Experimental Biology*, 57: 681-692.
- Sastry AN and Vargo SL. 1997. Variations in the physiological response of crustacean larvae to temperature. In: *Physiological Response of Marine Biota to Pollutants*. (ed. by Vernberg, F.J., Calabrese, A., Thurberg, F.P., Vernberg W.B.), Academic Press, New York, 410-424.
- Shin YK, Lee WC, Kim DW, Son MH, Jun JC, Kim EO and Kim SH. 2012. Seasonal

changes in physiology of the abalone *Haliotis discus hannai* reared from Nohwa Island on the south coast of Korea. Korean Journal of Malacology, 28: 131-136.

Widdows J.(1985. The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of *Mytilus edulis*. In: Marine Biology of Polar Regions and Effects of Stress on Marine Organism. (ed. By Gray, J. S., Christiansen, Me.), Wiley-Interscience, New York. 555-566.

Yong PS and Duenas CE. 1993. Salinity tolerance of fertilized eggs and yolk-sac larvae of the rabbitfish *Siganus guttatus*(Bloch). Aquaculture 112, 363-377.