

저염수에서 이매패류 참굴(*Crassostrea gigas*)의 폐각운동

문수연\* · 오석진\*\*†

\*, \*\* 부경대학교 해양학과

Shell Valve Movement of Pacific Oysters, *Crassostrea gigas*,  
in Response to Low Salinity Water

Suyeon Moon\* · Seok Jin Oh\*\*†

\*, \*\* Department of Oceanography, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

**요 약** : 본 연구는 참굴(*Crassostrea gigas*)의 폐각운동을 이용하여, 연안역에서 발생하는 저염수에 대한 조기경보가능성을 살펴보았다. 30 psu와 20 psu에서 폐각운동은 각각  $7.32 \pm 3.21$ 회/hr와  $7.11 \pm 3.90$ 회/hr였으며, 파형과 횡수는 차이가 없었다(t-test,  $p > 0.001$ ). 하지만 10 psu와 5 psu에서는 모든 개체가 폐각상태를 지속하였다. 수온과 염분의 복합실험결과, Group 1(수온  $15^\circ\text{C} \times$  염분 15 psu)은 20~30 psu에서 보인 폐각운동 후(약 2~3시간), 장시간 폐각을 하였다. Group 2(수온  $30^\circ\text{C} \times$  염분 15 psu)에서는 Group 1의 폐각 개폐운동보다 더 빠르고 자주 나타나, 참굴의 생리적인 위기상황에 대한 신호를 나타내었다. 따라서 이러한 파형은 하계 저염수 출현 시 나타낼 수 있는 조기경보 신호로 충분히 활용될 수 있을 것으로 보인다.

**핵심용어** : 참굴(*Crassostrea gigas*), 연안역, 폐각운동, 저염수, 조기경보

**Abstract** : We examined the possibility of developing an early monitoring system using the shell valve movement activity of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) for early detection of low salinity water in coastal areas. At salinity levels of 30 psu and 20 psu, SVMs were detected  $7.32 \pm 3.21$  times/hr and  $7.11 \pm 3.90$  times/hr, respectively. The patterns and times of SVMs were not significantly different between the two experiment phases. However, at 10 psu and 5 psu, shell valves were observed to be permanently closed in all experiments. Under combined condition (Group 1: temperature  $15^\circ\text{C} \times$  salinity 15 psu), SVMs were observed from 20 psu to 30 psu over a 2-3 hr period, and then remained closed. In Group 2 (temperature  $30^\circ\text{C} \times$  salinity 15 psu), SVMs were observed, which indicated that the physiological condition of the oysters reached a critical point. Thus, it may be possible to utilize SVMs as an early warning signal for low salinity water.

**Key Words** : Pacific oyster (*Crassostrea gigas*), Coastal area, Shell valve movement, Low salinity water, Early warning system

## 1. 서 론

염분은 수온과 더불어 해양생물의 에너지대사, 여과율을 포함한 생리활동 그리고 생물의 지리적 분포에 대한 영향을 주는 중요한 환경인자로 알려져 있다(Davenport et al., 1975; Navarro et al., 1991; Crain et al., 2004; Lee and Shin, 2015). 갑작스런 염분변화는 물질대사와 삼투조절 등 해양생물에 영향을 미치며, 장기간 저염수에 노출되었을 때는 치사에 이르게 된다(Bennett, 1985; Harris and Ulmestrand, 2004). 이매패류도 저

염수에 노출 시 빠른 폐각운동(Shell valve movement) 또는 두 폐각을 폐각하는 행동을 보이며, 섭이 활동의 감소와 낮은 성장률로(Bohle, 1972; Hand and Stickle, 1977; Shumway, 1977), 결국 폐사에 이르게 된다(Hammond, 1983; Matthews and Fairweather, 2004).

한편, 우리나라의 하천은 강수량의 계절적 편차에 따라 큰 유량변동이 있기 때문에 홍수를 막고, 농업 및 공업용 용수를 확보하기 위해, 1960년대 이후 주요 수계에 다목적 댐들을 건설하여 왔다(Lee et al., 2012). 일반적으로 댐은 저수용량이 한계에 달할 때 담수를 방류하게 되며, 인근 연안역은 급격한 염분변화를 초래한다(Ro and Jung, 2010; Jung et al., 2012). 또한 우리나라 양식산업은 천해양식이 전체 어업

\* First Author : suyeon\_dal@pukyong.ac.kr, 051-816-8577

† Corresponding Author : sjoh1972@pknu.ac.kr 051-629-6576

생산량 약 60%를 차지하고 있으며(MOF, 2016), 양식밀도도 높아 저염수의 출현은 양식생물에 큰 영향을 미치게 된다(Sklar and Browder, 1998; Kurata, 2000). 더욱이 우리나라 연강수량은 하계 집중 호우에 따라 증가 추세를 보였지만, 수자원 확보 측면에서는 크게 도움이 되지 않으며, 오히려 홍수 위험을 가중시켜 댐 운영을 더 어렵게 하였다(Jung et al., 2010). 이러한 기상변화는 저염수에 따른 연안역 생태계의 악영향을 과거보다 더욱 가중 시킬 것으로 우려된다.

지금까지 생물조기경보시스템에서 활용한 생물 센서는 박테리아, 미세조류 및 어류로, 박테리아는 호흡, 질산화, 발광(bioluminescence), 미세조류는 광합성활성, 동물플랑크톤과 어류는 수영속도를 포함하는 행동의 변화에 따라 조기경보를 하고 있다(Bae and Park, 2014). 이매패류의 경우는 좌각과 우각의 패각운동을 활용하여 조기경보시스템(Biological Early Warning System; BEWS)에 활용하고 있으며, 그 대표적인 예가 홍합을 활용한 Mosselmonitor(Kramer et al., 1989), Dreissena Monitor(Borcherding, 1994) 그리고 진주조개를 활용한 Kai-lingual(Nagai, 2006)로, 수계의 독성물질 및 패류를 폐사시키는 유해적조조류를 감시하는데 활용되고 있다.

우리나라는 수도법 시행규칙에 따라 상수원에 유해 미생물이나, 화학물질이 투입이 되는 것을 대비하여, 지표수 취수장·정수장에 물벼룩, 미생물 및 조류를 활용한 생물조기경보시스템을 설치하여 감시를 하고 있다. 하지만, 해양에서 발생하는 여러 가지 환경변수 변화에 대한 BEWS는 아직 개발단계에 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 우리나라 이매패류 양식생산량에서 가장 높은 비율을 차지하는 참굴(*Crassostrea gigas*)의 패각운동을 이용하여, 연안역에서 발생하는 저염수에 대한 조기경보시스템의 구축 가능성을 살펴 보았다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 참굴의 패각운동 측정장치

본 실험에 사용된 참굴(*C. gigas*)은 경상남도 거제시 한산만에서 수하식으로 양식된 2년산 개체로(각장  $100 \pm 30$  mm, 각폭  $30 \pm 10$  mm, 각고  $30 \pm 10$  mm 그리고 습중량  $100 \pm 30$  g) 패각운동의 측정은 소형홀 소자(A1369EUA-24-T, Allegro MicroSystems LLC., Worcester)와 패각운동측정장치(OCEANTECH Co., OT-SVML-001, Busan)를 이용하였다. Oh et al.(2013)의 보고와 같이 홀소자는 정밀기기 측정과 같은 공업 분야에서 많이 사용되는 센서로 자기장의 세기에 따라 전압이 변화하며, 기존의 패각운동 측정 장치인 Kymograph와 Strain-gauge보다 부착에 따른 실험중의 스트레스 없이 패각운동을 측정하는데 용이하다(Nagai, 2006; Oh et al., 2013; Jeon et al., 2016).

계측원리는 이매패류 좌패각에 홀소자를 우패각에 자석을 부착시켜 개폐 거리에 따라 변화하는 자기력 값을 전기적 출력값으로 치환하여, 패각운동을 측정하였다(Nagai, 2006; Oh et al., 2013; Jeon et al., 2016). 본 연구에서 사용된 홀소자는 무게 2 g 내외이며, 감도는 15 mv~1,000 mv를 가지고 측정속도는 0.5~2.0 sec였다. 홀소자와 자석은 실험대상생물에 독성 피해가 없는 산호 접착제(Coral Gum 104.74, TUNZE Co., Penzeberg)를 사용하여 부착하였다.

### 2.2 염분에 따른 참굴의 패각운동 측정

패각운동 측정에 이용한 참굴 개체수의 통계적인 유의성을 가지기 위해 32개체 이상의 실험중에 대하여 실험을 수행하였다. 먼저 참굴의 먹이 섭취 영향을 배제하기 위해 GF/C(1.2  $\mu$ m pore size)필터로 여과한 해수에 3일 이상 절식시켰으며(Lee and Chin, 1981; Way et al., 1990), 현장과 유사한 환경조건(수온: 15°C, 염분: 31 psu, pH: 8.1)에서 순치시켰다. Oh et al.(2016)은 조석주기가 없는 실내실험의 경우 야간과 주간에 대한 패각운동의 통계적인 유의한 차이가 없다고 보고하여 모든 실험은 암 조건에서 수행하였다. 수온 및 pH 환경은 채취한 굴 양식장 환경(수온: 15°C, pH: 8.1)과 유사하게 조절하였다. 염분 변화실험은 4 단계 실험구(염분: 0, 10, 20, 30 psu)로 설정하였고, 30 psu 실험구로부터 시작하여 각각의 실험구에서 2시간씩 총 8시간 동안 패각운동을 측정하였다. 염분농도는 자연해수(30 psu)와 초순수 이온수를 혼합하여 조절하였다.

### 2.3 복합요인(염분, 수온)에 따른 참굴의 패각운동 측정

Moon et al.(2017)에 따르면, 수온의 변화에 따른 참굴의 패각운동을 확인한 결과, 고수온(30°C)에서 패각 또는 빠른 패각운동을 보여, 고수온에 대한 조기경보가능성을 보고하였다. 실제 저염수의 경우, 하계 연안역에서 발생할 가능성이 높기 때문에, 복합요인 실험을 구상하였다. Group 1의 경우 준계 저염수를 가정하여, 수온 15°C, 염분 15 psu로 설정하였으며, Group 2는 하계 저염수를 가정하여, 수온 30°C, 염분 15 psu로 설정하고 12시간 동안 패각운동을 측정하였다. 광조건과 pH는 앞서 설명한 “염분에 따른 패각운동 측정”의 실험조건과 동일하였다. 수온조절은 냉각기(DBA-075, Daeil COOLER CO., Busan)와 석영관 히터(HA-200, Zhongshan Chuangmei Electric Co., Zhongshan)를 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

대부분의 해양무척추동물은 외부의 염분농도 변화에 따라 생존을 위해 체액농도를 변화시키는 삼투순응형동물

(Osmoconformer)이다. 이들은 외부 삼투압의 변화에 대해 체액 삼투농도를 일정하게 조절하는 삼투조절형동물(Osmoregulator) 만큼 에너지를 소비할 필요는 없지만, 염분변화에 따라 삼투변화 등 생리적인 변화가 발생한다(Bradley et al., 2009). 이때 패류도 삼투순응형동물로 염분의 농도변화에 따라 신진대사 활동에 직접적으로 영향을 받기 때문에(Stickle and Sabourin, 1979; Gardner and Thompson, 2001; Braby and Somero, 2006), 폐각의 움직임을 포함한 이때패류의 행동에 영향을 주게 된다(Ameyaw-Akumfi and Naylor, 1987; Navarro, 1988; Lee and Shin, 2015).

실내수조에서 참굴은 평균  $5.69 \pm 2.96$ 회/hr의 폐각운동을 하였으며(Oh et al., 2016; Moon et al., 2017), 폐각운동의 양상은 개각상태를 유지하다 비교적 빠르게 각을 움직여 폐각하였고 다시 서서히 각을 열어 개각상태를 유지하였다(Fig. 1). 30 psu와 20 psu 실험구에서 각각  $7.32 \pm 3.21$ 회/hr 그리고  $7.11 \pm 3.90$ 회/hr로 유의한 차이가 없는 폐각운동 횟수 및 파형을 보였다(t-test,  $p > 0.001$ ). 10 psu와 5 psu 전 구간에서는 모든 개체가 폐각상태를 보였다. 일반적으로 참굴은 광염성 종으로서 서식가능 염분농도는 약 14~37 psu(Park et al., 1989)이며, 최적 염분농도는 약 20~25 psu(Guo et al., 1996)로, 기존의 서식환경 보고와 유사하게 염분환경이 비교적 양호한 환경에서 일반적인 폐각운동을 나타내었다.

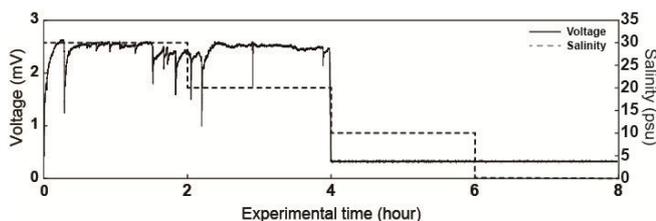


Fig. 1. Shell valve movements of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) exposed to various salinity (0, 10, 20, 30 psu). SVMs in the each salinity steps were measured during 2 hr. Low salinity water (<30 psu) was controlled by adding the ultrapure deionized water.

염분의 변화에 따른 이때패류의 생리적인 변화를 보면, 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*)는 20~36 psu의 염분에서 산소 이용율은 거의 변화가 없었으나, 이보다 높거나 낮은 염분변화에 대해서는 산소 이용율이 감소하였다(Bouxin, 1931). 진주담치(*Mytilus edulis*)의 경우도 20~30 psu 사이의 염분변동에 대해서 산소이용률과 여과율 등의 대사는 거의 일정한 수준을 유지하였으나, 20 psu 이하의 염분에서는 모두 감소하였다(Widdows, 1985). 폐각운동의 경우, Peppery furrow shell (*Scrobicularia plana*)은 저염수에 노출되었을 때 장기간 폐각

상태를 유지하는 것을 관찰하였고(Bayne et al., 1976), 대서양굴(*Crassostrea virginica*)에서도 5 psu 이하의 염분에 노출되었을 때 먹이활동과 배설물 및 위분의 생산을 중단하고, 폐각상태를 유지하였다(Heilmayer et al., 2008). 새조개(*Modiolus demissus*)는 18 psu까지 염분을 감소시켰을 때 폐각상태가 관찰되었고(Bayne et al., 1976), 진주담치(*Mytilus edulis*)는 20 psu 이하의 염분에서 부분적인 폐각상태를 보였다(Davenport, 1979). 이와 같이, 저염수 환경에서의 폐각상태는 체액조절을 위한 주요 방법이며(Pierce, 1971), Davenport and Fletcher(1978)는 삼투압 충격에 대해 섬모(cilia)를 보호하는 중요한 기작이라고 설명하였다. 일반적으로 이때패류들은 염분에 대한 내성이 비교적 크지만, 급격한 염분감소는 산소이용률, 여과율 및 폐각운동의 변화를 발생시켜 삼투순응형동물로써 극한염분 환경에 대한 적응기작을 나타내는 것으로 보인다.

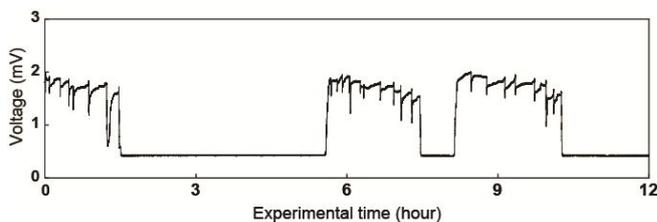


Fig. 2. Shell valve movements of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) exposed to temperature 15°C and salinity 15 psu during 12 hr.

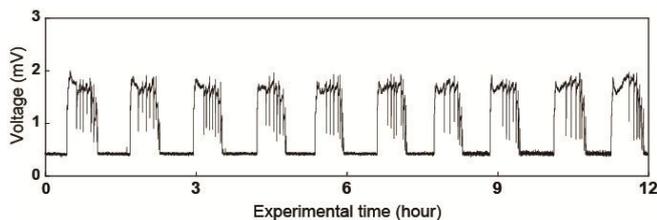


Fig. 3. Shell valve movements of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) exposed to temperature 30°C and salinity 15 psu during 12 hr.

복합실험결과, Group 1에서는 “염분의 감소에 따른 폐각운동 실험”에서 나타나지 않는 운동이 관찰되었다(Fig. 2). 즉, 20 psu와 30 psu에서 보인 폐각운동과 차이가 없는 운동을 보였다가(약 2~3 시간), 장시간 폐각상태를 유지하였다. Group 2에서는 Group 1에서 보였던 폐각운동이 더 빠르고 자주 나타났었다(Fig. 3). Moon et al.(2017)는 30°C 고수온에서 나타난 폐각운동이 아주 빠르게 나타나거나, 장시간 폐각상태를 지속하였다고 보고하였다. 일반적으로, 두 가지 이상의 환경인자가 동시에 복합적으로 작용하면 독립적으로 작용

하는 요인보다 강한 생물학적 영향을 미치며, 길항효과(antagonistic effect), 상승효과(synergistic effect) 혹은 상가효과(additive effect)가 나타날 수 있다(Brown and Hartwick, 1988; Bataller et al., 1999). 대서양 굴은 저온에서 극한 염분조건을 견딜 수 있는 능력이 있지만, 수온이 30℃ 이상 상승하면 저염분에서 치사율이 급격히 증가하였다(Heilmayer et al., 2008). 본 실험에서 Group 2의 경우 우리나라 하계 저염분과 고수온 패각운동의 특징이 결합된 과형으로, 참굴의 생리적인 위기상황에 대한 신호를 뚜렷하게 나타내었다. 따라서 이러한 과형은 하계 저염수 출현 시, 나타낼 수 있는 조기경보 신호로 충분히 활용될 수 있을 것으로 보인다.

그 동안 어패류 폐사의 원인으로 대부분이 이상 고수온이나 빈산소수의 영향을 고려해왔으나, 최근 남·서해안 및 제주도 해역에 저염수 유입에 따른 양식생물의 대량폐사를 발생시켜 어민들에게 큰 피해를 초래하고 있다. 따라서 본 연구의 결과는 이매패류 패각운동을 활용한 생물모니터링 시스템을 기반으로 저염수에 대한 조기경보 가능성을 시사하였다. 하지만 실용화를 위해서는 현장적용실험을 바탕으로 한 물리·화학 센서와 상호 비교 그리고 현장에서 지속적인 패각운동 자료 수집이 필요하다.

## 사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의하여 연구되었습니다.

## References

- [1] Ameyaw-Akumfi, C. and E. Naylor(1987), Temporal patterns of shell-gape in *Mytilus edulis*, Marine Biology, Vol. 95, No. 2, pp. 237-242.
- [2] Bae, M. J. and Y. S. Park(2014), Biological early warning system based on the reponse of aquatic organisms to disturbances: A review, Science of the Total Environment, Vol. 466-497, No. 1, pp. 635-649.
- [3] Bataller, E. E., A. D. Boghen and M. D. B. Burt(1999), Comparative growth of the eastern oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin) reared at low and high salinities in New Brunswick, Canada, Journal of Shellfish Research, Vol. 18, No. 1, pp. 107-114.
- [4] Bayne, B. L.(1976), Marine mussels: their ecology and physiology, Cambridge University, pp. 528.
- [5] Bennett, B. A.(1985), A mass mortality of fish associated with low salinity conditions in the Bot River estuary, Transactions of the Royal Society of South Africa, Vol. 45, No. 3-4, pp. 437-447.
- [6] Borchering, J.(1994), The "Dreissena-Monitor"- Improved evaluation of dynamic limits for the establishment of alarm-thresholds during toxicity tests and for continuous water control, In: Hill, I. A., F. Heimbach, P. Leeuwangh and P. Matthiesen(eds), Freshwater field tests for hazard assessment of chemicals, Lewis, pp. 477-484.
- [7] Bohle, B.(1972), Effects of adaptation to reduced salinity on filtration activity and growth of mussels (*Mytilus edulis*), Journal of Experimental Biology and Ecology., Vol. 10, No. 1, pp. 41-49.
- [8] Bouxin, H.(1931), Influence des variations rapides de la salinité sur la consommation d'oxygène chez' *Mytilus edulis* var. *galloprovincialis*' (Lmk.), Bulletin de l'Institut Océanographique, No. 569, pp. 1-11.
- [9] Braby, C. E. and G. N. Somero(2006), Following the heart: temperature and salinity effects on heart rate in native and invasive species of blue mussels (genus *Mytilus*), Journal of Experimental Biology, Vol. 209, No. 13, pp. 2554-2566.
- [10] Bradley, T. J.(2009), Animal osmoregulation, Oxford University Press. pp. 184.
- [11] Brown, J. R. and E. B. Hartwick(1988), Influences of temperature, salinity and available food upon suspended culture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*: I. Absolute and allometric growth, Aquaculture, Vol. 70, No. 3, pp. 231-251.
- [12] Crain, C. M., B. R. Silliman, S. L. Bertness and M. D. Bertness(2004), Physical and biotic drivers of plant distribution across estuarine salinity gradients, Ecology, Vol. 85, No. 9, pp. 2539-2549.
- [13] Davenport, J., D. Gruffydd and A. R. Beaumont(1975), An apparatus to supply water of fluctuating salinity and its use in a study of the salinity tolerances of larvae of the scallop *Pecten maximus* L, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, Vol. 55, No. 2, pp. 391-409.
- [14] Davenport, J. and J. S. Fletcher(1978), The effects of simulated estuarine mantle cavity conditions upon the activity of the frontal gill cilia of *Mytilus edulis*, Journal of the Marine Biological association of the United Kingdom, Vol. 58, No. 3, pp. 671-681.
- [15] Davenport, J.(1979), The isolation response of mussels (*Mytilus edulis* L.) exposed to falling sea-water

- concentrations, J. Mar. Biol. Ass. U.K., Vol. 59, No. 1, pp. 123-132.
- [16] Gardner, J. P. and R. J. Thompson(2001), The effects of coastal and estuarine conditions on the physiology and survivorship of the mussels *Mytilus edulis*, *M. trossulus* and their hybrids, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 265, No. 2, pp. 119-140.
- [17] Guo, X., G. A. DeBrosse and S. K. Allen(1996), All-triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by mating tetraploids and diploids, Aquaculture, Vol. 142, No. 3, pp. 149-161.
- [18] Hammond, L. S.(1983), Experimental studies of salinity tolerance, burrowing behavior and pedicle regeneration in *Lingula anatina* (Brachiopoda, Inarticulata), Journal of Paleontology, Vol. 57, pp. 1311-1316.
- [19] Hand, S. C. and W. B. Stickle(1977), Effects of tidal fluctuations of salinity on pericardial fluid composition of the American oyster *Crassostrea virginica*, Marine Biology, Vol. 42, No. 3, pp. 259-271.
- [20] Harris, R. R. and M. Ulmestrand(2004), Discarding Norway lobster (*Nephrops norvegicus* L.) through low salinity layers - mortality and damage seen in simulation experiments, ICES Journal of Marine Science, Vol. 61, No. 1, pp. 127-139.
- [21] Heilmayer, O., J. Digialleonardo, L. Qian and G. Roesijadi (2008), Stress tolerance of a subtropical *Crassostrea virginica* population to the combined effects of temperature and salinity, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 79, No. 1, pp. 179-185.
- [22] Jeon, J. Y., S. Y. Moon and S. J. Oh(2016), Bio-monitoring System using Shell Valve movements of Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) (Detecting Abnormal Shell Valve Movements Under Hypoxia Water using Hall Element Sensor), Journal of Marine Life Science, Vol. 1, No. 1, pp. 25-30.
- [23] Jung, I. W., D. H. Bae and G. Kim(2010), Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea, International Journal of Climatology, Vol. 31, No. 3, pp. 359-370.
- [24] Jung, K. Y., Y. J. Ro, B. J. Kim and K. Park(2012), Model trajectory simulation for the behavior of the Namgang Dam water in the Kangjin Bay, South Sea, Korea, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 24, No. 2, pp. 97-108.
- [25] Kramer, K. J., H. A. Jenner and D. de Zwart(1989), The valve movement response of mussels: a tool in biological monitoring, Hydrobiologia, Vol. 188, No. 1, pp. 433-443.
- [26] Kurata, M.(2000), Tolerance of the Japanese littleneck clam *Ruditapes philippinarum* to low salinity and dissolved oxygen at low temperatures, Scientific Reports of Hokkaido Fisheries Experimental Station (Japan), Vol. 58, pp. 17-21.
- [27] Lee, B. K. and P. Chin(1981), Effects of body size, temperature-salinity and starvation on the rates of filtration in *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis*, Institute of Marine Sciences, National Fisheries University of Busan, Vol. 13, pp. 37-41.
- [28] Lee, D. H., C. W. Choi, M. S. Yu and J. E. Yi(2012), Reevaluation of multi-purpose reservoir yield, Journal of Korea water Resources Association, Vol. 45, pp. 361-371.
- [29] Lee, S. E. and H. C. Shin(2015), The Influence of Water Temperature on Filtration Rates and Ingestion Rates of the Blue Mussel, *Mytilus galloprovincialis* (Bivalvia), The Korean Journal of Malacology, Vol. 31, No. 3, pp. 203-212.
- [30] Matthews, T. G. and P. G. Fairweather(2004), Effect of lowered salinity on the survival, condition and reburial of *Soletellina alba*(Lamarck, 1818)(Bivalvia: Psammobiidae), Austral Ecology, Vol. 29, No. 3, pp. 250-257.
- [31] MOF(2016), Ministry of Ocean and Fisheries, Statistical Yearbook of Oceans & Fisheries. pp. 417.
- [32] Moon, S., D. H. Kim, Y. H. Yoon, S. J. Oh(2017), A study on bio-monitoring systems using shell valve movements of Pacific Oysters (*Crassostrea gigas*) in response to abnormal high water temperature, Journal of the Korean Society For Marine Environment and Energy, Vol. 23, No. 1, pp. 91-97.
- [33] Nagai, K.(2006), Research on means of alleviating damage by *Heterocapsa circularisquama* red tides and reddening adductor disease, causes of the mass mortalities of Japanese pearl oysters (*Pinctada fucata martensii*), Ph.D. Thesis, Kyushu University.
- [34] Navarro, E., J. I. P. Iglesias, A. P. Camacho, U. Labarta and R. Beiras(1991), The physiological energetics of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) from different cultivation rafts in the Ria de Arosa (Galicia, NW Spain), Aquaculture, Vol. 94, No. 2-3, pp. 197-212.
- [34] Navarro, J. M.(1988), The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* (Molina, 1782)(Bivalvia: Mytilidae), Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 122, No. 1, pp. 19-33.
- [35] Oh, S. J., J. H. Lee and S. Y. Kim(2013), Bio-Monitoring System Using Shell Valve Movements of Pacific Oyster

- (*Crassostrea gigas*) I. Detecting Abnormal Shell Valve Movements Under Low Salinity Using a Hall Element Sensor, Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy, Vol. 16, No. 2, pp. 138-142.
- [36] Park, B. H., M. S. Park, B. Y. Kim, S. B. Hur and S. J. Kim(1989), Culture of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in the Republic of Korea, National Fisheries Research and Development Agency, Pusan, pp. 1-55.
- [37] Pierce, S. K.(1971), Volume regulation and valve movements by marine mussels, Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, Vol. 39, No. 1, pp. 103-117.
- [38] Ro, Y. J. and K. Y. Jung(2010), Impact of the dam water discharge on the circulation system in the Kangjin Bay, South Sea, Korea. Vol. 45, No. 1, pp. 7-25.
- [39] Shumway, S. E.(1977), The effect of fluctuating salinity on the tissue water content of eight species of bivalve molluscs, Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology, Vol. 116, No. 3, pp. 269-285.
- [40] Sklar, F. H. and J. A. Browder(1998), Coastal environmental impacts brought about by alterations to freshwater flow in the Gulf of Mexico, Environmental management, Vol. 22, No. 4, pp. 547-562.
- [41] Stickle, W. B. and T. D. Sabourin(1979), Effects of salinity on the respiration and heart rate of the common mussel, *Mytilus edulis* L., and the black chiton, *Katherina tunicata* (Wood), Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 41, No. 3, pp. 257-268.
- [42] Way, C. M., D. J. Hornbach, C. A. Miller-Way, B. S. Payne and A. C. Miller(1990), Dynamics of filter feeding in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae), Canadian Journal of Zoology, Vol. 68, No. 1, pp. 115-120.
- [43] Widdows, J.(1985), The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of *Mytilus edulis*, Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms, In: Gray, J.S. and M. E. Christiansen(eds), Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms, J. Wiley, Chichester, pp 555-566.

---

Received : 2017. 09. 14.

Revised : 2017. 10. 16.

Accepted : 2017. 10. 28.