

# 육성수조 내 북방전복, *Haliotis discus hannai* 치패 고밀도 중간양성 사육방식별 성장특성

이시우, 김병학, 박민우, 김태익, 손맹현

국립수산과학원 남서해수산연구소

## Growth Characteristics of Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai* by Reared Methods in order to High Density Intermediate Culture in Land-based Tank

Si-Woo Lee, Byeong-Hak Kim, Min-Woo Park, Tae-Ik Kim and Maeng-Hyun Son

Southwest Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

### ABSTRACT

The effect of different intermediated rearing method by expanding the attached floor space in order to highly density culture on the growth characteristics and survival rate of the juvenile abalone, *Haliotis discus hannai*, were investigated in land-based tanks. The intermediated culture methods was determined thru the shelter counts and layer for 10 month with two replicates : the single layer shelter (SLS), the double layer shelter (DLS), the triple layer shelter (TLS) and the single layer shelter under net cage (SLSNC). In addition, the culture on shallow race way tank had to set up as culture of the ditch raceway tank (CDRT) and the floor race way tank (CFRT). In the growth performance of reared abalone (initial mean shell length  $54.18 \pm 7.39$  mm and weight  $1.93 \pm 0.14$  g) at experimental tanks, that the absolute growth rate (ARG), daily growth rate (DGR) and specific growth rate (SGR) to the shell length and shell breadth was not significant at each experimental tanks except SLSNC. As well as too, weight gain (WG), daily weight gain (DWG) and specific weight gain (SWG) to weight was not significant at each experimental tanks except SLSNC, too. Survival rates of CDRT and CFRT was lower than those of different experimental tanks ( $P < 0.05$ ). Therefore, these results is showed that high density different intermediated rearing method by expanding the attached floor space for juvenile *H. discus hannai* was not have difference as growth performance and survival rate both one layer shelter and multi layer shelter. Also, it is considered that shallow race way tank was not useful rearing for the juvenile intermediate culture of *H. discus hannai* in land based.

**Keywords:** Abalone, *Haliotis discus hannai*, intermediate culture, High density, growth, Shallow race way, survival rate

### 서 론

1970년대 인공종묘생산기술 개발로 시작된 국내 전복류 양

식은 1980년대부터 종묘생산기술이 보급되면서 본격적으로 시작되어 (한, 1998), 2014년도에는 국내 전복류 생산량이 8,980톤, 생산금액은 2,970억원에 이르고 있다 (KOSIS, 2015).

Received: May 20, 2015; Revised: June 22, 2015;  
Accepted: June 29, 2015

Corresponding author : Kim, Byeong-Hak

Tel: +82 (61) 690-8980 e-mail: bhkim1@korea.krm  
1225-3480/24570

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.

국내 전복류 양식은 주로 북방전복 (*Haliotis discus hannai*) 을 대상으로 이루어지고 있으며, 북방전복 양식은 종묘생산단계를 거쳐 양성단계에서 대부분 해상가두리로 이동해 출하 시까지 사육하게 된다. 그러나 최근 해상가두리에서 양성되는 전복류 생존율이 급격히 낮아지고 전복 해상가두리양식의 경영이 악화되면서 전복 종묘생산업체의 출하감소로 이어지는 악순환이 우려되고 있으며, 결국 전복 산업의 전반적인 침체가 발생할 수 있다.

국내 전복 양식은 종묘생산 시기에는 부착성 규조류와 시판 배합사료 등을 공급하여 관리하고 3 cm 전후로 사육 시 해상 가두리로 이동해 사육하게 되며 (Kim *et al.*, 2013), 이때 일부는 육상수조에서 임시적으로 사육 후 해상가두리에서 다시 입식하여 출하 시까지 사육하게 된다. 육상수조에서의 북방전복 양성은 초기 시설비가 많이 드는 단점은 있으나 집중관리가 가능하고 외부 환경에 빠르게 대응할 수 있어 최근 해상가두리 내 생산량 급감을 대체할 수 있는 양식방법으로 재조명 받고 있다 (Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014).

북쪽류는 크기별로 밀도에 의존적인 성장을 나타내며 (Creese and Underwood, 1982; Fletcher and Creese, 1985; Fletcher, 1988; Marshall and Keough, 1994), 북쪽류인 전복류는 바다에 부착하여 서식하고 있어 사육 시 부착면적을 기준으로 밀도를 적절히 조절해야 한다 (Kim *et al.*, 1998). 따라서 육상 양성장애 전복 수용 시 부착할 수 있는 일정크기의 은신처 (shelter) 를 사육면적으로 제공하며, 적정 수용밀도는 shelter 아랫부분의 면적을 전복류의 필요 부착면적으로 우선 고려하게 되며 이러한 필요 부착면적은 성장과 생산성에 밀접한 관련이 있는 전복 수용밀도를 결정하는데 큰 비중을 차지한다 (한, 1998). 그러나 기존 부착면적은 수조 저층 내 면적만을 활용하게 되면서 양성 시 크기 성장에 따라 개체당 필요 부착면적이 감소하면서 결국 공간경쟁으로 이어져 성장이 감소될 수 있다 (Huchette *et al.*, 2003b). 따라서 크기별 선별과 함께 수조 분리가 이루어져야 하며, 크기별 성장효과를 높이기 위해서 수조 내 수용밀도는 지속적으로 조절되어야 한다 (한, 1998). 하지만 육상 수조에서는 전복 성장에 따라 더욱 넓은 부착면적을 확보하기 위한 시설 증축이 이루어지지 않는다면 결국 사육공간의 한계로 인해 생산성이 제한될 수밖에 없다. 또한, 국내 육상 수조 전복 양성장은 높이 0.5 - 1 m 사이의 콘크리트 수조에서 사육되면서, 전복을 수용한 저층 수면적 내 중층 및 상층 수면적은 활용되지 못하고 있어 육상수조 내 경제적인 사육면적 확보를 위해서는 육상 수조 내 중층이상의 수면적 활용 방법을 모색할 필요가 있다.

국내에서 주로 활용되는 육상 수조 양성 시 shelter를 이용한 방법 외에도 호주 등에서는 shelter없이 조도 (照度) 만을 조절하여 낮은 수심에서 전복류를 사육하는 시설들이 있으며, 이 시설에 설치된 'plug'는 빠른 오염물 제거와 함께 폐사 치패를 탈락시켜 배출시키는 등 사육수질을 조정 할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 수조 바닥 전체를 활용한 고밀도 사육이 이루어지고 있어 (Hutchinson and Vandeeper, 2005; Hone and Higham, 1997; Wassnig *et al.*, 2009) 국내에서도 고밀도 양성을 위한 새로운 양식방법으로서 활용 가능성을 검토할 필요가 있다.

국내 육상 수조 내 북방전복 수용밀도와 관련된 연구는 치패

를 중심으로 이루어져 왔으며 (Jeong *et al.*, 1994; Park *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 1998; Shon *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2013), 국외에서는 *Haliotis rubra* (Huchette *et al.*, 2003a; 2003b), *Haliotis laevigata* × *Haliotis rubra* (Wassnig *et al.*, 2009), *Haliotis asinina* (Jarayabhand *et al.*, 2010) 등 다양한 전복류의 육상 기반 수조 내 적정 수용밀도 관련 연구가 보고되고 있지만 동일 공간 내 부착면적 확대를 통한 고밀도 사육 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존 북방전복 육상 수조 내에서 부착면적 확대를 위해 shelter를 다단식으로 설치하여 성장을 비교하고 아울러 수조 내 중층 이상의 수면적 활용을 위해 가두리를 설치하고, 호주 등에서 활용되는 전복류 육상 양식방법의 국내 이용가능성을 타진하여 북방전복 치패의 육상 수조 내 효율적인 고밀도 중간 양성을 위한 방법을 모색하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험전복 및 사육관리

육상 수조 내 고밀도 중간양성 방법별 실험은 전라남도 여수시 돌산읍에 위치한 민간 전복 종묘생산 및 양성장에서 콘크리트로 제작된 육상수조 (820 × 100 × 100 cm) 에서 실시하였으며 실험전복은 2013년에 전라남도 해남군에서 종묘 생산된 양성 2년생 전복 치패 (평균 각장 25.19 ± 0.50 mm, 중량 1.93 ± 0.14 g) 를 사용하였다. Kim *et al.* (2014) 은 실내 육상 수조에서 사육 시 2년산 북방전복의 경우 150 마리/m<sup>2</sup>를 적정 수용 마리수로 보고하였으며, 따라서 각 수조별 북방전복 수용밀도는 shelter (63 × 98 cm) 10개의 총 부착면적을 산출하여 단층 사육 시 고밀도로 수용하기 위해 shelter 총 부착면적 중 50%이며, 적정 수용량의 60%이상, 즉 1 m<sup>2</sup>당 250마리를 기준으로 산출하여 각 실험 수조별로 15,000만 마리를 수용하였다. 실험기간동안 시판 전복배합사료 (DongA one, co. Ltd. crude protein 33%, crude lipid 3%, crude fiber 6%, Wandogun, Korea) 를 전복 중간양성 사육공급량에 따라 체중의 5-6%수준으로 수온과 관계없이 매일 공급하였으며, 1주일에 1회씩 청소를 실시하였다. 사육수는 유수식으로 공급하였으며 환수량은 1 회전/hr 이었고 각 수조마다 산소공급을 위해 air-ration을 설치하였다. 실험기간 동안 사육수온은 자연수온에 의존하였고, 연속수온측정기 (HOBO TidbiT<sup>®</sup>v2 Temp, UTBI-001, Onset Computer Corporation, Massachusetts, USA) 를 사용하여 수온을 조사하였으며 1주일에 1회씩 수질측정기 (YSI-85, Yellow Springs co. Ltd., Ohio 45387, USA) 로 수온, 용존산소, 염분을 측정하였다.

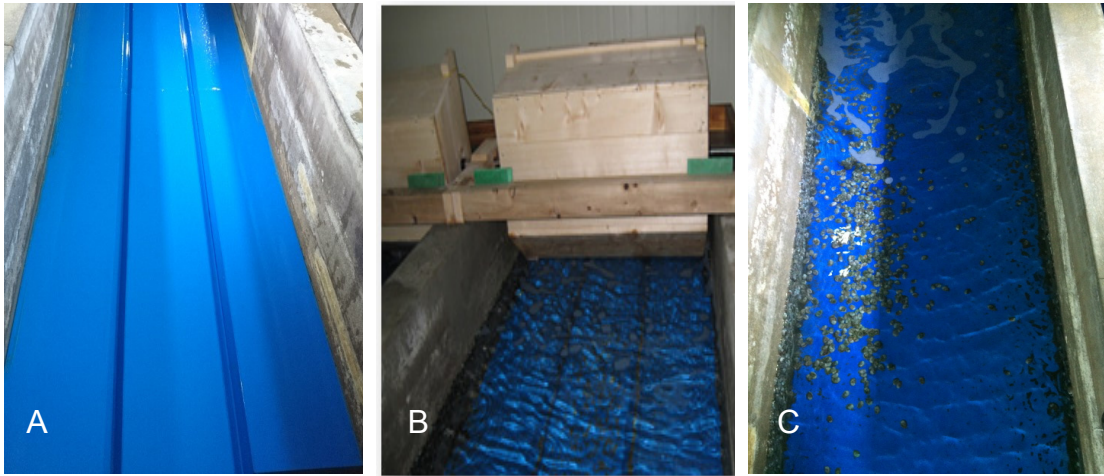


Fig. 1. Shallow raceway tanks used for high density intermediate rearing system. **A:** culture of the ditch raceway (CDR), **B:** The wood chamber of a automatic water mill type. **C:** culture of the floor raceway (CFR).

## 2. 실험구 설정

실험구는 shelter와 육상가두리, 호주 등에서 사용되는 양생 방법에 따라 설정하였다. shelter 실험구는 PE (polyethylene) 재질의 shelter (63 × 98 cm) 10개를 1단으로 설치한 1층형 (The single layer shelter, SLS) 의 기존 방식을 대조구로 하여, shelter를 2층으로 20개를 설치한 2층형 (The double layer shelter, DLS), 3층으로 30개를 설치한 3층형 (The triple layer shelter, TLS) 방식으로 설정하였다. 1층형과 가두리 양생방식 (The single layer shelter and net cage culture, SLSNC) 은 1층형 방식에 PVC (polyvinyl chloride) 재질로 된 뼈대와 PE (polyethylene) 그물로 제작된 가두리 (65 × 90 × 40 cm) 를 설치하였고, 각 가두리에 shelter를 1대씩 수용하여 총 6대를 설치하였다. 그리고 호주 등에서 사용되는 ‘shallow raceway tank’ 시스템의 북방전복 사육의 효율성 검토를 위해 PVC 판을 사용하여 두 가지 형태의 수조바닥을 제작하였다. 첫 번째 형태는 폐사 개체와 사료 잔량, 배설물의 유용한 제거를 위하여 고랑을 가진 방식인 고랑수로양생 (culture of the ditch raceway tank, CDRT) (Fig-1A), 두 번째 형태는 고랑을 없앤 편평한 수로양생 (culture of the floor raceway tank, CFRT) 방식으로 제작하였다 (Fig-1C). 두 양생방식은 수심을 40-50 cm 정도로 얇게 유지되도록 조절하였으며, 일정량의 수량이 되면 자동으로 다량의 물을 한꺼번에 쏟아내는 방식의 자동수차를 설치하여 사육수를 공급하였다 (Fig-1B). 각 중간 양생방식별 실험구는 모두 2반복으로 실시되었다.

## 3. 성장 및 생존율

성장 조사는 실험시작 시 100마리의 치패를 무작위로 체포

하여 각장 (shell length, *SL*), 각폭 (shell breadth, *SB*), 전중 (total weight) 을 측정하였고, 매월마다 각 실험구 당 50마리의 치패를 무작위로 체포하여 각장을 측정하여, 월별 각장 변화를 조사하였고, 실험종료 시에는 각장, 각폭, 중량을 측정하였다. 각장과 각폭은 버니어 캘리퍼스를 이용하여 0.01 mm 까지 측정하였고, 중량은 전자정밀저울 (MW-II, CAS Co., Yangju city, Gyeonggido, Koera) 이용하여 0.01 g까지 측정하였다. 측정된 각장과 각폭은 아래 식에 따라 절대성장율 (absolute growth rate, ARG), 일간성장율 (daily growth rate, DGR), 순간성장율 (specific growth rate, SGR) 을 산출하였고, 각폭 역시 각장과 같은 방식으로 ARG, DGR, SGR 을 산출하였다. 측정된 중량은 증중률 (weight gain, WG), 일간증중율 (daily weight gain, DWG), 순간증중율 (specific weight gain, SWG) 을 산출하였다.

$$\text{절대성장율 (ARG, \%)} = (L_e - L_i)/L_i \times 100$$

$$\text{또는 } (B_e - B_i)/B_i \times 100$$

$$\text{일간성장율 (DGR, \%/\text{day})} = (L_e - L_i)/(T - t) \times 100$$

$$\text{또는 } (B_e - B_i)/(T - t) \times 100$$

$$\text{순간성장율 (SGR, \%/\text{day})} = (\ln L_e - \ln L_i)/(T - t) \times 100$$

$$\text{또는 } (\ln B_e - \ln B_i)/(T - t) \times 100$$

$$\text{증중률 (WG, \%)} = (W_e - W_i)/W_i \times 100$$

$$\text{일간증중율 (DWG, \%/\text{day})} = (W_e - W_i)/(T - t) \times 100$$

$$\text{순간증중율 (SWG, \%/\text{day})} = (\ln W_e - \ln W_i)/(T - t) \times 100$$

여기서,  $L_e$ 과  $L_i$ 는 각각 최종평균각장과 최초평균각장,  $B_e$ 와  $B_i$ 는 각각 최종평균각폭과 최초평균각폭이며,  $W_e$ 와  $W_i$ 는 각각 최종평균중량과 최초평균중량을 나타낸다. ( $T - t$ ) 는 사육일

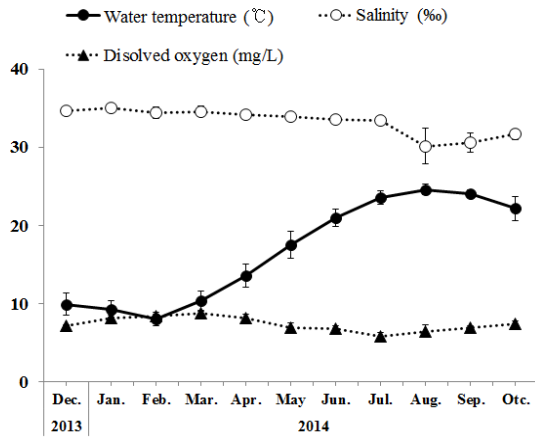


Fig. 2. Changes of water temperature, salinity and dissolved oxygen during experiment period.

수를 나타낸다.

또한 생존율 (survival rate, SR) 은 아래 식을 이용해 산출하였다.

$$\text{생존율 (SR, \%)} = (N_i - N_e) / N_i \times 100$$

여기서,  $N_e$ 와  $N_i$ 는 각각 최종생존마리수와 최초생존마리수를 나타낸다.

#### 4. 통계처리

성장 및 생존을 실험 결과는 2회 반복한 평균치로 나타내었으며, 통계프로그램인 SPSS (Statistical Package for Social Sciences) PASW Base ver. 18 (IBM Co. Ltd., New York, USA) 를 이용하여 one way ANOVA를 실시하였으며  $P < 0.05$  수준에서 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 평균 간의 유의성을 검정하였다.

### 결 과

#### 1. 환경변화

실험기간동안 월별 수온변화는 입식초기인 2013년 12월부터 2014년 3월까지 수온은 8-10°C를 나타내었으며, 4월부터는 수온이 상승하여 6월-9월까지 20°C이상을 나타내었다. 월별 염분변화에서는 입식초기인 12월부터 2014년 7월까지 33-35‰를 유지하였으나 8월과 9월에는 30‰이하로 낮아졌으며 10월에는 다시 31‰이상으로 상승하였다. 월별 용존산소 (DO) 변화에서는 2014년 1월부터 4월까지 8.0 mg/L이상을 유지하였으며, 5월에는  $6.9 \pm 0.7$  mg/L로, 7월에는  $5.8 \pm 0.5$  mg/L로 낮아졌으며 9월에는 다시 7.0 mg/L로 상승하였다 (Fig. 2).

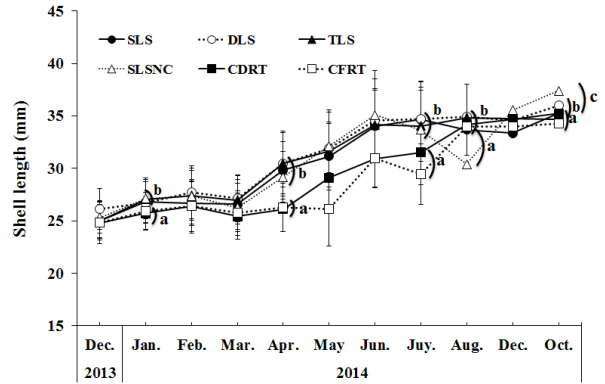


Fig. 3. Changes of shell length (mm) of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* that reared at different land-based intermediate culture. Month of not superscript is not significant. Different letters indicate differ significantly ( $P < 0.05$ ).

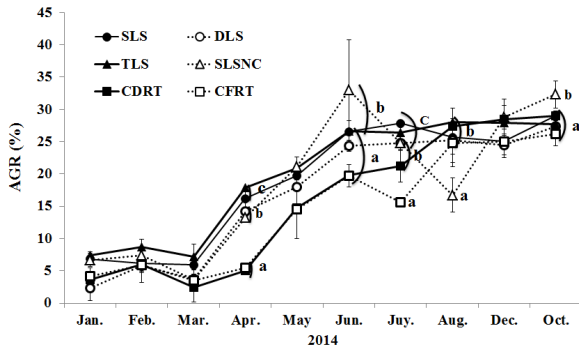
#### 2. 성장변화

##### 1) 월별성장변화

고밀도 중간육성을 위하여 육상수조 내에서 다른 양성방법으로 사육된 북방전복 치패의 월별 각장변화에서 2014년 1월에 CDRT와 CFRT이 SLS, DLS, TLS, SLSNC보다 유의적으로 낮았으나 ( $P < 0.05$ ), 2-3월에는 차이가 없었다. 4월에는 다시 2월과 같이 유의적으로 낮았고 ( $P < 0.05$ ), 전복의 성장적기인 5-6 월에는 차이가 없었다. 이후 고수온기인 7월에는 CDRT와 CFRT가 역시 다른 실험구보다 유의적으로 낮았으며 ( $P < 0.05$ ), 8월에는 SLSNC가 CFRT을 제외한 모든 실험구보다 유의적으로 낮았다 ( $P < 0.05$ ). 그러나 9월에는 모든 실험구가 유의적 차이가 없었으며 10월에는 SLSNC가 DLS를 제외한 모든 실험구보다 유의적으로 높았다 ( $P < 0.05$ , Fig. 3).

각장에 대한 월별 절대성장율 (AGR) 에서는 4월에 CDRT와 CFRT이 SLS, DLS, TLS, SLSNC보다 유의적으로 낮았으며 ( $P < 0.05$ ), 6월에는 SLSNC가 DLS, TLS를 제외한 실험구보다 높았다 ( $P < 0.05$ ), 7월에는 CFRT가 모든 실험구보다 유의적으로 낮았으며 ( $P < 0.05$ ), 8월에는 SLSNC가 모든 실험구보다 유의적으로 낮았다 ( $P < 0.05$ ). 9월에는 다시 모든 실험구에서 차이가 없었으며, 10월에는 SLSNC가 모든 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다 ( $P < 0.05$ , Fig. 4).

각장에 대한 월별 일간성장율 (DGR) 에서는 1월에 DSL, CDRT, CFRT가 SLS, TLS, SLSNC보다 유의적으로 높았으나 ( $P < 0.05$ ), 이후 3월까지의 차이가 없었으며, 다시 4월에는 CDRT와 CFRT가 다른 실험구보다 유의적으로 낮았다 ( $P < 0.05$ ). 다시 6월까지의 차이가 없었으며, 7월에는 CFRT



**Fig. 4.** Changes of absolute growth rate (AGR) by shell length of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* that reared at different land-based intermediate culture. Month of not superscript is not significant. Different letters indicate differ significantly ( $P < 0.05$ )

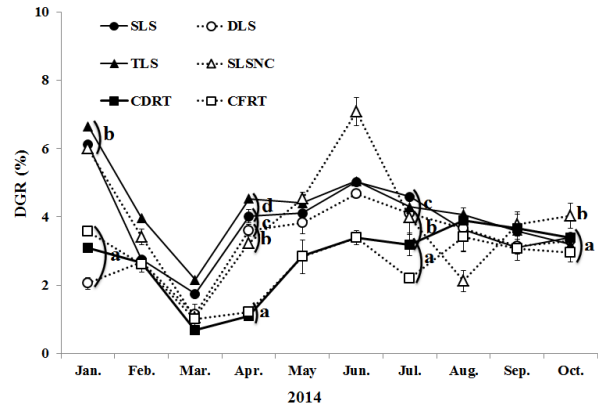
가 CDRT를 제외한 모든 실험구보다 유의적으로 낮았으며 ( $P < 0.05$ ), 8월과 9월은 차이가 없었다. 그러나 10월에는 SLSNC가 모든 실험구보다 유의적으로 높았다 ( $P < 0.05$ ).

일간 중량 변화에서는 1월에 CDRT가 CFRT를 제외한 모든 실험구보다 유의적으로 낮았으며 ( $P < 0.05$ ), 3월에는 TLS가 CDRT보다 유의적으로 높았고 ( $P < 0.05$ ), 4월에는 DLS가 TLS를 제외한 모든 실험구보다 높았다 ( $P < 0.05$ ). 6월에는 CDRT, CFRT가 모든 실험구보다 유의적으로 낮았고, 7월에는 CFRT와 CDRT를 제외한 모든 실험구보다 낮았으며 ( $P < 0.05$ ), 이후 8월, 9월은 차이가 없었으나 10월에는 SLSNC가 모든 실험구보다 유의적으로 높았다 ( $P < 0.05$ , Fig. 5).

중량에 대한 월별 증중율 (WG) 변화에서는 1월에 CFRT이 CDRT, DSL과는 유의적 차이가 없었으며 SLS, TLS, SLSNC보다는 낮았고 ( $P < 0.05$ ), 2월에도 유사한 결과를 나타내었다. 4월에는 CDRT와 CFRT가 다른 실험구보다 유의적으로 낮았고, 6월에는 CFRT가 모든 실험구보다 유의적으로 낮았지만 SLSNC는 모든 실험구보다 높았다 ( $P < 0.05$ ). 7월에는 CFRT가 CDRT를 제외한 모든 실험구보다 낮았으며 ( $P < 0.05$ ), 10월에는 SLSNC가 모든 실험구보다 유의적으로 높았다 ( $P < 0.05$ , Fig.5).

**2) 성장특성**

고밀도 중간육성을 위하여 육상수조 내에서 다른 양성 방법 별로 사육된 북방전복 치패의 성장특성을 Table 1에 나타내었다. 최종평균각장 (FML) 에서는 SLSNC가  $37.41 \pm 3.82$  mm로  $36.00 \pm 3.28$  mm인 DLS를 제외하고  $33.68-35.23$  mm의 값을 나타낸 모든 실험구보다 유의적으로 높았으며 ( $P < 0.05$ ), SLS, DSL, TLS는 차이가 없었다.



**Fig. 5.** Changes of daily growth rate (DGR) by shell length of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* that reared at different land-based intermediate culture. Month of not superscript is not significant. Different letters indicate differ significantly ( $P < 0.05$ )

각장의 절대성장율 (AGRSL), 일간성장율 (DGRSL), 순간성장율 (SGRSL) 에서도 SLSNC가 각각  $32.30 \pm 2.07\%$ ,  $3.84 \pm 0.36\%$ ,  $0.12 \pm 0.01\%$ 로 다른 실험구보다 유의적으로 높았다 ( $P < 0.05$ ).

각폭에 대한 최초평균각폭 (IMB), 최종평균각폭 (FMB), 절대성장율 (AGRSB), 일간성장율 (DGRSB), 순간성장율 (SGRSB) 에서는 모든 실험구가 유의적인 차이가 없었다.

중량에 대한 최초평균중량 (IMW) 에서는 DLS가  $2.17 \pm 0.07$  g으로 CFRT를 제외한 모든 실험구보다 유의적으로 높았다 ( $P < 0.05$ ). 이후 최종평균중량 (FMW) 에서는 SLSNC가  $5.78 \pm 1.21$  g으로  $3.97 - 4.91$  g인 다른 실험구보다 유의적으로 높았다( $P < 0.05$ ). 그 외 증중율 (WG), 일간증중율 (DWG) 에서도 SLSNC가 각각  $211.59 \pm 25.92\%$ ,  $1.25 \pm 0.15\%$ 로 다른 실험구보다 유의적으로 높았으며 ( $P < 0.05$ ), 순간증중률 (SWG) 에서는 모든 실험구가 유의적 차이를 보이지 않았다 (Table 1).

**3. 생존율**

고밀도 중간육성을 위하여 육상수조 내에서 다른 양성방법 별로 사육된 북방전복 치패의 생존율에서는 CDRT와 CFRT가 1%와 14.6%로, 39%-44%를 나타낸 SLS, DLS, SLSNC보다 유의적으로 낮았다 ( $P < 0.05$ , Fig. 6).

**고찰**

전복은 수온에 따른 일간섭식률에 차이를 보이며 이러한 영향은 곧 성장에 영향을 미치게 된다. 또한 북방전복의 경우 성



장 적수온은 20°C 전후이며, 7°C 이하에서는 전복 먹이 활동이 둔해지게 된다 (Sakai, 1962). 본 연구에서도 수온이 낮은 3월까지 성장 정체를 보이고 10°C 중반 이후로 수온이 상승되는 4월부터 성장이 시작되는 것을 확인할 수 있었다. 다만 얇은 수심의 수조 방식의 실험구들은 4월까지도 성장이 정체되었다. 그 원인으로 돌 밀이나 암초 등에 서식하는 북방전복 특성상 은폐물 없는 사육이 스트레스로 작용하여 성장이 기존 실험구와 비교해 1-2개월 정체가 발생하였을 것으로 추측된다. 그러나 북방전복에 대한 장기간 은폐물 없는 사육에 대한 연구는 아직 보고되지 않아 이와 관련된 연구를 차후 진행할 필요가 있다.

부착습성이 있는 동물들은 일정한 지역 안의 개체 수 보다 각 지역 지표에 의해 밀도가 변화되는 것이 더 합리적이며 (Parsons and Dadswell, 1992), 먹이를 섭취하기 위해 표면에 부착하고 이동하는 전복류에게 특히 더 해당된다 (Lloyd

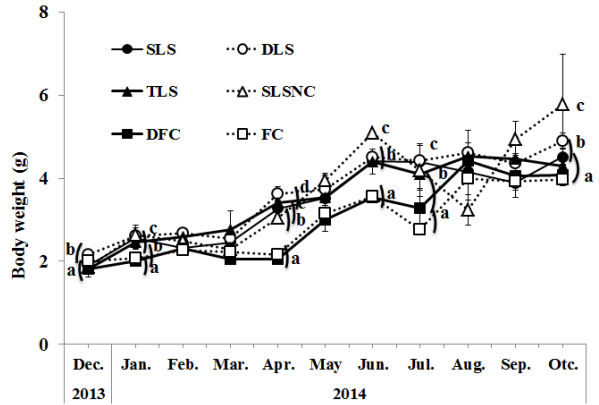


Fig. 6. Changes of body weight of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* that reared at different land-based intermediate culture. Month of not superscript is not significant. Different letters indicate differ significantly ( $P < 0.05$ )

Table 1. Growth performance of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* that reared at different land-based intermediate culture

	SLS	DLS	TLS	SLSNS	CDRT	CFRT
IML <sup>2</sup>	25.00 ± 1.58 <sup>ns</sup>	26.13 ± 1.96	25.05 ± 1.87	25.32 ± 1.47	24.81 ± 1.46	24.84 ± 2.01
FML <sup>3</sup>	35.23 ± 3.231 <sup>ab</sup>	36.00 ± 3.28 <sup>bc</sup>	34.64 ± 2.88 <sup>ab</sup>	37.41 ± 3.82 <sup>c</sup>	35.22 ± 4.07 <sup>b</sup>	33.68 ± 3.54 <sup>a</sup>
AGR <sub>SL</sub> <sup>4</sup>	29.03 ± 0.19 <sup>a</sup>	27.40 ± 1.11 <sup>a</sup>	27.69 ± 2.31 <sup>a</sup>	32.30 ± 2.07 <sup>b</sup>	29.04 ± 0.75 <sup>a</sup>	26.23 ± 1.84 <sup>a</sup>
DGR <sub>SL</sub> <sup>5</sup>	3.25 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.13 ± 0.18 <sup>a</sup>	3.04 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.84 ± 0.36 <sup>b</sup>	3.22 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.81 ± 0.27 <sup>a</sup>
SGR <sub>SL</sub> <sup>6</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>a</sup>
IMB <sup>7</sup>	17.11 ± 3.78 <sup>ns</sup>	18.38 ± 1.21	17.50 ± 1.19	17.62 ± 1.04	17.34 ± 1.04	17.77 ± 1.24
FMB <sup>8</sup>	23.67 ± 2.32 <sup>ns</sup>	24.04 ± 2.30	23.20 ± 1.94	25.33 ± 2.54	23.73 ± 2.50	23.68 ± 1.87
AGR <sub>SB</sub>	38.34 ± 1.24 <sup>ns</sup>	30.76 ± 2.92	32.60 ± 0.20	43.72 ± 4.65	36.81 ± 4.73	33.26 ± 4.30
DGR <sub>SB</sub>	2.08 ± 0.07 <sup>ns</sup>	1.80 ± 0.17	1.81 ± 0.01	2.45 ± 0.26	2.03 ± 0.26	1.88 ± 0.24
SGR <sub>SB</sub>	0.10 ± 0.00 <sup>ns</sup>	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.12 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.09 ± 0.01
IMW <sup>9</sup>	1.90 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.17 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.82 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.86 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.81 ± 0.19 <sup>a</sup>	2.01 ± 0.06 <sup>ab</sup>
FMW <sup>10</sup>	4.51 ± 0.19 <sup>ab</sup>	4.91 ± 0.18 <sup>b</sup>	4.29 ± 0.05 <sup>ab</sup>	5.78 ± 1.21 <sup>c</sup>	4.08 ± 1.21 <sup>a</sup>	3.97 ± 0.26 <sup>a</sup>
WG <sup>11</sup>	137.37 ± 5.21 <sup>a</sup>	126.04 ± 17.92 <sup>a</sup>	136.09 ± 5.84 <sup>a</sup>	211.59 ± 25.92 <sup>b</sup>	126.04 ± 17.24 <sup>a</sup>	97.51 ± 11.26 <sup>a</sup>
DWG <sup>12</sup>	0.83 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.87 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.78 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.25 ± 0.15 <sup>c</sup>	0.72 ± 0.10 <sup>ab</sup>	0.62 ± 0.07 <sup>a</sup>
SWG <sup>13</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>ns</sup>	0.26 ± 0.03	0.27 ± 0.01	0.36 ± 0.03	0.52 ± 0.39	0.44 ± 0.33

<sup>1</sup>Values (mean ± S.D of two replications) with a different Superscripts within the same row are significantly different ( $P < 0.05$ ). Ns is not significant.

<sup>2</sup>Initial mean shell length. Unit is mm

<sup>3</sup>Final mean shell length. Unit is mm

<sup>4</sup>Absolute growth rate. Unit is %

<sup>5</sup>Daily growth rate. Unit is %/day

<sup>6</sup>Specific growth rate. Unit is %/day

<sup>7</sup>Initial mean shell breadth. Unit is mm

<sup>8</sup>Final mean shell breadth. Unit is mm.

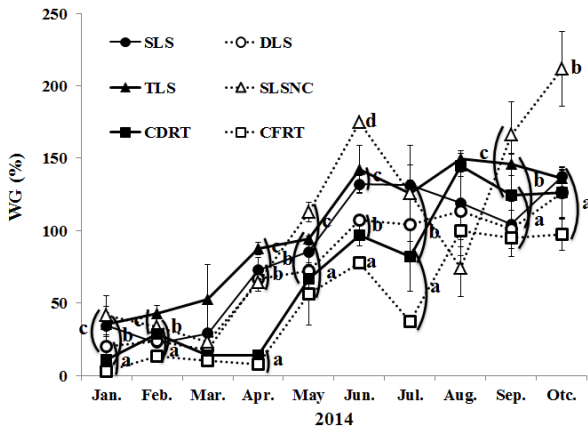
<sup>9</sup>Initial mean total weight. Unit is g.

<sup>10</sup>Final mean total weight. Unit is g.

<sup>11</sup>Weight gain. Unit is %.

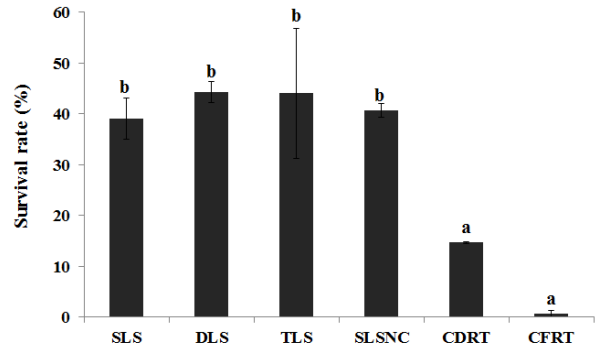
<sup>12</sup>Daily weight gain. Unit is %/day.

<sup>13</sup>Specific weight gain. Unit is %/day.



**Fig. 7.** Changes of weight gain (WG) by body weight of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* that reared at different land-based intermediate culture. Month of not superscript is not significant. Different letters indicate differ significantly ( $P < 0.05$ )

and Bates, 2008). 이러한 특징은 곧 사육장소나 형태에 따라 전복류의 수용밀도가 다르게 결정될 수 있으며 성장에도 영향을 미칠 수 있다 (Wu *et al.*, 2009; Wassning *et al.*, 2009; Huchette *et al.*, 2003a). 전복류에 있어 공간 경쟁은 수질저하보다 성장을 감소시킬 수 있는 요인이 될 수 있으며 (Huchette *et al.*, 2003b), 따라서 공간과 비례되는 수용밀도는 전복 성장에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이며, *Haliotis tuberculata* (Mgaya and Mercer, 1995), *Haliotis fulgens* (Aviles and Shepherd, 1996), *Haliotis diversicolor* (Liu and Chen, 1999), *Haliotis asinina* (Capinpin *et al.*, 1999), *Haliotis rubra* (Huchette *et al.*, 2003a; 2003b), *Haliotis kamtschatkana* (Lloyd and Bates, 2008) 등 다양한 전복류들이 고밀도 수용 시 성장이 둔화된다고 보고되어 있다. 그러나 본 연구에서는 전복치패를 처음 수용 시에 단층 shelter를 기준으로 동일한 공간 내에 적정 수용량의 60%이상 고밀도를 수용하고 shelter를 2층과 3층의 다단으로 설치하여 부착면적을 2배 또는 3배까지 확대했지만 단층의 shelter와 성장과 생존율에서 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 다단층 shelter 실험구의 경우 전복치패 개체 수 대비 부착면적은 넓어졌지만, 먹이인 배합사료의 접근성에서 문제가 발생되었을 가능성이 있다. 즉 단층 shelter에서는 사료를 공급 시 shelter 주변에서 바로 섭취가 가능하게 되면서 먹이 섭취가 쉬운 바닥부근에서 가까운 곳에 위치하게 되는 성향을 나타낼 수 있는 것이다. 이러한 결과는 2층과 3층 shelter의 전복치패 부착상태를 확인하였을 때 부착된 치패들이 적게 분포되어 있어 간접적인 확인이 가능하였다. 또한 2층과 3층 shelter는 배합사료 특성 상 shelter 주변에 남아있지 못



**Fig. 8.** Survival rate (%) of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* that reared at different land-based intermediate culture. Bar indicates standard deviation ( $n = 2$ ). Bars with different letter differ significantly ( $P < 0.05$ ).

하고 그대로 수조 바닥으로 흘러 내려가게 되며, 2층과 3층에 부착된 북방전복은 먹이를 섭취하기 위해서는 단층 shelter보다 이동 거리가 늘어나는 만큼 손쉽게 먹이를 탐색할 수 있는 1층 shelter에서 다시 부착하면서 결국 공간경쟁이 발생하여 하단 shelter가 고밀도로 수용되는 것이다. Gaty and Wilson (1986) 은 전복을 고밀도로 사육 시 커다란 생리적 스트레스를 경험하게 되면서 높은 대사율과 성장이 저하된다고 하였으며, Douros (1987) 는 고밀도에 의한 성장감소는 먹이자체보다 전복의 적정공간을 확보하기 위한 경쟁과 먹이 탐색활동에 의해 좌우된다고 보고하였다. Lloyd and Bates (2008) 는 고밀도에서는 자유로운 먹이공급과 일정량의 먹이공급에서도 먹이 탐색 활동이 위축된다고 보고하여 결국 다단 중 하단 shelter가 고밀도로 수용되면서 단층 shelter와 성장과 생존율에서 차이를 보이지 않은 것으로 보인다. 다만 다시마와 미역과 같이 장기간 수중 내에서 안정하며 2층, 3층 부근에서도 먹이를 공급받을 수 있다면 밀도를 분산시키는 데 일부 보완도 가능할 것으로 예상되므로 이와 관련한 연구를 면밀히 검토할 필요가 있다.

주로 호주에서 흔히 사용되는 얇은 유수식 수로형 수조, 즉 ‘shallow raceway tank’라는 방식으로 사육하고 있으며, 이러한 수조형태는 ‘slab tank’로 불리고 있다 (Hutchinson and Vandepier, 2005). 이 사육방식의 특징은 shelter 없이 사육되고 있다는 점이다. 물론 국내 전복과는 다른 종인 *Haliotis rubra*, *Haliotis laevigata* 등이 주요 양식 대상 종으로서 서식 환경과 습성차이가 있어 은신처를 필수적으로 보는 국내 전복 양식과는 사육 방식이 다를 수 있다. 특히 이 시설은 ‘자동식 수차 방식’을 이용해 한꺼번에 파도처럼 물을 내리면서 오염물과 폐사개체를 제거하여 수질 조절에 도와주는 방식이다 (Hone and Higham, 1997; Loipersberger, 1997). 본 연구에서는 이러한 호주 등에서 활용되는 시스템을

응용하여 국내 북방전복 고밀도 중간양성을 위해 새로운 양성 방법으로 도입 가능성을 타진해 보고자, 기존 국내 수로형 양성 수조를 개조하여 고랑형과 일반 판형으로, shelter 대신 빛을 완전히 차단하고 고밀도로 북방전복 치패를 수용하여 사육하였다. 그 결과 전복들은 빛이 없고, 은신처가 없어 자유롭게 이동하거나 수조 내 넓게 분포 될 것으로 예상하였으나, 모두 벽 쪽으로 집중적으로 부착되고 성장도 shelter 설치구간과 비교해 급격히 떨어지며 사육기간 동안 종종 대량 폐사가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 여기에 일부 개체들은 구석진 곳으로 몰려가 있거나 아예 바닥 틈새로 들어가는 등 행동을 보였다. 이런 결과는 곧 부착면적이 급격히 감소되고 이것은 곧 스트레스로 작용되면서 성장과 생존율에 직접적인 영향을 미쳤을 것으로 추측된다. 높은 밀도의 전복은 부착 공간 선점을 위한 경쟁으로 상처와 스트레스의 원인이 되며, 이 때 자가 회복을 위해 필요한 에너지를 성장에너지로부터 활용하게 되어 성장에 영향을 미치게 된다 (Moore and Hone, 1996; Hindrum *et al.*, 1999). 스트레스에 의한 성장 영향은 암모니아 농도의 단계적 상승을 통한 수질 감소 (Harris *et al.*, 1999a; Huchette *et al.*, 2003b) 와 용존산소 (DO) 감소 (Capinpin *et al.*, 1999; Harris *et al.*, 1999b) 에 의해서도 발생될 수 있다. 즉 스트레스는 성장에 직접적인 영향을 미치게 되며, 본 연구에서도 은신처가 없는 스트레스에 지속적으로 노출된 북방전복이 자기 회복을 위한 에너지 소비가 지속적으로 이어지면서 성장 감소로 이어지고 결국은 체력저하로 인한 대량 폐사가 발생된 것으로 보인다. 따라서 국내에서 생산 중인 북방전복은 은신처 없는 'shallow race way' 사육 시스템이 적합하지 않는 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 북방전복 육상 수조 내 고밀도 중간양성 방법을 모색하기 위해 부착면적 확대를 위해 다단식 shelter 설치와 수조 내 중층 이상의 가두리를 설치하여 성장을 비교하고 아울러 전복류 육상 양성방법인 'shallow race way' 국내 도입 가능성을 조사하였다.

Shelter 실험구는 PE (polyethylene) 재질의 shelter (63 × 98 cm) 1층형 (the single layer shelter, SLS), 2층형 (the double layer shelter, DLS), 3층형 (the triple layer shelter, TLS) 과 육상 가두리 양성방식 (the single layer shelter and net cage culture, SLSNC), 그리고 'shallow race way' 방식을 polyvinyl chloride (PVC)로 제작하여 고랑수로양성 (culture of the ditch raceway tank, CDRT) 과 편평한 수로양성 (culture of the floor raceway tank, CFRT) 방식을 설정하였으며, 실험구는 모두 2반복으로 실시

되었다. 각 실험구별 SLS 기준 60%밀도로 수용한 실험 전복 (최초 수용 시 평균각장 25.19 ± 0.50 mm, 중량 1.93 ± 0.14 g), 성장에서 각장의 절대성장율 (absolute growth rate, ARG), 일간성장율 (daily growth rate, DGR) 및 순간성장율 (specific growth rate, SGR) 과 중량의 증중률 (weight gain, WG), 일간증중률 (daily weight gain, DWG) 에서 SLSNC 제외된 모든 실험구가 유의적인 차이가 없었다. 그리고 생존율에서는 CDRT와 CFRT가 유의적으로 낮았다 (P < 0.05). 따라서 shelter를 이용하여 부착면적을 확대한 고밀도 전복치패 육상 중간양성 사육 시 단층과 다단층에서 성장과 생존율에서 차이가 없으며, 호주 등에서 사용되는 shelter 없는 'shallow race way'의 얇은 수심사육은 국내 북방전복 육상 중간양성 방식으로 도입하기에 적합하지 않는 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산물과학원 (전복 가두리양식 생산성향상 및 표준화 연구 15-AQ-51) 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Capinpin, E.C., Toledo J.D., Encena V.C. and Doi M. (1999) Density dependent growth of the tropical abalone, *Haliotis asinina* in cage culture, *Aquaculture*, **171**: 227-235.
- Creese, R.G. and Underwood A.J. (1982). Analysis of inter- and intra-specific competition amongst limpets with different methods of feeding. *Oecologia (Berl.)*, **53**: 337-346.
- Douros, W.J. (1987) Stacking behavior of on intertidal abalone: an adaptive response or a consequence of space limitation?. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **108**: 1-14.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple range and multiple F-tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Fletcher, E.J. (1988) Intraspecific interactions between adults and juveniles of the subtropical limpet, *Patella mufria*. *Oecologia (Berl.)*, **75**: 227-272.
- Fletcher, E.J. and Creese, R.G. (1985) Competitive interactions between co-occurring herbivores gastropods. *Marine Biology*, **86**: 183-191
- Gaty, G. and Wilson J.H. (1986) Effects of body size, starvation, temperature, and oxygen tension on the oxygen consumption of hatchery-reared ormers *Haliotis tuberculata*. *L. Aquaculture*, **56**: 229-237.
- Harris, J.O., Maguire G.B., Edwards S.J. and Hindrum S.M. (1999a) Effect of ammonia on the growth rate and oxygen consumption of juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevigata*. *Aquaculture*, **160**: 259-262.
- Harris, J.O., Maguire G.B., Edwards S.J. and Hindrum S.M. (1999b) Effect of pH on growth rate, oxygen



- consumption rate and histopathology of gill and kidney tissue from juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevigata* Donovan and blacklip abalone *Haliotis rubra* Leach. *Journal of Shellfish Research*, **18**: 611-619.
- Hindrum, S., Edwards S., Burke C., Johns D. and Maguire G. (1999) Exploring the dynamic relationship between water quality, stocking density and refuge provision for greenlip abalone (*Haliotis laevigata*). **In**: Proceeding of the 6th Annual Abalone Aquaculture workshop, May 1999 (ed. by P.W. Hone), pp. 47-58. Fisheries Research and Development Corporation, Canberra, Australia.
- Hone P. and Higham J. (1997) Research results: abalone do great in long skinny raceway! *Developments in Abalone Aquaculture Newsletter*, 1:p. 4.
- Huchette, S.M.H., Koh C.S. and Day R.W. (2003a) Growth of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in aquaculture tanks: effects of density and ammonia. *Aquaculture*, **219**: 457-470.
- Huchette, S.M.H., Koh C.S. and Day R.W. (2003b) The effects of density on the behaviour and growth of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*). *Aquaculture International*, **11**: 411-428.
- Hutchinson W.G. and Vandeeper M. (2005) Water quality: effects and management on abalone farms. **In**: Abalone Aquaculture subprogram: Preventing Summer Mortality of Abalone in Aquaculture Systems by Understanding Interactions Between Nutrition and Water Temperature. Appendix 5 of South Australian Research Development Institute (SARDI) Research Report Series: No. 173. 2006 (ed. by M. Vandeeper), pp. 85-139. SARDI Aquatic Sciences, West Beach, SA, Australia.
- Jarayaband P., Kruiroongroj W. and Chaisanit C. (2010) Effects of Stocking Density on Growth Performance of Thai Abalone, *Haliotis asinina*, Linnaeus 1758, Reared Under a Semiclosed Recirculating Land-Based System. *Journal of Shellfish Research*, **29** (3): 593-597.
- Jeong, S.C. Jee Y.J. and Son P.W. (1994) Indoor Tank Culture of the Abalone *Haliotis discus hannai*. I. Effects of Tank shape and stocking density on the growth of young abalone. *Journal of Aquaculture*, **7** (1): 9-20. (in Korean)
- Kim, B.H., Lee S.M., Koh C.S., Kim J.W. and Myeong J.I. (1998) Optimum Stocking Density of Juvenile Abalone (*Haliotis discus hannai*). *J. Korean Fish. Soc.*, **31**(6): 869-874. (in Korean)
- Kim, B.H., Park M.W., Kim T.I., Son M.H. and Lee S.W. (2013) A Study on the Optimum Stocking Density of the Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai* Net Cage Culture or Indoor Tank Culture. *Korean Journal of Malacology*, **29**(3): 189-195. (in Korean)
- Kim, B.H., Park M.W., Kim T.I., Son M.H. and Lee S.W. (2014) The Growth and Survival Rate of Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai* at Different Intermediate Culture Type in Net Cage of Indoor Tank. *Korea Journal of Malacology*. **30**(3): 235-242. (in Korean)
- Kim, S.Y., Park C.J., Nam W.S., Kim J. M., Lee J.H., Noh J. K., Kim H.C., Park J.W. and Hwang I.J. (2013) Comparison of formulated feed and two seaweed-based diets on growth of Pacific abalone (*Haliotis discus hannai*). *Korean Journal Malacology*, **23**(3): 233-238.
- KOSIS (Korean statistical information service) (2015). Agriculture, Forestry and Fishery. Statistics Korea, Daejeon, Korea. <http://kosis.kr>
- Lloyd M.J. and Bates A.E. (2008) Influence of density-dependent food consumption, foraging and stacking behaviour on the growth rate of the Northern Abalone, *Haliotis kamtschatkana*. *Aquaculture*, **277**: 24-29.
- Loipersberger M. (1997) SAABDEV tank report. **In**: Proceeding of the 4th Annual Abalone Aquaculture Workshop, July 1997 (ed. by Hone P.W and Fleming A), pp. 10-12. Fisheries Research and Development Corporation, Canberra, Australia.
- Marshall, P.A. and Keough, M.J. (1994) Asymmetry in intraspecific competition in the limpet *Cellana tramoserica* (Sowerby). *J. EXP. Mar. Biol. Ecol.*, **177**: 121-138.
- Mercer, J.P., Mai K.-S. and Donlon J. (1993) Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus and *Haliotis discus hannai* Ino: I. Effects of algal diets on growth and biochemical composition. *Invertebrate Reproduction Development*, **23**: 75-88.
- Mgaya, Y.D. and Mercer J.P. (1995) The effects of size grading and stocking density on growth performance of juvenile abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus. *Aquaculture*, **136**: 197-312.
- Moore M. and Hone P. (1996) Results of varying stocking density on growth and yield per unit tank area. **In**: Proceeding of the 1st and 2nd Abalone Aquaculture workshop, July 1994 (ed. by P.W. Hone and A. Fleming), pp. 78-81. Fisheries Research and Development Corporation.
- Park, M.E., Rho S. and Song C.B. (1995) Density Effect on the Growth of Juvenile Abalones (*Haliotis discus hannai*) Reared in the Closed Recirculating Water System. *Bull. Mar. Res. Inst. Chonju. Nat. Univ.*, **19**: 93-102. (in Korean)
- Parsons, G.C. and Dadswell M.J. (1992) Effect of stocking density on growth, production and survival of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, held in intermediate suspension culture in Passamaquoddy Bay, New Brunswick. *Aquaculture*, **103**: 291-309.
- Sakai, S. (1962) Ecological studies on the abalone, *Haliotis discus hannai* Ino - I. Experimental studies on the food habit. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, **28**: 766-779. (in Japanese)
- Son, M.H., Cho K.C., Kim K.K. and Jeon I.G. (2003) Optimum stocking density of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* in recirculating culture system. *Journal of Aquaculture*, **16**(4): 257-261.

Wassnig M., Day R.W., Roberts R.D. and Krsinich A.  
(2009) Effects of density and food ration on the  
growth rate, mortality and biomass return of abalone  
in slab tanks. *Aquaculture Research*, **40**: 1501-1509.  
Wu. F., Liu X., Zhang G. and Wang C.(2009) Effects of

the initial size, stocking density and sorting on the  
growth of juvenile Pacific abalone, *Haliotis discus  
hannai* Ino. *Aquaculture Research*, **40**: 1103-1110.  
한석중, (1998) 전복양식. pp. 9-14. 구덕출판사. 부산.