

수하식 큰가리비 양식의 채롱간 조류의 흐름 간섭현상 규명

김현영, 오봉세, 차봉진, 박미선

국립수산과학원

Investigation of interference current distribution in a long line scallop cage aquaculture

Hyun-Young Kim, Bong-Se OH, Bong-Jin Cha and Mi-Seon Park

National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705

ABSTRACT

The mass mortalities have been occurring of Korean scallop *Patinopecten yessoensis* from 1997's to now in Korea east sea. Cages behavior and interference effect (common name; curtain effect) between scallop cages were investigated in culture grounds on the eastern coastal waters of Korea for understand to mechanism of rising about mass mortalities of Korean scallop quickly. The first experiment was carried out in circulating water channel to assess inclination angel from relationship between velocity and cages interval, velocity with culture cages position. An angle of inclination of scallop culture cages were 94.6 to 92.3 degree under a several velocity which were from 0.1 m/s and 131.9 to 118.1 degree under 0.5 m/s with cages interval were 1 m, 94.3 to 91.0 degree under velocity is 0.1 m/s and 133.2 to 122.4 degree under 0.5 m/s with cages interval were 1.5 m and 94.6 to 96.4 degree under velocity is 0.1 m/s and 131.7 to 131.8 under 0.5 m/s with cages interval were 2 m. The second experiment was designed to prove the tank test. Velocities were measured inside and outside of the scallop culture ground at eastern sea of Korea. The velocity of inside of the culture was the slowest as 0.1m/s. In this result, interference between former cage and after cage was occurred.

Keyword: Scallop cage, Long line culture, Curtain effect, Mass mortality

서론

전 세계적으로 가리비류는 300여종으로 알려져 있으며 대부분이 한해성으로 남·북위 34° 30' 보다 고위도 지방에 분포한다 (Yoo, 1979). 우리나라에 서식하는 가리비류는 큰가리비 (*Patinopecten yessoensis*), 흔한가리비 (*Chlamys nobilis*), 비단가리비 (*Chlamys farreri farreri*) 등 총 24종이 있다 (Lee and Min, 2002). 이 중에서 양식의 대부분을 차지하는 큰가리비는 각장 20 cm까지 성장하는 한해성 패류로 우리나라

라 동해안과 일본 북부에 분포하고 있으며, 양식 대상이 되는 가리비 종에 대해서는 이미 많은 연구가 있다 (Chang, 1991; Park, 1998; Park *et al.*, 2001, Oh *et al.*, 2008, Jo *et al.*, 2009). 중국에는 큰가리비가 서식하지 않는 것으로 알려져 있으나 일본으로부터 1980년대에 이식하여 중국 북부연안 산동 성과 요령성을 중심으로 양식 산업화에 성공하였다 (YSFRI, 1991). 일본의 큰가리비 양식생산량은 2000년 304천 톤에서 2012년에 315천 톤으로 큰 변동은 나타내지 않고 있다. 그리고 중국의 가리비류 생산량도 2000년에 1,054천 톤에서 2012년에는 2,016천 톤으로 2배 가까이 증가하였다 (Fishstat J, 2012). 우리나라의 가리비류 양식생산량은 2000년에 2,371톤이었으나 2013년 484톤으로 급격히 감소하였다 (Statistical year book of maritime affairs & fisheries, 2013). 우리나라 가리비 양식생산량의 급감은 양식생산량의 대부분을 차지하는 큰가리비의 양식과정 중 대량폐사가 그 원인으로. 대량폐사는 수온, 염분 등의 환경요인에 의해 발생하는 것으로 보고되고 있다 (Peterson *et al.*, 1989; Zhang and Yichao, 1990; Hegaret *et al.*, 2003; Jie *et al.*, 2005; Akira,

Received: September 15, 2014; Revised: September 18, 2014; Accepted: September 23, 2014

Corresponding author : Bong-Jin Cha

Tel: +82 (51) 720-2571 e-mail: holdu@Korea.kr
1225-3480/24538

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

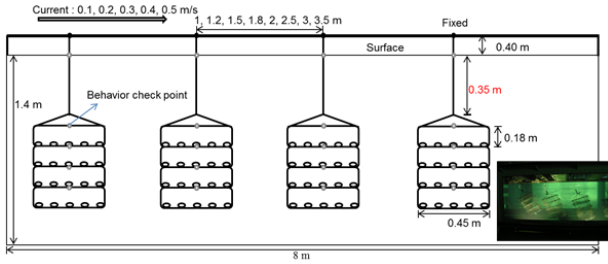


Fig. 1. Tank test to observe behavior of cages depend on currents. Small picture: behaviors of the cages in case of 0.5 m/sec current.

2007; Chen *et al.*, 2007; Jo, 2009; Oh *et al.*, 2010). 이외에 폐사 관련 연구들로서는 조류의 대량번식과 폐사 (Eckman, 1987; Tracey, 1988; Bricelj *et al.*, 1989; Gallagher *et al.*, 1989; Pohle *et al.*, 1991), 성숙과 산란에 미치는 수온 (Sastry, 1966), 먹이생물의 영향 (Rhodes and Wildman, 1980; Peirson, 1983; Urban and Langdon, 1984) 및 밀도와 영향 (Song *et al.*, 2002; Duggan, 1973; Oh *et al.*, 2000; Oh *et al.*, 2014) 등이 있다. 한편, 가리비의 유속과 성장 (Kirby-Smith, 1972) 등의 연구도 있으나, 실제 수하식 양식시설 내부에서 해수의 유통이 부족하거나, 채롱의 기울어짐이 과다하여 가리비가 한 쪽으로 몰리는 현상이 발생할 경우 큰가리비 종패는 서로 폐각을 물고 놓지 않는 현상이 발생한다. 이때 가리비 육질부분에 상처가 발생할 뿐 아니라 먹이섭취도 곤란하여 대량폐사의 원인이 되기도 한다.

본 연구에서는 큰가리비 양식장에서의 폐사의 한 원인이 되고 있는 수하양성 큰가리비 채롱과 유속과의 관계를 밝히기 위해, 조류와 큰가리비 채롱의 움직임을 공학수조에서 실험하고 이를 현장에서 검증하기 위해 큰가리비 양식시설의 위치별 유속을 측정하였다. 본 연구를 통한 결과는 큰가리비 등 수하식 양식시설을 설계할 때 해수의 유통과 유속에 따른 사육 채롱의 설치에 활용하여 수하양성 채롱 속의 큰가리비 등 생물이 안정적으로 양성될 수 있도록 기본적인 연구 자료를 제공하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 수조 실험

수조실험은 회류수조 (Circulating water channel, 10.0 × 2.8 × 1.4 m (L × B × H), NFRDI, Korea) 에서 수행되었다. 실험에 사용된 큰가리비 수하양성 채롱 (45 × 80 cm (Dia. × H), 망목 20.5 mm) 은 동해안 양식장에서 널리 사용되는 것으로 양식 해역의 조건을 고려하여 채롱의 개수를 조정한다. 본 연구에서는 수조의 수심을 고려하여 4칸의 채롱으로 만들어 사용하였다. 채롱에는 속을 실리콘으로 채운 가리비를

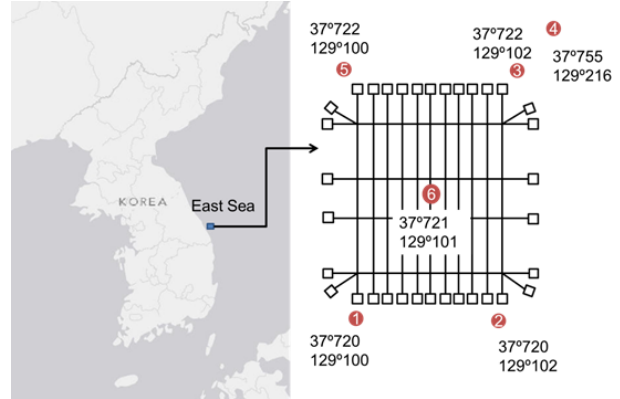


Fig. 2. The positions to investigate current speeds for the scallop culture.

각 채롱마다 5개씩을 바다에 붙였다.

실험은 채롱의 간격을 양식시설 설치 시 일반적인 시설 간격인 2 m를 전후로 다양화한 총 8가지 (1, 1.2, 1.5, 1.8, 2, 2.5, 3, 3.3 m) 로 각각의 실험조건에 대해 유속을 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 m/s 변경하면서 각 채롱이 수면에 대해 기울어진 각도를 수조와 연결되어 있는 디지털저 (Razer, 0.1mm, DongHyun ST, Korea) 로 측정하는 방식으로 수행되었다. 즉, 90도는 채롱이 수직으로 변화가 없는 것이며, 180도는 채롱이 수면까지 기울어진 형상이다. 채롱의 수는 실험수조의 길이를 감안하여 채롱간격이 1 m, 1.2 m, 1.5 m, 1.8 m 의 실험에서는 4개, 2 m에서는 3개, 2.5 m, 3 m, 3.3 m에서는 2개를 사용하였다. 채롱 한 칸마다 5 마리씩 총 20 마리의 큰가리비를 수용하였다. Fig. 1은 수조에서의 실험을 도식화 한 것과 실제 실험 장면이다.

2. 현장 유속 측정

수조실험의 결과를 검증하기 위해 동해안 큰가리비 양식장의 위치별 유속 (Seaguard RCM, Aanderaa, Norway) 을 측정하였다. Fig. 2는 큰가리비 양식장의 위치, 양식장이 설치된 모습 그리고 유속을 측정한 위치를 나타내었다. 본 양식장은 11열의 친승줄에 각각 8개의 가리비 채롱이 설치되어 있으며, 양식장의 면적은 200 × 200 m이었고, 수심은 25 m 였다. Fig. 3은 큰가리비 양식시설이 수중에 설치된 모습을 도식화한 것이다.

결과

1. 수조실험

채롱간격이 1 m (Fig. 4) 인 경우 4개 채롱의 기울기값은 각각 유속이 0.1 m/s 에서 94.6, 90.7, 91.0, 92.3도, 유속이 0.2 m/s 에서는 101.2, 99.0, 97.4, 93.1, 0.3 m/s 에서는

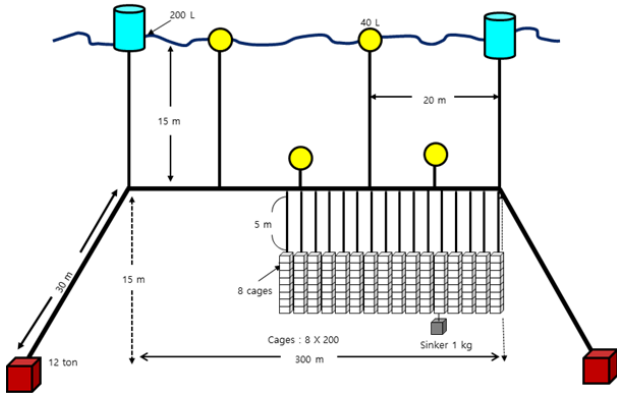


Fig. 3. Side of view of a scallop cultures at of the East Sea.

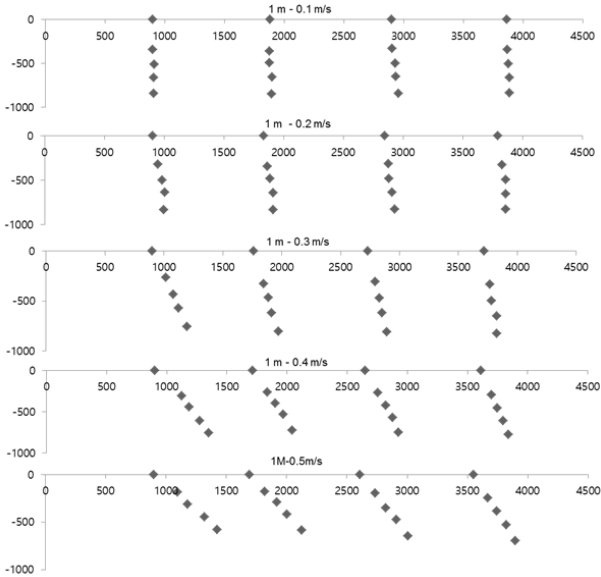


Fig. 4. Performance of each cage with 1 m gap depend on water velocity.

111.6, 104.8, 103.4, 96.8 도, 0.4 m/s에서는 120.2, 113.8, 115.5, 106.7 도, 0.5 m/s에서는 131.9, 124.3, 123.3, 118.1 도 였다.

채롱간격이 1.2 m (Fig. 5) 인 경우 4개 채롱의 기울기값은 각각 유속이 0.1 m/s인 경우 95.3, 94.6, 94.0, 90.9도, 유속이 0.2 m/s인 경우 101.7, 99.0, 97.4, 93.5 도, 0.3 m/s인 경우 111.6, 105.2, 103.2, 97.4도, 0.4 m/s인 경우 123.9, 116.3, 115.8, 108.4 도, 0.5 m/s인 경우 132.6, 143.7, 145.8, 120.9 도였다.

채롱간격이 1.5 m (Fig. 6) 인 경우 4개 채롱의 기울기값은 각각 유속이 0.1 m/s인 경우 94.3, 94.6, 94.0, 91.0 도, 유속이 0.2 m/s 인 경우 101.1, 100.1, 96.9, 92.6 도, 유속이 0.3 m/s인 경우 111.3, 105.7, 103.9, 98.3 도, 유속이 0.4 m/s

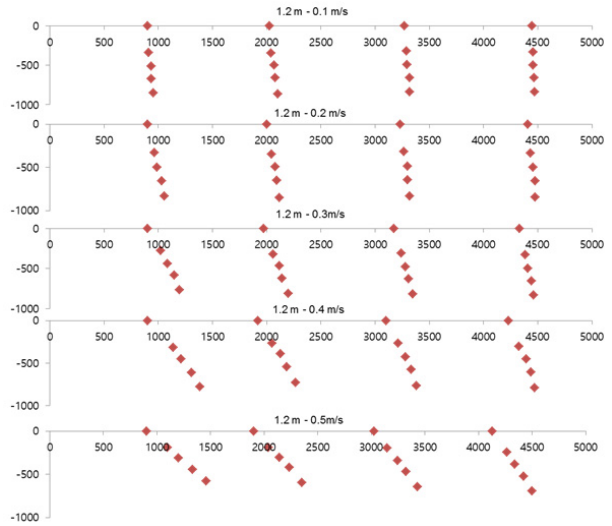


Fig. 5. Performance of each cage with 1.2 m gap depend on water velocity.

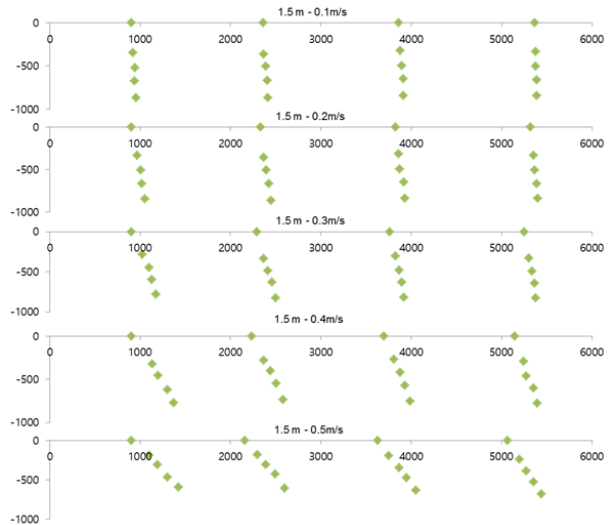


Fig. 6. Performance of each cage with 1.5 m gap depend on water velocity.

인 경우 122.8, 116.3, 117.0, 111.3 도, 유속이 0.5 m/s인 경우 133.2, 126.2, 128.8, 122.4 도 였다.

채롱간격이 1.8 m (Fig. 7) 인 경우 3개 채롱의 기울기값은 각각 유속이 0.1 m/s인 경우 94.3, 95.2, 94.5 도, 유속이 0.2 m/s 인 경우 101.5, 99.2, 98.3 도, 0.3 m/s인 경우 111.6, 106.3, 105.9 도, 유속이 0.4 m/s인 경우 123.9, 116.7, 117.5 도, 유속이 0.5 m/s인 경우 133.9, 127.4, 130.3으로 나타났다.

채롱간격이 2.0 m (Fig. 8) 인 경우 3개 채롱의 기울기값은 각각 유속이 0.1 m/s인 경우 94.6, 96.4, 96.4 도, 유속이 0.2

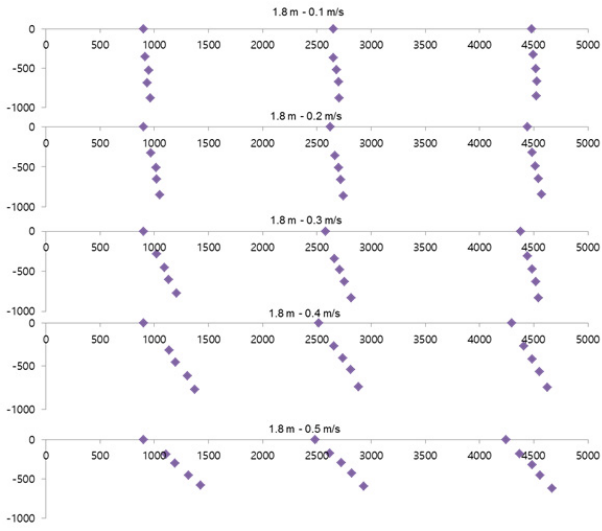


Fig. 7. Performance of each cage with 1.8 m gap depend on water velocity.

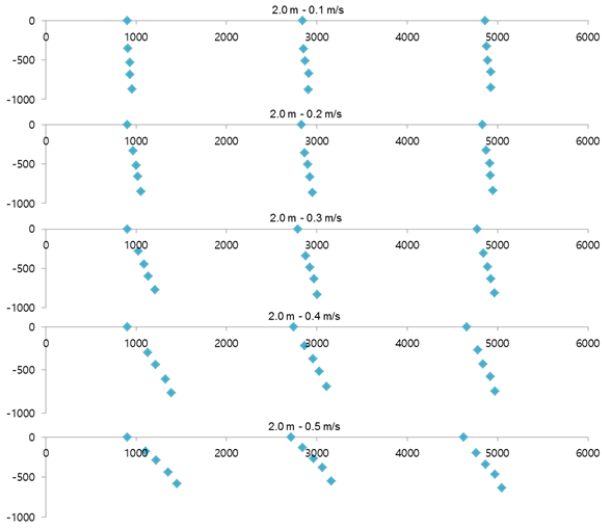


Fig. 8. Performance of each cage with 2.0 m gap depend on water velocity.

m/s인 경우 102.8, 100.8, 100.7 도, 유속이 0.3 m/s인 경우 112.4, 106.2, 106.4 도, 유속이 0.4 m/s인 경우 124.3, 116.7, 119.6 도, 유속이 0.5 m/s인 경우 131.7, 128.6, 131.8 도 었다.

채롱간격이 2.5 m (Fig. 9) 인 경우 2개 채롱의 기울기값은 각각 유속이 0.1 m/s에서는 94.4, 96.1로 나타났고, 유속이 0.2 m/s에서는 103.3, 101.7로, 0.3 m/s에서는 112.8, 108.6 으로 0.4 m/s에서는 125.1, 122.3으로, 0.5 m/s에서는 135.0, 133.6으로 나타났다.

채롱간격이 3.0 m (Fig. 10) 인 경우 2개 채롱의 기울기값

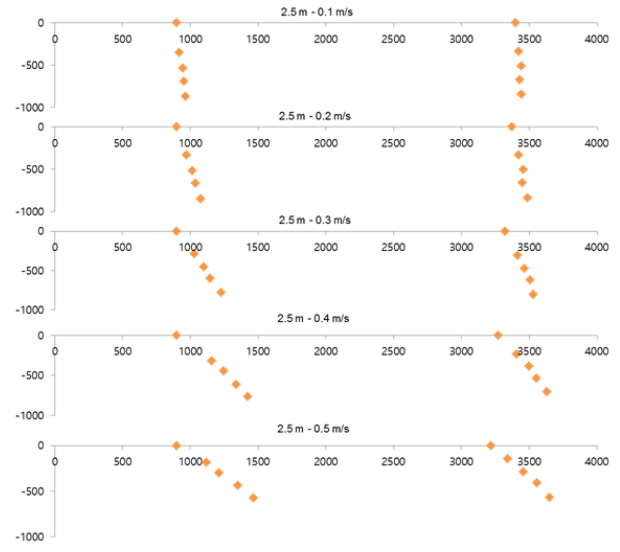


Fig. 9. Performance of each cage with 2.5 m gap depend on water velocity.

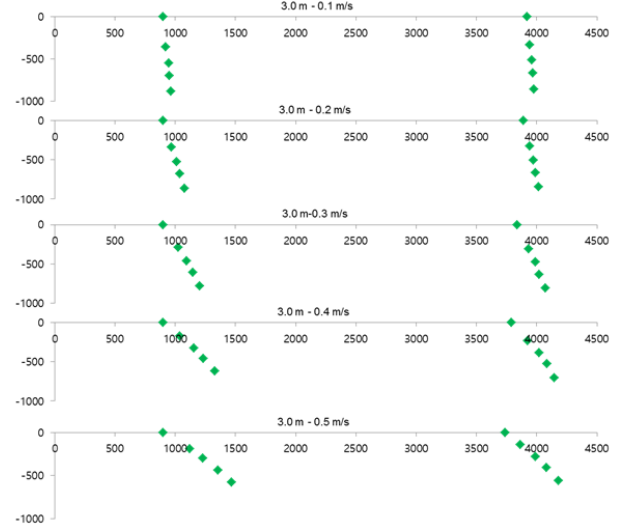


Fig. 10. Performance of each cage with 3.0 m gap depend on water velocity.

은 각각 유속이 0.1 m/s 인 경우 95.4, 96.2 도, 유속이 0.2 m/s 인 경우 100.4, 101.8 도, 유속이 0.3 m/s 인 경우 112.4, 110.2 도, 유속이 0.4 m/s 인 경우 124.9, 122.8 도, 유속이 0.5 m/s 인 경우 134.7, 134.6 도 었다.

2. 현장 유속 계측

해상에서 큰가리비 양식시설의 위치별 유속을 측정한 결과 (Fig. 11) 에 의하면 조류가 빠져나가는 1번점과 2번점은 유속 이 0.12 m/s, 조류와 양식장으로 입사하는 곳에 위치한 측정 점인 3번, 5번점의 유속은 0.2 m/s이었으며, 양식시설 중앙인

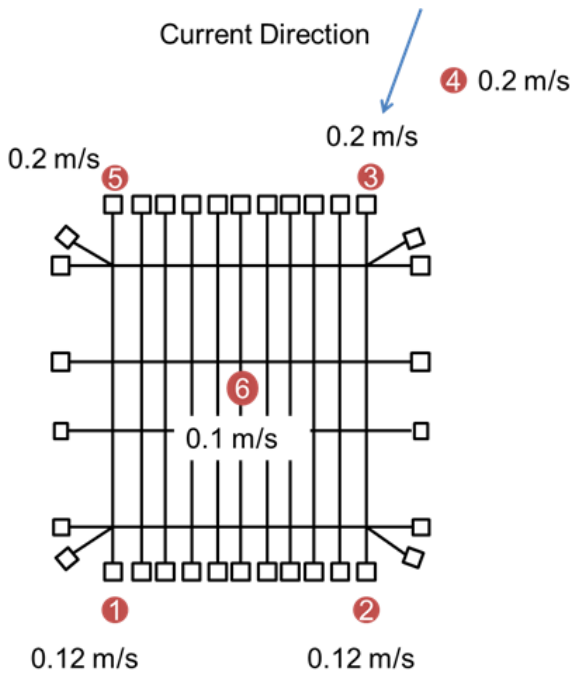


Fig. 11. Current speeds depend on the position of the scallop culture.

6번점은 0.1 m/s 였다. 그리고 조류가 입사하는 곳에 위치하고 양식장과 거리가 30 m 떨어져 있어 양식장의 영향을 적게 받고 있는 점인 4번점은 0.2 m/s 였다.

고 찰

하나의 양식시설이 인근 양식시설의 조류 흐름을 방해하는 커텐효과 (Cha *et al.*, 2014; L øland G., 1993) 는 일반적인 현상이다. 그러나 앞선 연구들과 달리 큰가리비 양식장은 수하식 양식장으로 커텐효과에 대한 연구를 찾기 힘들다. Fig. 12는 Fig. 4에서 10가지의 그래프를 유속별로 재구성한 것으로 각 채롱이 한 점에 고정되어 있다고 가정하고 앞의 결과들을 편집한 것이다. 채롱이 유속을 저감시키는 현상은 모든 유속에서 발생했다. 즉 채롱이 해류의 흐름을 막아 유속을 저감 시킨다는 가설을 세울 수 있다. 이 가설은 실제 큰가리비 양식장에서의 유속 측정에서 증명될 수 있었는데, 수하식 큰가리비 양식장에 입사하는 조류의 유속이 양식장을 통과하면서 저감하는 현상이 관측되었다. 조류가 입사하는 곳의 유속은 양식장이 설치되지 않은 인근 해역과 동일하였지만, 조류가 양식장을 통과하고 난 해역의 유속은 인근 해역보다 유속이 느렸다. 그러나 가장 유속이 느린 곳은 양식장 중앙이었는데, 이러한 현상이 나타나는 것은 양식장의 중앙은 느려진 유속을 보상할 수 있는 조류가 없는 반면 조류가 빠져 나온 양식장 뒷면은 주위의 조류가 느려진 유속을 보상할 수 있기 때문이다 (Cha *et al.*, 2014).

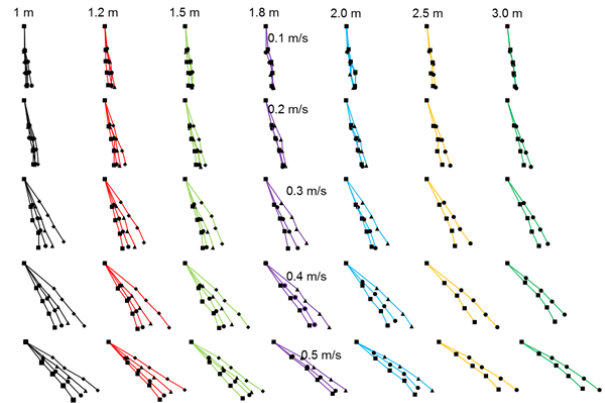


Fig. 12. Positions which were fixed in the tank test (See the Fig. 4) are moved one point virtually to compare inclination between the cages. ■: First cage, ●: Second cage, ▲: Third cage, ◆: Fourth cage

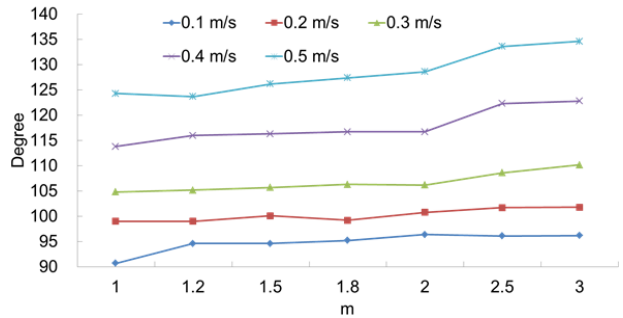


Fig. 13. Degrees of the second cages according to water velocity and the gape.

앞의 채롱에 의한 유속 저감은 새로운 해류와 먹이생물의 공급에 방해될 수 있으며, 폐사의 원인이 될 수 있으므로 (Rhodes and Wildman, 1980; Peirson, 1983; Urban and Langdon, 1984) 이를 보상할 수 있는 방법으로는 가두리 간격을 넓히는 것을 고려할 수 있다. 실제로 실험의 결과에 의하면 첫 번째 채롱을 통과한 유체의 속도를 보여주는 두 번째 채롱의 기울기는 유속이 같을 경우 채롱간의 간격이 멀수록 채롱의 기울기가 커지고 이러한 경향은 유속이 빠를수록 더욱 확실해졌다 (Fig 12, 13). 실험의 결과를 정량화하기 위해 통계적 기법 (ANVOA, SAS Enterprise 4.2, USA) 을 통해 두 번째 채롱의 기울기를 유속과 간격에 관한 식으로 나타내면 결정 계수가 0.9658로 높았으며 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$D2 = 9.19E-16 + 0.17259 L + 0.96745 V (R^2 = 0.9658)$$

여기서, D2는 두 번째 채롱의 기울기, L은 두 번째 채롱과 첫 번째 채롱 간격 (m), V는 유속 (m/s) 이다. 즉, 유속이 두 번째 채롱의 기울기를 결정하는 중요한 요소이지만 채롱간의

간격이 증가하면 채롱의 기울기가 함께 증가한다는 것을 알 수 있다. 본 식은 수조실험의 결과에 의한 것으로 가리비 채롱의 길이나 상태에 따라 실제 양식시설에 직접적으로 통용되기는 어렵지만 유속, 채롱 그리고 채롱의 기울기와의 상관관계가 있다는 것을 증명해 준다. 즉, 이후의 연구에서 실제 시설에서 폐사의 발생위치와 정도 그리고 양식시설의 부분별 유속과 채롱의 기울기 등에 대한 데이터가 확보된다면 본 연구에서 제시한 수식과 같은 상관관계식을 도출하여 양식시설이 폐사에 미치는 정량적 영향에 대한 평가를 내릴 수 있을 것으로 판단된다. 즉 앞의 유속 저감에 대한 반대의 경우로 채롱의 날림이 심하게 발생하여 채롱속의 가리비가 서로 상처를 줄 수 있을 것으로 판단되면 채롱 사이의 간격을 줄이거나 해류가 입하는 부분에 해류의 속도를 저감할 수 있는 시설을 설치할 수도 있다.

결 론

1. 본 연구를 통해 큰가리비 수하식 양식장에서 해수가 각 채롱에 동일하게 유입되지 않을 수 있다는 것이 증명되었다. 큰가리비의 생존과 성장은 새로운 해수의 유입에 의해 영향을 받는 수온, 산소, 먹이 그리고 암모니아 배설과 연관이 있으므로, 양식시설로의 유입을 방해하는 커튼효과가 폐사의 원인으로 가정될 수 있다. 그리고 해류를 전면에서 받는 채롱의 경우는 기울어짐이 크기 때문에 큰가리비가 서식하는 채롱 내부의 큰가리비가 한 곳으로 몰리게 되고 서로에게 상처를 입힐 수 있다.

2. 본 연구에서는 채롱의 기울기는 채롱과의 관계와 유속에 따라 정량적으로 예측할 수 있다는 가능성을 통계적 기법을 통해 증명하였다. 현장 계측을 통해 채롱의 기울기를 예측하는 방법의 개발은 수하식 양식장에서 발생하는 대량폐사를 예방하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원의 지원 (RP-2014-AQ-100) 에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Akira, M. (2007) Relationship between triglyceride concentration in juveniles of Japanese scallop, *Mizuhopecten yessoensis* and exposure tolerance in air. *Nippon Suisan Gakk.*, **73**: 1109-1111.

Bricelj, V.M., Fisher, N.S., Guckert, J.B. and Chu, FLE. (1989) Lipid composition and nutritional value of the brown tide alga *Aureococcus anophagefferens*. *In*: Novel Phytoplankton Blooms: Causes and Impacts of Recurrent Brown Tides and Others Unusual Blooms. Coastal and Estuarine Studies 35. Cospers EM, Bricelj VM and Carpenter EJ, eds. Springer-Verlag, Berlin.,

85-100.

Cha, B.J., Choi, Y.H., Yang, Y.S., Park, M.W., Kim, B.H. and Pean, Y.B. (2014) Analysis of current distribution around a scaled down abalone system to determine the cause of mass mortality of abalone, *Haliotis discus hannai* (Ino, 1952). *Korean J. Malacol.*, **30**: 9-15.

Chang, Y.J. (1991) Seasonal variations of digestive diverticula in the scallop, *Patinopecten yessoensis*. *J. Aquacult.*, **4**: 19-30.

Chen, M., Yang, H., Delaporte, M. and Zhao, S. (2007) Immune condition of *Chlamys farreri* in response to acute temperature challenge. *Aquaculture*, **271**: 479-487.

Duggan, W.P. (1973) Growth and survival of the bay scallop, *Argopecten irradians*, at various locations in the water column and at various densities. *Proc. Nat'l. Shellfish Assoc.*, **63**: 68-71.

Eckman, J.E. (1987) The role of hydrodynamics in recruitment, growth, and survival of *Argopecten irradians* (L.) and *Anomia simplex* (D'Orbigny) within eelgrass meadows. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **106**: 165-191.

Fishstat J. (2012) Fishery and aquaculture global statistics, FAO.

Gallagher, S.M., Stoecker, D.K. and Bricelj, V.M. (1989) Effects of the brown tide alga on growth, feeding physiology and locomotory behavior of scallop larvae (*Argopecten irradians*). *In*: Novel phytoplankton Blooms: Causes and Impacts of Recurrent Brown Tides and Others Unusual Blooms. Coastal and Estuarine Studies 35. Cospers EM, Bricelj VM and Carpenter EJ, eds. Springer-Verlag, Berlin., 511-541.

Hegaret, H., Gary, H.W. and Philippe, S. (2003) Flow cytometric analysis of haemocytes from eastern oysters, *Crassostrea virginica*, subjected to a sudden temperature elevation. II. Haemocyte function: aggregation, viability, phagocytosis, and respiratory burs. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **293**: 249-265.

Jie, X., Susan, E.F., Hongsheng, Y., Guofan, Z., Fusui, Z. and Ximinig, G. (2005) Studies on mass summer mortality of cultured Zhikong scallops (*Chlamys farreri* Jones et Preston) in China. *Aquaculture*, **250**: 602-615.

Jo, Q.T., Kim, S.K., Lee, C., Mohammad, M.R., Lee, C.S. and Oh, B.S. (2009) A report on the mass mortality of the farmed Japanese scallop, *Patinopecten yessoensis* on the Korean coasts of the East Sea (Sea of Japan). *Korean J. Malacol.*, **25**: 93-96.

Kirby-Smith, W.W. (1972) Growth of the bay scallop: the influence of experimental water currents. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **8**: 7-18.

Lee, J.S. and Min, D.J. (2002) A catalogue of molluscan fauna in Korea. *Korean J. Malacol.*, **18**: 93-217.

Loland, G. (1993) Current forces on, and water flow through and around, floating fish farms. *Aquacul. Int.*, **1**: 72-89.

Ministry of Oceans and Fisheries. (2013) Statistical year

- book of maritime affairs & fisheries, 375.
- Oh, B.S., Jung, C.G., Yang, M.H. and Kim, S.Y. (2000) Effect of rearing density in culture cage on the growth of the bay scallop, *Argopecten irradians*. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Ins.*, **58**: 107-115.
- Oh, B.S., Jung, C.G., Kwon, M.G. and Lee, J.S. (2010) The effect of yellow soil on mortality of Korean Scallops, *Patinopecren yessoensis* at Indoor tank. *J. Aquacult.*, **26**: 179-183.
- Oh, B.S., Lee, J.Y., Park, S.K., Lee, C.L. and Tae, J.Q. (2008) A study on the Production of Artificial Seed and Intermediate culture for attached spats of the Chinese stock of a scallop. *Korean J. Malacol.*, **24**: 153-159.
- Oh, B.S., Jin, Y.G., Jung, C.G., Lim, W.A. and Kim, S.K. (2014) A Study on Survival and Growth of Ark shell, *Scapharca broughtonii* with differential density during hanging culture. *Korean J. Malacol.*, **30**: 17-23.
- Park, Y.J. (1998) Biological studies on aquaculture of the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay). Ph.D. Thesis, Cheju National University. pp 185.
- Park, Y.J., Rho, S. and Lee, C.S. (2001) Growth of the scallop, *Patinopecten yessoensis* in suspended culture in the east of Korea. *J. Aquacult.*, **14**: 181-195.
- Peirson, W.M. (1983) Utilization of eight algal species by the bay scallop, *Argopecten irradians concentricus* (Say). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **68**: 1-11.
- Peterson, C.H., Summerson, H.C., Fegley, S.R. and Prescott, R.C. (1989) Timing, intensity and sources of autumn mortality of adult bay scallops *Argopecten irradians concentricus* Say. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **127**: 121-140.
- Pohle, D.G., Bricelj, V.M. and Garcia-Esquivel, Z. (1991) The eelgrass canopy: an above-bottom refuge from benthic predators for juvenile bay scallops *Argopecten irradians*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **74**: 47-59.
- Rhodes, E.W. and Wildman, J.C. (1980) Some aspects of the controlled production of the bay scallop (*Argopecten irradians*). *Proc. World Maricult. Soc.*, **11**: 235-246.
- Sastry, A.N. (1966) Temperature effects in reproduction of the bay scallop *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biol. Bull.*, **130**: 118-134.
- Song, H.I., Park, K.J., Cho, Y.R. and Park, Y.J. (2002) Density dependent growth of ark shell, *Scapharca satowi* in the west coast of Korea. *J. Aquacult.*, **15**: 145-155.
- Tracey, G.A. (1988) Feeding reduction, reproductive failure, and mortality in *Mytilus edulis* during the 1985 'brown tide' in Narragansett Bay, Rhode Island. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **50**: 73-81.
- Urban, E.R. and Langdon, C.J. (1984) Reduction in cost of diets for the American oyster, *Crassostrea* (Gmelin), by the use of non-algae supplements. *Aquaculture*, **38**: 277-291.
- Yoo, S.K. (1979) 淺海養殖. Sero Publishing Company, pp 639.
- YSFRI (Yellow Sea Fisheries Research Institute). (1991) Training manual on breeding and culture of scallop and sea cucumber in China. Regional Sea Farming Development and Demonstration Project (RAS/90/002), pp 84.
- Zhang, F. and Yichao, H. (1990) The influence of environmental salinity on various development stages of the bay scallop *Argopecten irradians irradians* Lamarck. *Oceanol. Limnol. Sinica.*, **21**: 197-204.