

해상가두리 적정 사육기술 제시를 위한 전복양식 현황

손맹현[†] · 박민우 · 김강웅 · 김경덕 · 김신권

(국립수산과학원)

Status of the Abalone (*Haliotis discus hannai*) Aquaculture for Optimal Rearing Technique in Marine Net Cage

Maeng-Hyun SON[†] · Min-Woo PARK · Kang-Woong KIM ·
Kyoung-Duck KIM · Shin-Kwon KIM

(National Fisheries Research & Development Institute)

Abstract

We reviewed previous studies on well-performing aquaculture facilities, rearing environment, breeding management and feed supply to find the optimal conditions of the abalone aquaculture in marine cage. The size of marine cage varied depending on local area where the abalone farms are located. The small size cage (2.4×2.4×2.5 m) was used in Wando, Jindo and Hanam area where much of the provincial's abalone production is conducted and the middle size cage (2.4×4.8×2.5 m) was used in Huksando area. Big size group, above 2 cm in shell length, was produced from the end of October to the middle of November and small size group, below 2 cm in shell length, was produced from the end of March to the beginning of April next year in case of juvenile abalone of land production. The initial stocking density was 517-1,653 individuals/culture square meter(m²) in case of the big size group. The optimal rearing density was 326 and 263 individuals/culture square meter (m²) after 1 year and 2 year's rearing, respectively. It is shown that relationship between individual shell length (x) and rearing density (y) is estimated to be $y=2,803.1x^{-1.4641}$ ($r^2=0.9687$). In addition, The obvious relationship was indicated between number of cage (x) and sea weed production facilities (y) as $y=1.1542x+10.832$ ($r^2=0.918$) in Wando, because sea mustard (*Undaria pinnatifida*) or japanese tangle (*Laminaria japonica*) was supplied as a feed for abalone culture. The general pattern of relationship between shell length (x) and shell weight (y) of cultured abalone is estimated to be $y=0.1443x^{2.9461}$ ($r^2=0.9997$).

Key words : Abalone, Standardization, Net cage, Socking density

I. 서론

전복류는 전 세계적으로 약 100여종이 알려져 있으며, 우리나라 연안에 분포하는 전복류는 말전복(*Haliotis gigantea*), 시볼트전복(*H. sieboldii*),

까막전복(*H. discus*), 참전복(*H. discus hannai*) 등이 있으며(內田와 山本, 1942), 우리나라에서 양식 생산되는 대부분의 전복 품종은 참전복(*H. discus hannai*)이다.

우리나라 전복양식 산업은 크게 종묘생산과 양

[†] Corresponding author : 054-232-5433, hyu782@nfrdi.go.kr

* 이 논문은 국립수산과학원 양식산업의 표준화 연구 사업비에 의하여 연구되었음.

성으로 대별된다. 육상사육 시스템에서는 종묘생산, 해상가두리에서는 양성이 주로 이루어지고 있는 실정이다.

전복 종묘생산에 관한 연구로서 Kikuchi & Uki(1974a, b) 와 Uki & Kikuchi(1982a, b)에 의해 적산수온 개념으로 모패의 인위적인 성숙과 자외선 조사에 의한 산란유발기법 기술이 확립되면서 인공종묘의 대량생산(Kim & Cho, 1976; Pyen, 1970)이 가능하게 되었고, 이 때부터 전복의 연안 자원 증강을 위해서 종묘방류 사업도 실시하게 되었다. 또한 종묘생산이 가능해 짐으로써 인공종묘를 이용한 양성방법에 대한 연구가 시작되어 수하식 채롱양식이나 육상수조식 양식법이 개발되어, 오늘날 전복 양식은 우리나라 뿐만 아니라 일본, 중국, 대만 등에서 많이 행해지고 있다(Viana, 2002).

우리나라 전복 양성은 2000년대 초반에 육상수조식에서 시작되어 양식 생산량이 미미하다가 해상가두리에서 양성기술이 본격적으로 발달되면서 생산량이 급증하게 되었다. 어업생산통계(MIFAFF, 2009)를 살펴보면, 2001년도의 전복생산량은 29톤으로 매우 미미하지만, 입식후 3년째가 되는 2003년도부터 본격적으로 생산량이 증가하여 1,065톤, 생산액이 629억원으로 전체 패류생산액중 23.5%로 증가한 후, 최근 들어 전남 완도와 진도, 해남지역을 중심으로 해상가두리 양식면적의 증가와 생산기술의 발달로 인해 급격한 증가량을 보여 2009년도에는 전복생산량과 생산액이 각각 6,207톤과 2,331억원으로 전체 패류생산량과 생산액의 1.9%와 47.2%의 비중을 각각 차지하고 있다. 이러한 전복 생산액은 굴류(1,551억원)보다 오히려 더 높아 우리나라 패류양식 산업에 있어서 가장 중요한 품종으로 자리매김하고 있다(MIFAFF, 2009).

우리나라 전복 양성에 관한 연구로는 Jee et al.(1988)의 수하식 양성(채롱)에 의한 참전복 치패의 수용밀도와 성장, Jeong et al.(1994)의 참전복 치패의 성장에 미치는 수조형태 및 사육밀도,

박(1994)의 폐쇄순환 여과시스템에서의 전복 치패사육밀도와 성장, Kim et al.(1998)의 실험 배합사료 및 미역 공급시 참전복 치패의 적정 사육밀도와 성장, Kim et al.(2003)의 배합사료 및 다시마 공급이 참전복 치패의 성장 및 체조성에 미치는 수온의 영향, Moon et al.(2006)에 의한 서해안에서 사육시스템 종류별 참전복 치패의 성장비교 등 대부분 육상수조식 양식장에서 주로 많은 연구가 수행된 반면, 해상가두리 양식장에서의 적정 사육 기술개발에 관한 연구로는 해상가두리에서 사육한 전복의 적정 수용밀도, 선별과 비선별에 따른 성장 비교, 수심별 성장도 비교, 먹이종류와 적정공급량, 해적생물 및 질병 등을 조사한 해상가두리 전복양식 표준화 연구(MOMAF, 1998), 윤 등 (2004)의 해상가두리에서 참전복의 사육밀도에 따른 성장과 생존율에 관한 연구이외의 연구보고는 거의 없다.

본 연구는 현재 우리나라 양식 전복생산량의 대부분을 차지하고 있는 해상가두리 양식장에서 전복의 적정사육을 위한 시설현황, 사육환경, 치패수송, 입식밀도, 사육관리, 먹이공급 등에 대한 현장 조사 자료와 문헌자료를 종합 정리하여 해상가두리 전복의 적정 사육기술 현황자료를 제공함에 그 목적이 있다.

II. 조사내용 및 방법

1. 조사시기 및 지역

해상가두리 전복 양식기술 현황 조사 연구는 2006년부터 2007년까지 2년간에 걸쳐 우리나라 전복 해상가두리 양식의 주산지인 완도 22개소, 해남 7개소, 진도 6개소, 흑산도 8개소, 여수 1개소 및 제주도 1개소를 포함하여 총 45개 전복양식장을 대상으로 실시하였다.

2. 조사방법 및 내용

해상가두리 전복 양식 생산기술 현황 파악을 위한 조사방법은 가두리 양식 현장에서 해당업체의 경영주 또는 양식장 관리 책임자를 대상으로 직접 인터뷰를 통한 기술현황 조사와 기존의 문헌조사를 병행하여 실시하였다. 주요조사 내용으로는 대상 양식장의 사육수온, 가두리크기 및 칸수, 치패크기 및 수송, 입식시기 및 사육밀도, 사육 가두리내 쉘터종류 및 수량, 크기별 선별시기 및 방법, 먹이종류 및 먹이량, 먹이시설, 출하시까지 생존율 등이며, 이러한 조사자료와 기존 자료를 종합하여 전복 양식생산 기술 현황자료를 작성하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 사육 조건

가. 사육시설

전복 해상가두리식 사육시설을 조사한 결과, 양성용 가두리 1칸의 규격은 지역별로 차이를 나타내었다. 완도, 진도, 해남지역의 경우는 대개 2.4×2.4×2.5m 크기의 정사각형의 가두리를 주로 사용하고 있는 반면, 흑산도지역의 경우 2.4×4.8×2.5m 크기의 직사각형의 가두리를 주로 사용하고 있고, 제주도의 경우는 수중 침하식 가두리를 사용하고 있는 것으로 나타났다. 조사된 전복 해상가두리 양식장의 규모는 완도와 흑산도지역의 평균 규모는 각각 128±45칸과 126±74칸 이었고, 진도와 해남지역의 평균 규모는 267±209칸과 242±97칸으로 전국 평균 규모는 174±122칸으로 조사되었다.

흑산도 양식장의 경우 넓치양식용 가두리를 전복양식용으로 개조하여 사용하고 있는 것으로 조사되었다.

전복 양식장 규모는 가두리 칸수에 따라 결정하게 되는데 100칸 미만이면 소규모, 100칸 이상 200칸 미만이면 중규모, 200칸 이상이면 대규모로 분류하여 경제성 분석의 기준 규격으로 사용

하기도 한다(국립수산과학원, 2008).

또한 전복 해상가두리 사육시설시 고려되어야 할 점으로는 규모가 커짐에 따라 조류의 흐름 방향과 일치하게 시설하여야 하고, 또한 원활한 해류 소통을 위해 최소한 10m 이상의 간격이 가두리간 필요하다. 이는 해류 소통 특성상 양식시설이 없는 해역은 70cm/s 내외의 유속을 보인 반면, <Table 1>에서 보는바와 같이 양식시설이 있는 해역은 20cm/s 내외의 유속을 보였으며, 양식시설이 있는 해역에서 가두리 양식장에 유입된 해수는 가두리 시설을 통과하면서 수심 1~2m 층에서 유입 유속의 약 30% 정도가 감소한 것으로 나타나(국립수산과학원, 2008), 하계 고수온 시기에 가두리내 용존산소의 부족현상을 일으킬 수 있고, 또한 공급된 먹이의 찌꺼기의 배출을 방해함으로써 사육환경의 악화를 초래하여 사육생물의 폐사로 이어질 수 있기 때문이다(윤 등, 2004).

<Table 1> The change of average water velocity before and after passed marine cage

Depth (m)	Before(A) (cm/s)	After(B) (cm/s)	B/A (%)
1	19.8	14.2	72
2	20.3	14.5	71
3	22.5	21.9	97

전복의 성장에 있어 유속 또한 중요한 요인중의 하나이다. 먹이 공급을 1주 간격으로 실시하고 그물가두리내에서 물의 유통이 제한되면 높은 밀도구에서 먹이 섭취량이 감소한다. 또한 배설 대사율의 증가 및 용존산소의 감소에 의해 전복의 성장은 방해받을 받는다(Hahn, 1989; Fallu, 1991). 그러므로 원활한 해류 소통으로 안정된 수질을 유지시켜야 수용밀도를 높일 수 있다(Aviles & Shepherd, 1996).

나. 사육 수온

전복 양식장이 군집하고 있는 진도, 완도, 흑산도지역의 2006년 7월 1일부터 2007년 6월 30일까지

지 전복 양성에 있어 중요한 환경요인인 가두리 양식장의 수온변화를 조사한 결과, 완도지역의 수온범위는 8.5~25.8°C로서 평균 16.1±5.2°C, 진도 지역의 수온 범위는 5.8 ~ 25.8°C로서 평균 15.4±5.8°C, 흑산도 지역의 수온 범위는 8.8~29.8°C로서 평균 16.8±5.7°C를 유지하는 것으로 조사되어 전복 성장에 적합한 수온은 연간 7개월 정도로 나타났다<Table 2>.

<Table 2> Average monthly W.T. for a year from July, 2006 to June, 2007 of Wando, Jindo and Huksando area

Area	Wando	Jindo	Huksando
W.T. (°C)	mean±S.E.	mean±S.E.	mean±S.E.
Total	16.1±5.2	15.4±5.8	16.8±5.7
'06.7	20.4±0.9	21.2±1.1	21.9±1.4
'06.8	23.7±0.9	23.9±1.2	25.5±1.3
'06.9	21.0±1.4	22.6±1.2	25.4±0.7
'06.10	21.0±1.2	20.8±1.2	21.9±1.9
'06.11	16.0±1.6	16.0±1.5	17.1±1.7
'06.12	12.2±1.0	11.0±1.8	13.2±0.8
'07.1	9.5±0.7	8.4±0.9	10.4±0.8
'07.2	9.6±0.6	7.6±0.9	9.5±0.3
'07.3	10.1±0.8	8.4±0.9	9.7±0.4
'07.4	12.3±0.9	11.1±1.1	10.8±0.7
'07.5	15.7±1.2	14.6±1.2	13.3±1.3
'07.6	18.5±0.6	18.1±0.9	16.3±0.5

전복의 성장은 먹이활동에 영향을 주는 수온과 밀접한 관계가 있어 보통 7°C 이하에서는 먹이를 적게 먹으며, 활동도 매우 둔하게 된다. 미역을 먹이로 하여 사육할 경우 수온에 따른 일간섭식률은 수온 10.9°C, 16.5°C, 20.3°C에서 각각 체중의 7.5%, 14.7%, 17.6%로 수온이 높을수록 섭식률이 높았고, 또한 월간증중률도 각각 12.8%, 27.0%, 32.1%로 수온이 높을수록 월간증중률이 높게 나타난 실험결과가 있다(MOMAF, 1998). 이러한 결과로부터 전복의 성장 적수온은 15~20°C 전후라고 할 수 있다. 이러한 전복의 사육에 있어서 가장 중요한 환경요인중의 하나인 수온은 특히 수산생물의 신진대사율을 결정하는 중요한 요소이다(Fry, 1971). 육상양식시스템에서는 지리적 조건이나 물리적인 장치인 수온조절 제어 장

치에 의해 사육수온이 제어될 수 있지만, 해상가두리의 경우 기계적 제어장치에 의한 사육수온 조절은 불가능하다.

전복의 사육수온과 성장에 관한 연구로는 Thomas et al.(2006)이 *Haliotis iris*의 치패 양식에 있어서 사육 수온과 전복의 크기를 달리하여 성장을 비교한 결과, 전장 1cm와 3cm의 치패는 2°C에서 최대성장을 하고, 전장 6cm의 치패는 18°C에서 최대성장을 하며, 전장 1cm, 3cm, 6cm 치패의 한계온도에 대한 반수치사 수온은 각각 28.8°C, 27.7°C 및 27.8°C라고 보고하였다.

2. 치패구입 및 수송

가. 치패 구입

가두리 전복양식장에서 치패의 구입시기는 보통 10월 하순~11월 중순으로 육상수조식에서 1차 종패를 생산하여 판매하는 시기이다. 가두리 양식에 필요한 전복 치패의 크기는 몇 년 전까지만 해도 대략 각장 12~20mm 이내(소그룹크기)이나, 최근에는 각장 20~22mm(대그룹크기)로 커지고 있는 추세이다.

구입할 전복 치패가 결정되면 마리 수를 확인해야 하는데 일일이 손으로 셀 수는 없기 때문에 대개 100마리를 계수하여 저울로 중량을 달아서 평균 중량을 파악하게 되는데 5회 정도 반복한 후, 총 중량으로 전체 구입 마리 수를 산정하게 된다. 이때 정확한 중량을 산정하기 위해서는 수조에서 구입할 치패를 꺼낸 후 바로 측정하지 말고 전복에 묻은 수분을 어느 정도 제거시킨 다음 중량을 측정하는 것이 바람직한 방법이다.

나. 치패 수송

구입한 전복을 해상가두리에 입식하기 위해서는 최대한 단시간 내에 안전하게 수송하여야 한다. 이는 수송으로 인한 스트레스를 최소화시킬 필요가 있기 때문이다.

전복 치패의 수송은 보통 각장 20mm 이하의 전복 치패의 경우 소형 양과주머니에 1,000마리씩

넣은 다음 10kg 스티로폼 상자에 10,000~15,000마리 넣거나, 20kg 스티로폼 상자에 20,000~25,000마리를 넣어서 상자 아래 부분에 구멍을 뚫어 물이 상자 내에 고이지 않도록 하여 차량으로 수송하는 방법과 활어차를 이용하여 대량으로 수송하는 방법이 있다.

전복의 공중활력은 5.8℃를 기준으로 온도가 높을수록 생존기간이 짧으며, 반대로 온도가 낮을수록 생존기간이 길다<Table 3>. 또한 수송 중에는 암흑 처리하는 것이 좋으므로 이러한 환경 조건을 전제로 치패를 빠른 시간 내에 수송하는 것이 바람직하다. 활어차를 이용하여 대량으로 전복을 수송할 시에는 산소와 얼음을 추가하는 것이 생존율을 높일 수 있는데, 이와 관련된 연구로는 전복(*Haliotis laevis*)의 수송 시 산소공급량 차이와 얼음의 추가 여부에 따른 수송 후 누적폐사율을 조사한 결과, 100% 산소공급과 얼음추가 시 폐사율이 가장 낮다고 보고하였다(erin et al., 2009).

<Table 3> The survival length (hour) and reduction rate of body weight (%) by the average W.T. during the transportation

W.T. (℃)	27.3	20.7	10.6	5.8	-0.8
Survival length (hour)	15	35	94	140	120
Reduction rate of body weight(%)	15.2	15.9	13.0	12.7	7.7

3. 치패입식 및 사육밀도

가. 최초입식크기 및 입식시기

수송한 전복 치패는 가두리 1칸의 규격과 치패의 크기에 따라 적정량을 결정하여야 한다. 해상가두리에 입식할 전복 치패의 크기는 입식시기에 따라 다른데, 10월 하순경에서 11월 중순경에 입식할 경우에는 당해연도에 생산된 선두그룹 치패(각장 1.8~2.2cm)로서 가두리 전체 입식 물량의 60~70%를 입식하고, 이듬해 3월 하순경에서 4월

초순경에 입식할 경우에는 전년도 생산된 후미그룹 치패로서 전체 입식 물량의 30~40%를 대개 수용한다.

육상의 종묘생산장에서 수송한 치패는 가급적 빨리 해상가두리에 입식하도록 하여야 하며, 이때 수송한 치패는 스티로폼 상자로부터 치패가 든 양파주머니를 입식할 가두리에 매달아 해양 환경에 적응시킨 다음 가두리 안에 끌고루 뿌려주면 된다. 치패를 입식하기 전에 충분히 미역이나 다시마 등의 먹이를 준비해 두어 치패 입식 후 치패가 안정되고 활력을 되찾았을 때 바로 먹이가 공급될 수 있도록 하는 것이 좋다.

나. 최초입식밀도 및 사육밀도

전복의 성장은 사육밀도에 따라 크게 좌우될 수 있다. 해상가두리에 있어서 수면적 m²당 최초 입식밀도는 <Table 4>에서 보는 바와 같이, 각장 2cm 전후의 치패의 경우 각 지역별로 조사한 결과, 진도는 1,082마리, 완도와 해남은 평균 1,033마리, 흑산도는 평균 775마리, 전체는 평균 981마리 수용하는 것으로 조사되었으며, 흑산도 지역이 가장 저밀도로 수용하고 있는 것으로 나타났다. 1년생 전복의 사육밀도는 수면적 m²당 해남이 439마리, 진도는 370마리, 완도는 314마리, 흑산도는 211마리, 전체 평균 사육밀도는 326마리로 낮아졌고, 3년생 전복의 사육밀도는 수면적 m²당 해남이 310마리, 완도가 248마리, 진도와 흑산도가 207마리, 전체 평균 사육밀도는 263마리로 조사되었다.

<Table 4> Initial, one year and two year rearing density from the different locations (individual/m²)

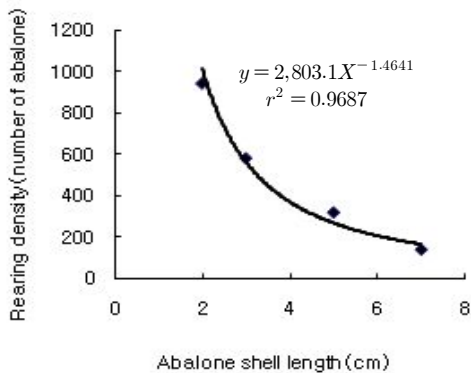
Area	Total	Jindo	Wando	Hanam	Huksando
Initial density	981	1,082	1,033	1,033	775
1 year density	326	370	314	439	211
2 year density	263	207	248	310	207

전복의 성장은 치패기가 성패기에 비해 사육밀도에 보다 민감한 것으로 보고되고 있다(Fucun et al., 2009). 따라서 치패기에는 선별을 자주 실시하면서 사육하는 것이 보다 바람직하다.

전복 개체 성장은 사육밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향이 있다는 연구보고가 다수 있다(Koike et al., 1979; Chen, 1984; Jee et al., 1988; Mgaya & Mercer, 1995; Marsden & Williams, 1996; Capinpin et al., 1998).

해상가두리에서 전복의 입식 및 사육밀도는 치패의 크기, 쉘터의 종류와 크기에 따라 차이가 있으며, 이외에도 조류의 세기, 수온 등 사육환경에 따라서도 차이가 있다. 전복은 각장이 2배로 성장하면 체중은 8배로 증가하며 호흡에 따른 산소소비량도 5배로 증가한다. 그리고 수온이 높을수록 산소소비량이 많아지기 때문에 여름철에는 동일한 사육 밀도 조건하에서도 수온이 높으면 용존산소 포화량이 낮을 뿐만 아니라 사육생물의 용존산소 소모량도 많게 된다.

전복 각장(x)크기와 사육밀도(y)와의 회귀식은 [Fig. 1]과 같이 나타났다.



[Fig. 1] The relationship between rearing density and abalone shell length

상관관계식 $y = 2,803.1X^{-1.4641}$ ($r^2 = 0.9687$)인 회귀식으로 부터 전복 각장 2cm, 3cm, 5cm, 7cm 크기에서 가두리 저면적 m^2 당 적정사육밀도는 각각 981마리, 582마리, 320마리, 140마리씩으로 조

사되었다. 현재까지 전복의 사육밀도에 대해서 정확한 기준으로 제시된 자료는 없지만, 각장 3~4cm 크기에서 사육밀도는 600~800마리/ m^2 으로 제시되고 있다.

각장 2.5~4.5cm의 전복(*H. kamtschatkana*)을 대상으로 사육수조 3.05×1.21×0.68m 크기에서 사육 수온 8.3~13℃ 조건하에서 밀도별(저밀도구 277마리/ m^2 , 중밀도구 455마리/ m^2 , 고밀도구 909마리/ m^2) 6주간 사육 실험한 결과 저밀도구에서 유의성 있게 성장률이 높았다(Lloyd & Bates, 2008).

전복 사육밀도의 증가와 더불어 성장률은 감소하게 되는데 사육밀도가 2~60배로 증가함에 따라 성장률은 14~52% 감소한다고 보고되었다(Koike et al., 1979; Mgaya & Merce, 1995; Liu & Chen, 1999; Capinpin et al., 1999).

가두리에서의 높은 사육밀도는 그물 바닥에 겹으로 쌓여 이동 및 먹이섭취를 어렵게 만들어서 충분한 먹이가 공급된다 할지라도 먹이섭취율에 영향을 주게 되는 것으로 보고되었다(Mgaya & Mercer, 1995).

다. 쉘터종류 및 사용량

전복은 주로 낮보다는 밤에 활동하는 특성을 가지고 있는데, 밤새도록 활동하지는 않는다.

전복 사육용 가두리 설계시에는 쉘터 공간을 적절하게 유지시키며 먹이 찾기가 용이하도록 하여야 한다.

전복의 양성을 위해 현재 사용 중인 쉘터의 종류는 골쉘터, 일반쉘터, 터널쉘터, 아파트형쉘터 등으로 구분한다(김영환, 2007).

골쉘터는 주로 치패수용후 양성 초기에 주로 사용하며, 일반쉘터는 충격에 강하며 아파트형 쉘터처럼 대량 양식이 가능하면서도 가격이 저렴한 특징이 있다. 터널쉘터는 대량 생산에는 적합하지 않으나, 일반쉘터 보다 전복의 은신처가 많으므로 성장률이 비교적 빠르다는 장점을 가지고 있다. 아파트형쉘터는 슬라이드 방식의 쉘터가 낱장으로 구성되어 있어 탈부착이 가능하고 이물

질 제거작업이 매우 용이하며 수용면적이 넓고, 빛의 유입이 차단되어 있어 전복 성장에 유리하다. 또한 충격에도 비교적 강하고 셀터가 세로로 설치되어 있어 펄과 이물질의 흡착률이 현저히 낮다는 장점을 가지고 있다.

완도, 진도, 해남지역에서 해상가두리 1칸(2.4×2.4m)당 셀터수는 터널셀터를 사용할 경우 대략 15~16개를 수용하고 있으며, 흑산도지역은 가두리 1칸(2.4×2.4m)에 5~6개의 대형 터널셀터를 수용하고 있다. 최근에는 사육밀도를 높이기 위해 아파트형셀터를 사용하는 양식장이 늘어나고 있으나, 생존율이 떨어진다는 단점이 있다.

참전복은 산소소비량의 변화 자료로부터 해질 무렵부터 밤중에 주로 먹이를 찾아다닌다(Hahn, 1989). 한편 전복(*H. kamtschatkana*)의 먹이 찾기는 일몰 후 1.5~4시간 후에 주로 이루어지며 일몰 후 2.5시간에 최고조에 달하는 것으로 보고하고 있다(Lloyd & Bates, 2008). 사육밀도가 낮아짐에 따라 먹이 찾기 비율은 높아진다.

전복용 셀터는 전복이 부착할 공간을 제공함과 동시에 빛에 민감한 전복의 은식처 역할도 수행하게 됨으로 성장에도 좋은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Morikawa & Norman, 2003).

특히 전복은 먹이를 먹기 위해 움직이고 부착하기 때문에(Lloyd & Bates, 2008), 전복의 사육밀도는 다른 동물과 같이 개체 단위 면적당 개체수보다는 전복이 부착하고 있는 사육수조 내지는 가두리의 표면적의 비율로서 나타내는 것이 타당하다고 하였다(Parsons & Dadswell, 1992). 또한 전복은 제한된 시간과 공간에서 먹이 찾기와 먹이 섭취는 개체간 경쟁을 증가시키고 보다 고밀도에서는 성장이 억제되며, 부착 셀터 공간의 경쟁에 의한 밀도효과가 전복 성장에 영향을 미치는 원인 중의 하나라고 제시하였다(Fucun et al., 2009).

전복은 특히 고밀도에서 주로 부착공간이 부족하기 때문에 겹을 쌓는 경향이 있다 (Douros, 1987). 그렇지만 겹으로 쌓여지면 먹이섭취를 위

한 이동이 제한되기 때문에 그물 가두리와 같이 제한된 공간에서 먹이는 고밀도 전복 양식에 영향을 미치는 주요한 요인 중의 하나이다(Mgaya & Mercer, 1995).

4. 먹이 공급

가. 먹이종류별 공급시기 및 공급량

전복 먹이용 미역은 조기산 미역의 경우 9월 중순경에 미역양식 시설을 설치하여 11월 중순경부터 생미역을 채취하여 전복의 먹이로 이용하고 있으며, 후기산 미역의 경우 10월 중순경에 미역양식장을 시설하여 12월 초순부터 이듬해 3월 하순경 채취하여 전복의 먹이로 이용하고 있다. 대규모 양식장의 경우 관리용 선박에 탑재된 크레인을 이용하여 가두리에 먹이를 공급하고 있는 실정이다.

전복 먹이용으로 9월 중순경 미역 양식장을 시설하기 때문에 9월 중순경 이후의 고수온, 청수 등 이상수괴 발생으로 인해 미역업체의 유실 및 탈락으로 먹이공급이 불안정할 시에는 치패 입식 시기의 지연 원인이 되기도 한다.

해상가두리 양식에 있어서 전복의 먹이로는 생미역, 생다시마를 주로 공급하나, 생먹이가 공급되지 않는 시기에는 염장 미역 및 다시마, 건다시마를 공급하며 공급주기는 7~10일 간격으로 1칸당 80kg 정도가 적합하다. 고수온기는 평상시와 동일하게 먹이를 공급한다면 먹지 않고 남은 먹이로 인해 조류소통이 억제되어 사육환경이 나빠짐으로서 전복의 성장이 느리고, 질병을 초래할 수 있으므로 평상시의 30% 정도로 줄여서 소량씩 자주 공급하는 것이 좋다.

우리나라 전복산업의 급격한 팽창은 전복 먹이로서 해조류 양식산업과 밀접한 관계를 가진다. 전복산업에 있어서 해조류의 요구량은 10만톤에 이르며, 매년 증가 추세에 있다(Kim et al, 2007). 안정된 전복 생산을 위해 해조류는 연중 요구되며, 한국의 해양환경 조건에 의해 8~11월 사이에

는 생산 가능한 해조류의 품종이 제한되어 있다. 전복치패용 먹이로는 미역이 다시마보다 먹이가 치가 보다 우수한 것으로 보고되어 있으나, 전복의 주요 먹이로 이용되는 미역과 다시마의 이용이 불가능한 시기인 하계에는 전복의 먹이로서 최근에 갈조류인 *Ecklonia stonifera*를 개발하여 전복을 대상으로 먹이효율, 성장률, 생존율 등을 다시마와 미역과 비교했을 때 유사한 결과를 얻고 있으나(Uki, 1981; Lee et al., 1997; Kim et al., 2007; Hwang et al., 2009), 연중 해조류만을 공급할 수 없기 때문에 다시마, 염장미역, 염장다시마, 건다시마 등을 공급하고 있다. 이러한 먹이의 경우 적절한 공급 방법 기술이 필요한데, 한번 공급된 먹이는 부패가 되지 않을 정도의 양이 되도록 양식장내 먹이의 섭취량을 관찰한 후 적당량의 먹이를 공급하는 것이 좋다.

전복의 단위 체중당 먹이섭식량은 성장 가능 수온 범위 내에서는 수온이 높을수록 각장이 작을수록 많고, 수온이 낮거나 각장이 클수록 적어진다. <Table 5>는 전복먹이로서 다시마를 이용하여 수온에 따른 전복 치패의 일간섭식량을 나타낸 것이다. 먹이섭식량은 수온과 전복의 크기 및 사육환경에 따라 달라질 수 있기 때문에 공급량은 먹이섭식량보다 보다 많이 주어 먹이가 부족하지 않도록 하여야 하며, 상기 전복 먹이소요 예상량은 지역별로 사육환경의 변화에 따라 상당한 차이를 나타낼 수 있다.

<Table 5> Daily feed intake (g/day) of juvenile abalone by W.T. and shell length (g)

W.T. (°C)	shell length (cm)						
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
10°C	0.015	0.032	0.055	0.082	0.114	0.189	0.274
15°C	0.056	0.118	0.199	0.297	0.410	0.637	0.970
20°C	0.104	0.212	0.354	0.524	0.721	1.174	1.684

전복 양식을 위한 해조류의 일간 소비량은 개체 중량대비 10~30% 비율로 섭취하는 것으로 보고되었다(Corazani & Illanes, 1998; Serviere-Zaragoza et al., 1998).

전복의 성장과 수용밀도 사이의 역상관 관계는 공간과 먹이에 대한 경쟁 관계로 밀도에 주로 좌우된다고 보고하고 있다(Jarayabhand & Newkirk, 1989; Parsons & Dadswell, 1992).

전복의 먹이 섭취율은 개체크기, 먹이종류, 계절(수온) 및 밀도에 따라 달라진다(Jee et al., 1988; Marsden & Williams, 1996).

개체 크기는 복족류의 먹이섭취율에 영향을 주는 주요한 요인이다. 일반적으로 생체량당 먹이섭취량은 개체가 작을수록 높고, 성숙개체에 비해 미성숙개체가 성장이 더 빠르다(Jee et al., 1988; Marsden & Williams, 1996; Sphigel et al., 1996).

전복 먹이섭취율의 변화는 사육가의 불규칙한 먹이공급 방법에 기인하기 보다는 개체에 따라 환경과 생리적인 영향에 더 민감한 것 같다(Greenier & Takekawa, 1992).

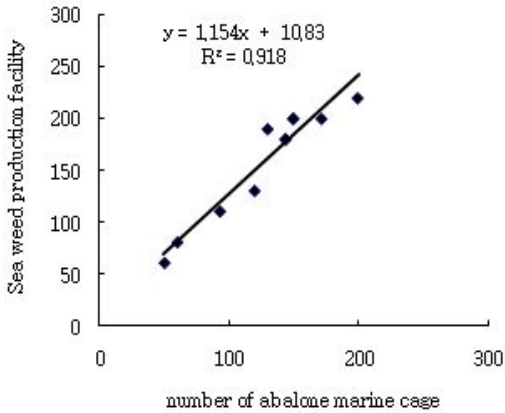
전복 먹이섭취량은 치사수온에 근접할 경우를 제외하고는 수온과 정의 상관관계를 나타내는 것으로 보고되고 있다(Paul & Paul, 1981; Hahn, 1989; Britz et al., 1997).

나. 사육시설과 먹이시설의 상관관계

해상가두리식 양식에 있어서 먹이 공급을 위해 자체적으로 미역이나 다시마를 시설하여 채취하는 경우가 대부분이므로 완도지역의 가두리칸수와 먹이시설수와의 상관관계를 조사한 결과, [Fig. 2]에서 보는 바와 같이 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

$$\text{회귀식 } y = 1.1542X^{+10.832} \quad (r^2 = 0.918)$$

가두리 1칸(2.4×2.4m)에 대하여 전복먹이용 시설은 다시마 연승 1줄(100m 기준) 필요한 것으로 산정되었으며, 1줄당 미역의 생산량은 대략 1,500 kg 정도이다.



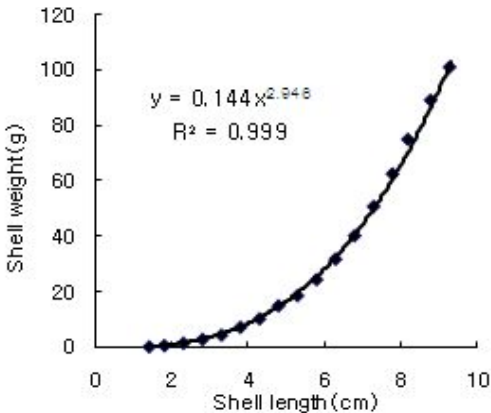
[Fig. 2] The relationship between marine cage number and sea weed production facility in abalone aquaculture farm

5. 성장과 생존율

가. 양식산 전복 각장과 중량과의 상관관계

우리나라 양식산 전복의 각장(x)과 중량(y)과의 회귀식을 나타내면 [Fig. 3]과 같다.

회귀식 $y = 0.1443X^{2.9461}$ ($r^2 = 0.9997$)에서 전복의 각장 크기별로 중량을 산정하면, 각장 2cm, 3cm, 5cm, 7cm, 9cm 크기에서 중량은 각각 1.1g, 3.7g, 16.5g, 44.6g, 93.4g이다.



[Fig. 3] The relationship between shell weight and length in aquaculture abalone

나. 양성시 생존율

해상가두리식 전복 양식에 있어 치패수용후부터 3년간 사육한 다음 수확시 생존율은 40~60%로서 해남, 완도, 진도지역에서의 평균 생존율은 각각 45%, 50% 및 60%로 진도지역이 가장 높은 것으로 조사되었는데, 이는 진도지역이 가두리 시설간격이 넓어 조류 소통이 원활하기 때문인 것으로 파악되었다.

6. 향후 연구방향

앞으로 해상가두리에서 전복 양식어업인이 요구하는 양식비용 절감을 위한 생산성 향상 연구로서 연중 전복의 먹이로 사용할 수 있는 해조류의 개발, 하계 고수온기의 먹이공급에 대한 체계적인 연구와 용존산소 추가 공급시설, 특정 해역에서 전복양식 시설의 집단화에 따른 질병으로 인한 대량폐사 방지를 위한 적정 사육 시설과 사육 밀도 산정 연구 등이 더욱 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 국립수산물과학원(2008). 전복양식표준지침서, 221.
- 김영환(2007). 서식조건에 적합한 쉘터 사용, 아쿠아인포, 1(2), 68~73.
- 박무역(1994). 폐쇄순환여과시스템에서 전복류 치패의 사육온도와 성장, 제주대학교 석사학위논문, 49.
- 윤호섭·라성주·차용택·조주현·김기영·최상덕(2004). 해상가두리에서 참전복(*Haliotis discus hannai*)의 사육밀도에 따른 성장과 생존율, 한수지, 37(4), 287~294.
- 內田惠太郎·山本孝治(1942). 朝鮮近海におけるアワビの分布, Venus, 11, 119~126.
- Aviles, J.G.G., & Shepherd, S.A.(1996). Growth and survival of the blue abalone *Haliotis fulgens* in barrels at Cedros Island, Baja, California, with a review of abalone barrel culture, Aquaculture, 140, 169~176.
- Britz, P.J., Hecht, T., & Mangold, S.(1997). Effect

- of temperature on growth, feed, consumption and nutritional indices of *Haliotis midae* fed a formulated diet, *Aquaculture*, 152, 191~203.
- Capinpin, E.C., Encena, V.C., & Bayona, N.C. (1998). Studies on the reproductive biology of the Donkey's ear abalone, *Haliotis asinina* Linne, *Aquaculture*, 166, 141~168.
- Capinpin, E.C., Toledo, J.D., Encena, V.C., & Doi, M.(1999). Density dependent growth of the tropical abalone *Haliotis asinina* in cage culture, *Aquaculture*, 171, 227~235.
- Chen, H.C.(1984). Recent innovations in cultivation of edible mollusks in Taiwan, with special reference to the small abalone *Haliotis diversicolor* and the hard clam *Meretrix lusoria*, *Aquaculture*, 39, 11~27.
- Corazani, D., & Illanes J.E.(1998). Growth of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino 1953 and *Haliotis rufescens* Swainson 1822, fed with different diets, *J. Shellfish Res.*, 17, 663~666.
- Douros, W.J.(1987). Staking behavior of an intertidal abalone: an adaptive response or a consequence of space limitation? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 108, 1~14.
- Erin J.B., James O.H., & T. B. Bolton.(2009). Supplementary oxygen and temperature management during live transportation of greenlip abalone, *Haliotis laevisgata*, *Aquaculture Research*, 40, 810~817.
- Fallu R.(1991). Abalone *Haliotis laevisgata* Farming. Fishing News Books, Oxford, 195.
- Fry E.E.J.(1971). The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: *Thermobiology* (ed. by A.H. Rose), Academic press, New York, USA, 1~98.
- Fucun, W., Liu, X., Zhang, G., & Wang, C. (2009). Effects of the initial size, stocking and sorting on the growth of juvenile Pacific abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture Research*, 40, 1103~1110.
- Greenier, J.L., & Takekawa, J.Y.(1992). Growth models and food conversion of cultured juvenile red abalone (*Haliotis rufescens*). In: Shepherd, S.A., Tegner, M.J., Guzman del proo, S.A.(Ed.), *Abalone of the World: Biology, Fishers and culture*. Fishing News Books, Oxford, 527~537.
- Hahn, K.O.(1989). Japanese abalone culture techniques of the Oyster Research Institute. In: Hahn, K.O. (Ed.), *CRC Handbook of Culture of Abalone and Other Marine Gastropods*. CRC Press, Boca Raton, FL, 195~220.
- Hwang, E.K., Baek, J.M., & Park, C.S.(2009). The mass cultivation of *Ecklonia stolonifera* Okamura as a summer feed for the abalone industry in Korea, *J. Appl. Phycol.*, 21, 585~590.
- Jarayabhand, p., & Newkirk, G.F.(1989). Effects of intraspecific competition on growth of the European oyster, *Ostrea edulis* Linnaeus, 1750, *J. Shellfish Res.*, 8, 359~365.
- Jee, Y.J., Yoo, S.K., Rho, S., & Kim, S.H.(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.
- Jeong, S.C., Lee, Y.J., & Son, P.W.(1994). Indoor tank culture of the abalone *Haliotis discus hannai* II. Effects of diets on growth of young abalone, *J. Aquacult.*, 7, 77~87.
- Kikuchi, S. & Uki, N.(1974a). Technical study on artificial spawning of abalone, genus *Haliotis* I. Relation between water temperature and advancing sexual maturity of *Haliotis discus hannai* Ino, *Bull. Tohoku Reg. Fish. Lab.*, 33, 69~78.
- Kikuchi S. & Uki, N.(1974b). Technical study on artificial spawning of abalone, genus *Haliotis* V. Relation between water temperature and advancing sexual maturity of *Haliotis discus* Reeve, *Bull. Tohoku Reg. Fish. Lab.*, 34, 77~85.
- Kim, B.H., Lee, S.M., Go, C.S., Kim, J.W., & Myeong, J.I.(1998). Optimum stocking density of juvenile abalone(*Haliotis discus hannai*) fed formulated diet or macroalgae(*Undaria*), *J. Kor. Fish. Soc.*, 31, 869~874.
- Kim, C.W., Lim, S.G., Kim, K.S., Baek, J.M., & Park, C.S.(2003). Influence of water temperature on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) fed an artificial formulated diet and macroalgae

- (*Laminaria japonica*), J. Kor. Fish. Soc., 36(6), 586~590.
- Kim, Y. & Cho, C.(1976). Technical study on the artificial precocious breeding of abalone, *Haliotis discus hannai* Ino, Bull. Korean Fish. Soc., 9(1), 61~68.
- Kim, S.K., Kim, Y.D., Jeon, C.Y., Gong, Y.G., Kim, D.S., Kim, J.H., Kim, M.L., & Han, H.K.(2007). Algal consumption and preference of sea urchins, *Strongylocentrotus nudus*, *S. intermedius* and abalone, *Haliotis discus hannai*, J. Kor. Fish. Soc., 40, 133~140.
- Koike, Y., Flassch, J.P., & Mazurier, J.(1979). Biological and ecological studies on the propagation of the ormer, *Haliotis tuberculata* Linnaeus: II. Influence of food and density on the growth of juvenile, La Mer, 17, 43~52.
- Lee, S.M., Lee G.A., Jeon, I.G., & Yoo, S.K. (1997). Effects of experimental formulated diets, commercial diet and natural diet on growth and body composition of abalone (*Haliotis discus hannai*), J. Aqua., 10, 417~428.
- Liu, K.M., & Chen, W.K.(1999). Examining the effects of stocking density and depth on growth of intensive cultured abalone, *Haliotis diversicolor supertexta*. Lischke, J. Fish. Soc. Taiwan., 26, 23~33.
- Lloyd, M.J. & Bates, A.E.(2008). Influence of density-dependent food consumption, foraging and stacking behavior on the growth rate of the Northern abalone, *Haliotis kamtschatkana*, Aquaculture, 277, 24~29.
- Marsden, I.D., & Williams, P.M.J.(1996). Factors affecting the grazing rate of the New Zealand abalone *Haliotis iris* Martyn, J. Shellfish Res., 15, 401~406.
- Mgaya, Y.D., & Mercer, J.P.(1995). The effect of size grading and stocking density on growth performance of juvenile abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus, Aquaculture, 136, 297~312.
- MIFAFF.(2009). Statistic Database For Fishery Production Survey. Retrieved from <http://fs.fips.go.kr/main.jsp>.
- MOMAF.(1998). Abalone seed production and culture. Report of fisheries technology, 3, 40~43.
- Moon, S.Y., Yoon, H.S., Seo, D.C., & Choi, S.D. (2006). Growth comparison of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* in different culture systems in the west coast of Kor, J Aquacult., 19, 242~246.
- Morikawa, Y. & Norman, C.P.(2003). Perception of light intensity by *Haliotis discus discus* based on locomotor activity patterns, Fisheries Science, 69, 478~486.
- Parsons, G.J. & Dadswell, M.J.(1992). Effects 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.
- Paul, A.J., & Paul, J.M.(1981). Temperature and growth of maturing *Haliotis kamtschatkana*, Veliger, 23, 321~324.
- Pyen, C.K.(1970). Studies on the propagation of abalone, Bull. Korean Fish. Soc., 3(3), 177~187.
- Serviere-Zaragoza, E., Gomez-Lopez, D., & Ponce-Diaz, G.(1998). Thenatural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens Philippi*) in the southern part of its range, Baja California Sur, Mexico, assessed by an analysis of gut contents, J. Shellfish Res., 17, 777~782.
- Shpigel, M., Marshall, A., Lupatsch, I., Mercer, J.P., & Neori, A.(1996). Acclimation and propagation of the abalone *Haliotis tuberculata* in a land-based culture system in Israel, J. World Aquacult. Soc., 27, 435~442.
- Thomas S., Roberts, R.D., & Lokman, P.M. (2006). Effects of temperature on growth of juvenile blackfoot abalone, *Haliotis iris* Gmelin, Aquaculture Research, 37, 1441~1449.
- Uki, N.(1981). Food value of marine algae of order Laminariales for growth of the abalone, *Haliotis discus hannai*, Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 42, 19~29.
- Uki, N. & Kikuchi, S.(1982a). Influence of food levels on maturation and spawning of the abalone, *Haliotis discus hannai* related to effective accumulative temperature, Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 45, 45~53.
- Uki, N. & Kikuchi, S.(1982b). Technical study on artificial spawning of abalone, genus

Haliotis VIII. Characteristics of spawning behavior of *H. discus hannai* induced by ultraviolet irradiation stimulus, Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 44, 83~90.

Viana M.T.(2002). Abalone aquaculture, an overview, World Aquaculture, 33, 34~39.

-
- 논문접수일 : 2010년 06월 11일
 - 심사완료일 : 1차 - 2010년 06월 30일
2차 - 2010년 07월 20일
 - 게재확정일 : 2010년 08월 01일