

# 북방전복 *Haliotis discus hannai* (Ino, 1952) 의 폐사규명을 위한 모형 양식시설 주변의 조류 분포 분석

차봉진, 최양호<sup>1</sup>, 양용수, 박민우<sup>2</sup>, 김병학<sup>2</sup>, 편용범<sup>3</sup>

국립수산과학원 시스템공학과, <sup>1</sup>국립수산과학원 남서해연구소 자원환경과, <sup>2</sup>국립수산과학원 남서해연구소 해역산업과, <sup>3</sup>두원테크

## Analysis of Current Distribution around a Scaled-down Abalone System to determine the cause of mass mortality of abalone, *Haliotis discus hannai* (Ino, 1952)

Bong-Jin Cha, Yang-Ho Choi<sup>1</sup>, Young-Soo Yang, Min-Woo Park<sup>2</sup>, Byeong-Hak Kim<sup>2</sup> and Yong-Bum Pean<sup>3</sup>

Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea

<sup>1</sup>Fisheries Resources and Environment Division, Southwest Sea Fisheries Research Institute, Yeosu, 556-823, Korea

<sup>2</sup>Aquaculture Industry Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Gangneung 210-861, Korea

<sup>3</sup>Doowontech, Busan 312-606, Korea

### ABSTRACT

This study is aimed at figuring out the reasons of the mass mortality of abalone and the increase in its mortality rate in the sea cage. The study suggests that lack seawater circulation in an abalone aquaculture cage is an important culprit for it. We analyzed the current distribution around a 1/20 scaled-down abalone unit cage of 4 rows and 10 columns by fluid flow visualization technique (PIV : Particle Image Velocimetry). The speed of current in the model cage definitely slowed down in the first column of a unit cage. We also observed currents going down to the bottom of a water tank from the unit cages placed in the middle. The speed of wakes behind inside the row in the middle was slower than that outside the row. Water velocity inside and outside a real abalone cage at Nowha Island adjacent to Wan Island was measured to verify results from the tank test. The speed of current in front of the cage by 2 m was 0.11 m/sec while it was only 0.0009 m/sec inside the cage. It had similar findings with those of a tank test.

**Key words:** Abalone Cage, Mass Mortality, Seawater Circulation, PIV (particle image velocimetry)

### 서 론

전복의 종류는 약 100여종이 조사되어 있지만, 우리나라에

서 주로 양식하는 전복은 북방전복 (*Haliotis discus hannai*) 이다. 우리나라의 전복 생산량은 1976년 인공종묘생산이 시작 된 이래로 2012년 기준 6,564톤을 생산하여 중국 (76,786 톤) 에 이어 2위이다 (FAO, 2013). 전복은 오래전부터 고부가가치의 약선 식료로서 근래에는 중국의 경제발전이 따른 해산물 소비의 증가에 따라 수출유망 품종으로 기대되고 있다. 이에 따라 해양수산부에서는 전복을 10대 전략 수출 품목으로 지정하여 집중 육성하고 있고, 전복의 대량생산 및 가공과 수출을 위한 양식단지개발도 진행 중이다.

전복의 양식에 관한 연구는 지금까지 많이 수행되어 왔는데, 최근에 우리나라에서는 전복 치패의 수용밀도에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 대표적인 연구로는 Jeong *et al.* (1994) 에

Received: March 10, 2014; Revised: March 20, 2014;  
Accepted: March 26, 2014

Corresponding author : Kim, Byoung-Hak

Tel: +82 (62) 690-8980 e-mail: bhkim1@korea.kr  
1225-3480/24509

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.

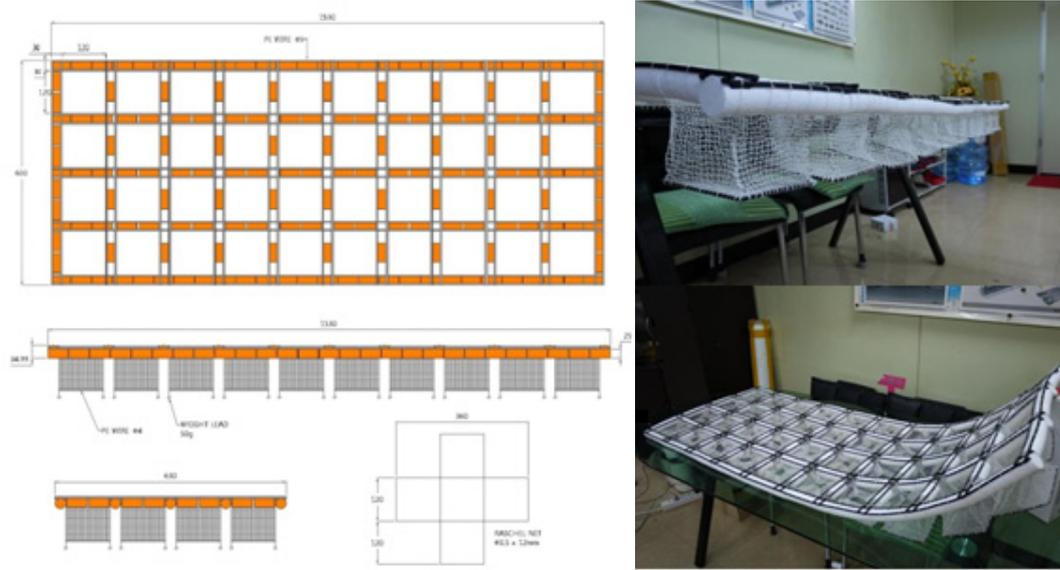


Fig. 1. The blueprint and the pictures of the 1/20 scaled-down abalone cage for a water channel test.

의한 치폐의 성장과 수조형태 및 사육밀도와 관계에 관한연구, Jee *et al.* (1988) 에 의한 치폐의 수용밀도와 성장에 관한 연구, Kim *et al.* (1998) 에 의한 사료의 종류와 적정 사육밀도에 대한 연구, Yoon *et al.* (2004) 에 의한 해상가두리에서의 치폐의 사육밀도와 성장 및 생존율에 대한 연구가 있다.

근래에 전복의 해상가두리에서 폐사가 증가하면서 연구의 결과나 내용에 폐사의 원인과 관련하여, Lee (2008) 는 전복의 폐사 원인을 양식장 주변해역의 공사에 인한 부유토사의 영향으로 가정하고 연구를 진행하였고, Son *et al.* (2010) 은 전복양식 현황을 보고하면서 전복양식시설내의 유속감소가 사육생물의 폐사를 초래할 수 있다고 언급하였다. 최근의 연구에서는 전복 해상가두리 양식장에 패각 천공성 다모류에 의한 감염현황을 처음으로 보고하였다 (Won *et al.*, 2013).

그러나 폐사의 원인을 파악하고 이를 해결하기 위한 본격적인 연구는 많지 않다. 본 연구에서는 전복의 생육이 해수의 수온과 용존산소 등에 의해 영향을 받는다는 점 (Naylor *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2005, 2006) 에 착안을 하여 현재 완도에서 주로 사용되고 있는 전복양식시설의 해수소통을 모형실험과 노화도 양식 현장 가두리의 내외부 조류속도 변화를 통해 조사했다. 본 연구의 결과는 이후 조사될 전복양식장 주변에 대한 다양한 해양환경조사를 통해 현재 사용하고 있는 가두리 시설의 문제점을 도출하고 개선점을 제시하는 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 재료 및 방법

### 1. 조류에 대한 형상 변화와 유체가시화 실험

완도에 사용되고 있는 4행 10열의 전복가두리에 대해

Tauti의 법칙을 고려해 1/20로 축소하고 회류수조 (NFRDI, Korea) 를 이용해 조류에 대한 형상의 변화와 유체가시화 실험을 실시하였다. 조류의 유속 변화에 대한 가두리의 형상 변화 실험을 위한 유속은 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 m/s (유속계: VOT-101A, 0.03-2.0 m/s, Kenek Co., Japan) 로 하였다.

유체가시화 실험은 모형가두리의 외측의 행에 설치되어 있는 단위 가두리 (칸) 들 하부와 외측의 10번째와 중간 행의 10번째를 통과한 유체의 유속분포를 PIV (Particle image velocimetry) 실험을 통해 측정하는 것이었다. Fig. 1은 4행 10열 모형 전복가두리들의 설계도와 제작된 모형 전복가두리이다.

PIV 실험은 망지의 후류를 실험한 것과 같은 방법으로 진행되었는데 (Bae *et al.*, 2006, 2011; Cha *et al.*, 2013), 회류수조에 모형 전복가두리를 설치하고 particle (Sliver Coated Hollow Glass Spheres, 13 microns, Potter Industries Inc. USA) 을 망지의 앞쪽 1 m, 길이 50 cm에 외부와 내부 직경이 각각 25 mm, 20 mm인 관을 통해 흘려 넣었다. 이때 particle 의 밀도는 Okamoto *et al.* (2000) 가 제시한 고밀도 수준이 되도록 유지하였다. 촬영하기 위해 연속광 레이저 (Gemini PIV 200-15, 15Hz, Electro Scientific Industries, Inc., USA) 를 방사하여 particle을 빛나게 하였다. 빛나는 particle들은 두 장의 사진이 하나의 쌍이 되도록 분석하는 기법인 2 Frame Cross-Correlation algorithm를 기반으로 하는 소프트웨어 (Thinks 2D, 2, T&Teck Co., Korea) 를 이용해 구리합금망지를 통과한 particle들의 벡터를 분석하였다 (Keane and Adrian, 1992). 유체가시화 실험에 사용된 유속은 0.6 m/s였다.

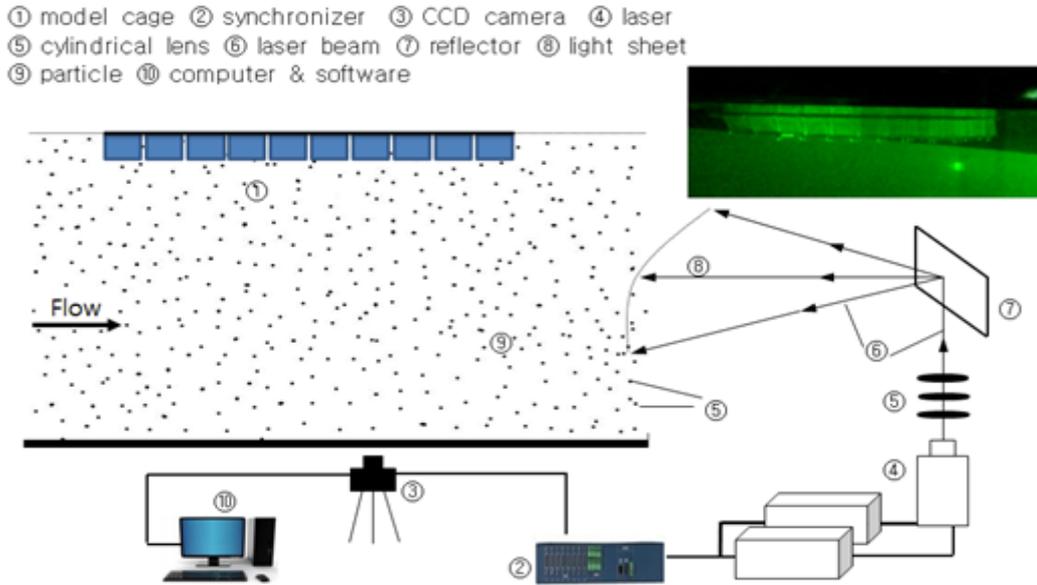


Fig. 2. Arrangement to measure slipstream of a model abalone cage (Cha et. al, 2013).

## 2. 실제 전복양식장 내부와 외부의 유속 측정

실제 전복양식장 내부와 외부의 유체 흐름은 Fig. 3와 같이 노화도 전복양식 현장의 가두리에 조류의 방향을 고려하여 가두리의 내부와 외부에 유속계 (Seaguard RCM, Aanderaa, Norway) 를 설치하고 유속을 측정하였다. 전복가두리에 입사하는 조류의 유속을 측정하기 위해서는 가두리로부터 2 m 거리의 유속을 측정하였고, 가두리 내부의 유속은 조류가 처음으로 입사하는 첫 번째 칸의 유속을 측정하였다. 유속수심은 가두리 1칸의 깊이가 약 2.5 m인 것을 감안하여 수심 1 m와 수심 5 m의 지점에서 측정하였다.

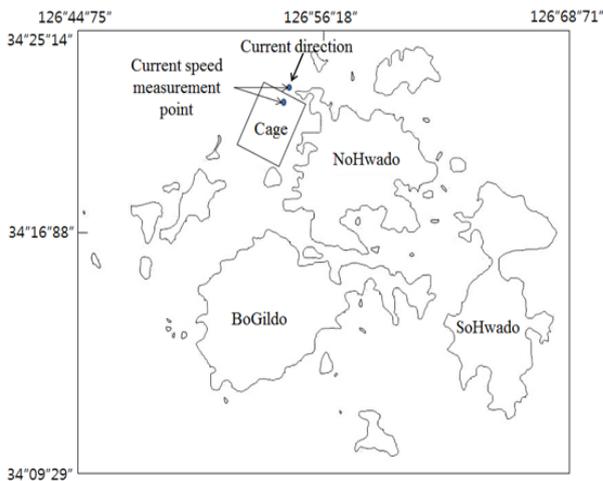


Fig. 3. Location of the cage to measure the speed of in the field.

## 결 과

### 1. 조류에 대한 형상 변화와 유체가시화 실험

Fig. 4는 유속별 모형 전복가두리의 형상변화 실험 결과이다. 유속이 증가함에 따라 모형 전복가두리의 전면 즉 조류를 직접 받는 1열의 칸은 뒤로 밀리는 정도가 커지지만 뒤에 있는 가두리 칸은 뒤로 갈수록 영향을 적게 받는 것을 알 수 있다. 특히, 중앙의 가두리 칸인 6열에 위치한 가두리 칸은 0.8 m/s

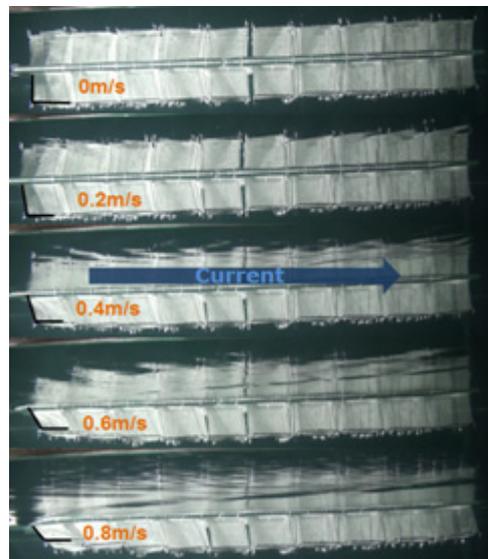


Fig. 4. Shape changes of the model cage depending on the speed of current in the circulating water channel.

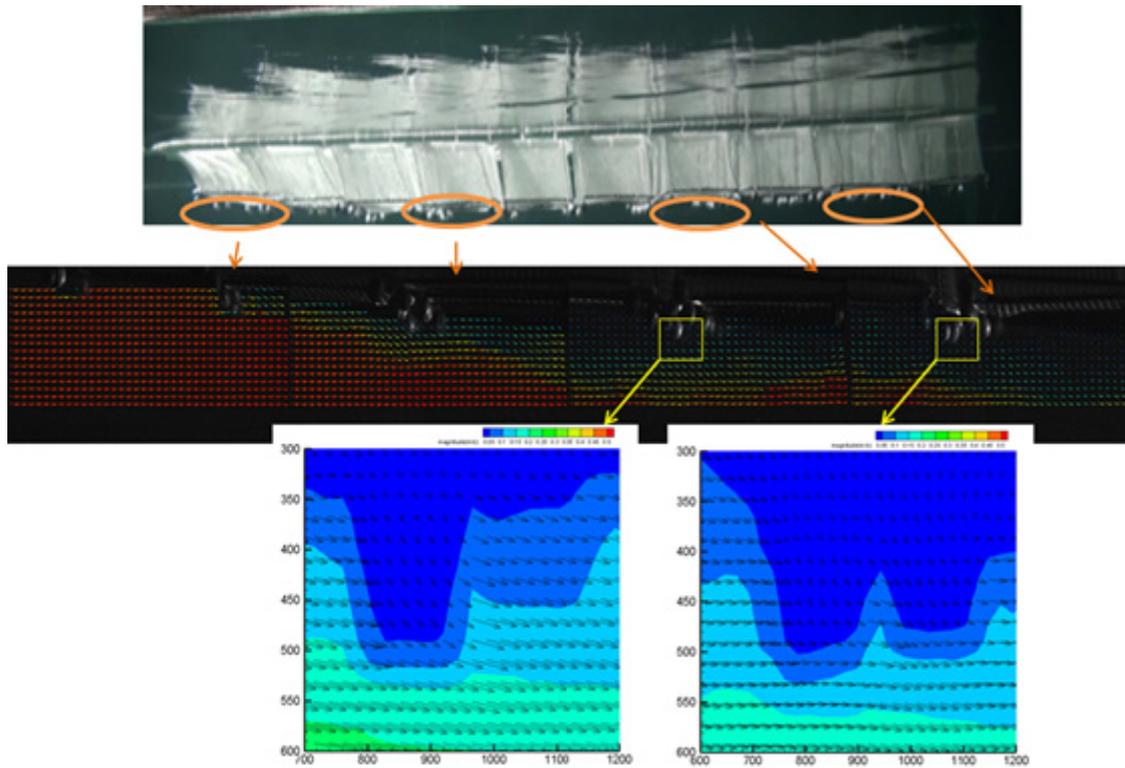


Fig. 5. The speeds and directions of current under the model cage in the circulating water channel.

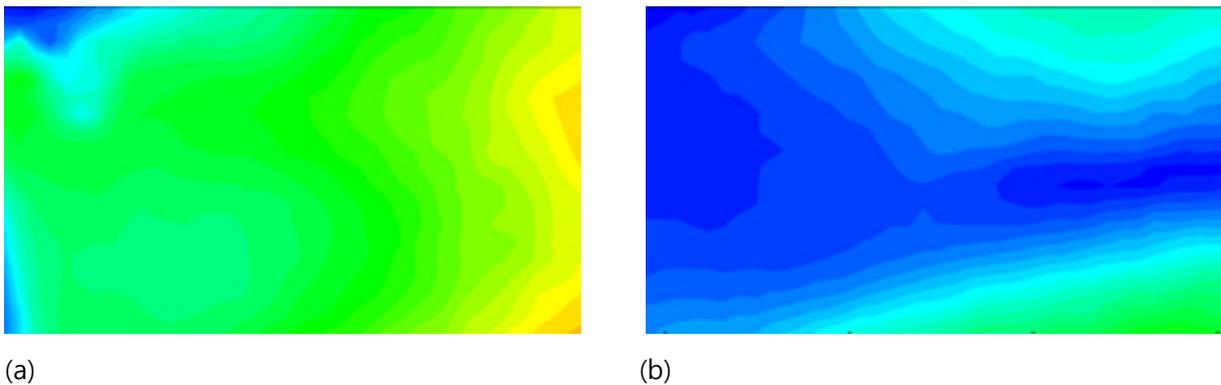


Fig. 6. Wake distributions of the model cage in the tank. (a) Wakes distribution behind outside row of the cages  
(b) Wakes distribution behind inside row of the cages

의 유속에도 영향을 받지 않았다. 그러나 7열의 가두리 칸은 조류의 영향을 받는 것처럼 보였는데 유속이 증가함에 따라 뒤로 조금씩 밀려났다. 특히 제일 마지막 열의 가두리 칸은 7, 8, 9열의 가두리 칸에 비해 뒤로 밀려나는 정도가 컸다.

Fig. 5은 모형 전복가두리의 하부의 유체의 흐름의 크기와 방향을 가시화한 것으로 1열의 가두리 칸의 하부는 유속이 빠르지만 뒤로 갈수록 각 가두리 칸 밑의 유속이 느려졌다. 유속의 방향은 1열에서는 전면에서 후면으로 흐르는 경향이었으나

3열과 4열 사이부터는 가두리 칸 하부에서 수조 바닥면 쪽으로 유체가 내려가는 흐름이 있었다.

Fig. 6은 모형 전복가두리의 1행 10열과 2행 10열 단위 가두리 뒷면의 유속분포를 나타낸 것으로 외측 행인 1행의 마지막 가두리 칸 뒷면의 유속이 가운데 행의 마지막 열의 가두리 칸 뒷면의 유속보다 빨랐고 유속이 회복되는 거리도 짧았다. 즉, 1행 10열 가두리 칸 후면의 유속은 대부분 0.1 m/sec 이상이었으며 0.25 m/s으로 회복되는 구간도 40 cm이내였으나, 2

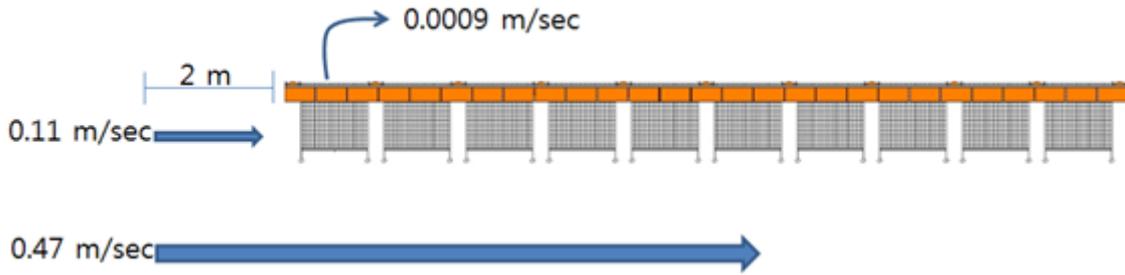


Fig. 7. The speed of current outside and inside of the real cage at Nowha Island.

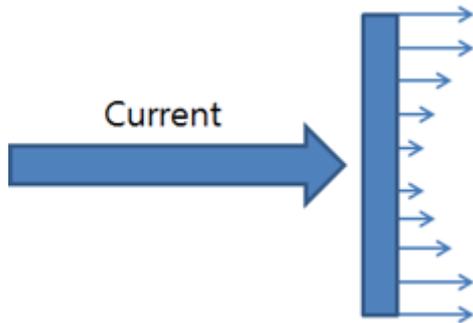


Fig. 8. Wakes' speeds behind an object.

행 10열 단위 가두리 후면의 유속은 대부분 0.1 m/s이하로서 측정구간이 가두리 칸으로부터 50 cm를 벗어나는 경우에도 유속의 회복이 되지 않았다.

**2. 실제 전복양식장 내부와 외부의 유속 측정**

북 가두리 시설로 입사하는 조류의 유속은 가두리 외측에서 중 1 m수심에서는 0.11 m/s의 유속을 보였고 가두리보다 수심이 낮은 5 m수심에서는 0.42 m/s의 유속이 측정되었다. 특히 가두리 칸 내측에서는 유속이 0.0009 cm/s로 외측에 비해 90%이상 유속이 감소하였다 (Fig. 8).

**고 찰**

가두리 칸이 열을 이루어 구성되어 있는 가두리의 경우 조류의 방향에 따라 가두리 칸의 날림이 같을 것이라는 예상을 바탕으로 한 도식들을 포함한 서적 (Beveridge, 2004) 도 있지만, 본 연구의 결과와 같이 조류를 직접 만나는 전방의 가두리 칸이 뒤의 가두리 칸으로 가는 조류의 영향을 저감한다는 것이 일반적인 현상 (Loland, 1993) 으로 이러한 현상을 shielding effect 또는 curtain effect라고 한다. 따라서 모형실험의 결과를 통해 해상의 실제 전복가두리에 입사하는 해수의 유속이 가두리 내부에서는 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 더욱이 실험에 사용된 모형가두리의 가두리 칸 내부가 비어 있었던 것과 달리, 실제 전복가두리 내부에는 전복이 서식할 수 있도록 셸

터 (shelter) 가 설치되어 있고, 전복의 먹이인 미역이나 다시마가 가득 채워져 있는 경우가 대부분이기 때문에 전복가두리에 입사하는 해수는 처음 만나는 가두리 칸을 통과하면서 대부분의 유속을 잃어버릴 것으로 판단된다. 실제로 이러한 가설은 노화도에서 조사된 바와 같이 상업용 전복가두리 앞 2 m에서 0.11 m/sec였던 유속이 첫 번째 단위 가두리 내부에서는 거의 정지했다는 것으로 증명이 된다. 앞선 연구 중 본 연구와 유사한 현장 조사를 수행한 국립수산물과학원 (2008) 의 보고서에 의하면 전복양식장 주변의 조류 유속이 다른 지역보다 현저히 느리게 조사되었고 전복가두리를 통과한 조류의 유속도 전복가두리로 입사하는 조류의 유속에 비해 30%가 감소하는 것으로 나타나 본 연구의 결과와 일치한다.

유체가 물체를 만나서 통과하고 나면 그 후류는 대부분 Fig. 8과 같은 분포를 가지게 되는데, 모형실험에서 유속을 증가하면 6행의 가두리 칸보다 10행의 가두리 칸이 더 많이 밀리 것이 이와 같은 이유이다. 전복가두리의 외측열인 1열의 뒤쪽에 위치한 10행, 9행 가두리 칸은 가두리 옆을 통과하는 유체가 상대적으로 압력이 낮은 10행의 외측 가두리 칸으로 모이면서 그 영향으로 가두리가 밀리는 것이다. 그렇지만, 중앙에 위치한 2열 10행 가두리 칸 뒤에 까지는 그 영향이 미치지 않기 때문에 Fig. 6과 같이 2열의 후류의 유속이 1열의 후류의 유속에 비해 느린 것이다. 즉, 가두리 외측에 위치한 가두리 칸들 중 외부 해류의 유입이 직접적으로 발생하는 것은 조류를 처음으로 받는 가두리 칸이며 해류의 유입이 간접적으로 발생하는 가두리 칸은 외측의 가두리 칸들 중 조류가 빠져나가는 곳에 위치한 마지막 열의 가두리 칸들 일 것으로 예상된다.

마지막으로 모형실험에 의하면 모형 가두리로부터 수조 바닥으로 향하는 흐름이 관측되었다. 실제에도 이와 같은 흐름이 존재한다면 중앙부분에 위치한 가두리 칸들의 가두리 바닥을 흐르는 해수도 가두리 칸 내부로 공급되지 못할 것으로 판단된다. 즉, 중앙에 위치한 가두리 칸들에는 새로운 해수가 공급되지 못하고 하절기에는 표면에서 대위된 해수가 전복이 서식하는 가두리 칸 밑으로부터 공급되는 결과가 예상된다.

전복의 생장은 수온에 영향을 받는데 (Thoma et al., 2006)

수온이 증가함에 따라 산소의 소비율과 암모니아 배설이 증가하는 경향 (Chun *et al.*, 2006) 을 보이는 것으로 알려져 있다. 또 전복양식시설 내의 용존 산소와 암모니아의 농도는 전복의 성장에 영향이 있다 (Naylor *et al.*, 2011; Yoon *et al.*, 2004). 따라서 전복가두리 내의 수온과 용존산소를 최적의 조건으로 유지하는 것이 전복양식에 중요한 문제이다. 해상에 설치한 전복가두리에 이러한 조건을 유지하는 방법은 해수의 원활한 소통이 가장 중요한 해결 방법이다. 그러나 본 연구에 의하면 현재 완도에서 사용되고 있는 전복가두리는 일부 가두리 칸에만 해수의 유입이 활발하고, 대부분의 가두리에는 새로운 해수의 유입이 어려울 것으로 판단되며 특히, 하절기에는 용존 산소 부족의 문제뿐만 아니라 데워진 표면의 해수가 가두리 밑으로 하강하게 되면서 가두리 칸 아래에 서식하는 전복에게 좋지 않은 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다.

따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 전복 가두리 내부로의 해수 유통을 원활히 하기 위한 기술적 보완이 필요한데, 기술적 보완 및 새로운 형태의 가두리를 개발하기 위해서는 모형실험을 통해 제시한 가설을 추후 현장에서 충분히 검증하고 보완하는 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

## 요 약

완도에서 주로 사용되는 4열 10행의 가두리 1조를 조합한 형태로 구성된 PE프레임의 내파성 전복가두리를 1/20로 축소하여 모형을 만들고 유체흐름 가시화 실험을 통해 전복가두리 주위의 해수의 흐름을 파악했다. 실험의 결과를 검증하기 위해 노화도 현장의 전복양식 가두리의 내부와 외부의 유속을 측정하였다. 연구의 결과는 아래와 같다.

1. 모형실험에서 전복가두리에 입사하는 해수는 대부분 첫 번째 단위 가두리 (칸) 를 통과하지 못하였다.
2. 모형 전복가두리 중앙 부위에서는 가두리에서 수조바닥으로 향하는 흐름을 관측하였다.
3. 모형 전복가두리의 외측 열을 빠져나가는 유체의 유속이 내측 열을 빠져나가는 유체의 유속보다 빨랐다.
4. 노화도의 현장 양식가두리의 2 m 앞의 조류의 유속은 0.11 m/sec였지만 가두리 칸 내부의 유속은 0.0009 m/sec로 거의 움직임이 없었다.
5. 현재의 전복가두리 형태는 해수의 유통이 원활하지 않아 가두리 내부로 새로운 해수를 공급하기 어려울 것으로 판단된다.

## 사 사

이 연구는 국립수산물과학원 (전복 가두리양식 생산성 향상 및 표준화 연구, RP-2014-FE-0000)의 지원에 의해 수행되었습니다. PIV 실험은 오영달, 김남기, 조성룡 기사님이 수고해 주셨습니다.

## REFERENCES

- Jeong SC, Jee YJ and Son PW. 1994. Indoor tank culture of the abalone *Haliotis discus hannai* I. Effect of tank shape and stocking density on the growth of young abalone. *The Korean Journal of Aquaculture*, 7(1): 9-20.
- Jee YJ, Yoo SK, RHO S and Kim SH. 1988. The stocking density and growth of young abalone *Haliotis discus hannai* Ino cultured in the hanging net cage. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 42:59-69.
- Kim JW, Lee SM, Han SJ, Kim BH and Park SR. 1998. Effect of experimental diet, commercial diets and algae (*Undaria*) on growth and body composition among juvenile abalones (*Haliotis discus*, *Haliotis sieboldii* and *Haliotis discus hannai*). *The Korean Journal of Aquaculture*, 11(4): 505-512.
- Yoon HS, Rha SJ, Cha YB, Cho JH, Kim KY and Choi SD. 2004. Growth and survival rate on density of *Haliotis discus hannai* in cage culture. *J. Kor. Fish. Soc.*, 37(4): 287-294.
- Lee KS. 2008. The effects of suspended solids on the mortality and the glycogen content of abalone, *Haliotis discus hannai*. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 14(3): 183-187.
- Son MH, Park MW, Kim KW, Kim KD and Kim SK. 2010. Statures of the abalone (*Haliotis discus hannai*) aquaculture for optimal rearing technique in marine net cage. *Jour. Fish. Mar. Sci. Edu.*, 22(3): 362-373.
- Won KM, Kim BH, Jin YG, Park YJ, Son MH, Cho MY, Park MA and Park MW. 2013. Infestation of the abalone, *Haliotis discus hannai*, by the *Polydora* under intensive culture conditions in Korea. *Journal of fish pathol.*, 26(3): 출판예정.
- Naylor MA, Kaiser H and Jones CLW. 2011. Water quality in a serial-use raceway and its effect on the growth of South African abalone, *Haliotis midae* Linnaeus, 1758. *Aquaculture Research*, 42: 918-930.
- Park CJ, Min BH, Kim KS, Lee JW, Lee JH, Noh JK, Kim HC, Park JW and Myeong JI. 2011. Physiological responses on low water-temperature stress of pacific abalone, *Haliotis discus hannai*. *Korean J. Malacol*, 27(4): 317-322.
- Kim TH, Yang MH, Choe MK, Han SJ and Yeu IK. 2005. Physiological studies on acute water-temperature stress of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai*. *The Korean Journal of Aquaculture*, 18(1): 7-12.
- Kim TH, Kim KJ, Choe MK and Yeu IK. 2006. Physiological changes of juvenile abalone, *Haliotis sieboldii* exposed to acute water-temperature stress. *The Korean Journal of Aquaculture*, 19(2): 77-83.
- Bae BS, An HC, Bae JH, Park CD and Kim IO. 2006. The characteristics of the flow field around canvas kite using the PIV. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 42: 86-96.
- Cha BJ, Kim HY, Bae JY, Yang YS and Kim DH. 2013.

- Analysis of the hydrodynamic characteristics of chain-link woven copper alloy nets for fish cages. *Aquacultural Engineering*, **56**: 79-86.
- Okamoto K, Nishio S, Saga T and Kobayashi T. 2000. Standard images for particle-image velocimetry. *Meas. Sci. Tech.*, **11**: 685-691.
- Keane RD and Adrian RJ. 1992. Theory of cross-correlation analysis of PIV images. *Appl. Sci. Res.*, **49**: 191-215.
- Beveridge M. 2004. Cage Aquaculture. Blackwell publishing 54.
- Loland G. 1993. Current forces on, and water flow through and around, floating fish farms. *Aquaculture International*, **1**: 72-89.
- Thomas S, Roberts RD and Lokman PM. 2006. Effects of temperature on growth of juvenile blackfoot abalone, *Haliotis iris* Gmelin, *Aquaculture Research*, **37**: 1441-1449.
- Soloff SM, Adrian RJ and Liu ZC. 1997. Distortion compensation for generalized stereoscopic particle image velocimetry. *Meas. Sci. Tech.*, **8**: 1441-1454.
- FAO: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en>.