

양식어업인을 위한

전복 사육관리 매뉴얼



해양수산부

국립수산과학원

남해수산연구소

I 발 간 사

우리나라 양식 산업은 지난 1970년대 이후 비약적인 성장을 거듭해 세계적인 양식선진국으로 발전했습니다. 특히 국내 양식 산업의 대표적 품종인 전복의 경우, 1980년대 국립수산물과학원에서 종묘생산 기술을 개발한 이후 인공 생산된 종묘를 마을의 공동어장에 씨뿌림하는 바닥식 양식어업 및 땃목식 해상가두리 양식 방법이 시도되었습니다. 1990년대 전복 치패가 대량 생산됨에 따라 플라스틱 통가두리식 및 목재 가두리식의 해상 가두리 양식이 시도되었으며, 2000년대 이후에는 내파성 가두리 시설과 양식 산업의 기계화로 대량으로 생산할 수 있는 길이 열려 어업인 소득향상에 새로운 장을 열었습니다.

2018년 우리나라 천해양식어업 생산량은 222만 톤이며, 이중 패류 생산량은 약 41만 톤으로 18.3%이나 생산금액에서는 32.1%로 어류의 생산금액 비중(32.5%)과 비슷한 수준입니다. 특히 전복 생산량은 20,122톤으로 굴(303,343톤, 74.5%), 홍합류(49,485톤, 12.1%)에 이어 많이 생산되고 있는 양식품종이지만 생산금액은 해산 패류양식 전체 생산금액의 65.2%에 달해 가장 큰 비중을 차지하는 품종입니다(통계청, 2018).

그러나 장기간 지속된 양식어장의 사용, 가두리 시설량의 증가, 특정지역 가두리 시설의 밀집, 어장 노후화 등으로 양식해역의 해수 유동을 저하시켜 양식장 노후화의 원인이 되고 있습니다. 또한 고수온, 적조 및 태풍 등 자연재해 발생은

가두리 양식전복의 피해를 가중시키고 있습니다. 그로 인하여 여름철 대량폐사를 줄이고자 가두리의 양식전복 사육기간을 예전보다 짧게 하여 조기 출하하는 양식장이 늘면서 대량 출하에 의한 가격하락의 문제가 발생하기도 합니다.

국립수산과학원에서는 국내외 양식여건의 변화에 따라 전복 양식 산업의 지속적인 생산성 유지와 경쟁력 향상을 위하여 전국 주요어장의 현장 모니터링, 피해 원인 분석 및 피해 저감을 위한 연구 등 현장중심 연구를 추진 중에 있습니다. 그러나 양식 현장에서 필요로 하는 정보는 부족한 실정입니다.

이러한 취지에서 지금까지 발행된 자료와 최근의 연구결과를 바탕으로 양식에 종사하는 어업인들의 경험을 반영하여 전복 양식 초보자도 활용 가능한 현장 중심의 전복양식 사육관리 매뉴얼을 출판하니, 양식 어업인 및 양식에 관심이 있는 분들에게 조금이나마 도움이 되기를 바랍니다.

2019. 11.

남해수산연구소장 **라 인 철**

I 목 차

01. 일반현황

1. 전복양식의 발달사	8
2. 양식 및 생산현황	12
3. 분류 및 생태	15
4. 성분과 효능	24

02. 종묘생산

1. 종묘생산 시설	28
2. 먹이생물 배양	36
3. 어미(모패) 관리	48
4. 산란, 수정 및 발생	54
5. 유생사육	63
6. 초기치패 사육	67
7. 후기치패 사육	73
8. 시기 및 계절별 사육관리	77

03. 중간육성

1. 중간육성의 필요성	84
2. 중간육성 현장실험	85
3. 계절별 사육관리	92

04. 가두리양식

1. 가두리양식의 현안	98
2. 시설	99
3. 사육밀도	100
4. 먹이공급	102
5. 산란기 관리	105
6. 계절별 사육관리	107

05. 환경내성과 생식주기	1. 서론 120 2. 수온에 대한 환경내성 121 3. 염분에 대한 환경내성 125 4. DO 및 pH에 대한 환경내성 127 5. 지역별 생식주기 비교 134 6. 성비 140
06. 폐사와 질병관리	1. 서론 144 2. 폐사 발생과 원인 146 3. 질병 154 4. 맺음말 163
07. 자연재해 대비 양식장 관리 요령	1. 저수온 166 2. 고수온 168 3. 집중호우 175 4. 적조 177 5. 폭풍 및 태풍 186
08. 미래의 전복양식	1. 동향 및 문제점 190 2. 미래 전복 양식의 전망 및 양식방법 192
참고문헌	참고문헌 196

일러두기

본 간행물은 전복양식 어업인에 도움을 주기 위한 목적으로 제작되었음을 밝힌다. 그러므로 아래와 같은 사항에 대하여 일러두기를 하고자 합니다.

1. 우리나라 전복 양식장에서 또는 홍보를 위하여 사용하는 ‘참전복’의 학문적 명칭은 ‘북방전복 (*Haliotis discus hannai*)’으로 이에 준하여 집필하는 것이 타당하므로 학문적 내용을 필요로 하는 부분에서는 ‘북방전복’으로 표기하였습니다. 그러나 본 간행물의 주요 구독자가 전복양식 어업인이므로 일반적인 내용의 서술에서는 양식현장에서 일반적으로 사용하는 명칭인 ‘참전복’으로 표기하였습니다.
2. 본 간행물 내 일부 실험 결과는 남해수산연구소 및 육상수조양식장 현장에서 이루어졌으므로 현장 적용 시 다소 차이가 날 수 있으므로 이에 대한 이해와 감안이 필요합니다.
3. 우리나라의 까막전복은 동근전복(*Haliotis discus discus*)과 같으므로 동종으로 봅니다.



01

일반현황

일반현황

01

1 전복양식의 발달사

1970년대 이전까지 국내의 전복양식은 자연산 전복을 해녀들이 채포하면서 상품 가치가 없는 것(7 cm 이하)을 채롱에 일시 보관하는 소규모 채롱수하식 방법이 주류를 이루었다.

1980년대에 들어서며 국립수산물과학원 종묘배양장에서 전복양식 기술개발이 본격적으로 시작되었고, 인공 생산된 종묘를 마을의 공동어장에 씨부림하는 바닥식 양식어업에 이어, 채롱과 뗏목을 이용한 콘테이너 수하식 및 3단 채롱식 방법이 주류를 이루었으며, 1985년에는 목재를 이용한 뗏목식 해상가두리 양식방법이 시도되었다.

1990년대에는 전복 치패가 대량 생산됨에 따라 해상가두리 양식시험에 의한 기술개발이 본격적으로 실시되었는데, 이 시기에는 플라스틱통 가두리식 및 목재 가두리식이 주류를 이루었다.

2000년대에 들어서며 지금의 해상가두리 양식방법이 보편화되었고, 2003년부터 가두리 틀이 목재에서 PE관을 이용한 내파성 가두리식이 주류를 이루어 대량으로 생산할 수 있는 길이 열려 어업인 소득향상에 새로운 장을 열었다.

최근의 전복 양식시설의 기술개발은 전복양식에 적합한 가두리 표준화 연구, 태풍이나 자연재해에 견딜 수 있는 외해 내파성 가두리 및 중층 가두리 등을 추진하고 있다.

표 1-1 우리나라 시기별 전복 양식 및 양식시설의 변화

년도	양식시설 및 방법	비고
1970년 이전	● 채롱수하식 - 채롱망에 전복을 넣어 수하식으로 일시 축양 하는 방식	그림 1-1 참조
1980년대	● 씨뿌림 바닥양식 - 전복 종묘를 살포하여 자연채포하는 방식 ● 콘테이너 수하식 - 플라스틱 콘테이너에 망을 둘러싸고 쉘터(은신처)인 PVC 조각을 넣어 수하양식하는 방식 ● 3단 채롱식 - 플라스틱통(일명: 고무 다라이)를 중간에 축을 넣어 3단으로 연결 후 망으로 둘러싸고 수하양식하는 방법	"
1990년대	● 통 채롱식 - 한 개의 큰 플라스틱통(일명: 고무통, 대형 200L 이상) 아래 부분에 망을 둘러싸고 수하양식하는 방법 ● 목재 가두리식 - 목재 가두리틀에 사각 가두리 망에 쉘터를 바닥에 깔고 양식 하는 방식	"
2000년대	● 내파성 가두리식 - PE관 가두리틀에 사각 가두리 망에 쉘터를 바닥에 깔고 양식하는 방식	"
최근	● 외해 내파성 가두리 - 외해에 견딜 수 있는 내파성 가두리 및 사개시스템 개발 ● 중층 가두리 개발 - 해역별 중층가두리 개발 등	그림 1-2 참조

일반현황

종양묘생산

중간육성

가두리양식

환경내성과
생식주기

폐사와
질병관리

자연재해 대비
양식장관리요령

미래의
전복양식

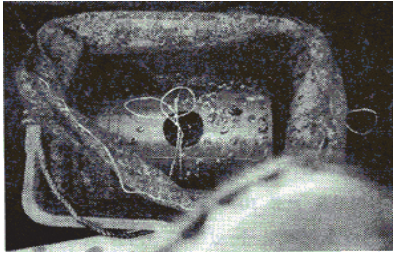
참고문헌



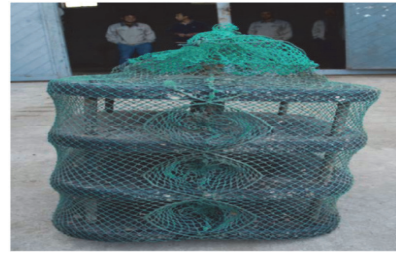
1970년 이전: 채롱 수하식



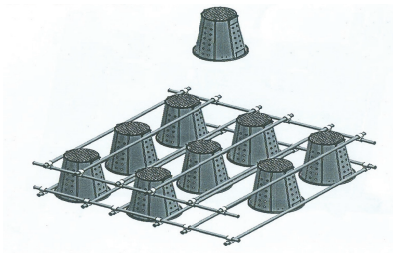
1980년대: 씨부림식 치패 방류



1980년대: 콘테이너 수하식



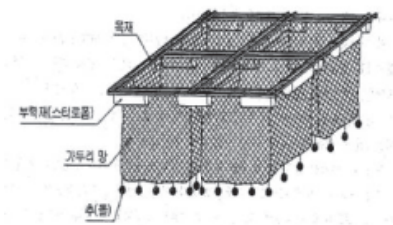
1980년대: 3단 채롱



1990년대: 통 가두리 모식도



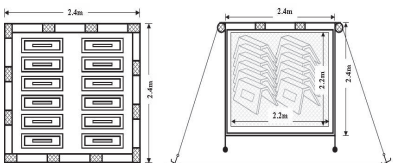
1990년대: 통 가두리



2000년대: 목재 가두리 모식도



2000년대: 목재 가두리

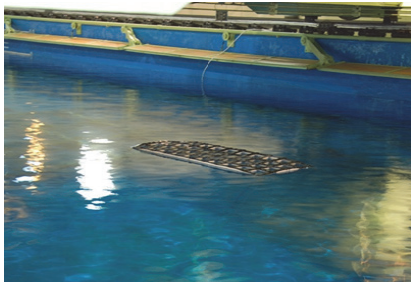


2000년대~현재: 내파성 가두리 모식도



2000년대~현재: 내파성 가두리

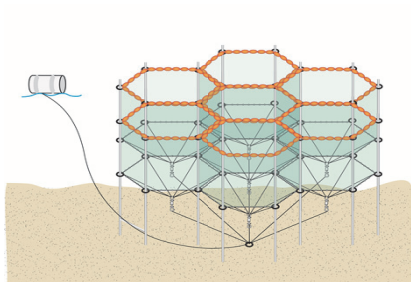
그림 1-1 우리나라 시기별 전복양식 시설의 변화



외해 내파성 가두리 모형



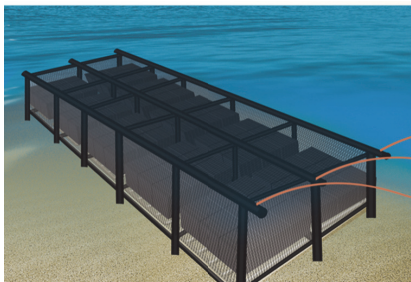
외해 내파성 가두리



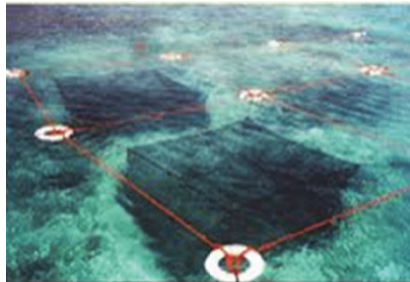
중층식 가두리 시스템 모식도



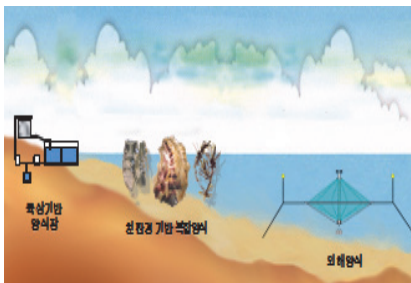
바닥 침하식 가두리



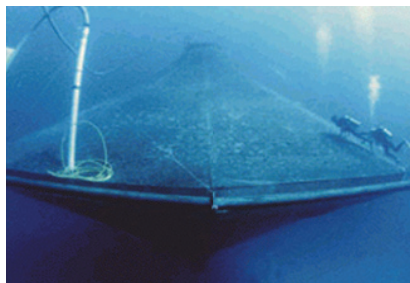
바닥 침하식 가두리 모식도



바닥 침하식 가두리



중층 가두리 모식도



중층 가두리

그림 1-2 최근의 다양한 전복 가두리 시설

2 양식 및 생산현황

1) 양식현황

세계 전복의 소비시장은 일부 아시아 국가에 집중되어 있었으나, 최근 서구 유럽국가에서 전통적 육류 소비문화에서 건강을 지향하는 식문화로 전환되면서 전복의 소비가 확대되고 있는 추세이다. 이러한 소비시장의 확대와 함께 세계 전복시장의 총 공급량(양식 및 어획)도 1970년 20,370 톤에서 2015년 135,787 톤으로 급격히 증가하였다. 같은 기간 동안 어업활동에 의한 전복 어획량은 19,720 톤에서 6,500 톤으로 감소한 반면, 양식산 전복의 생산량은 50 톤에서 129,287 톤으로 증가하여 세계 전복시장의 공급량 증가에 기여한 것으로 나타났다(Cook, 2014 및 2016). 세계 전복시장의 생산량 증가 추세에 맞추어 국내 전복산업도 단기간에 빠른 성장을 하면서 세계 전복시장에서 중국과 더불어 중요한 생산국의 위치를 차지하게 되었다.

2018년 우리나라 수산물 생산량은 376 만톤에 달하며, 천해양식어업은 222 만톤으로 59.1%를 차지하고 있다. 이중 패류는 약 41 만톤으로 천해양식어업에서 차지하는 생산량 비중은 18.3%이나 생산금액에서는 32.1%로 어류의 생산금액 비중(32.5%)과 비슷한 수준이다. 2018년도 전복 생산량은 20,122톤으로 2017년 대비 약 25% 증가하였으며, 전복 양성량은 전년 대비 2% 늘어난 14억 마리로 추정되고 있다. 전복의 생산 규모는 굴(303,343 톤, 74.5%)과 홍합류(49,485 톤, 12.1%)에 이어 많이 생산되고 있으며, 그 다음으로 바지락(19,853 톤, 4.9%) 순이다. 하지만 전복의 생산금액은 해산 패류양식 전체 생산금액의 65.2%에 달해 가장 큰 생산 비중을 차지하는 품종이다(통계청, 2018).

양식기술의 발달과 양식산업의 기계화로 2000년대 이후 전복 양식산업은 연평균 9%에 이르는 급속한 성장이 이루어졌고 전라남도를 중심으로 가두리 시설 또한 급격히 증가하였다. 전라남도가 전복양식의 주요 지역으로 발전하였지만 장기간 지속된

양식어장의 사용, 가두리 시설량의 증가, 특정지역 가두리 시설의 밀집, 어장 노후화 등은 양식장 황폐화의 원인이 되고 있다.

또한 적조, 고수온 등 자연재해 발생은 가두리 양식전복의 피해를 가중시킨다. 그로 인하여 여름철 대량폐사를 줄이고자 가두리의 양식전복 사육기간을 예전보다 짧게 하여 조기 출하하는 양식장이 늘면서 큰전복(8 마리/kg 이하)의 출하량이 줄어들고 있다. 2018년 기준으로 양식 1년생 및 2년생 전복의 생산량은 꾸준히 늘어나고 있으나, 전복 전체 생산량 대비 대형전복이 차지하는 비중은 3.1%에 불과한데, 이러한 현상은 양식소득과 직결되므로 전복 양식어가는 경제적으로 많은 어려움을 겪고 있다.

2) 생산현황

수산통계 자료(해양수산부, 2018)에 의하면, 우리나라 전복 생산량은 2003년 1,065 톤에서 2018년 20,122 톤으로 20배 가량 증가하였다. 전국 생산량에 많은 영향을 미치는 완도군의 경우, 2009년 5,964 톤, 2010년 6,921 톤, 2011년 7,392 톤, 2012년 7,318 톤, 2013년 7,204 톤, 2014년 7,078 톤, 2015년 7,630 톤, 2018년 14,058 톤으로 2010년대에 들어와 다소 생산량에 정체되는 시기가 있었으나 2010년대 중반 이후부터 다시 증가하는 양상을 보였다.

해상가두리 시설량은 2003년 67,164 칸, 2009년 437,052 칸, 2010년 505,263 칸, 2011년 611,376 칸, 2012년 655,391 칸, 2013년 731,440 칸, 2014년 764,534 칸, 2015년 834,202 칸, 2018년 998,700 칸으로 증가하였으며, 2019년 상반기 조사에서 1,003,638 칸으로 사상 처음으로 100 만칸을 넘어섰다(KMI 수산관측센터).

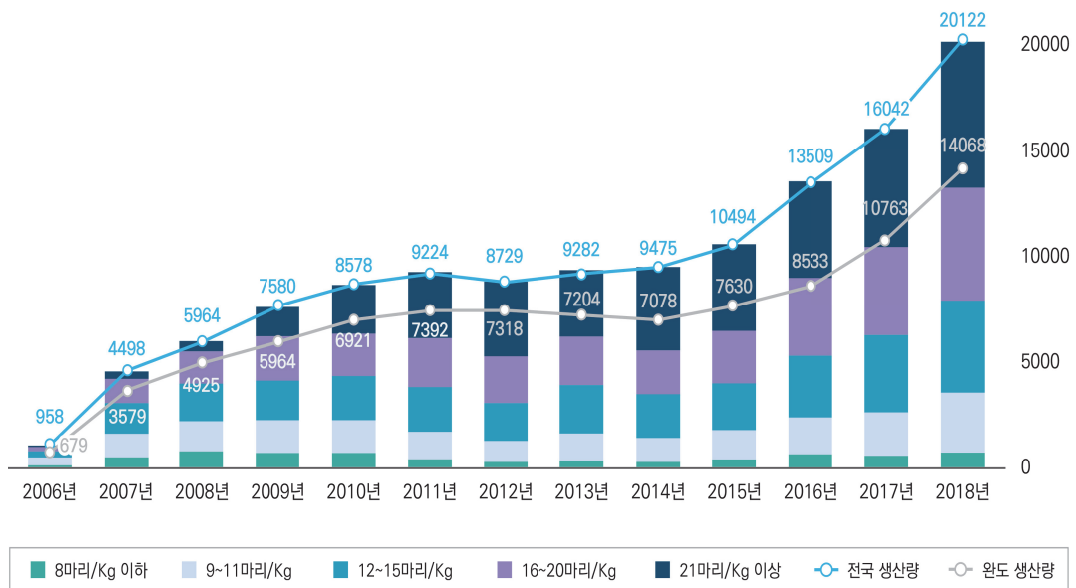


그림 1-3 전복의 연도별 및 크기별 생산량과 완도지역이 차지하는 생산량 비교(KMI 수산물측센터)

표 1-2 전복 가두리양식장 시설물 현황(2018년 기준)

지역	태안	신안	진도	해남	완도	
시설량(칸)	3,239	61,529	106,759	75,447	728,908	
비율(%)	0.3	6.2	10.7	7.5	73.0	
지역	장흥	고흥	여수	통영	거제	계
시설량(칸)	150	14,297	3,324	4,332	715	998,700
비율(%)	0.0	1.4	0.3	0.4	0.1	100

- ① 시설기준 : 1칸 = 5.76㎡(2.4m × 2.4m).
- ② 한국해양수산개발원 수산물측센터(2019) 제공 자료.

3 분류 및 생태

1) 분류학적 위치

우리가 양식 현장에서 ‘참전복’으로 부르는 북방전복은 아래와 같이 분류하고 있다 (이 등, 2014).

연체동물문 Phylum Mollusca Linnaeus, 1758

복족강 Class Gastropoda Guvier, 1797

직복족아강 Subclass Orthogastropoda Ponder & Lindberg, 1896

고복족상목 Superorder Archaeogastropoda

전복과 Family Haliotidae Rafinesque, 1815

동근전복속 Genus *Haliotis*(*Nordotis*)

북방전복 *Haliotis discus hannai* Ino, 1952 & Kwon et al., 2001

〈참고 1〉 *Haliotis* (*Nordotis*) *discus hanna*는 학문적 분류 및 명칭이 ‘북방전복’이므로 이에 준하여 집필하는 것이 타당하나, 본 매뉴얼은 전복양식 어업인을 대상으로 기술하였기에 양식현장에서 일반적으로 사용하는 명칭인 ‘참전복’으로 표기하였습니다.

〈참고 2〉 본 페이지 이후 서술에서 ‘전복’으로 기재된 것은 ‘북방전복(참전복)’으로 이해할 수 있습니다.

〈참고 3〉 우리나라의 까막전복은 동근전복(*Haliotis discus discus*)과 같으므로 동종으로 봅니다.

2) 종류 및 분포

가. 종류

우리나라에 서식하고 있는 전복류는 참전복(북방전복, *Haliotis discus hanna*), 까막전복(*Haliotis discus discus*), 말전복(*Haliotis gigantea*), 왕전복(*Haliotis madaka*), 오분자기(*Haliotis diversicolor supertexta*) 및 마대오분자기(*Haliotis diversicolor diversicolor*) 등 6종이 있는 것으로 알려져 있다(그림 1-4).

이 중 국내 전복양식의 주종은 참전복과 까막전복이며, 참전복은 패각이 긴 타원형으로 어릴 때는 패각에 3~4조의 줄이 나타난다. 호흡공은 3~4개 정도 열려 있고, 패각 바깥쪽은 녹갈색 또는 갈색을 띄며 안쪽은 진주광택을 띤다(원 등, 2014). 한류계로 주로 울릉도를 포함한 중북부해역에 주로 서식하나 남해안과 제주연안에 서식하기도 한다.

까막전복은 패각이 장타원형으로 참전복과 유사한 형태를 지녔지만, 각고는 높은 편이며 호흡공은 3~5개 정도 열려있다. 난류계로서 주로 조하대에서 수심 30m까지의 남해안과 제주도연안에 서식한다.



참전복
(북방전복, *Haliotis discus hanna*)



까막전복
(*Haliotis discus discus*)



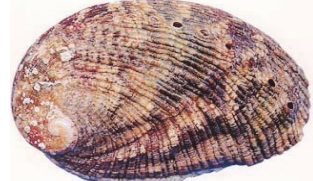
말전복
(*Haliotis gigantea*)



왕전복
(*Haliotis madaka*)



오분자기
(*Haliotis diversicolor Supertexta*)



마대오분자기
(*Haliotis diversicolor diversicolor*)

그림 1-4 우리나라에 서식하고 있는 전복의 종류

나. 분포

일반적으로 전복은 서식 수역에 따라 한류계와 난류계 전복으로 나눌 수 있다. 알려진 바에 따르면 대한해협과 제주도 북쪽을 동서로 연결하는 경계수역, 즉 2월에 수심 25 m 층의 수온이 12℃인 등온선에 위치한 화도-태랑도-거문도-대마도와 부산 사이 해역을 연결하는 수역에는 한류계와 난류계 전복이 섞여 살고 있다. 수온 12℃ 등온선의 경계 북쪽에는 참전복이 서식하며, 남쪽에는 까막전복, 말전복, 오분자기 등의 난류계 전복이 서식한다. 전복류의 지리적 분포에서 북반구의 북방한계는 러시아 캄차카반도 근처와 알래스카 지역까지이며, 남반구의 남방한계는 뉴질랜드 부근과 남아프리카 공화국 케이프타운(Cape Town) 부근까지이다.

전복의 수직분포는 대형종인 말전복은 수심 15~30 m 깊이에서 주로 관찰되며, 까막전복은 수심 4~10 m, 참전복은 수심 5 m 이내의 얇은 수심에서 주로 서식한다.

3) 구조

가. 외형 및 내부

참전복은 성숙하였을 때 각고 25 mm, 각장 110 mm, 각폭 80 mm 정도의 크기를 가진다. 분류학적 관점에서 참전복에 대한 이 등(2014)의 기재를 보면 ‘패각이 난원형으로 비교적 두껍고 단단하며, 흑갈색 또는 녹갈색을 띤다. 각정은 높이 솟아있고 체층 등 면은 각정을 향해 비스듬히 부풀어 있다. 패각 표면의 성장맥은 비교적 뚜렷하지만 규칙적이지 않다. 구불구불한 이랑 모양의 불규칙한 결절이 패각의 외측면 전체에 퍼져 있다. 나륜은 대부분 관찰되지만, 개체에 따라 흔적으로 나타나기도 한다. 공열은 낮고 대부분 가지런히 4개가 열려있고 가끔은 3개가 열려있는 개체도 관찰된다. 공열 아래 측면부는 좁고, 경사는 각정 부분은 급하고 그 반대부분은 완만하다. 굽고 둔한 나륜한 줄과 촘촘한 나맥이 나타난다. 각구는 매우 크고, 내순 폭은 좁으며, 외순 가장자리

는 비교적 매끈하다. 패각은 얇은 편이며 심하게 요철되어 우둘투둘하다.’고 서술하고 있다. 최근 국내에서 양식되는 전복은 등근전복 계열의 종과 교배가 이루어져 있어 참전복으로 알려진 원종과는 형태학적으로 다소 차이가 난다.

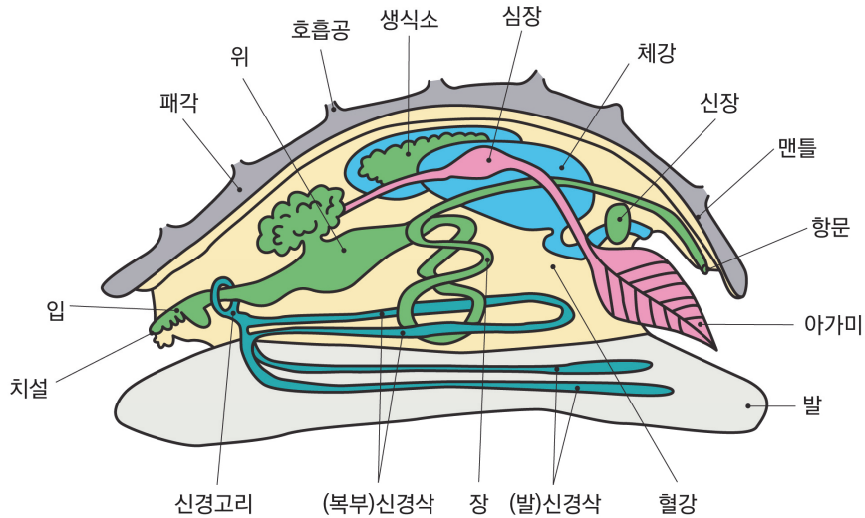


그림 1-5 전복의 구조(횡단면 모식도)

나. 발의 조직학적 구조

참전복의 발은 횡단면에서 상피층, 결합조직층 및 근육층으로 구분할 수 있다. 상피층은 단층으로 섬모원주형 상피세포, 점액세포 및 과립세포들로 이루어져 있다. 헤마톡실린-에오진 염색(Hematoxylin and Eosin stain, H-E 염색) 결과, 점액세포는 공포상으로 나타나며, 과립세포들은 호산성과립세포와 흑색과립세포들로 구분된다. AB-PAS(pH 2.5) 반응에서 상피층의 자유면에서는 선조연의 발달이 뚜렷하며, 점액세포들은 붉은색과 푸른색으로 반응하는 두 종류로 구분된다. 결합조직층은 매우 얇은 편이며, 근육층에서는 근섬유 다발들과 혈림프동(hemolymph sinus)이 관찰된다. 근섬유다발들은 치밀하게 분포하고 있으며, 환상근섬유와 종주근섬유들이 격자모양으로 구성되어 있다(그림 1-6).

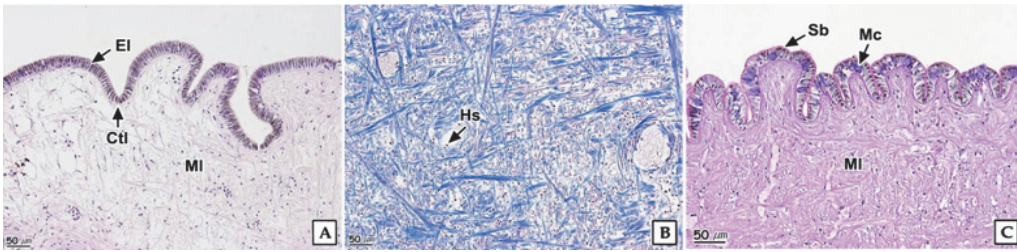


그림 1-6 참전복, *Haliotis discus hannai* 발의 조직학적 구조. A: H-E 염색, B: Masson 삼중염색, C: AB-PAS (pH 2.5) 반응, Cti: 결합조직층, Et: 상피층, Hs: 혈림프동, Mc: 점액세포, MI: 근육층, Sb: 선조연.

다. 아가미의 조직학적 구조

참전복의 아가미는 조직학적으로 새엽은 주름상이며, 길이는 다소 차이가 있다. 새엽 상피층은 단층으로 부위에 따라 편평형, 입방형, 원주형 상피세포층으로 구분된다. 아가미의 종단면에서 각 새엽은 기저부, 중간부, 말단부에서 서로 조직학적으로 차이를 보인다. 조직표본에서 새엽의 말단부는 곤봉형으로 혈림프동이 발달되어 있으며, 새엽의 말단부의 상피층은 원주형 세포와 점액세포로 구성되어 있고 측면 섬모대가 발달해 있다(그림 1-7).

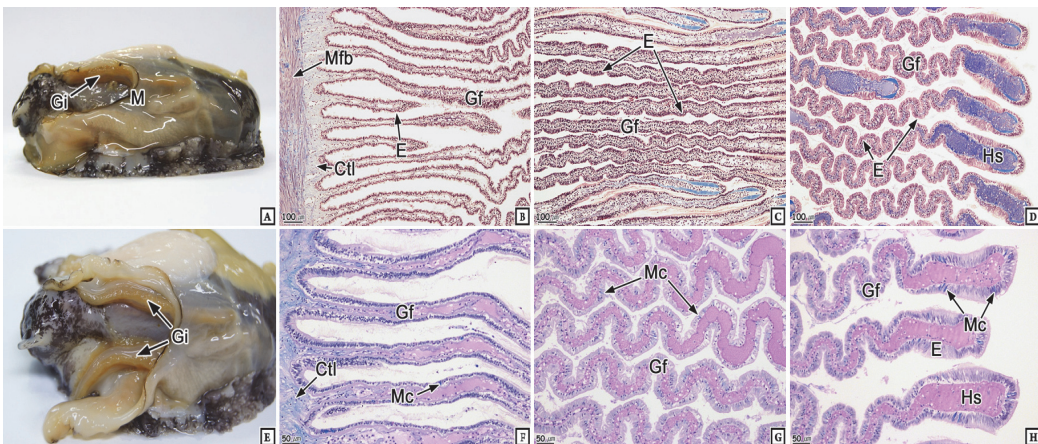


그림 1-7 참전복, *Haliotis discus hannai* 아가미의 외형 (A와 E) 및 조직학적 구조 (B-D와 F-H). B-D: Masson 삼중염색. F-H: AB-PAS (pH 2.5). Cti: 결합조직층, Et: 상피층, Gf: 새엽, Gi: 아가미, Hs: 혈림프동, M: 외투막, Mc: 점액세포, Mfb: 미세섬유층.

라. 생식소

(1) 외형

생식소는 발과 내장낭 사이에서 긴 원뿔형으로 발달되어 간체장을 둘러싸고 있으며, 외형의 색깔에 따라 난소는 진녹색, 정소는 옅은 노란색을 나타낸다(그림 1-8).

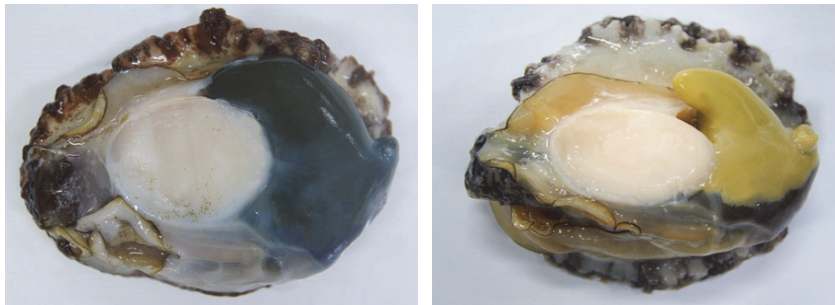


그림 1-8 참전복, *Haliotis discus hannai* 암(좌)과 수(우) 해부도

(2) 조직학적 구조

난소는 난소외막에서부터 간체장까지 난소 내강 쪽으로 발달된 격벽에 의해 여러 개의 내강으로 구분되어 있으며, 각각의 내강에는 난소소엽을 따라 난모세포들이 발달하고 있다(그림 1-9, 좌).

정소 역시 난소와 마찬가지로 정소 내강은 외막에서부터 간체장까지 정소 내강 쪽으로 발달된 격벽에 의해 여러 개의 내강으로 구분되어 있으며, 각각의 내강에는 정소소엽을 따라 생식세포들이 발달하고 있다(그림 1-9, 우).

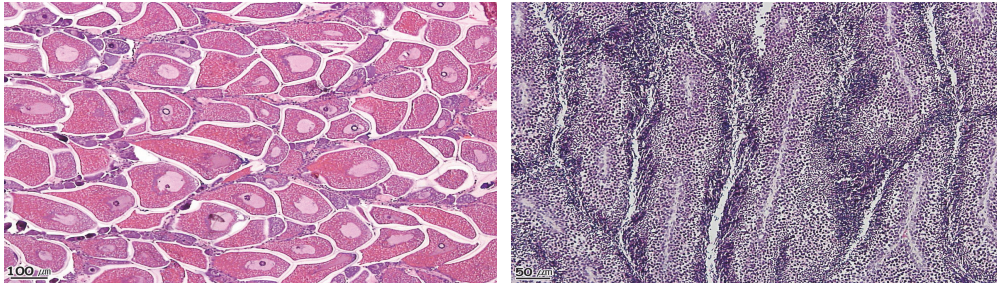


그림 1-9 참전복, *Haliotis discus hannai* 난소(좌) 및 정소(우)의 조직학적 구조

4) 식성

전복은 일반적으로 초식성으로 알려져 있다. 부화유생은 부착기 이전까지 먹이를 먹지 않고 해수 중에 유영하며, 부화 4~5일 후 저서포복기에 들어가면서 미세조류를 먹고 자란다. 각장 5~6 mm 크기까지 부착성 규조류가 주요 먹이가 되며 그 이후부터는 미역, 다시마, 파래 등의 해조류가 주요 먹이가 된다. 전복은 해조류의 종류에 따라 기호도가 다른 선택성을 보이며, 주요 먹이로는 다시마, 미역, 모자반류 등의 갈조류, 파래(녹조류), 진두발(홍조류) 등 다양하다. 자연수계에서 전복이 비교적 많이 서식하는 장소는 대항, 감태 등이 번성한 곳이다.

5) 성장

가. 수온과의 관계

전복의 성장은 먹이 활동이나 수온과 밀접한 관련성을 가지고 있다. 일반적으로 수온 7℃ 이하에서는 먹이 섭취를 잘 하지 않으며 활동도 매우 둔화된다. 미역을 먹이로 하여 일간 섭식률을 조사하면 수온 10.9℃, 16.5℃ 및 20.3℃에서 각각 체중의

7.5%, 14.7% 및 17.6%로 수온이 상승할수록 높아질 뿐만 아니라 월간증중률도 각각 12.8%, 27.0%, 32.1%로 증가하였다(해양수산부, 2001).

나. 서식지역 및 환경과의 관계

전복의 성장은 서식지역에 따라 차이가 나는데, 북쪽지역에서는 각장 7.5 cm까지 성장하는데 5~7년이 소요되지만 남쪽지역은 각장 11 cm까지 성장하는데 4~6년이 걸리는 것으로 조사된 바 있다. 서식 조건이 좋고 먹이가 풍부한 곳에서는 전복의 패각 두께가 얇고 성장이 빠르나 환경이 좋지 않은 곳에서는 패각에 요철이 많고 두꺼우며 성장이 느리다.

다. 패각의 형성 및 형성 기작

전복의 성장에서 패각의 성장은 매우 중요한 문제이다. 일반적으로 조개류의 패각은 방해석 상을 가진 외층(prismatic layer)과 아라고나이트 상을 가진 진주층(nacreous layer)으로 구분되는데, 외층은 깨지기 쉬우나 단단한 층으로 외부의 기계적 영향에 대한 저항력을 가지며 내층은 파열에 대한 저항력을 가지는데 일반적으로 외층에 비하여 2~3배의 저항성이 있는 것으로 알려져 있다. 연체동물의 패각 파열에 대한 저항성을 가지는 내층은 패류 생광물화작용 또는 진주화작용(nacre biomineralization)이라는 Ca^{2+} 이온을 이용하여 고밀도화된 aragonite CaCO_3 를 생성하는 것이다(그림 1-10).

즉, i) 맨틀세포 내 소포(vesicle)에서 PILP-like ACG가 Ca^{2+} -Pif80 coacervate에 의하여 안정한 'Pif80-CLP' 형태로 저장되며, ii) 맨틀과 패각 사이의 공간(extrapallial space)으로 유리될 때 Ca^{2+} -Pif80 coacervate의 파괴에 의해 PILP-like ACG는 불안정화 되며, iii) 재용해된 Pif80을 이용하여 β -키틴 기질상에 진주성 아라고나이트를 성장시켜 다각형 결정을 형성하게 된다. 이때 맨틀조직 구성 세포와 세포 내 소포 속의 pH와 염의 조건에 따라 반응의 정도가 달라지게 된다(Bahn et al., 2017).

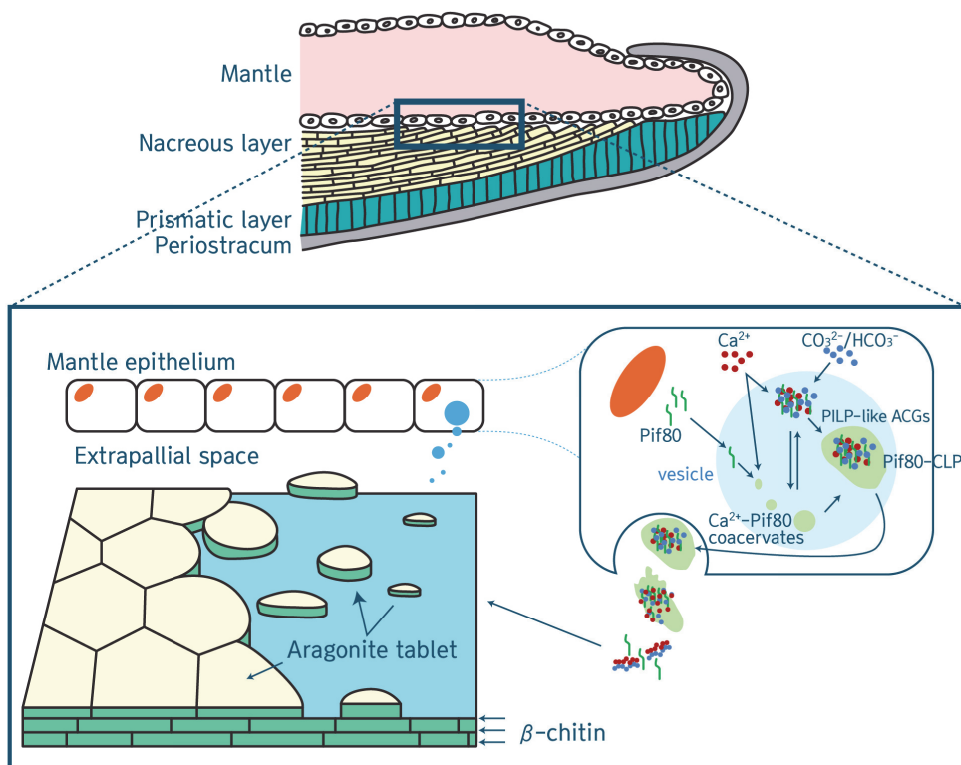


그림 1-10 전복 패각의 구조 및 성장 기작

4 성분과 효능

전복은 칼로리가 낮고 지방함량이 적은 반면, 필수아미노산을 포함하여 다양한 종류의 단백질 성분뿐만 아니라 미네랄을 풍부하게 포함하고 있으므로 피로회복, 대사증진, 자양강장, 약용 효과 등을 기대할 수 있다(표 1-3과 4).

표 1-3 참전복의 일반성분, 무기질, 비타민, 함량

영문 English	가식부 100 g 당 (per 100 g edible portion)																	비고 Remarks
	가식부 Edible portion																%	
	일반성분				탄수화물 Carbo- hydrate	무기질 Minerals			비타민 Vitamins									
									아스코르빅산 Ascorbic acid (C)	나이아신 Niacin	리보플라빈 Riboflavin (B ₂)	티아민 Thiamine (B ₁)	A		레티놀 Retinol potency			
식품에너지 Food energy	수분 Moisture	단백질 Protein	지방 Fat	회분 Ash	총 섬유소 Non-fibrous	섬유소 Fiber	칼슘 Calcium	인 Phosphorus	철 Iron	비타민 A Vitamin A	비타민 E Vitamin E	레티놀 Retinol	티아민 Thiamine (B ₁)	리보플라빈 Riboflavin (B ₂)	나이아신 Niacin	아스코르빅산 Ascorbic acid (C)		
kcal	kJ	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	μg	IU	μg	mg	mg	mg	mg		
91	380	77.2	15.0	0.7	2.0	5.1	0	49	141	2.4	0	0	0.26	0.25	3.5	2	47.2	
Abalone																		

출처: 표준수산물성분표(2018).

표 1-4 참전복의 아미노산 함량

English	단백질	총아미노산	필수아미노산								조건적 필수아미노산					비필수 아미노산					비고 Remarks	
			이소류신	류신	라이신	(SAA) 메티오닌	(AAA) 페닐알라닌	트레오닌	트립토판	발린	히스티딘	아르기닌	(AAA) 티로신	(SAA) 시스테인	글리신	프롤린	알라닌	아스파르트산	글루탐산	세린		타우린
	g/100g	g/100g	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val	His	Arg	Tyr	Cys	Gly	Pro	Ala	Asp	Glu	Ser	Tau	
Abalone	16.5	15.4	476	866	775	335	457	622	142	459	173	1447	481	190	1509	670	983	990	2325	762	1799	7월 기장

출처: 표준수산물성분표(2018).

전복은 바위에 붙어서 갈색조류를 먹이로 하기 때문에 내장에서 해조류의 독특한 냄새가 나고 맛도 특이하다. 따라서 전복의 내장은 영양성분이 풍부하고 독특한 풍미로 인해 흔히 강정제로도 널리 알려져 있다. 그러나 부패가 빠르기 때문에 날 것 보다는 내장 젓을 담가 먹는 것이 좋다.

전복에는 단백질과 비타민이 풍부하여, 옛날부터 고급 수산물로 취급되었는데, 피부 미용, 자양강장, 산후조리, 허약체질 등에 탁월한 효능이 있어 식용뿐만 아니라 약용을 목적으로 섭취하는 사람들도 많다. 일반적으로 조개류는 피로해진 신경을 회복시키는 작용이 있는데, 그 중에서도 특히 전복은 시신경의 피로에 뛰어난 효능을 발휘한다.

전복은 아르기닌(Arginine)이라는 아미노산이 100g 당 1,400mg 이상으로 타 식품에 비해 월등히 풍부하고, 특히 글루탐산, 라이신, 아르기닌 등의 아미노산이 풍부하기 때문에 독특한 단맛을 낼 뿐만 아니라 철을 비롯하여 마그네슘과 구리 등의 무기질과 여러 가지 비타민의 함량이 풍부하다. 글루탐산은 뇌에 공급되는 두가지 영양소인 포도당과 지방을 대사 시키는데 도움을 주고, 중앙 신경계로부터 암모니아를 제거하여 신장으로 운반하여 준다. 글리신 등의 성분은 감칠맛과 달콤한 맛이 나며 지방질이 다른 생선보다 아주 적고 단백질이 많기 때문에 중년 이상의 건강식으로 추천되고 있다.

전복은 자양강장에 좋아 우리나라의 전복은 옛날 진시황제가 불로장생을 위해 먹는 식품으로도 유명하며 햇볕에 말린 전복포는 옛날부터 일급 강장식품으로 알려져 왔다. 몸이 허약할 때 전복죽을 끓여 먹으면 기운이 나며, 요오드 함량이 높아 소변이 잘 나오게 된다. 그리고 머리가 아프거나 귀가 울리며 혀와 목이 마르는 증세가 있을 때 전복을 먹으면 신기하게 낫기 때문에 간의 힘을 키워준다고도 알려져 있다.

전복은 비타민, 칼슘, 인 등의 미네랄이 풍부하여 옛날부터 산모의 젖이 나오지 않을 때 전복을 고아 먹이면 큰 효과를 보았다고 한다. 뿐만 아니라 전복 자체에도 높은 영양가를 지니고 있지만, 전복의 변에는 보다 더 높은 영양가가 있는데 해조식성 동물로 갈조류, 녹조류, 홍조류 등 해초류를 주로 먹고 살기 때문으로 여겨진다. 전복내장은 초장에 찍어 미역이나 상추 등과 쌈으로 먹기도 한다.

껍질은 한방에서도 석결명이라 부르며 치료약으로 쓰이고 있다. 전복 껍질을 식초에 담갔다가 굵고, 구운 껍질을 다시 식초에 담기를 3~4차례 거듭한 다음 곱게 가루로 만들어 하루 3회 매회 4g 씩 공복에 따뜻한 물로 복용하면 눈의 노화속도를 둔화시킨다고 한다.



02

종묘생산

1 종묘생산 시설

1) 설계 시 고려사항

전복 종묘생산은 어류 종묘생산과는 달리 사육생물이 예측치 못한 원인으로 일시에 대량 폐사하는 일은 드물지만 수산생물이기 때문에 항상 위험성이 내재되어 있다. 사육 시설은 저렴한 부지를 매입하여야 하고 종묘생산에 직접 이용되는 사육조 등은 최대한 단순하면서도 효율적 기능을 발휘하도록 설계하여 최소한의 경비를 지출하도록 하는 것이 무엇보다도 바람직하다.

생물사육을 위한 사육수의 공급 비용이나 모패구입과 먹이구입에 필요한 비용, 어미 사육에 필요한 연료비, 전력비, 인건비, 시설 감가상각비, 자본비용이자 등은 생산종묘의 원가를 좌우하는 요소로서 아주 중요하기 때문에 사업 계획 단계부터 충분히 검토하여 사업규모를 설정하여야 한다. 종묘생산 시설에 관련한 수질, 기상, 규모, 자연 과학적, 사회 경제적 요인 등 여러 가지 사항을 충분히 검토한 후 사업을 추진하여야 한다.



그림 2-1 치패 생산을 위한 종묘생산 시설

가. 수질 요인

종묘생산을 위한 주변 해역의 수질 요인은 매우 중요한 부분으로 수온, 풍파, 물의 유동과 교환 등의 물리적 요인과 영양염류, 용존산소, 유독성 물질, 염분 등의 화학적 요인 등을 들 수가 있다. 이외에도 양식 대상생물의 생태와 천연 먹이인 부착규조, 적조종류와 발생 빈도 등의 생물적 요인도 충분히 고려하는 것이 좋다.

나. 기상 요인

기상 요인 중 일사량은 부착규조류 발생에 필요한 요인으로서 일사량이 부족한 곳은 피하는 것이 좋으며, 강수량 등의 영향을 받는 하천이나 강 부근은 전복 종묘배양장으로 적합하지 않기 때문에 피해야 한다.

다. 시설 규모와 품종 선택

종묘생산 품종을 먼저 선정한 후 종묘생산 규모의 크기를 고려하여야 하며, 또한 판매용 종패의 크기를 사전에 결정하여 양식기간의 장·단기적 계획을 수립하여 배양장의 위치, 시설배치, 시설방법과 운영방법 등을 사전에 계획하여야 한다.

라. 경제성 요인

사업을 추진하면서부터 시설에 필요한 부지매입, 종묘생산 시설인 사육수조, 부대시설로 취급할 수 있는 취수 및 인수시설, 여과, 저수탱크, 배관설비 및 관리실 건립 등 기본시설에 소요되는 예산이 막대하기 때문에 경제적 측면에서 충분한 검토가 필요하다.

또한 부지와 관련된 용도제한, 규제 등도 면밀히 사전에 파악하여야 하며, 이외에도 배양장은 대부분 오지에 시설되는 것이 보통이어서 통신시설이나 전기 시설 및 기타 동력시설 등에 대해서 잘 파악해야 한다.

마. 사회적 요인

사업의 장래성이 보장되어야 하며, 또한 종묘장 신설에 따른 해양 환경 문제나 지역적 관습과 지역주민과의 마찰 방지 등 사회적 요인도 충분히 고려하여야 한다.

바. 법적 요인

종묘생산 시설이나 관리자 등 건축 허가 등의 필요 여부, 규제 또는 제한, 지역 주민의 사전 동의에 대한 필요여부 등은 사전에 충분히 파악하여야 한다.

2) 배양장 적지 조건

전북 종묘생산 배양장의 적지 선정을 위한 환경 조건으로는 다음과 같은 요인을 고려하여야 한다.

- ① 사육환경은 연간 수온이 4~28℃, 염분은 25~33 PSU 범위인 곳으로 해저 바닥이 모래, 암반 등으로 되어 있어 풍파에도 해수의 탁도가 낮게 유지되는 해안의 인접 지역
- ② 여름철 장마, 홍수 시 담수 유입 및 적조 발생에 따른 영향이 적은 지역
- ③ 수질악화 및 기타 공해우려가 없는 지역
- ④ 한전 동력선에 인접되어 동력 시설비를 절감할 수 있는 지역
- ⑤ 태풍, 폭풍, 해일 등과 같이 자연재해로부터 시설물이 안전한 지역

3) 종묘생산 시설

가. 모패 사육수조

모패 사육수조는 콘크리트 직사각형 수조 내에 일정한 구획을 나누어 일정량의 모패를 수용하여 관리하는 경우가 있다. 이러한 수조의 형태는 치패 사육조와 병행해서 사용할 수 있는 장점이 있으나, 겨울철 성숙관리 기간 중 가온사육 시에 배설물의 제거나 청소 등에 있어서 다소 어려운 단점도 있다. 즉, 성숙관리 기간에 공기 중에 노출시키는 것은 가급적 억제해야 하나 부득이 청소를 위해서는 전량 환수를 필요로 하기 때문에 모패가 장시간 공기중에 노출되어 성숙관리에 문제가 있을 수 있다.

수조의 크기는 보통 길이 3~8 m, 폭 1~2 m로 하되, 주수구에서 배수구 쪽으로 경사를 주어 배수가 잘 될 수 있도록 시설하여야 한다.

사육수 공급 배관시설은 수조의 크기와 사육밀도에 따라 다르지만 대체적으로 환수율이 1일 12~24 회전 이상 이루어질 수 있도록 주수관이 필요하며, 또한 사육수조 내에는 포기 장치를 하여 산소공급과 물의 유동이 잘 이루어지도록 하여야 한다.

모패용 사육수조는 채란을 목적으로 일조시간을 조절할 수 있는 명암장치를 갖춘 시설과 보통 일반적으로 사육하고 있는 2~3 m³ 규모의 사각수조 시설을 이용하는 두가지 방법이 주로 이용되고 있다. 두가지 방법 모두 수온 조절이 가능하도록 장치하여야 한다. 이러한 해수가온 시설은 저수온 관리 기간 중 성숙촉진을 위한 필수 장치로서 반드시 필요하며, 순환여과식 사육장치를 운용할 수 있으면 좋다.

나. 유생 사육수조

유생 사육수조는 크기나 형태에 크게 염두에 둘 필요는 없다. 그러나 수조내부 색깔은 유생이 0.2~0.3mm 정도의 작은 생물이고 사육관리 기간 중 수시로 유생상태 변화를 육안으로 확인해야 하므로 흰색, 회색, 연청색 등의 밝은 계통이 편리하다. 유생사육을 위해서는 반드시 환수장치를 필요로 하는데, 이 환수장치는 직경 150mm 파이프(길이 20~30 cm)에 양쪽면을 물러가제 50~100 μ m를 사용하여 유생이 빠져나가지 않도록 하여 사이폰 형식을 취해 주면 안전하게 사육을 할 수가 있다. 이때 주의해야 할 점은 환수통 아랫부분에 반드시 에어스톤을 고정시켜 공기를 공급함으로써 유생이 물러가제에 붙는 것을 방지해야 한다.

다. 치패 사육수조

치패 사육수조는 일반적으로 직사각형 수조를 많이 쓰고 있다. 재질은 주로 콘크리트 또는 벽돌이나 불력을 사용하는 경우도 있지만 때로는 이동이 쉽고 편리한 FRP 수조나 PP 수조를 사용하는 경우도 흔히 있다. 수조의 크기는 확보 부지의 면적이나 형태

에 따라 다르겠지만, 보통 길이 6~10m, 폭 1~2m 정도가 주로 사용되고 있다. 경사도는 길이 10m 수조의 경우 5~15% 정도의 경사가 필요하다.

배수관은 일반적으로 크면 클수록 좋지만 시설시 비용이 많이 들기 때문에 대개의 경우 직경 100~150mm PVC 파이프를 1개 또는 2개를 수조 뒷부분에 위치하도록 한다. 특히 배수부분의 처리는 물이 잘 빠질 수 있도록 어느 정도의 집수부 형태를 가진 시설을 필요로 하며 별도로 밸브를 이용해서 잠금장치를 할 필요는 없으며 수조 내부에 스탠드 파이프를 이용하여 물넘기기 및 배수 장치를 병행해서 쓰면 편리하다. 그리고 수조 외부에 돌출 되는 파이프는 10~20cm 정도 길게 처리해 두면, 전복 치패 박리 시 그물 등을 씻을 수 있는 장치가 되기 때문에 매우 편리하게 이용할 수 있다.

라. 육성용 사육수조

육성용 종묘의 사육수조는 일반적으로 폭이 1~2m, 길이 5~20m의 장방형 수조를 이용한다.

마. 부대시설

부대시설로는 해수 저장수조, 양수시설, 여과시설 등이 있으며, 형태나 규모는 종묘장의 특성인 양식장 환경, 자금규모에 따라 다양하게 시설할 수가 있다.

해수 저장수조는 양수하여 여과된 물을 임시 저장하는 기능을 갖는 시설로서 크기는 보통 50~200톤 규모 정도를 많이 사용한다. 물론 이 시설은 많은 양의 물을 저장하기 때문에 철근 콘크리트 구조물이어야 하며, 특히 주의할 것은 해수 저장수조 저면이 치패 또는 모패 사육 상단부보다 2~3m 높은 곳에 위치하여 필요한 물이 쉽게 공급될 수 있도록 해야 한다. 이전에는 해수 저장수조 상단부에 여과조를 병행해서 사용해 왔지만, 최근에는 시중에 판매되는 여과기를 별도로 부착하여 사용하는 경우가 많다.

사육해수는 여과 시설을 사용하여 여과해서 사용하는 것이 원칙이다. 여과 방법에는 여러 가지가 있으며 각각 장단점이 있다. 현재는 양식기술의 발전과 함께 시중에 널리 보급되어 있는 고압여과기를 구입해서 부착하여 사용하면 매우 편리하기 때문에 특별한 별도의 다른 여과시설은 필요치 않다. 시중에 판매되는 여과기는 시간당 처리 능력이 60~90 m³ 정도로서 효율적인 여과 능력을 갖추고 있다.

일반적으로 육상에서 여과기를 설치할 때에는 중력여과나 고속압력여과를 택하는 경우가 많다. 이 방식은 여과재를 재생하여 쓰는 원리로 역세(逆洗)를 행할 필요가 있다. 역세에는 일정시간이 필요하고 역세 후 여과수량의 2~5% 보충수가 필요하다. 여과재는 마모상태가 빠르기 때문에 2~3년 이내에 바꾸어 줘야 하며 해수는 여과기의 상부로 낙차하여 급수하든지 또는 펌프로 압력을 가해서 급수하기 때문에 전력사용량이 많이 드는 단점이 있다. 우리나라 남해안은 해수의 탁도가 높고 부니질이 많으므로 시판되고 있는 여과기로서는 불충분한 점이 있기 때문에 여과기의 수량을 충분히 갖추든지 이중 여과시설을 택할 필요가 있다.

양수시설은 종묘생산 시설 중 매우 중요하므로 세심한 설계가 필요한 부분이다. 양수 위치는 가능한 한 지형이 낮은 곳에서 행하고 바다와 가까운 위치에 해수 저장수조와 여과시설이 같은 구역 내에 위치하는 것이 양수 효율이 높기 때문에 이점을 착안하여 시설함이 바람직하다. 양수시설 내에는 보통 양수기와 산소공급기 등이 설치되며 정전을 대비한 발전시설이 포함된다. 양수기는 대개 20~50마력(HP) 정도의 것을 사용하며 설치 대수는 사육시설 또는 사용하는 물의 양과 비례하여 설치하는 것이 원칙이다.

전복 종묘생산의 경우 필요한 물의 양은 1개 수조 당 환수율이 최대 12~24회전을 기준으로 계산하면 되는데 20마력 양수기의 경우 양수 효율이나 양정고, 조수간만의 차에 따라 다르지만 1시간 당 150톤 정도의 물을 끌어 올릴 수 있으므로 수조 크기와 숫자에 따라 양수기를 얼마나 설치할 수 있는가가 결정된다. 산소공급기는 보통 5~10마력 규모로 2~4대 정도만 있으면 적당하다고 생각된다. 양수시설과 함께 취수시설을 해야 하는데, 이 취수시설은 바다에 직접 시설되어지기 때문에 태풍 등의 영향을 고려하고 수질이 좋은 장소를 선택할 필요가 있다. 과거에는 별도의 집수정을 만들어 사용

했으나 지금은 취수관과 양수기를 직접 연결하는 방식을 많이 취하고 있다. 특히 이 시공방법은 조수간만의 차이와 관계없이 24시간 양수할 수 있기 때문에 많이 사용되어지고 있다. 취수관 중 맨 끝에 위치하는 취수부는 보호망을 덮어 씌워 가능한 이물질이 취수관으로 들어오지 못하도록 하는 방법을 택하는 것이 바람직하다.

바. 기타 장치 및 자재

사육수조, 양수시설 및 부대시설 외에 전복 종묘생산을 위해서는 몇 가지 중요한 장치 및 기자재가 필요하다. 여기에는 모패의 산란유발자극에 필요한 자외선 유수 살균장치, 채묘판, 홀더 등이 있다.

(1) 자외선 유수 살균장치

이 장치는 모패의 산란유발에 있어 반드시 필요한 중요한 장치로서 현재 시중에 나와 있는 살균장치를 쓰면 되는데, 경우에 따라서는 직접 제작해서 사용해도 무방하지만 효율 측면에 문제가 있을 수 있다.

(2) 채묘판 및 홀더

부착규조류를 배양하고 치패를 사육하는데 Polyethylene 등으로 제조된 투명판이 반드시 필요하다. 홀더는 PE판 50~100 맵을 수조 크기에 따라 조립하는데 필요한 자재로서 시중에서 판매되고 있으므로 구입해서 사용하면 된다.

2 먹이생물 배양

1) 부착규조류의 종류 및 특성

전복의 유생은 부착 후 성장함에 따라 부착규조류를 먹으면서 성장한다. 부착규조류가 붙어있는 배양판에 전복 유생을 붙이는 과정을 채묘라고 한다. 따라서 어미로부터 채란하기 전인 2~3월에 채묘를 위한 부착규조류 배양이 필요하다.

전복 종묘생산에 주로 사용되는 부착규조류를 형태적으로 분류하면 메트릭스형, 직립형, 포복형으로 나눌 수 있으며, 지역별로 발생하는 종류는 다르나 메트릭스형이 전복 채묘 시 먹이생물로 비교적 좋다(표 2-1). 특히, 남해안 해역에서는 메트릭스형 가운데 초기 먹이생물로서 유효한 암포라종(*Amphora* sp.)과 니쯔시아종(*Nitzschia* sp.)이 많이 분포한다(그림 2-2).

표 2-1 부착규조류 종류 및 형태

종류(Class)	형태	종(Genus)	전복 채묘 시
부착규조류	메트릭스형	<i>Amphora</i> sp. <i>Navicula</i> sp. <i>Nitzschia closterium</i> <i>Nitzschia longissima</i>	적합
	직립형	<i>Nitzschia</i> sp. <i>Bacillaria paxillifera</i>	부적합
	포복형	<i>Cocconeis</i> sp.	적합

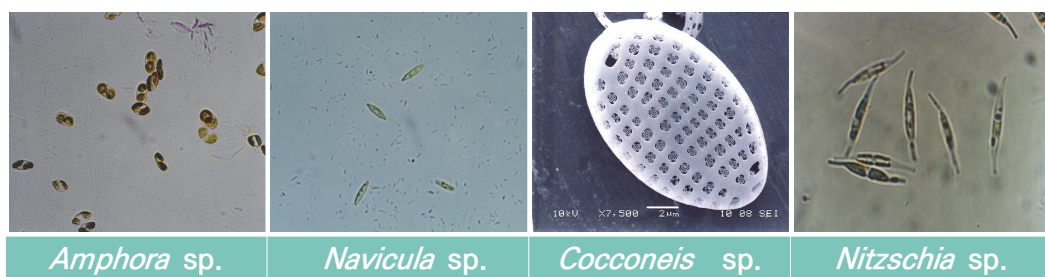


그림 2-2 전복종묘생산 시 주로 배양되는 부착규조류 종류

2) 부착규조류의 배양 요소

가. 광(조도, 파장, 광주기)

부착규조류 배양에 있어서 광(빛)은 필수적인 요소이며, 광원은 주로 자연광에 의존하고 광력은 차광막을 이용하여 조절한다. 시험관 또는 삼각플라스크에서 배양할 때에는 1,000 Lux 정도이면 적당하지만, 이보다 큰 용기에서 배양할 때에는 5,000~10,000 Lux 이상이 요구된다.

3~4월 초기 부착규조류를 배양할 때에는 3,000~6,000 Lux 정도가 적합하며, 10,000 Lux 이상에서는 직립형이나 녹조류가 발생하기 때문에 조도의 조절이 매우 중요하다.

일반적으로 이용할 수 있는 광의 파장은 가시광선 범위로 400~700nm이지만, 적색광에 가까운 700~760nm의 광이 적합하다(그림 2-3). 광은 광합성 색소체들(엽록소, biliprotein and carotenoids)에 의해서 흡수되어 ATP와 NADPH를 환원시킨다. 특히 빛의 광량, 파장, 조도, 광주기 등은 광합성 색소체의 조성, 분포 및 생식세포 형성에 영향을 미친다.

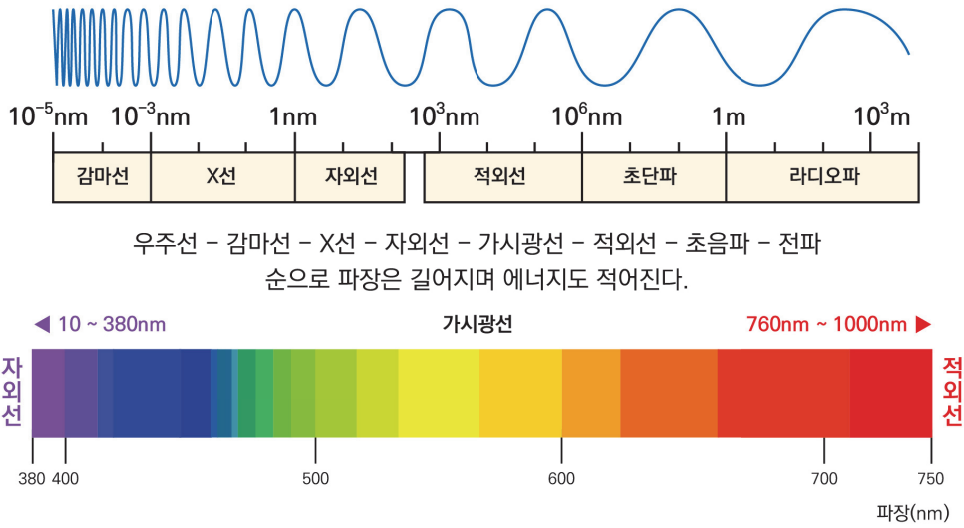


그림 2-3 부착규조류 배양에 필요한 빛의 파장

나. 수온

종묘생산에 이용되는 부착규조류는 5~35℃에서 서식이 가능하며, 배양 최적수온은 18~22℃이다. 부착규조류는 배양 가능한 수온 범위에서 온도가 낮아질수록 배양속도가 늦어지며, 높을수록 배양속도는 빠르나 유지하는데 어려움이 있다.

다. 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 조류의 성장과정에 요구되는 각종 물질의 이용성에 많은 영향을 미치기 때문에 7~9로 유지하는 것이 좋다.

라. 이산화탄소(CO₂)

이산화탄소(CO₂)는 광합성에 있어 필수적인 요소로 육상식물은 대기 중의 CO₂를 바로 이용하지만, 부착규조류는 수중에 용해된 탄산(H₂CO₃)이온 즉, 중탄산염

(HCO_3^-)과 탄산염(CO_3^{2-})을 이용하게 되는데, 이러한 탄산염의 이온형태는 수온, 염분농도, pH 및 대기 중의 CO_2 분압에 따라 달라진다.

대부분의 부착규조류는 장기 배양하는 경우 바닥에 침착하는 경향이 있기 때문에 공기를 공급하여 배양 규조류가 지속적으로 저면에서 뜨도록 부유시켜 주어야 한다. 이렇게 하면, 광합성에 필요한 이산화탄소 공급이 순조롭게 진행된다. 또한 초기 부착 규조류를 배양 할 때에는 공기(에어) 공급관의 밸브를 50% 정도 열어 주는 것이 좋다.

마. 무기영양염류

부착규조류 배양에 있어서 필수적인 무기 영양염류는 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 인(P), 질소(N), 마그네슘(Mg), 철(Fe), 구리(Cu), 망간(Mn), 아연(Zn), 몰리브덴(Mo), 황(S), 칼륨(K), 칼슘(Ca)이 있고, 미량원소에는 망간(Mn), 아연(Zn), 브롬(Br), 구리(Cu), 몰리브덴(Mo), 부가원소에는 나트륨(Na), 알루미늄(Al), 규소(Si), 염소(Cl), 갈륨(Ga), 코발트(Co) 등이 있다. 이중 질소와 인은 다량 요구되어지는 원소로 주로 성장에 관여하고, 나머지 원소들은 각종 효소 작용을 돕는 보조 역할 또는 각종 이온들의 전자 전달에 관여한다. 탄소, 수소, 산소는 주로 대기로부터 공급되어지고, 나트륨, 염소, 마그네슘, 칼슘은 해수 중에 충분한 양이 존재하기 때문에 일반적인 부착규조류를 배양하는데 부가적인 첨가는 필요하지 않다.

질소(N)는 탄소, 수소, 산소와 함께 가장 많이 존재하는 원소로 건중량의 10%를 차지할 정도로 결핍되면 성장이 되지 않는다. 일반적으로 부착규조류가 이용할 수 있는 질소형태는 유리 질소가스(N_2), 무기염(NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) 및 유기 혼합물(아미노산, 요소, 요산)의 형태이다. 대부분의 부착규조류에서 이용되어지는 질소원은 무기염 또는 유기 혼합물 형태로 된 것을 이용한다. 무기염의 형태인 질산염, 아질산염 및 암모늄은 조류가 직접 이용할 수 있지만, 질산염과 아질산염은 결국 에너지를 이용해서 암모늄의 형태로 만들어야 되기 때문에 이용성 면에서는 암모늄 형태의 질소가 이용하는데 유리

하다. 한편, 유기 혼합물 형태의 질소원 중 요소 및 요산은 많은 부착규조류 등이 직접적으로 이용할 수 있다.

인(P)은 핵산, 인지질 및 에너지(ATP, NADP) 생성에 관련하여 매우 중요한 역할을 하며, 부착규조류 성장에 있어서 질소와 함께 가장 중요한 성장 제한 요소이다. 일반적으로 인은 인산염 (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} 및 PO_4^{3-}) 및 유기인의 형태로 이용되어지는데, 특히 수중 인산염의 형태는 pH에 따라 변하고, 높은 광합성으로 인해 수중 pH가 상승하게 되면 인산염은 수중 Ca 이온과 결합하여 $\text{Ca}_3(\text{HPO}_4)_2$ 의 형태로 불용성염을 형성하여 조류가 이용하기 어렵게 된다.

칼슘(Ca)은 부착규조류의 성장과정 중 세포벽 구성 물질, 효소활성 및 이온 수송에 중요한 역할을 하는 원소로 주로 탄산칼슘(CaCO_3) 형태로 조류 세포와 배양해수 중에 존재하는데, 해수 중에 풍부하기 때문에 조류 배양 시 따로 배지 형태로 공급하지 않아도 된다. 그러나 칼슘은 배양수의 pH 농도에 따라 배양수 중의 탄산이온 및 유리된 인산염과 결합하여 불용성 염을 형성하기 때문에 이산화탄소(CO_2)와 인 이용성에 나쁜 영향을 미쳐 배양조류의 성장을 저해는 경우도 있다.

규소(Si)는 부착규조류의 세포벽을 구성하는 중요한 원소로 주로 수중에서 규산염(SiO_3^{2-})의 형태로 이용되고, 부족 시 세포분열이 정지된다. 규산염은 용존성 오염물질 특히 산화게르마늄에 의해 치명적인 영향을 받는데, 이 물질은 규조류의 규산염 흡수를 방해하여 성장을 저해시킨다.

표 2-2 부착규조류 대사에 관여하는 무기 영양염류의 기능과 결핍현상

종류	이용형태	기능	결핍현상
질소(N)	N_2 , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , 아미노산, 요소, 요산	대사와 성장, 단백질 합성 원료, 조효소의 기능	성장정지 엽록소의 색소 감소 (과다공급: 세포 크기 증가)
인(P)	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , 유기인	세포구성, 에너지전달	질소결핍증과 유사한 홍색화 현상
칼륨(K)	K^+	삼투압조절, pH 조절, 단백질 및 탄수화물 대사, 색소발달	성장정지
칼슘(Ca)	$CaCO_3$	세포벽구성, 효소활성, 이온 수송	성장정지 , 세포벽 딱딱해지고, 부서지기 쉬워짐 세포 내 공포 형성
마그네슘(Mg)	Mg^{2+}	광합성 색소체 분자 구성, 탄수화물 대사효소활성제	엽록소의 백화현상
황(S)		단백질 구성체, 비타민 대사 활성제, 효소활성 및 조효소 구성체	성장정지 , 질소결핍증과 비슷, 단백질 가수분해 현상
철(Fe)		미토콘드리아의 전자전달, 엽록소 합성과 분해	엽록소 적어짐
망간(Mn)		호흡과 질소대사, 광합성 과정 중 전자 전달, 색소체 세포막 구조 유지	광합성을 저하, 엽록소 파괴 광합성과정에서 산소방출 억제
구리(Cu)		광합성과정 중 전자전달, 효소작용	이산화탄소 흡수 감소
아연(Zn)		옥신(auxin) 생합성 효소, 단백질 합성(리보솜 구성체)	엽록소 및 단백질 합성 감소
몰리브덴(Mo)		질소대사, 질산염 동화작용(환원제), 이온흡수	색소변화
나트륨(Na)		효소활성제, 물의 평형	-
염소(Cl)		광합성에 관여	-
브롬(Br)		탄소이용성의 조절	-
코발트(Co)		비타민 B ₁₂ 구성체	
규소(Si)	SiO_3^{2-}	규조류의 규산질 형성	세포분열정지

일반영양염

종묘생산

중간육성

가두리양식

환경내성과
생식주기

폐사와
질병관리

자연재해 대비
양식장관리요령

미래의
전복양식

참고문헌

칼륨(K)과 황(S)은 미량원소에 비해 상당히 많은 양이 조류의 성장에 요구되어지며, 주로 삼투압 조절 및 단백질 대사에 이용되어진다.

기타 미량금속(Mn, Zn, B, Cu, Mo) 및 비타민 B군(B₁₂, Thiamin, Biotin)은 조류의 성장과정 중 광합성 및 각종 효소들의 구성체 및 활성체로 이용된다.

바. 배지

부착규조류를 배양하는데 이용되는 배지는 필요한 영양염을 혼합하여 용액상태로 만들어 상온에 보관하면서 필요한 만큼 배양수에 첨가하여 사용한다. 그런데 대부분 지금까지 개발된 배지들은 많은 종류의 영양염들을 동시에 혼합하도록 되어 있는데, 이렇게 혼합된 각종 영양염들은 수중에서 이온화되어 원치않은 불용성염을 형성하여 조류의 이용성을 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 따라서 조제 시에는 정해진 용량을 정확하게 첨가해야 하며, 장기간 보존 시에는 가능한 저온에 보관하고, 증발로 인한 농도의 변화를 막기 위해 밀폐된 용기를 이용하는 것이 좋다.

해양미세조류를 배양하는데 이용 가능한 배지의 종류는 약 50여 가지가 개발되어 이용되고 있으며, 주로 F/2, walne's medium, ES-medium 등이 많이 이용되고 있다. 하지만 최근에는 이용성 및 비용 절감의 측면에서 농업용 비료를 종묘생산 현장에서 대량배양용 배지원으로 사용하고 있다.

4) 부착규조류의 현장배양 기술

전복 종묘배양 현장의 부착규조류 배양에서 수온, 광선 및 공기 공급 등이 중요한 조건들이다. 규조류 배양에 필요한 수온은 보통 16~21℃ 범위이기 때문에 전복의 춘계(5~6월) 산란시기와 비슷하므로 자연 상태에서 배양을 하면 된다. 규조류 증식은

유도기, 대수증식기, 정상기 및 쇠퇴기로 나뉜다. 증식속도는 부착규조류의 종류, 영양염 농도, 수온에 따라 달라지지만 남해안의 일반적 주기는 30일 내외이며, 부착규조류의 군집은 정상기에 이른 후 탈락되는데 밑에 있는 세포는 빛이 약하기 때문에 폐사하고 그 위의 개체도 점차 기질로부터 탈락된다. 따라서 부착규조류를 지속적으로 활용하기 위해서는 파판 혹은 평판을 주기적으로 뒤집어 주는 전도작업이 필요하다. 현장에서 부착규조류를 배양하고 관리하는 실용기술은 아래와 같다.

가. 광조절

광선은 부착규조류가 자라는데 필수적인 요소이다. 그러나 광선의 강약에 따라 부착규조류의 배양속도나 종류, 크기가 달라진다. 초기 부착규조류를 배양하기에 알맞은 광선은 오전 10시경 3,000 Lux에서 오후 1시경 6,000 Lux 정도이지만 수시로 날씨를 관찰하면서 광량 조절을 해줘야 한다.

일반적으로 종묘생산 현장에서는 50~70%의 차광막 3겹을 이용해 흐린 날과 맑은 날에 따라 걷어 주기도 하고 열어 주기도 한다. 여기서 광선 밝기를 조절할 때 주의해야 할 점은 광선 밝기가 너무 강한 경우에는 초기 종묘생산에 부적합한 부착규조류가 빨리 번식하고 대형규조류 등의 웃자람이 발생하며, 생활 주기가 빨라지기 때문에 채묘 이후에도 일시에 대량으로 탈락하는 경우가 있으므로 주의해야 한다.

고수온 시기에는 질산염 등 영양염류가 부족한 시기이기 때문에 광선이 너무 강하면 체내에 지방을 많이 축적하게 되어 치패 생존율이나 성장에도 큰 영향을 주는 경우가 있다. 그러므로 초기 부착규조류 배양 시에는 가능하면 10,000 Lux 이하로 조도를 유지하는 것 매우 중요하다. 반대로 배양 초기에 광선을 너무 어둡게 해주면 부착상태가 나빠 채묘율이 낮아지기 때문에 경험과 기술을 필요로 한다.

전복 유생의 채묘는 종묘생산 과정에서 매우 중요하며, 부착규조류의 질과 양에 따라 부착, 변태 및 초기치패 생존에 결정적인 영향을 미친다. 단일규조 5종(7 strain)과

혼합규조를 대상으로 부착규조 종류별 부착률과 변태율에 대한 실험 결과에서 부착률은 혼합규조(*Nitzschia* sp. 및 *Navicula incerta*)가 높았으며, 변태율은 *Nitzschia* sp., 혼합규조류 순 이었다(김, 2001). 그러므로 채묘기 유생 및 초기 치패 관리 시 부착규조류 배양에 필요한 조도는 3,000~6,000 Lux가 적합하다.

조도 조절 방법은 종묘 배양장에서 흔히 사용되는 차광막을 사용하며 50, 75, 90, 95% 등 여러 종류가 있으나 설치 위치에 따라서 조도가 다르게 나타난다. 예를 들면 초기 배양 시 50% 차광막 3겹을 사용하면 약 3,000~5,000 Lux 정도가 나오며, 75% 두겹을 사용하면 비슷한 조도가 되지만, 가장 좋은 방법은 조도계를 사용하는 것이 가장 바람직하다. 조도계는 아날로그(analogue)와 디지털(digital) 방식이 있는데 어느 것을 사용하여도 무방하다. 그러나 주의해야 할 점은 하우스 경우 P.C., P.E., 비닐 등이 오래되면 백탁이 일어나 조도는 유지가 되는데 필요한 가시광선(적색광 700nm 내외)이 차단되므로 비닐의 경우 매년 교체해 줄 필요가 있다.

나. 유수, 통기 및 여과방법

초기 부착규조류 배양 시작 시 유수방법은 기준이 애매하여 유수량을 결정하는데 어려움이 있다. 각 지역마다 해수의 영양염류 조성이 다르기 때문에 그 양을 결정하기가 어려우나 너무 많은 유수(물 교환)를 할 필요가 없으며, 남해안의 종묘생산 수조(사각 콘크리트 수조 10 m²)의 경우 1일 0.5~1회전이 적절하다고 판단된다. 유수량을 많이 하면 유속이 빨라지고, 너무 빠른 유속은 부착규조류 배양에 도움이 되지 않는다. 부착규조류의 해수 영양염류 흡수는 유수량에 비례하지 않으며, 필요 시 영양염류(비료)를 공급하는 것이 효과적이다.

공기 공급은 해수의 교반을 위해서 비교적 강하게 할 필요가 있으나 공기방울이 광선을 차단하여 평판 혹은 파판의 하단부에 부착규조류 발생이 느려지는 경향이 있다. 따라서 공기 밸브를 50~60%로 조절하여 배수로 쪽까지 고르게 통기가 될 수 있는 정도면 적정하다.

여과 방법은 현장의 해수에 따라서 다르나 초기 부착규조류를 배양할 때에는 반드시 여과를 해야 한다. 그 이유는 첫째 부착규조류가 착생하기 전에 부니가 평판(파판)에 붙으면 부착규조류 및 전복 부착기 유생의 부착에 장애요인이 된다. 둘째 여과를 제대로 하지 않을 경우 초기치패가 잘 먹지 못하는 녹조류 및 대형조류가 발생하여 초기치패의 대량폐사가 일어날 우려가 있다. 셋째 파판에 요각류(티그리오프스) 및 달팽이류가 대량으로 증식해 부착규조류를 대량 습식하여 부족현상이 일어난다.

여과 방법에 따라 차이를 나타내지만 흔히 사용하는 고압모래여과기 및 모래여과는 50 μm 내외로 걸러진다. 여기서 통과되는 50 μm 이하의 생물로는 녹조류, 대형조류, 요각류 알, 패류 유생(40~50 μm)가 있으며, 이들이 여과가 되지 않아 위와 같은 현상이 일어난다. 따라서 초기 부착규조류 배양 시 최소 한달 정도는 10 μm 필터로 여과를 하는 것이 바람직하다.

특히, 초기 배양시점이 4~5월이라 패류, 요각류 산란 시기와 일치하므로 여과하는 것이 반드시 필요하다. 여과하는 방법은 예전에는 카트리지 필터를 사용하였으나 종묘생산이 대량화됨에 따라 사용하기에 어려움이 있다. 따라서 백필터(코팅된 부직포, 5~10 μm)를 사용하여 각 종묘배양장의 실정에 맞게 사용하여야 한다.

다. 수조, 웰터 방향 및 수심

부착규조류 배양 시 기존의 종묘배양 시설을 교체할 수 없지만 수조의 방향에 따라 규조류 배양량이 달라질 수 있다. 예를 들면 수조의 위치가 남북으로 배열되어 있으면 이른 오전과 늦은 오후에 광선이 차단되어 배양이 원활하지 못한 경우가 있다. 따라서 가능하면 측면의 차광막을 올려서 측광이 들어올 수 있도록 조절할 필요가 있다.

전복 종묘 배양장 설립을 준비하는 창업자는 수조의 방향을 가능하면 동서로 배열하는 것이 바람직하다고 생각한다. 따라서 수조의 위치에 따라 파판의 방향도 동서 방향으로 놓아지면 파판과 파판 사이에 광선이 고르게 투사되도록 한다(그림 2-4).

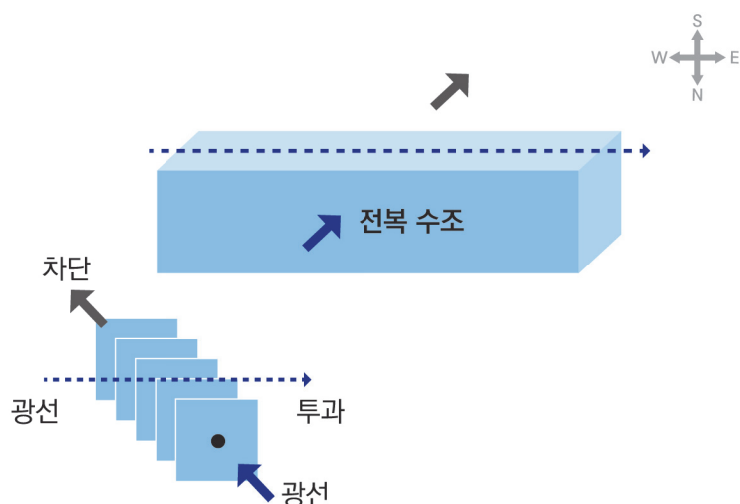


그림 2-4 수조와 판의 방향에 따른 광선

그리고 파판과 수표면과의 수심도 매우 중요하다. 광선이 수표면을 지나면서부터 광선의 일부가 차단되고 수심이 깊은 경우 필요한 광선이 파판에 도달하지 못하여 부착규조류의 배양이 잘 되지 않은 경우가 있다. 따라서 파판과 수표면의 수심은 가까울수록 좋으나 노출이 우려되므로 5~10 cm가 적절하다. 특히, 수조의 형태상 주수구와 배수구 쪽에 수심이 달라 규조의 배양이 고르지 않을 경우 수평을 유지하여 고르게 배양이 될 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

라. 전도작업

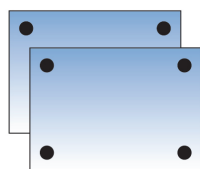
종묘배양에 있어 초기 부착규조류 배양 시 채묘판 상부 1/3 정도 부착규조류가 배양 되는데 이 상태를 유지하면 한 달쯤 지나서 부착규조류가 부족하기 시작하여 치패의 대량폐사가 발생하는 경우가 있다. 이를 극복하기 위해서는 채묘판 전체를 활용하여 부착규조류가 부족하지 않도록 주기적으로 뒤집어서 사용하는 것이 바람직하다. 전도하는 방법은 채묘완료 후 15일 경과 시 채묘틀을 180° 뒤집어 주고, 다시 15일 후

90° 전도한 뒤 마지막에 180° 돌려주는 방법으로 주기적으로 반복한다. 전도작업은 부착규조류의 옷자람을 막아주고, 채묘판 전체를 활용할 수 있으므로 매우 효율적 방법이다(그림 2-5).

전도작업

전도작업?

- 파판의 구조 배양을 전체를 활용 시 반드시 필요함



상부 1/3만 사용됨

- ① 180도 회전(15일 간격)
- ② 90도 회전
- ③ 180도 회전

그림 2-5 전도작업 방법

마. 영양염류(비료의 사용)

영양염류는 부착규조류를 배양하는 필수조건이나 일반적으로 해수에 무기 영양염류가 다량 함유되어 있으므로 배양이 잘되는 지역에서는 영양염류를 사용할 필요가 없다. 그러나 제주도와 동해안과 같이 외해성 해수에는 영양염류가 부족하기 때문에 공급해줘야 한다. 특히 이러한 지역에서는 질소가 부족한 경우가 있고, 이는 부착규조류의 분열 및 성장을 좌우하므로 부족한 부분을 보충해 주어야 한다. 영양염류로 사용되는 배지는 고가이므로 이를 대체하여 농업용 비료를 사용할 수 있다. 공급 방식은 전복 채묘 전까지는 직접 살포 방식이 가능하고, 채묘 후에는 간접 공급 방식(저장탱크나 인수로에서 공급)을 사용하는 것이 바람직하다. 공급 농도는 농업용 비료인 요소를 사육수 10 m³ 당 500 g(50 ppm) 정도를 공급하는데, 하루 중 오전에 포대 하단부에 작은 구멍을 내어서 서서히 녹아들어가게 하는 것이 매우 중요하다. 일시에 공급하면 요소로 인해 치패가 일시적으로 마취 혹은 스트레스를 받을 수 있다. 그리고 비가 많이 오거나 장마철인 경우 육지로부터 영양염류가 다량 공급되기 때문에 지속적으로 사용할 필요는 없다.

3 어미(모패) 관리

1) 어미의 선택

전복 종묘생산에 주로 사용되는 어미는 참전복과 까막전복이지만, 현재 양식되고 있는 전복은 참전복과 둥근전복속의 종류가 복잡하게 교잡되어 있어 종 구분이 어려운 것이 현실이므로 가능한 종묘생산자로부터 교배에 대한 내용이나 교잡 정도를 확인할 필요가 있다. 또한 어미 선택 시, 동일한 지역에서 암컷과 수컷을 가져와 수정시키면 근친교배에 의한 열성화가 우려되므로 가능한 멀리 떨어진 지역에서 가져오는 것이 바람직하다.

2) 어미의 크기

전복은 자웅이체(암·수 짝 몸)이며, 암컷의 난소는 짙은 녹색을 띠고 수컷의 정소는 담황색 또는 유백색을 띤다. 각장 4~5cm 크기(2년생)에서 성숙하고 산란하는 경우도 있지만, 종묘생산에 필요한 양질의 수정란을 생산하기 위해서는 3~4년생인 전복(각장 8~11cm)을 어미로 사용하는 것이 적합하다고 판단된다. 각장 12cm 이상의 큰 전복은 산란 양은 많으나 노화에 인해 수정률이 떨어지는 경향이 있다.

3) 어미의 사육관리

가. 성숙관리

전복은 자연 상태에서 연중 2회(봄과 가을) 산란을 한다. 하지만 우리나라의 양식산

참전복은 연중 1회 산란한다. 산란 시기는 주로 5~6월이며, 7~10월 회복기를 거쳐 11월부터 성숙을 위한 준비(분열증식)를 시작한다.

전복의 성숙은 생물학적 기초수온(성숙유효 하한수온, biological zero)에 의해 진행되며, 적산수온에 따라 산란유발이 가능하다. 적산수온이란 수온에 따라 성숙 및 산란 기간이 달라지는 패류 등에서 주로 산란기를 예측하기 위해 사용하는 방법으로 일일 평균수온에서 해당 종의 생물학적 기초수온을 뺀 값에 사육 일수를 곱하여 계산한다.

적산수온은 종에 따라 다르며, 인위적인 환경조절이 가능한 양식장에서 산란시기를 조절할 수 있는 양식기술이다. 참전복의 생물학적 기초수온은 7.6℃이며, 산란 적산수온은 1,500℃ 정도이다.

〈알기 쉬운 적산수온 계산법〉

$$\begin{aligned}\text{적산수온} &= (\text{평균 사육수온} - 7.6^\circ\text{C}) \times \text{사육일수} \\ \text{참전복 산란 적산수온} &= 1,500^\circ\text{C} = (17.6 - 7.6^\circ\text{C}) \times 150\text{일}\end{aligned}$$

따라서 전복의 성 성숙을 조절하기 위해 가장 많이 사용하고 있는 관리방법은 적산수온을 이용하여 해수 가온을 통한 성숙 및 산란 제어방법이다. 즉, 산란 후 회복기에 있는 전복을 최저 수온기인 1월 하순부터 4월까지 15~20℃로 가온하여 사육하면 산란시기를 1~2개월 정도 앞당겨 3~4월에 조기 산란시킬 수 있다. 이렇듯 이 방법을 통해 산란유발 향상 및 조기 채란을 위한 산란기 조절이 가능하다.

그렇다면 적산수온을 계산하기 위한 사육일수 시작점은 어디서부터일까? 사육일수 시작점은 전복이 산란 후 회복기를 거쳐 다시 성숙을 위한 준비를 시작하는 11월 1일을 기준으로 사육수온을 측정하여 계산하면 된다.

일본의 경우, 菊地와 浮(1974)는 참전복에서 적산수온이 500℃에 달하면 산란 유발

에 반응해서 생식세포(난자, 정자)를 방출하는 개체를 볼 수 있으며, 적산수온의 증가와 함께 산란 유발율도 높아져서 1,500℃ 이상이 되면 생식소는 성숙기에 달해 모든 개체가 방란, 방정할 수 있는 상태로 성숙한다고 보고한 바 있다.

그러나 우리나라 전복은 적산수온 1,200℃부터 산란이 가능하지만, 정상적인 산란을 유도하기 위해서는 1,500℃ 내외가 적정하다.

나. 먹이관리

어미 사육에서는 해조류를 먹이로 사용하며, 특히 미역, 다시마 등이 쓰인다. 먹이를 단일 해조류로 공급해도 양식환경 내에서 정상적인 발생 및 성장이 이뤄지기 때문에 단독 먹이 공급에 대한 피해는 일어나지 않는다. 그러나 먹이 섭식량은 생식소의 양적 발달뿐만 아니라 산란유발에도 영향을 미친다. 특히 수컷보다 암컷이 더 많은 영향을 받는다.

따라서 어미의 경우 일정 먹이 공급량이 보장되어야 한다. 적산수온을 이용한 어미의 성숙관리 기간 중에는 먹이 섭식량을 조사하여야 한다. 특히 일일 먹이 섭식률은 전중(전체 무게, 중량)의 5% 이상이어야 한다. 먹이 섭식량이 저조한 경우에는 원인을 조사하여야 하며, 섭식량이 저조할 경우를 대비하여 사전에 성숙 어미의 확보 방안, 수정란 구입 등 적절한 대책을 세워둘 필요가 있다.

4) 생식소 발달 단계

생식소 발달 과정은 생식소 내에서 어떤 단계의 생식세포들이 우점하게 되는지를 기준으로 구분한다. 난소 발달 단계는 주와 이(2016)의 방법을 기초로 6단계로 구분할 수 있다(표 2-3).

가. 비활성기(Inactive stage)

난소의 생식소 내 다수의 비활성 생식소낭 및 약한 호염기성의 원형의 난모세포가 관찰된다. 이때 난원세포의 크기는 대략 20~30 μm 이다. 정소는 다수의 비활성 생식소낭이 형성되며, 내부에 정원세포가 관찰된다.

나. 초기활성기(Early active stage)

난소의 생식소낭 내 강한 호염기성을 나타내는 초기 난모세포와 세포질 내 미세한 과립들과 소형의 공포들이 관찰되는 난모세포가 관찰된다. 이 시기의 난모세포의 크기는 30~60 μm 이다. 정소의 경우, 정원세포와 호산성의 정모세포가 관찰된다.

다. 후기활성기(Late active stage)

난소의 생식소낭 내 난모세포는 호염기성에서 호산성으로 전환되며, 생식소낭과 난모세포를 연결하는 난병(egg stalk)의 구조가 점점 명확해지고 난모세포의 크기와 형태는 매우 다양하게 나타난다. 또한 난모세포의 세포질 내 미세한 과립들이 더욱 뚜렷해지며 난모세포의 발달에 따라 젤리층 외막이 점차 두꺼워 진다. 정소에서는 대다수의 정세포와 소량의 호염기성 정자가 관찰되기 시작한다.

라. 완숙기(Ripe stage)

완숙기 난모세포의 크기는 약 100~150 μm 이며, 세포질에 난황과립들이 더욱 뚜렷해지고 세포질은 강한 호산성을 나타낸다. 정소의 생식소낭 내에 호염성의 정자가 가득 차 있는 것이 확인된다.

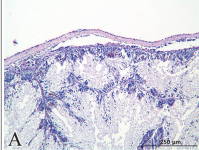
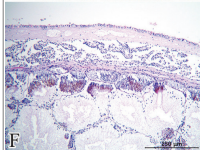
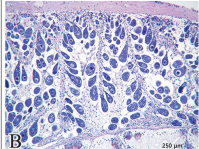
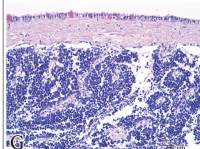
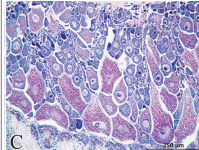
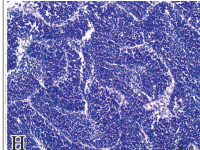
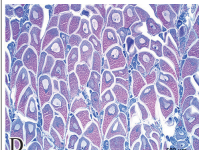
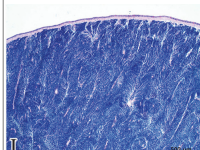
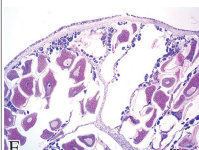
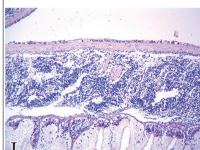
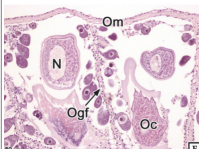
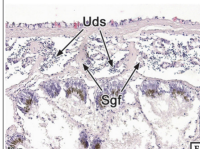
마. 방출기(Spent stage)

완숙된 난모세포들은 이시기에 체외수정을 위해 수중으로 방출된다. 따라서 생식소낭 내강은 방출된 난모세포들로 인해 일부 비어있다. 정소 또한 생식소낭 내 정자가 방출되므로 인해 일부 비어있는 것이 관찰된다.

바. 퇴화·흡수기(Degenerative and absorptive stage)

난소의 생식소낭 내에 방출되지 못한 난모세포들이 퇴화 및 흡수되어 파괴되며, 일부 난원세포와 초기 난모세포들이 관찰된다. 정소의 생식소낭 내에 방출되지 못한 정자의 퇴화가 관찰되며, 일부 정원세포가 관찰된다.

표 2-3 전복의 생식소 발달 단계

생식소 발달단계	암컷		수컷	
비활성기 (Inactive stage)		▶ 다수의 비활성 생식소낭 ▶ 생식소낭 내 호염 기성의 난원세포 관찰 ▶ 난모세포 크기 : 약 20~30μm		▶ 다수의 비활성 생식소낭 ▶ 생식소낭 내 정원 세포 관찰
초기활성기 (Early active stage)		▶ 호산성의 난모세포 관찰 ▶ 난모세포 크기 : 약 30~60μm		▶ 정원세포와 호산성의 정모세포 관찰
후기활성기 (Late active stage)		▶ 난황과립이 생성된 난모세포 관찰 ▶ 난모세포 크기 : 약 60~100μm		▶ 정세포와 소량의 호염기성의 정자 관찰
완숙기 (Ripe stage)		▶ 호산성의 난황과립이 가득찬 난모세포 관찰 ▶ 난모세포 크기 : 약 100~150μm		▶ 생식소낭 내 호염 기성의 정자가 가득참
방출기 (Spent stage)		▶ 생식소낭 내 완숙 난이 방출됨		▶ 생식소낭 내 정자가 방출됨
퇴화·흡수기 (Degenerative and absorptive stage)		▶ 방출되지 못한 난모 세포 퇴화 관찰 ▶ 난원세포 및 초기 난모세포 일부 관찰		▶ 방출되지 못한 정자 퇴화가 관찰 ▶ 정원세포 일부 관찰

일반현미경

종묘생산

중간육성

가두리양식

환경내성과
생식주기

폐사와
질병관리

자연재해 대비
양식장관리요령

미래의
전복양식

참고문헌

4 산란, 수정 및 발생

1) 산란

가. 산란기

자연수계에서 전복의 산란기는 종류와 해역에 따라 다르게 나타나는데, 우리나라에서 한류계인 참전복의 산란기는 수온이 20~22℃ 범위가 형성되는 5~6월과 9~10월로 연 2회 나타난다. 그러나 난류계인 까막전복은 제주도 기준으로 10~11월, 말전복은 제주도 기준으로 11월~이듬해 1월에 나타난다(한, 1998).

나. 산란유발

(1) 산란유발 시기

어미의 성숙관리가 종료되는 시기는 보통 3월 하순경으로 성숙관리가 종료됨과 동시에 시간을 늦추지 말고 산란 유발에 임하도록 해야 한다. 춘계와 추계의 산란유발 최적 시기는 수온 16℃ 내외인 4월 초순과 10월 초순경이 알맞다.

(2) 산란유발 준비

산란유발에 필요한 중요한 장치로는 자외선 살균기 1대, 현미경, 자외선 조사해수 저장조(1톤 규모) 1개, 채란통(35 cm×25 cm×20 cm) 15개 내외, 세란통(직경 30 cm 내외 원형 물통), 소형여과기 3개, 공기공급장치 등이다.

기구소독은 시판되고 있는 차아염소산나트륨 용액을 100ppm의 농도로 1일간 침적시키면 충분한 살균효과를 올릴 수 있다.

(3) 산란유발 방법

가장 좋은 산란유발 방법은 자연방란이지만 전복의 경우 자연방란이 잘되지 않으므로 간출, 자외선 조사해수 및 수온자극을 복합적으로 사용하는 것이 가장 효과적이다 (그림 2-6). 그러나 그 보다 앞서 전복의 성숙도가 가장 중요하고, 성숙도만 좋으면 수온조절에 의한 방란이 가능하다.

성숙도는 미숙, 완숙, 과숙으로 나눌 수 있는데 미숙의 경우 강한 자극을 주면 산란은 되나 알들이 뭉쳐서 나오고, 산란된 알의 난황(영양물질, egg yolk)이 부족하여 수정은 되나 채묘 후 변태가 되지 않아 대량 폐사가 일어나는 경우가 있다.

완숙의 경우는 통상적으로 산란이 잘되나 산란이 시작되고 1~3회가 지나고 나면 후반부에 알들이 뭉쳐서 나오며, 이러한 알들은 미숙이라고 판단하면 된다. 과숙의 경우는 육안으로 보면 생식소가 볼록한데 복합적인 자극방법으로도 산란이 잘되지 않을 때 과숙이라고 판단된다. 이것은 전복의 생식소 전체가 완숙되는 것이 아니고, 부분적으로 성숙이 이루어졌기 때문이다.

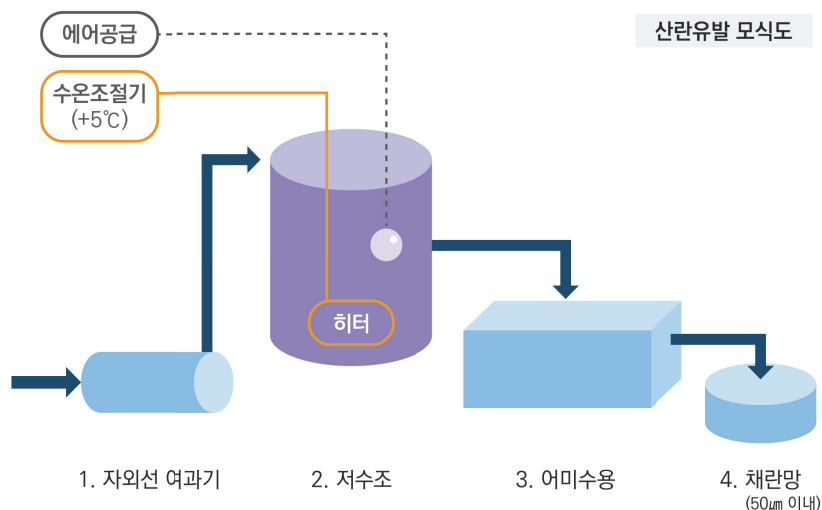


그림 2-6 복합적인 산란유발 모식도

따라서 산란이 시작되고 정상적으로 1~3회 채란된 후에는 채란을 마무리하고, 어미를 약 1주일 정도 회복시킨 후 다시 산란유발을 하면 완숙된 알들을 얻을 수 있다.

그 외 산란유발 방법에는 과산화수소 등의 화학적 방법 등이 있지만 기형을 유발할 수 있으므로 가능하면 약품을 사용하는 자극 방법은 배제하는 것이 좋다.

즉, 복합적인 산란유발을 위한 자극방법은 아래와 같다.

① 간출자극

- 음건 30분 : 어미를 음지에 통풍이 잘되는 곳에 30분 건조
- 양건 30분 : 음건한 어미를 통풍이 잘되는 직사광선하에서 30분 건조
(패각에 습기가 없을 정도)

② 수온자극

- 어미사육 수온에서 +5℃ 올림

③ 자외선 자극

- 자외선(UV) 등을 통과시킨 해수 공급

(4) 산란유발 공정

복합 산란유발 순서는 다음과 같다.

- ① 산란유발 시작 전에 미리 자외선등을 점검하고, 등과 석영관 내·외부를 청소한다.
※ 자외선등은 수중용으로 사용하고 3년에 한번 정도는 교체하여야 함
- ② 09:00경에 자외선등을 ON시키고 소량 유수(60 L/분)하여 저수조에 채운다.
- ③ 15:00경에 산란유발 시킬 암컷을 음건 및 양건을 각각 30분 정도 실시하고 수컷은 1시간 후 동일한 방법으로 간출시킨다. 이때 어미 수용수조는 뚜껑을 덮어

암흑처리 한다.

- ④ 16:00경 어미 수용수조(플라스틱, 100L)에 100~200마리를 넣은 후 받아둔 자외선 해수를 유수하고 히터(티타늄, 2~3 kW)를 가동하여 수온(+5℃)을 서서히 올린다.
예) 어미사육 수온이 18℃이면 23℃까지 서서히 올림
- ⑤ 19:00경 방정 및 방란이 시작되면 수컷에는 자외선 조사해수가 아닌 일반해수를 넣어준다.

산란유발 간출자극 중 음건은 일시적으로 생식공을 수축시키고 양건은 자외선이 전복의 생식생리 기작에 자극을 주며, 자외선은 물분자의 자외선 광분해에 의해 발생하는 Oxydant가 PG endoperoxide 합성효소의 활성을 높여 산란유발이 가능하게 되는 것으로 추정하고 있다(Mores et al., 1977).

따라서 단독 자극보다는 위의 복합적인 산란유발 방법이 가장 효과적이고, 위의 방법에 의해 산란이 되지 않으면 미숙이거나 과숙으로 판단되므로 어미를 교체하여 산란시키는 것이 바람직하다.

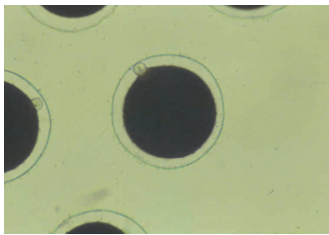
다. 방란, 방정, 산란수

방란, 방정은 생식소에서 알이나 정충이 세실로 나와 뒤쪽에 열려있는 제2 및 제3 호흡공을 통하여 방출되어 나오는 과정이다. 참전복의 경우 성숙한 어미 1마리가 가지고 있는 알의 수는 일반적으로 10 마리/kg(각장 8~9 cm)일 때 150 만개 정도, 8 마리/kg(각장이 10~12 cm)일 경우 300 만개 정도이다. 그러나 대형 어미인 각장 13 cm 이상의 전복은 산란량은 많으나 노쇠하여 산란 반응이 잘되지 않고 수정률이 떨어지는 경향이 있다.

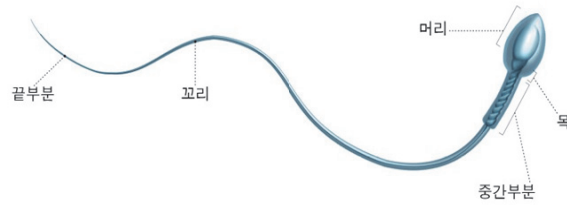
방란된 알은 두터운 한천질에 쌓여 구형으로 되어 있으며, 서로 분리되어 가라앉는 분리침성란(分離沈性卵)이다.

라. 알과 정충의 형태 및 크기

알의 크기는 220~250 μm 이며 200 μm 이하인 경우는 미숙란으로 판단된다. 방정된 정충은 가늘고 긴 머리에 꼬리가 붙어 있는데 두부는 5~6 μm , 미부는 25~50 μm 정도이다.



전복알(수정란)



전복의 정자 모식도

그림 2-7 전복알(수정란) 및 정자 모식도

2) 수정

가. 일반사항

수정 방법은 산란유발이 시작된 후 난은 최소한 1시간 이내에 수거하여 수정시키는 것이 수정률이 높게 나타나고, 정자는 방정 직후 보다 약 10분 경과 후 꼬리가 펴지고 활력이 좋을 때 수정하는 것이 수정률이 높다.

방정된 정자는 1~2시간 이내에 수정시켜야 하며 수컷 수조에 거품이 생기기 시작하면 해수를 교체하여야 한다. 통상적으로 작은 수조에 밀도가 높으면 활력이 급격히 떨어지므로 가능하면 정자를 수용하는 수조는 큰 수조를 사용하여 밀도를 낮추는 것이 활력을 올릴 수 있는 효과적인 방법이다. 특히 수컷 수조의 정자는 자외선 조사해수로 인해 정자 활력이 저하되므로 일반해수를 넣는 것이 바람직하다.

나. 정충 및 난질평가

난질의 평가는 수정률, 부화유생의 생존율 등에 관계하는 알의 건전성을 평가하는 것이다. 난질은 알의 유전적 자질, 어미의 상태, 알의 성분, 알의 성숙도 등과 관계가 있다고 할 수 있다. 그러나 산란유발 현장에서 이와 같은 난질 평가는 불가능하며 육안 및 현미경적으로 다음과 같은 요령에 의해 난질을 쉽게 판단할 수 있다.

- ① 대부분 산란 개시 후 어미의 산란행위 동작이 크고, 짧은 시간 내에 방정·방란이 이루어진 알은 대부분 정상적이다.
- ② 알은 분리침성란으로 해수 중에 방출된 뒤 덩어리 모양의 알은 비정상적인 것이 대부분이다. 이러한 원인은 미성숙 개체 및 무리한 자극에 의해 많이 일어나는 현상이다
- ③ 방출된 알을 현미경으로 관찰하여 알의 크기 및 형태를 알 수 있다. 정상적인 참전복 알의 크기는 220~250 μm 으로 200 μm 이하인 경우는 미숙란으로 판단한다.

다. 정충 농도와 수정률

수정 시 고밀도의 정자를 사용하면 수정되지 않고 알의 표면에 남아있는 정자들로 인하여 난막이 용해되고, 정상적인 발생이 저해되며 기형이 발생한다. 기형의 전복 유생은 색인근의 탈락 및 면반 이상현상이 나타난다. 이러한 유생은 수정 및 발생은 되나 부착 후 변태 과정에서 대량폐사가 일어나므로 정자의 밀도를 조절하여 수정하는 것이 매우 중요하다.

정자는 해수 중에 방출된 직후에는 꼬리가 구부러져 있어 활력이 매우 약하므로 방출 10분경과 후 사용하는 것이 바람직하다. 특히, 수정률은 정자의 활력에 따라 좌우되므로 정자의 관리가 매우 중요하다. 예를 들어 활력을 1~10 정도 수치로 환산하면 방출 직후에는 1 정도이고, 10분경과 후에는 10에 가까우며, 30분경과 후에는 5 정도로

활력이 떨어진다.

활력이 5 정도 되는 일반적인 경우에 정상적인 수정을 위한 정자 수는 10~20만개/mL가 필요하나 활력이 10인 경우 1~2만개/mL 정도면 수정률이 매우 높을 것으로 판단된다. 정자 밀도가 높은 경우에 난막이 용해되는 현상에 대해 연구한 결과, 정충 농도가 17,300만개/mL 이상에서 용해되는 것으로 보고되어 있다. 따라서 가능하면 활력이 좋은 정자를 낮은 밀도에서 수정시키는 것이 가장 효율적이라고 판단된다.

라. 수정 방법

수정 방법은 채란수조 내에 정자를 넣어 수정하는 방법과 네트에서 수정 및 세란을 하는 방법이 있는데 많은 양을 수정할 때에는 네트에서 수정하는 것이 효율적이다(그림 2-8, 좌).

네트를 이용하여 수정할 경우 정충 밀도는 방정된 수컷 수조에서 1~2 L(약 1천만개/mL 추정 시)를 바로 떠서 채란 망 바깥쪽 해수에 넣어 주면 정자 밀도가 약 10~20만개/mL로 희석되므로 편리하다. 따라서 희석된 정자를 떠서 5~6번 정도 반복하여 투입하면 적절한 정자가 투입되고 고르게 수정이 이뤄진다. 예를 들면 활력이 5 이상인 정자를 10~20만개/mL 밀도로 수정시키면 수정란(현미경상)에 50~100개의 정자가 난막에 박히는데 이 정도는 입체적으로 계산하면 실제로 500~1,000개 정도이다.

이 상태는 난막을 훼손하지 않고 정상적인 수정이 이뤄지나 직접 정자를 투입 시에는 일부 알에 편중되어 정자가 박힘으로써 기형발생의 원인이 된다. 기형의 유생은 앞에서 언급한 것과 같이 수정 및 발생은 되지만 부착 후 변태 과정에서 대량폐사가 일어나므로 정자의 밀도를 조절하여 수정하는 것이 매우 중요하다.

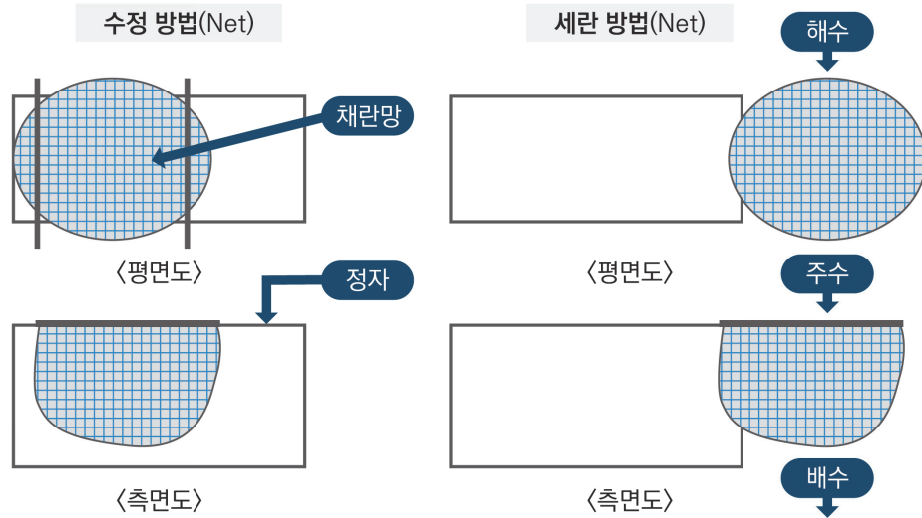


그림 2-8 전복 종묘 생산 시 수정 및 세란 방법

마. 세란

세란(알 세척)은 산란 시 어미가 분비한 배설물이나 수정되고 남은 정충을 제거하여 수질의 악화를 방지하기 위해 실시하는데 채란수조에 수용하여 수정하면 3~5회 세란을 하여야 하지만 네트에서 직접 세란하면 흐르는 해수를 사용하여 거품(정자)이 제거되면서 바로 수정란을 빠른 시간에 부화조에 넣을 수 있다(그림 2-8, 우).

3) 발생

부화 방법은 수조에 바로 넣는 방법과 부화통을 이용하는 방법이 있는데, 미수정란을 분리하기에 편리한 후자를 주로 사용하고 있다(그림 2-9). 수정란은 세란 후 즉시 부화통(플라스틱, 원형, 약 20L)에 수용하는데 수정 시에 너무 많은 정충을 사용하면 난막

이 소실되는 경우가 있으므로 수용밀도는 100~200 만개/20 L이다. 참전복의 경우 부화시간은 수온 16℃ 조건에서 발생 유효 적산수온에 의한 부화까지 소요시간은 약 18시간이 소요된다.

부화가 시작되고 한 시간이 경과하면 정상적으로 부화가 완료되는데 이 시점에 부화 유생을 수조에 넣어준다. 이때 주의할 점은 바닥에 미부화된 유생이 깔려 들어가지 않도록 주의해야 한다.

특히, 1차 부화가 완료되고 나서 바닥의 유생을 재부화시키는 것은 매우 좋지 않다. 바닥의 유생을 다년간 검사한 결과 대부분 기형의 유생으로 판정되므로 과감하게 버리는 것이 유생 사육 시 원생동물 및 곰팡이류 발생을 억제할 수 있으며 대량폐사가 일어나는 것을 방지할 수가 있다.

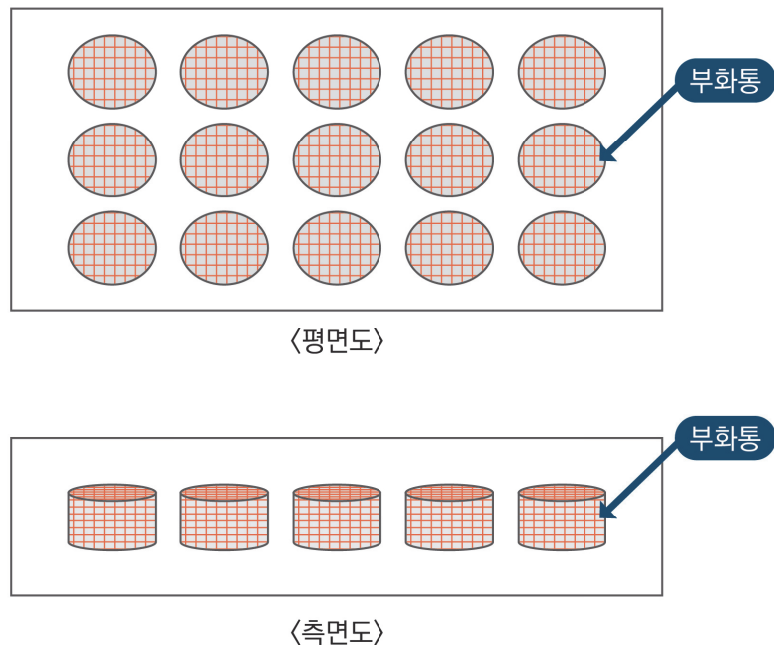


그림 2-9 전복 수정란 부화 방법

5 유생사육

유생사육 방법은 지수식과 유수식으로 나눌 수 있는데, 지수식과 유수식을 복합적으로 사용하는 것이 매우 편리하다(그림 2-10). 즉, 전체 사육수를 교환해야 하는 지수식의 불편함을 보완하고 지속적인 환수로 부착기 유생의 생존율이 매우 높은 유수식의 장점을 접목하는 방법이다. 부화 유생은 수조에 수용한 후 매우 활발한 섬모운동을 하며 유각은 형성되지 않은 단계로 유영 능력이 매우 뛰어나다. 상태가 좋은 경우 수조 내에서 주상형태(수직기둥모양의 띠)를 이루는데 매우 건강한 상태라고 할 수 있으나 주상이 이루어지지 않아도 큰 문제는 없다.

1) 수용밀도

수용밀도는 지수식일 때 1~2 개체/mL, 유수식일 때 2~3 개체/mL이나 두 가지를 병행할 때는 2 개체/mL 정도가 적당하다.

2) 수정부터 채묘기 유생까지 소요시간

참전복의 경우 수정으로부터 채묘기 유생까지 소요시간은 유효 적산수온으로 계산하면 20℃ 일 때 3.5일(85시간), 17~18℃ 일 때 4일(96시간), 14~16℃ 일 때 5일(120시간) 정도 소요된다. 따라서 채묘 5~6시간 전에 유생을 수거하는 것이 바람직하다.

3) 유생사육 방법

유생사육 기간별 관리방법 중 지수식과 유수식을 병행한 관리요령을 요약하면 아래와 같다.

〈유생사육 관리방법(14~16℃ 기준)〉

- ① 1일째: 지수식으로 유지하여도 문제는 없으나 가능하면 최소한의 에어를 공급하는 것도 무방하다. 조도는 어두울수록 좋으며, 가능하면 50 Lux 이내로 한다.
- ② 2일째: 유수식으로 전환하고, 유수량은 일간 1/4회전 정도로 하고, 공기는 밸브를 1/4 정도 열어 소량 공급한다.
- ③ 3일째: 유수량은 일간 1/2회전 정도로 하고, 공기는 밸브를 1/2 정도 열어 공급한다.
- ④ 4일째: 유수량은 일간 1회전 정도로 하고, 공기는 밸브를 3/4 정도 열어 공급하며, 수정 후 114시간 정도 경과하였으면 수거 후 채묘를 실시한다.

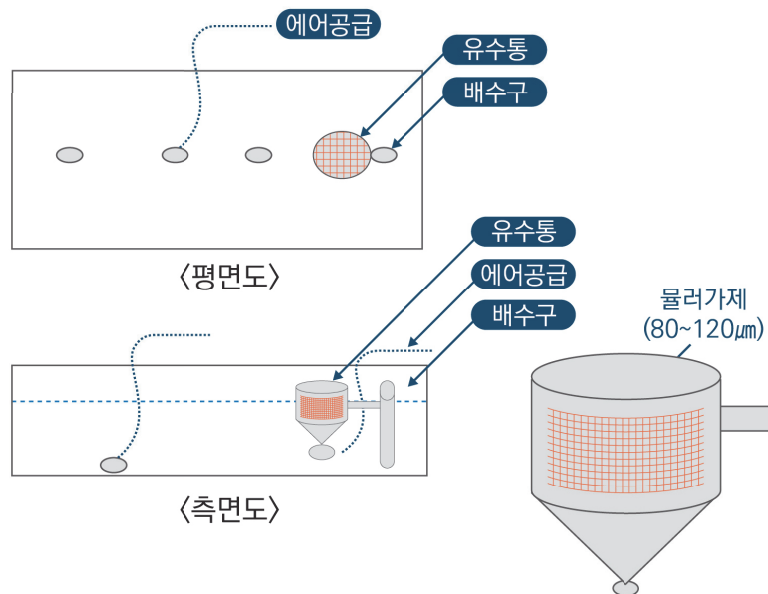


그림 2-10 지수 + 유수식 유생사육 관리 모식도

4) 유생의 착저, 변태 및 채묘

가. 채묘시기

채묘란 부착기 유생을 채묘 판에 알맞은 밀도로 부착시키는 과정을 말한다. 이 과정은 종묘생산에서 가장 중요한 과정이다. 부착치패 생산을 위해서는 한 장의 채묘판에 몇 마리를 부착시키는가에 따라 종묘생산의 성공 여부가 결정되기 때문이다.

채묘 후 부착까지는 유생, 수질 및 부착규조류의 상태에 따라 수회 반복하여 부착이 되고 부착 후 변태까지는 2~3일이 소요된다. 변태가 종료되면 입(치설)이 열리고 먹이를 탐색하기 시작한다(그림 2-10).

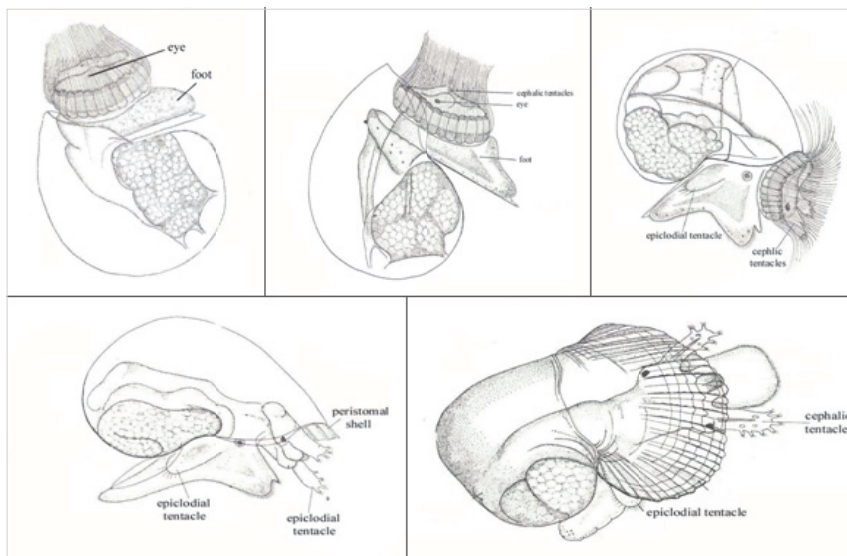


그림 2-11 부착기 유생의 부착 및 변태 과정

나. 채묘 방법

채묘 방법(14~16℃ 기준, 최종 생산량 채묘기 한 장 당 5~6마리)은 아래의 설명과 같다.

- ① 채묘 당일: 유생을 수거하여 정확하게 개수하고 각 채묘기 당 100마리를 계산하여 살포한다. 일반적으로 채묘율은 기형 및 부착규조류의 상태에 따라 다르지만 아래의 방법으로 채묘를 실시하면 50% 이상 채묘판에 부착이 가능하다. 즉, 채묘율을 50% 정도로 가정하면 100 마리를 살포하면 50마리 정도가 부착한다. 공기는 모두 잠근 상태에서 살포하고, 살포 후 밸브를 100% 열어 약 5분간 폭기하여 유생이 수조 전면에 고르게 퍼지도록 한 뒤, 밸브를 1/4 정도로 약하게 공급한다. 이러한 방법을 통해 전복 부착기 유생이 고르게 부착되고, 채묘율이 높아진다. 산소를 공급하지 않으면 부착기 유생의 부유 능력이 없어 채묘율이 급격히 낮아져 바닥에 거의 부착이 되므로 반드시 공기를 공급하여야 한다. 채묘기 유생은 부착규조류, 수질 환경에 따라 차이가 있으며, 한번 만에 모두 부착되는 것이 아니라 수회 반복 후 부착이 완료되므로 야간에 통기를 중지하고 유생의 부착 상태를 확인하는 것이 중요하다.
- ② 채묘 1일째: 이 기간에는 부착유생이 치패로 변태하는 과정으로 소요시간은 48~72시간 정도 소요된다. 지수식으로 유지하고 공기는 밸브 1/4 정도 열어 안정적으로 소량 공급한다. 이때에는 가능하면 안정을 취하는 것이 바람직하다. 이 기간에 변태에 성공하는 비율은 50% 내외로 생각된다.
- ③ 채묘 2일째: 채묘 후 48시간이 경과되면 부착 상태를 확인하고 유수를 개시한다. 유수량은 일간 1/4회전 정도로 하며, 공기는 밸브 1/2 정도 열어 공급한다. 이 기간에 주의할 점은 초기 부착규조류 배양 시 가능하면 배양수를 여과하는 것이다. 일반적으로 사용하는 모래여과 방식은 50 μ m 이상만 걸러지므로 50 μ m 이하의 부니, 패류 유생, 요각류 알 등이 통과하여 전복 초기치패의 먹이 경쟁 및 유해생물로 영향을 미칠 수 있으므로 최소 1개월 정도라도 여과를 해주는 것이 효과적이다. 여과방식은 각 현장의 특성에 따라 다르지만 부직포를 이용한 부직포필터가 사용에 편리하고, 필터의 여과 구경은 약 5~10 μ m 정도가 적당하다.

6 초기치패 사육

초기치패는 채묘 이후부터 해조류를 공급하여 사육하는 이전까지의 치패를 말하고, 기간은 채묘를 4~5월에 하였다면 6월 중순 배합사료 공급 전까지이며, 각장 크기는 대략 0.5~5mm로 부착규조류를 주요 먹이원으로 하는 기간이다. 따라서 초기치패 사육에는 부착규조류의 관리가 매우 중요하다.

1) 광조절

광조절은 오전 10시경 3,000 Lux에서 오후 1시경 6,000 Lux 정도이고, 최대 10,000 Lux 이하로 조도를 유지하는 것 매우 중요하다. 초여름의 사육환경은 강한 광선과 사육수온이 높은 환경에서 치패가 성장하기 때문에 이들 두 요인의 보상 작용으로 치패는 더욱 스트레스를 받게 된다. 따라서 이 시기에는 부착규조류의 발생에 영향을 주지 않는 범위 내에서 차광망 등을 이용하여 최대한 어둡게(3,000~6,000 Lux) 해주고 물 공급량은 점진적으로 증가시켜 치패의 스트레스를 감소시킬 필요가 있다.

2) 유수 방법

유수방법은 초기 치패사육 시 지역마다 해수의 영양염류 조성이 다르므로 그 양을 결정하기가 어려우나 너무 많은 유수를 할 필요가 없으며, 남해안의 종묘생산 수조(사각 콘크리트 수조 10 m²)의 경우 1일 0.5~1회전이 적절하다고 판단된다. 유수량을 많이 하면 유속이 빨라지고, 너무 빠른 유속은 부착규조류 배양 시 도움이 되지 않는다.

부착규조류의 해수 영양염류 흡수는 유수량에 비례하지 않으며, 필요 시 영양염류(비료)를 공급하는 것이 효과적이다.

3) 공기 공급

공기공급은 해수의 교반을 위해서 비교적 강하게 할 필요가 있으나 공기방울이 광선을 차단하여 평판 혹은 파판의 하단부에 부착규조류 발생이 느려지는 경향이 있다. 따라서 공기 밸브를 50~60%로 조절하여 배수로 쪽까지 고르게 통기가 될 수 있는 정도면 적정하다고 판단된다.

4) 여과 방법

여과 방법은 현장의 해수에 따라서 다르나 초기 치패사육 시 여과를 해야 한다. 첫번째 이유는 부니가 평판(파판)에 붙으면 부착규조류 증식 및 초기치패가 부니를 기피하여 이동하는데 장애요인이 된다. 두번째는 여과를 제대로 하지 않을 경우 초기 치패가 잘 먹지 못하는 녹조류 및 대형조류가 유입되어 종의 천이가 바뀌어 부적절한 먹이가 대량발생 할 수가 있다. 세번째는 이 시기(5~6월)에 패류(고둥, 담치 류)의 산란기로 알 및 유생이 유입되어 먹이 경쟁이 일어날 가능성이 매우 높다. 특히, 이 기간에 요각류가 유입될 가능성이 많으므로 적어도 6월 중순까지 여과하는 것이 유용하다. 여과하는 방법은 종묘생산이 대량화됨에 따라 사용하기에 매우 어려움이 있다. 따라서 백필터(부직포, 10~20 μm)를 사용하여 각 종묘배양장의 실정에 맞게 사용하는 것이 유용할 것으로 본다.

5) 사육수온

초기치패 사육에 있어서 사육수온은 여러 가지 환경 요인 중 매우 중요한 부분이다. 전복류의 서식 적수온은 종류에 따라서 약간의 차이가 있을 수 있다. 참전복의 성장 적수온은 20~24℃ 범위이며, 치패의 생리적 허용온도의 상한은 22.5℃ 부근이기 때문에 수온이 25℃를 넘지 않는 범위 내에서 종묘생산을 하는 것이 좋다.

6) 전도작업과 먹이관리

초기치패 사육 시 주요 먹이원인 부착규조류를 배양할 때에는 전도작업을 반드시 하여야 한다. 부착 직후 초기치패(각장 0.5mm)가 부착규조류를 500~1,000개를 먹는다면, 각장 크기가 1mm일 경우 먹이량이 2배 아니라 4배인 2,000~4,000개의 부착규조류를 먹으며 성장하기 때문에 개체의 크기에 따라 기하급수적으로 먹이량을 요구한다. 그러므로 앞에서 언급한 적정량(변태 후 25개 이내)의 채묘가 매우 중요하다. 이러한 원인으로 인해 6월 중순 각장 3~4mm 정도가 되면 부착규조류가 부족해진다. 이것을 극복하기 위해서는 한달 전에 예측하여 부착규조류를 최대한으로 배양 하는 것이 초기 치패 사육에서 가장 중요한 기술이다.

따라서 채묘 15일 후 옷자람 부착규조류를 청소하면서 전도작업을 실시하여 한달 후 먹이 부족 현상을 미리 준비하여야 한다. 전도방법은 채묘 완료 후 15일 경과 시 채묘판을 180° 뒤집어 주고, 다시 15일 후 90° 전도한 뒤 마지막에 180°를 돌려주며, 이러한 방법을 주기적으로 반복한다. 전도작업은 부착규조류의 옷자람을 막아주고, 채묘판 전체를 활용하게 되므로 장마철 및 고수온 시기에 대량폐사를 막아줄 수 있는 매우 중요한 작업이다. 그러나 더 중요한 것은 적정량(변태 후 25개 이내)을 채묘하는 것이 종묘생산의 승패를 좌우한다. 따라서 이 시기에 치패량이 너무 많다면 떨어주거나 분조를 하여 적정량으로 조절하여 주는 것이 바람직하다.

7) 영양염류 공급

5~6월에 부족한 부착규조류를 최대한 배양하기 위해서는 영양염류를 공급하는 것이 매우 효과적이다. 특히 제주도와 동해안의 경우와 같이 외해성 해수에서는 영양염류가 매우 부족하기 때문에 공급할 필요가 있다. 특히, 이러한 지역에서는 DIN(총 질소), DIP(총 인)이 부족한 사례가 있으므로 부족한 부분을 보충해 주어야 한다. 앞서 언급한 채묘 후 간접 공급 방식(저장탱크나 인수로에서 공급)을 사용하는 것이 바람직하다.

공급 농도는 농업용 비료인 요소를 사육수 1 m³ 당 50 g(50ppm) 정도로 하고 저장 탱크나 인수로에 넣을 수 없는 경우는 사육수조에 작은 비닐봉지를 이용하여 10 m³ 당 500g을 주수구에 걸고, 하단부에 작은 구멍을 내어서 서서히 녹아 들어가게 하는 것이 매우 중요하다(그림 2-12). 이러한 방법은 5월 하순부터 6월 하순까지 장마가 오기 전에 하면 효율적이고, 장마철 이후에는 육지로부터 영양염류가 다량 공급되기 때문에 지속적으로 사용할 필요는 없다.

영양염류 공급 방법

영양염류(비료)공급?

- 직접 살포 방식(전복 채묘전까지 가능)
- 간접 공급 방식(채묘 후 저장탱크나 인수로에서 공급)

영양염류 공급량?

- 요 소 : 1톤당 50~100g(전복 배양장 100Kg/천톤)
- 복합비료 : 1톤당 25~50g(분쇄기로 갈아서 사용)
- 규 산 염 : 1톤당 50mL

그림 2-12 초기치패 사육기간에 부착규조류 영양염류 공급

8) 박리

부착생활을 하는 전복은 선별, 밀도 조절, 출하 등을 할 때 부착기질(전복집, 쉼터)로부터 떼어내는 과정이 필요한데 이를 ‘박리’라고 한다. 박리 방법으로는 물리적 방법과 화학적 방법이 있는데, 최근에는 화학약품을 이용한 화학적 방법에 의한 박리를 주로 사용하고 있다.

가. 물리적 방법에 의한 박리

직접 떼어내는 방법, 수온차를 이용한 수온박리법, 흔들처리법 등이 있다.

나. 화학적 방법에 의한 박리

과거에는 우레탄(urethane), 파라아미노안식향산에틸(*para*-aminobenzoic acid ethyl), 기타 마취제 등 화학물질 또는 화학물질이 포함된 제품을 사용하여 박리를 한 경우도 있었으나 규제 대상에 해당하는 물질들이므로 현장에서 사용은 하지 않아야 한다. 최근 구연산, 허브(herb), 니코틴아미드(nicotinamide) 등이 첨가된 전복 박리제가 시판되고 있으므로 이를 규정에 따라 사용하여야 한다.

〈박리제 효과 실험(김 등, 2012; 2013a & b)〉

주요성분	실험 농도 (g/L)	pH	박리율, % (박리수/총수)	회복시간
구연산/비타민C (Citric acid/vitamin C)	31.25	2.55	81.2	1분26초
	37.5	2.32	93.5	1분27초
허브(herb)	14	2.17	83.2	1분41초
	20	1.97	95.0	2분59초
니코틴아미드 (Nicotinamide)	6	7.66	83.4	4분20초
	12	7.60	90.3	6분42초

- 수온 22~23℃에서 실험 수행
- 폐사율(박리제 처리 7일간 조사)은 모든 실험구에서 3.3% 이하였음
- 박리 원리
 - 구연산(Citric acid)/비타민C, 허브는 낮은 pH에 의하여 박리
- 박리제 농도가 높을수록, 처리시간이 길수록 회복기간이 길어짐
 - ☞ 수온, 전복 크기, 처리 방법 등에 따라 박리 효과가 달라지므로 적정 농도와 시간을 찾아야 함

7 후기치패 사육

후기치패는 6월 중순부터 배합사료 공급을 개시하여 11월 초 종묘(각장 2.5cm 내외)를 수확하기까지의 기간을 말하며, 각장 크기는 대략 0.5~2.5 cm 정도로 배합사료를 주요 먹이원으로 하는 기간이다.

그러나 배합사료만 의존하여 치패를 사육할 시에는 치패의 성장은 좋으나 필수아미노산 등의 영양성분이 부족하여 건강한 종묘를 생산하기에는 많은 문제점이 있다. 따라서 배합사료를 공급하면서 부착규조류 배양을 지속적으로 관리·공급하여 건강한 종묘를 생산하는 것이 바람직하다.

1) 먹이 공급

배합사료 공급 방법은 각 지역마다 조금씩 다르나 6월 중순에 미립자사료로 해조분을 공급한다. 이때 공급하는 방법은 평판이나 파판 아래에 쉘터를 설치하여 수조 전면 에 뿌려준다. 미립자사료(2~4 μ m)의 경우 평판 10만 장당 1 kg 정도를 공급하나 미립자의 특성상 부상하여 유실되는 경우가 있으므로 공기 공급을 중단하고 뿌리는 것이 효율적이나 부착규조류 양이 충분하면 굳이 미립자사료를 공급할 필요가 없다.

이후 6월 하순쯤 치패 각장이 0.5cm에 도달하면 먹이원이 부족하므로 배합사료 공급을 개시하는 것이 유리하다. 예를 들어 수조 10 m³(15,000장)에 평판 당 치패(각장 0.5 cm, 0.1~0.2 g)가 20 마리 정도, 치패 수량을 약 20,000 마리로 계산하여 수조 당 100 g 정도로 공급하나 이 시기 치패의 활동 반경이 매우 좁으므로 200 g 정도 고르게 뿌려서 초기 먹이 붙임을 유도하여야 한다. 먹이붙임이 되었다고 판단되면 통상 1호 사료(2~3mm)를 공급하는데 각 회사마다 조성 및 영양성분이 다르므로 초기에 사용

되는 배합사료는 고급사료를 사용하여 공급하는 것이 먹이붙임에 좋다.

사료공급 시간은 오후 3~4시경에 공급하는 것이 효율적이고, 공급량은 바닥을 수시로 점검하여 조절하는 것이 바람직하다. 특히 과다 공급은 사료 손실 및 수질 오염을 일으킬 수 있으므로 1일째는 100%, 2일째 75%, 3일째 50%로 공급량을 조절하여 공급하는 것이 효율적이라고 판단된다.

사육수조 청소는 2~3일마다 하는 것은 치패에 과다한 스트레스를 많이 주므로 4~6일에 1회 정도 청소를 하고, 1~2일은 절식시켜 치패의 장을 비우게 하는 것이 사료의 절감은 물론 사료 효율을 높일 수 있는 방법이 될 수 있으며, 이 절식기간에 부착규조류를 먹을 수 있도록 하는 것이 건강한 종묘를 생산할 수 있는 방법으로 생각된다. 그러나 여름철 고수온 시기에는 사료의 부패에 의한 폐사를 막기 위해서는 청소 간격을 2~3일로 조절할 필요가 있다.

2) 광조절

여름철 고수온 시기의 광조절은 오전 10시경 6,000 Lux에서 오후 1시경 10,000 Lux 정도이고, 최대 10,000 Lux 이하로 조도를 유지하는 것이 바람직하다. 강한 광선은 하절기 사육수온의 증가에 따른 보상 작용으로 치패는 더욱 스트레스를 받게 된다. 따라서 이 시기에도 후기 부착규조류의 발생이 부족하지 않는 범위 내에서 차광망 등을 이용하여 적정 조도로 유지해주고 주수량은 점진적으로 증가시켜 치패의 스트레스를 감소시킬 필요가 있다.

3) 유수 방법

유수 방법은 하절기 고수온 시기에 용존산소가 급격히 감소하므로 가능한 한도 내에서 최대한 유수를 하는 것이 바람직하다. 전복 치패의 경우 5mg/L 이하에서는 호흡이 곤란하고 먹이활동이 떨어진다. 따라서 고수온 시기에 액화산소나 벤츄리를 사용하여 용존산소를 올리는 것도 좋은 방법이라 할 수 있다.

4) 공기공급

공기공급은 용존산소를 올리기 위한 목적으로는 최대한 공급해 주는 것이 좋을 것으로 판단되고, 가능하면 에어스톤 등의 입자가 작은 공기 방울을 사용하여 용존산소가 잘 녹아 들어가게 설치하는 것이 좋다. 따라서 공기 밸브의 90~100%로 조절하여 강한 통기가 될 수 있도록 하는 것이 유용하다. 특히 공기 밸브를 통기가 잘되는 음지에 관리하여 조금이라도 저온을 유지할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

5) 여과 방법

여과방법은 후기치패 사육 시에는 여과 보다는 유수량이 중요하기 때문에 직수로 공급하는 것이 효율적이다. 후기치패 사육은 하절기에 주로 이뤄지므로 고수온 시기를 무사히 넘기는 것이 관건이다. 참전복의 성장 적수온은 20~24℃ 범위이므로 수온이 25℃를 넘을시 용존산소를 높여서 관리하는 것이 좋다.

6) 기타 관리

후기치패 사육 시 주요 먹이인 배합사료에 치중하다보면 부착규조류 배양을 등한시 하게 되어 소위 말하는 백판(부착규조류가 탈락되어 없어진 평판)이 되는데 이때에도 조도는 최대 10,000 Lux를 넘지 않게 관리하여야 하며, 상태에 따라 전도작업을 하여 전면적인 부착규조류를 배양하여 치패에 영양을 공급하여야 한다. 부착규조류를 배양하는 데는 특별한 경비가 들지 않고 건강한 종묘생산이 가능하게 하므로 지속적 관리가 필요하다. 이 시기에 치패의 양이 너무 많다면 떨어주거나 분조를 하여 적정량으로 조절하여 주는 것이 바람직하다.

8 시기 및 계절별 사육관리

1) 어미 성숙관리(11~3월)

어미용 전복은 11월부터 가온하여 이듬해 3월 중 종묘를 생산하는 방법으로 최근 가장 많이 사용되고 있다. 산란 유발 향상 및 조기 채란을 위해 성숙 유효 적산수온 개념을 적용해 성숙 관리를 하는 것으로 기존 시설을 활용하여 현장적용 가능한 관리방법을 제시하고자 한다(응용가능).

월	관 리 방 법
11~3월	● 가온사육 - 가온사육은 보일러, 전기히터, 히터펌프 등 여러 가지 방법이 가능하며, 사육수온을 1주일에 1℃ 정도 올려서 15~16℃로 조절함 주) 수온조절 범위 내에서 가능하면 환수율을 높이는 것이 필요함
	● 사육밀도 [육상수조 기준(1.2×8×0.9 m)] - 일반 쉘터(10 개 기준) - 입식량(10 마리/kg 기준): 500마리 내외, 암수 분리사육 주) 2월경 성숙 확인하여 완전분리 사육 필요함
	● 먹이공급 - 공급량: 생미역 50~75 kg/10일(전중 당 섭식률은 10~15% 내외) - 공급방법: 잔류 먹이 반드시 청소 후 먹이공급 주) 잔류먹이가 있으면 녹아서 수질오염 초래함
	● 사육관리 요령 - 조도: 50 Lux 이하 (시판 50% 차광막 2겹) - 환수율: 5~10 회전/일 - 공기공급은 밸브를 50% 내외로 조절함 - 청소: 10일 간격 주) 조도가 높으면 스트레스로 성숙이 지연될 수 있음 주) 입식 후 청소 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함

※ 사육수온 17℃일 때 어미는 일간 먹이 섭취량이 5% 이상 유지되어야 정상적인 성숙 관리가 이루어지기 때문에 섭취량이 저조한 경우에는 원인을 조사하여 채란에 지장이 없도록 사전에 성숙 어미의 확보 방안, 수정란 구입 등 적절한 대책을 세워 두어야 한다.

2) 부착규조류 배양(1~3월)

3월 중에 채란을 하고자 하면 1월부터 부착규조류 배양을 준비하여야 한다. 특히 수온이 낮아 배양이 늦어지면 전복 부착유생이 정상적으로 발생되지 않으므로 사전 준비를 철저히 하여야 한다(채란일에 맞추어 조절 필요).

월	관 리 방 법
1~3월	● 자연해수 유수배양 - 자연해수는 지역에 따라 수온, 부착규조류 종 조성이 다르지만 7~12℃로 부착규조류의 부착 및 성장이 매우 늦으므로 약 2개월 정도 배양이 필요함 주) 가능하면 수온을 15~16℃로 조절하여 배양하면 1개월에 가능
	● 광조절 관리(매우 중요함) - 조도: 3,000 Lux 이하 (시판 50% 차광막 2겹) * 오전 10시 기준으로 오후 1시 최대 6,000 Lux 이하 요함 주) 조도가 너무 높으면 대형규조 발생 우려됨
	● 해수여과 관리 - 고압모래 여과기: 50 μm 내외 여과 - 정밀여과: 5~10 μm(백필터 혹은 카드리치 사용) 주) 일반적으로 부니 및 패류 유생은 10~50 μm로 고압모래 여과기는 통과되므로 부착규조류 배양 시에는 10 μm 이하로 여과가 필요함

월	관 리 방 법
	● 환수 및 공기공급 방법 - 환수율: 0.5~1 회전/일 - 공기공급: 밸브 열림의 10~20% 내외로 조절함 주) 환수율은 여과해수를 사용할 경우 다량을 공급할 필요는 없고, 영양염류인 비료를 공급하여 배양하는 것이 효율적으로 판단됨
	● 비료(배지) 공급 방법 - 비료공급: 배양 개시 시 수조(10톤) 당 비료 *500g 뿌려 줌 * 비료 500 g = 요소 400 g + 복합비료 100 g

3) 채란 및 초기 치패 사육관리(3~6월)

종묘생산 중 채란, 유생사육, 채묘 및 치패로 변환한 후 부착규조류를 주요 먹이로 하여 성장하므로 효율적 채란, 채묘 밀도 관리, 부착규조류 관리, 배합사료 공급 등에 주의하여야 한다(지역, 시기에 따라 다소 차이가 있으니 조절가능).

월	관 리 방 법
3~6월	● 채란(산란유발) 및 수정 - 간출자극: 음건 30분, 양건 30분 - 수온자극: 어미사육 수온에서 +5℃ 올림 - 자외선자극: 자외선(UV) 등을 통과시킨 해수 공급 주) 산란유발은 자극보다는 어미의 성숙도가 가장 중요함
	● 유생사육 - 환수율: 0.5~1 회전/일 - 공기공급: 밸브 열림의 10~50% 내외로 조절함 주) 유생사육 시 가능하면 조도 50 Lux 이하로 관리하는 것이 용이함

월	관 리 방 법
	● 채묘 및 사육밀도 - 채묘판 당 100 마리 기준으로 투입하는 것이 적절함 주) 채묘(100마리/판) → 부착(50마리/판) → 변태 후 생존 치패(25마리/판)
	● 초기 치패사육 관리 - 조도: 3,000~6,000 Lux(시판 50% 차광막 2겹) * 오전 10시 기준으로 오후 1시 최대 6,000 Lux 이하 요함 주) 조도 6,000 Lux 이상일 경우 미세규조배양이 억제되고 대형규조 발생 우려됨 - 환수율: 3~6 회전/일 주) 환수율은 여과해수를 사용할 경우 기능하면 높게 하는 것이 패각 성장에 유리함 - 공기공급: 밸브 열림의 50~100% 내외로 조절함
	● 배합사료, 해조분 공급 방법(부착규조류 → 배합사료) - 먹이공급량: 파판 2,000장 당 100~200 g(각장 평균 0.5 cm 내외) - 공기공급: 중단 후 먹이 공급하고, 1시간 경과 후 공기공급하면 유실이 적어 효율적임 주) 배합사료 공급 후에는 3~5일 간격으로 부패방지를 위해 청소가 필요함

4) 후기치패 사육(7~10월)

후기치패 사육은 부착규조류와 배합사료를 주요 먹이로 하는 과정으로 시기에 따른 관리와 먹이 공급을 필요로 한다(지역, 시기에 따라 다소 차이가 있음).

월	관 리 방 법
7~10월	● 후기치패 사육 관리(7~8월) - 조도: 7,000~8,000 Lux(시판 50% 차광막 1겹, *1/2겹) * 1/2겹: 차광막을 반 정도만 설치 하는 것 주) 조도 10,000 Lux 이상일 경우 규모배양이 억제되고 대형규모 발생 우려됨 - 사육밀도: 파판 당 약 15마리 이하가 적절함 주) 초기 치패(25 마리/판) → 후기 치패(15 마리/판) - 환수율: 8~12 회전/일 주) 환수율은 여과해수를 사용할 경우 기능하면 높게 하는 것이 패각 성장에 유리함 - 공기공급: 밸브 열림의 50~75% 내외로 조절함 주) 액화산소 및 산소발생기 등으로 산소를 공급하면 유효하나 공급이 되지 않으면 용존산소가 급격히 떨어져 폐사발생의 원인으로 작용할 수 있음 - 먹이공급량: 파판 2,000 장 당 100~200 g(각장 평균 1 cm 내외) 주) 배합사료 공급 후 2~3일 간격으로 부패방지를 위해 청소가 필요함
	● 후기치패 사육 관리(9~10월) - 조도: 6,000~10,000 Lux(시판 50% 차광막 1겹, *1/2겹) - 사육밀도: 선별작업 후 *육상수조 당 15,000마리 이하가 적절함 * 육상수조(1.2×8×0.9 m), 일반 헬터(단 면적 0.9 m², 10개 기준) - 환수율: 12~24 회전/일 - 공기공급: 밸브 열림의 90~100% 내외로 조절함 - 먹이공급량: 15,000 마리당 200~300 g(각장 평균 2.5 cm 내외) 주) 배합사료 공급 후 2~3일 간격으로 부패방지를 위해 청소가 필요함

5) 수확 및 분양(11)

11월 하순에 수확 및 분양을 목적으로 하는 경우 11월 중에 큰 개체를 선별하고, 조도, 사육밀도, 공기공급 등에 대한 관리를 철저히 하여야 한다(지역, 시기에 따라 다소 차이가 있으니 조절가능).

월	관 리 방 법
11월	● 선별 후 치패사육 관리(11월) - 조도: 9,000~12,000 Lux(시판 50% 차광막 1겹) 주) 조도 10,000 Lux 이상일 경우 이상 규조 발생 우려됨 - 사육밀도: 선별작업 후 *육상수조 당 10,000마리 이하가 적절함 * 육상수조(1.2×8×0.9 m), 일반 쉘터(단 면적 0.9 m², 10개 기준) - 환수율: 12~24 회전/일 - 공기공급: 밸브 열림의 90~100% 내외로 조절함 - 공급량: 10,000 마리 당 300~500 g(각장 평균 2.5 cm 내외) 주) 해상가두리 분양 전에 약 1개월 정도 해조류(분말 김 등)와 배합사료를 1:1 비율로 먹이를 공급하면 전복의 껍질의 색상이 갈색으로 나타나고, 해상가두리 중간육성 시 먹이 전환이 용이함

※ 12월 이후의 사육관리는 2016년 6월 남해수산연구소에서 발간한 “전복 육상수조 중간육성 사육관리 매뉴얼”을 참조 바랍니다.



03

중간육성

1 중간육성의 필요성

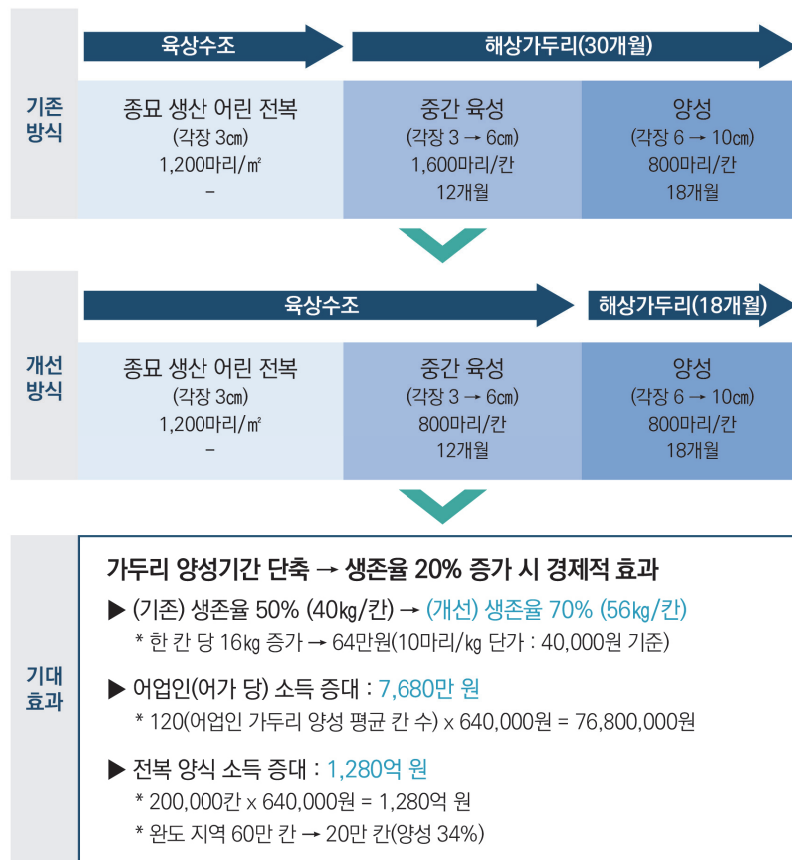
육상수조 양식장의 어린 전복(각장 3cm 전후)을 가두리로 옮겨 사육할 경우, 환경변화에 의한 폐사 발생 가능성이 높다. 이러한 문제점은 육상수조 양식장에서 사육 기간을 연장할 경우 해결 가능성이 높으므로 육상과 해상가두리에서의 사육 조건이 충족된다면 검토할 필요성이 있다.

해상가두리 시설 밀집에 따른 조류소통 불량 및 어장환경 악화 등으로 폐사율이 증가함에 따라 단위 생산성이 저하되고 있다. 각장 3cm 내외의 어린 전복을 해상가두리에 입식하여 출하할 때까지 사육기간이 30개월 이상 소요되어 생산성이 떨어지고 있으므로 육상수조에서 어린 전복을 중간육성한 후 해상가두리에 입식하여 사육하는 것은 양성기간을 단축(30개월→18개월)시키고 생존율을 향상시켜 양식 생산성을 높일 수 있어 중요하다. 또한, 양성기간 단축에 따른 어가 경영효율의 향상을 기대할 수 있으며, 전복양식 과정을 종자생산, 중간육성 및 가두리양식으로 분업화함으로써 중간육성업에 대한 새로운 일자리 창출 가능성도 있다.

2 중간육성 현장실험

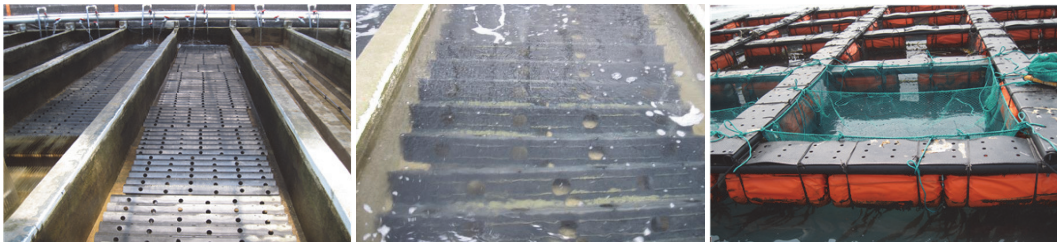
우리나라에는 중간육성에 대한 체계가 되어있지 않아 중간육성을 위한 현장실험으로 ① 어린 전복의 육상수조와 해상가두리 생산성 비교, ② 쉼터 및 육상수조 형태에 따른 생산성 비교, ③ 먹이종류별 중간육성 전복의 해상가두리 생산성 비교, ④ 육상수조 고밀도 배양용 쉼터 개발, ⑤ 육상수조 먹이종류별 성장, 그리고 ⑥ 어린 전복의 적정 배합사료 공급량 조사 등을 체계적으로 연구하여 결과를 분석하여 정리하였다.

표 3-1 전복 육상수조 중간육성 기술개발 개요

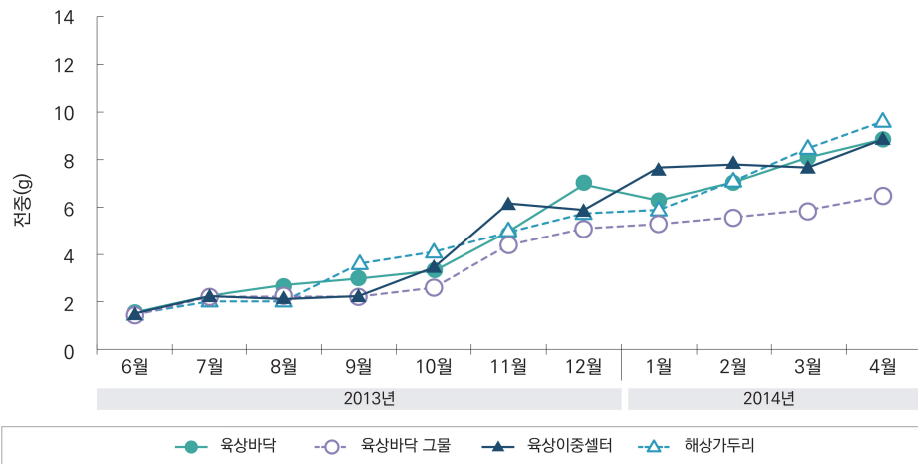


1) 어린 전복의 육상수조와 해상가두리 생산성 비교

- 기간: 2013. 6. 4~2014. 4. 16(10 개월)
- 장소: 전남 완도군 완도읍 00수산(육상), 노화읍 삼마리(해상)
- 시험구: 육상바닥, 육상바닥그물, 육상이중철타, 해상가두리
- 크기 및 사육량: 각장 2.5 cm, 10,000 마리/9.6 m²



■ 결과



■ 결과요약

(성장률) 해상가두리, 육상바닥, 육상이중철타, 육상바닥그물 순으로 높았음

(생존율) 육상바닥, 육상이중철타, 육상바닥그물, 해상가두리 순으로 높았음

※ 해상가두리의 경우 성장은 빠르나 생존율이 낮아서, 육상에서 중간육성 후 해상가두리로 입식하는 것이 보다 효과적임

2) 쉼터 및 육상수조 형태에 따른 생산성 비교

- 기간: 2013년 12월~2014년 10월(10 개월)
- 장소: 전남 여수시 돌산읍 죽포리
- 시험구: 1단(쉼터), 2단(쉼터), 3단(쉼터), 호주식 A(골판), 호주식 B(평판)
- 크기 및 사육량: 각장 2.8 cm, 10,000 마리/9.6 m²



얇은바닥
(호주식A_골판)

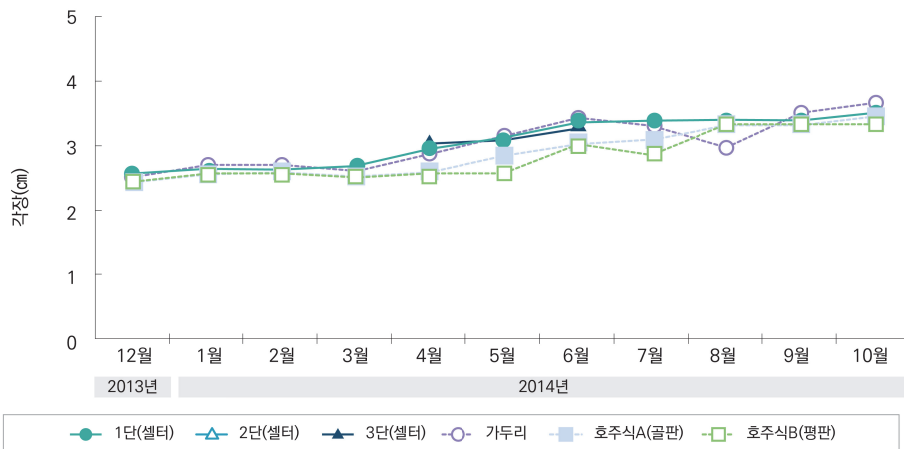


자동식 수차



얇은바닥
(호주식B_평판)

■ 결과



■ 결과요약

(성장률) 2단(쉼터) 및 호주식 A(골판)가 높았음

(생존율) 호주식 B(평판)가 가장 낮았음

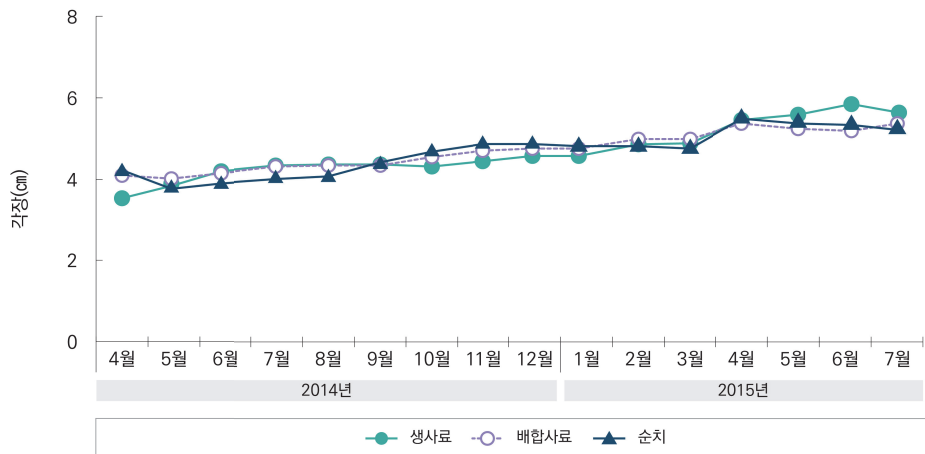
※ 쉼터 2단이 양식경제성 측면에서 가장 효과적인 방법으로 판단됨

3) 먹이종류별 중간육성 전복의 해상가두리 생산성 비교

- 기간: 2014년 4월~2015년 7월(15개월)
- 장소: 전남 완도군 노화읍 삼마리
- 시험구: 생사료, 배합사료, 순치(배합사료 후 1개월 해조류 공급)
- 크기 및 사육량: 각장 4.0 cm, 800 마리/칸(2.4×2.4 m)



■ 결과



■ 결과요약

(성장률) 초기에는 생사료구가 높지만 8개월 후 성장차이가 거의 없었음

(생존율) 가두리 입식 후 실험구간 생존율 차이가 나타나지 않았음

※ 성장은 사료종류보다 가두리 여장환경과 사육관리 방법에 따라 차이가 나타나는 것으로 생각됨

4) 육상수조 고밀도 배양용 쉘터 개발

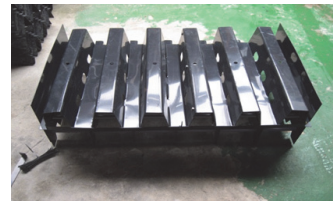
- 기간: 2014년 2월~2014년 11월(9개월)
- 장소: 전남 완도군 완도읍 00수산
- 시험구: 일반 쉘터, 입체형-보급, 입체형-기준
- 크기 및 사육량: 각장 3.9 cm, 10,000 마리/9.6 m²
 - ▶ 전북 중간육성용 고밀도 입체형 쉘터(특허출원번호:10-2014-0079990)



일반 쉘터

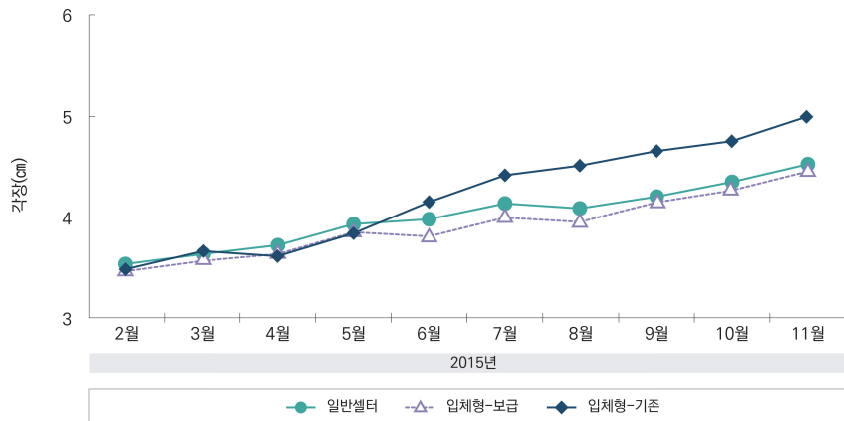


입체형-보급



입체형-기준

■ 결과



■ 결과요약

(성장률) 입체형-기준, 입체형-보급, 일반 쉘터 순으로 높았음

(생존율) 쉘터별 차이가 나타나지 않았음

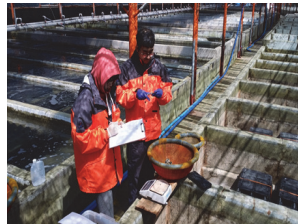
※ 경제성 고려하면 기존의 일반 쉘터 보다 입체형 쉘터가 2배 이상 생산성이 높을 것으로 판단됨

5) 육상수조 먹이종류별 성장

- 기간: 2015년 2월~2015년 12월(10 개월)
- 장소: 전남 완도군 완도읍 00수산
- 실험구: 배합사료, 건미역, 건다시마, 염장미역, 염장다시마
- 크기 및 사육량: 각장 3.5 cm, 4,400 마리/9.6 m²



실험 사육수조

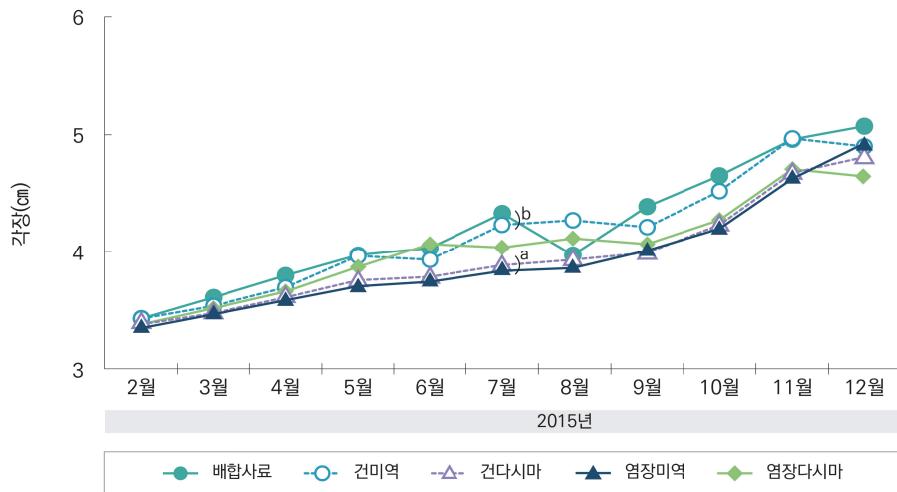


성장조사



중간육성 전복치패

■ 결과



■ 결과요약

(성장률) 배합사료, 건미역, 건다시마, 염장미역, 염장다시마 순으로 높았음

(생존율) 염장미역, 건미역, 배합사료, 건다시마, 염장다시마 순으로 높았음

※ 경제성을 고려하면 건미역 및 건다시마 사용이 좋을 것으로 판단됨

6) 어린 전복의 적정 배합사료 공급량 조사

- 기간: 2014년 11월~2016년 1월(14 개월)
- 장소: 남해수산연구소 생물사육동
- 실험구: 전중 당 일일공급률 기준 0.75%, 1.5%, 2.25%, 3%, 3.75%, 4.5%
- 크기 및 사육량: 각장 3.5 cm, 150~300 마리/0.4 m²



배합사료 적정 공급량 사육수조



어린전복 먹이 섭취

■ 결과

계절(월)	춘계(3~5)	하계(6~8)	추계(9~11)	동계(12~2)
적정 공급률(%)	3	3	1.5	0.75
예) 전복 6,000마리 사육기준				
- 전복 크기(cm)	3	4	4	5
- 전복 무게(g)	3	6	10	15
- 적정 먹이 공급량(g)	540	1,080	900	675

※ 하계 성장은 3.75% 공급 시 성장이 빨랐지만, 건강 및 경제성을 고려한다면 3% 공급이 적정함.

■ 결과요약

(생존율) 배합사료 공급률 실험구별로 모두 95% 이상 생존함

〈참고사항〉

상기의 실험들은 실내 소형수조에서 사육 실험한 결과로 현장 육상수조와 크기 차이가 있으므로 결과값에 다소의 차이가 있을 수 있음

3 계절별 사육관리

1) 가을철 입식 시 사육관리

당년 가을에 생산된 각장 3.5 cm 내외의 어린전복을 육상수조(콘크리트 사각수조 1.2m×8m; 수조면적 9.6㎡)에 입식할 경우, 먹이는 기존 공급중인 배합사료와 해조류(김, 다시마 등)를 1:1로 공급하는 것이 적정하다.

계절 (월)	관 리 방 법
가을철 (11~12)	● 사육밀도 [육상수조(1.2 m×8 m×0.9 m), 점유율* 30% → 60% 기준]) - 일반 쉘터 입식량: 4,000~6,000 마리 - 입체형 쉘터 입식량: 8,000~12,000 마리 * 점유율: 쉘터 단면적 대비 사육전복 패각의 면적 비율 * 입체형 쉘터 대신 기존의 일반 쉘터를 교차하여 2단으로 사용 가능함
	● 먹이공급 - 공급량: 배합사료 300~500 g/일 - 공급방법: 1일째 500 g, 2일째 300 g 공급 후 2일간 절식 * 배합사료 구성과 물성에 따라 폴림현상에 차이가 있음 * 11월 하순 생미역이 나오기 시작하면 신속히 대체 공급
	● 사육관리 요령 - 조도: 3,000 Lux(시판 50% 차광막 1겹) * 광량이 불안정 하면 스트레스에 의한 건강성 악화가 발생될 수 있음 - 환수율: 5~10 회전/일 - 공기공급은 밸브를 50% 내외로 조절함 - 청소: 5~7일 간격 주) 입식 후 청소 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함

2) 겨울철 사육관리(저수온기)

겨울철은 배합사료보다 생미역으로 전환하여 공급하는 것이 생산단가를 낮출 수 있어 경제적이다.

계절 (월)	관 리 방 법
겨울철 (이듬해 1~3)	① 해조류 공급 시 - 공급량: 생미역 5~10 kg(10일 공급량) - 공급방법: 1일째 전량 공급하나 10일 이내에 전량 섭취되도록 하고 5일간 절식 * 먹이과다 공급 시 잔류 먹이가 남아 청소하기에 어려움이 있음 특히, 과식 후 간체장 및 소화기관에 이상이 생길 가능성이 높음
	● 사육관리 요령 - 조도: 3,000 Lux(시판 50% 차광막 1겹) - 환수량: 2~4회전/일 - 공기공급은 밸브 50% 내외로 조절함 - 청소: 15일 간격
	② 배합사료 공급 시 - 공급량: 300~500 g/일 - 공급방법: 1일째 500 g, 2일째 300 g 공급 후 4일간 절식 ● 사육관리 요령 - 조도: 3,000 Lux(시판 50% 차광막 1겹) - 환수량: 4~6 회전/일 - 공기공급은 밸브 50% 내외로 조절함 - 청소: 7일 간격

3) 봄철 사육관리(수온 상승기)

봄철은 수온이 상승하는 시기로 특히 5월에 먹이 섭취가 매우 활발하므로 먹이를 충분히 공급하는 것이 적합하다.

월	관 리 방 법
봄철 (이듬해 4~6)	① 해조류 공급 시 - 공급량: 생다시마 10~15 kg(10일 공급량) - 공급방법: 1일째 전량 공급하나 10일 이내에 전량 섭취되도록 하고 5일간 절식 * 과다 공급 시 잔류 먹이가 남아 청소하기에 어려움이 있음
	● 사육관리 요령 - 조도: 3,000 Lux(시판 50% 차광막 1겹) - 환수량: 4~6 회전/일 - 공기공급은 밸브 75% 내외로 조절함 - 청소: 14일 간격
	② 배합사료 공급 시 - 공급량: 400~800 g/일 - 공급방법: 1일째 800 g, 2일째 400 g 공급 후 2일간 절식
	● 사육관리 요령 - 조도: 3,000 Lux(시판 50% 차광막 1겹) - 환수량: 6~8 회전/일 - 공기공급은 밸브 75% 내외로 조절함 - 청소: 5일 간격

4) 여름철 사육관리(고수온기)

여름철은 고수온기로 먹이섭취가 매우 활발하나 먹이인 생다시마 상태가 나빠져 빨리 부패되기 쉬우므로 먹이공급 기간을 단축하는 것이 수질오염을 줄일 수 있다.

계절 (월)	관 리 방 법
여름철 (7~9)	① 해조류 공급 시 - 공급량: 생다시마 5~10 kg(5일간 공급량) - 공급방법: 1일째 전량 공급하나 5일 이내에 전량 섭식되도록 하고 2일간 절식 * 과다 공급 시 잔류 먹이가 남아 청소하기에 어려움이 있음
	● 사육관리 요령 - 조도: 1,500 Lux(시판 50% 차광막 2겹) - 환수량: 6~8 회전/일 이상 - 공기공급은 밸브 100% 내외로 조절함 - 청소: 7일 간격
	② 배합사료 공급 시 - 공급량: 약 400~800 g/일 - 공급방법: 1일째 800 g, 2일째 400 g 공급 후 1일간 절식
	● 사육관리 요령 - 조도: 1,500 Lux(시판 50% 차광막 2겹) - 환수량: 8~12 회전/일 이상 - 공기공급은 밸브 100% 내외로 조절함 - 청소: 3일 간격

5) 가을철 사육관리(수온 하강기)

가을철은 수온이 점차 떨어지고 해조류 비생산 시기로 건미역, 건다시마 등의 먹이를 적은 양이라도 공급하여 기아 상태를 막을 수 있다.

월	관 리 방 법
가을철 (10~12)	① 해조류 공급 시 - 공급량: 건다시마 2~3 kg(5일간 공급량) - 공급방법: 1일째 전량 공급하나 3일 이내에 전량 섭식되도록 하고 4일간 절식 * 과다 공급 시 잔류 먹이가 남아 청소하기에 어려움이 있음
	● 사육관리 - 조도: 1,500 Lux(시판 50% 차광막 2겹) - 환수량: 8~10 회전/일 - 공기공급은 밸브 100% 내외로 조절함 - 청소: 7일 간격
	② 배합사료 공급 시 - 공급량: 약 400~800 g/일 - 공급방법: 1일째 800 g, 2일째 400 g 공급 후 1일간 절식
	● 사육관리 - 조도: 1,500 Lux(시판 50% 차광막 2겹) - 환수량: 8~12 회전/일 - 공기공급은 밸브 100% 내외로 조절함 - 청소: 3일 간격



04

가두리양식

1 가두리양식의 현안

전북 양식산업은 2000년 이후 양식 기술이 급속히 발전하면서 2010년도 국내 양식 총생산량은 8,578톤으로 증가하였다. 그러나 이후 2010년대 중반까지 시설량의 증가에도 불구하고 8,500톤에서 10,000톤 내외로 생산량 증가에서 답보 상태를 유지하고 있다(통계청, 2018). 이러한 원인은 전북 양식어장의 장기 연작에 의한 노후화, 밀집시설, 어장환경 악화 및 이상기후에 의한 자연재해로 인한 것으로 추정된다.

현재까지 전북 가두리양식에 있어서 현안으로 대두되고 있는 문제를 해결하기 위하여 해상가두리 적정 수용밀도(김 등, 2013 & 2014; 이 등, 2015), 해상가두리 시설 주변의 조류분포 분석(차 등, 2014), 천공성 다모류 감염 현황(원 등, 2013; 김 등, 2019) 등 많은 연구들이 진행되었지만, 이들 대부분은 소규모 단위 또는 양식방법을 개선하기 위한 기술개발에 대한 연구들이 주를 이루고 있다. 이러한 선행 연구들은 현안문제를 해결하기 위해서는 한계가 있기 때문에 2012년부터 전북양식 현황조사, 가두리 양식시설 자재 및 구조, 해양설치 및 설계, 수온과 염분의 환경내성을 수행하였고, 2013년에 양식 생산성, 양식장 수질 및 퇴적환경 조사, 가두리 양식모형의 현장적용시험, 2014년에 천공성 다모류 감염특성 및 감염기작, 양식어장 퇴적물 오염 개선방안 연구를 수행하였으며, 2015년에는 지금까지 연구 결과를 “전북 가두리양식 사육관리 매뉴얼”을 작성하여 현장 실용화에 노력하였다. 2010년대 중반부터 전북 대량폐사 저감 방안에 대한 연구를 수행하였는데, 전북 폐사의 원인 구명, 전북 가두리의 재배치에 따른 영향 분석, 가두리 시설 개선에 의한 효과 조사 등이 이에 속한다.

2 시설

해상가두리식 양식시설에 있어서 가두리 1칸의 크기는 지역별로 차이를 보이는데, 완도, 진도, 해남지역은 2.4m × 2.4m × 2.5m 크기의 소형가두리가 대부분인 반면, 흑산도지역은 2.4m × 4.8m × 2.5m 크기의 대형가두리를 주로 사용하고 있다. 이는 전복양식용 가두리의 시설비 절감을 위해 어류양식용 가두리 구조를 일부 개조하여 사용하고 있기 때문이다.

가두리의 시설 설치시 유의사항으로는 조류의 흐름 방향과 일치하게 시설하여야 하고, 또한 가두리 조간 간격은 원활한 조류 소통을 위해 최소한 10m 이상이 필요하다. 최근에는 어장의 재배치 등의 노력을 기울이고 있으나 현실적으로 적용이 어려우므로 가두리 시설의 감축 및 개선이 필요한 실정이다.

3 사육밀도

1) 관리요령

당해연도 11월경 종묘 생산된 3~4cm 크기의 전복 치패를 수용하고 있으며, 입식 밀도는 지역에 따라 다르지만 상당히 밀식되어 수용되어 있어 문제점이 발견되었다. 고수온 시기를 지나면서 대량폐사에 의한 전복의 피해가 매우 심각한데, 전복의 대량폐사는 다양한 원인에 의하여 발생하지만 밀도 또한 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 적절한 밀도에 의한 사육은 성장 및 생존율 향상에 영향을 미치게 된다(김 등, 2014; 이 등, 2015).

2) 적정 사육밀도

전복의 적정 사육밀도는 크기에 따라 달라진다. 가을 입식을 기준으로 각장 3.0~3.5cm (약 3g) 크기의 전복은 3,200 마리/칸 정도가 적당하며, 이들은 이듬해 3~4월경에 분간하여 점유율 30~40% 내외인 1,600~2,300 마리/칸의 사육밀도로 하는 것이 적정하다(표 4-1).

표 4-1 전복 치패 시기별 적정 사육밀도

시 기	크 기 (평균 중량)	사육밀도 (입식 중량)	비 고
가을 (11월 입식)	각장 3~3.5 cm (약 3 g)	3,200마리 내외 (9.6 kg)	점유율 30~40% 기준
봄 (3~4월 입식)	각장 4 cm 이하 (약 5 g)	1,600~2,300마리 내외 (8.0~11.5 kg)	"

* 점유율: 쉘터 단면적당 전복 패각의 면적 비

* 사육밀도는 쉘터 점유율 30~40%로 하였고, 점유율 30~60%까지가 성장 및 생존율이 가장 높음(사육밀도가 너무 낮거나 높아도 성장 및 생존율이 좋지 않음).

각장 4~8 cm 정도로 성장할 때에는 1,200~1,500 마리/칸 내외, 각장 8~10 cm 정도로 성장할 때에는 800~1,100 마리/칸 내외로 사육하는 것이 적절하다(표 4-2).

표 4-2 전복 크기별 적정 사육밀도

시 기	크 기 (평균 중량)	사육 밀도 (입식 중량)	비 고
양성 1년차	각장 4 → 8cm (약 6g → 50g)	1,200~1,500마리 내외 (9.6kg)	*점유율 30~40% 기준
양성 2~3년차	각장 8cm 이상 (약 50g → 100g)	800~1,100마리 내외 (50 kg)	"

* 남해수산연구소 2012~2014년(3년간) 적정 사육밀도 실험 결과와 최근 현장 실정을 반영하였음

* 지역별로 조류소통 및 어장 수질환경 차이가 크기 때문에 사육밀도 조절이 가능함

4 먹이공급

1) 관리요령

양성 단계에서 참전복의 적정 먹이량은 한번 공급된 먹이가 부패하지 않을 양을 수시로 주는 것이 이상적이다(한, 1999). 참전복의 대량폐사 원인 중 먹이 과다 공급에 의한 영향도 매우 중요하다. 최근 관리선의 호이스트크레인(Hoist crane)을 사용하여 먹이를 적정량 이상으로 공급하는 경향이 매우 높다. 먹이를 자주, 그리고 과다하게 공급할 경우 남은 먹이에 의한 수질악화가 발생하며 수질악화와 더불어 다른 인자(고수온, 수온급변, 용존산소 결핍, 고밀도 사육 등)가 결합하였을 때 대량폐사가 발생할 가능성이 더욱 높아질 수 있다.

일간 체중의 5~10% 분량으로 먹이공급을 하면 성장률이 높게 나타나며, 급격한 환경변화에 의한 충격을 최소화할 수 있다. 그러므로 전복의 크기 및 계절에 따라 먹이 공급량을 조절할 필요가 있다.

2) 계절별 먹이공급

참전복의 크기 및 계절에 따른 먹이 공급량은 생다시마 기준으로 봄(4~6월)에는 체중 당 10~20%, 여름(7~9월)은 체중 당 10~15%, 가을(10~12월)에는 체중 당 2.5~5%, 그리고 겨울(1~3월)에는 체중 당 10~15%를 주는 것이 좋다(표 4-3, 그림 4-1). 먹이 공급량에 따른 폐사에서의 유의적 차이는 나타나지 않으나 먹이 공급량이 증가할수록 폐사율이 증가하는 경향을 보인다(그림 4-2).

표 4-3 전복 크기에 따른 계절별 먹이 공급량

크 기 (양성기간) (먹이공급기간)	봄 (4~6월) (15일/칸)	여름 (7~9월) (10일/칸)	가을 (10~12월) (10일/칸)	겨울 (1~3월) (15일/칸)
각장 4→6cm (양성 1년차)	*10~20% (생다시마 14~28 kg)	10~15% (생다시마 14~21 kg)	2.5~5% (생다시마, 염장미역 염장 4~7 kg)	10~15% (생미역 14~21 kg)
각장 6→8cm (양성 2년차)	10~20% (생다시마 45~90 kg)	10~15% (생다시마 45~68 kg)	2.5~5% (생다시마, 염장미역, 염장다시마 11~23 kg)	10~15% (생미역 45~68 kg)
각장 8→10cm (양성 3년차)	10~20% (생다시마 60~120 kg)	10~15% (생다시마 60~90 kg)	2.5~5% (생다시마, 염장미역, 염장다시마 15~30 kg)	10~15% (생미역 60~90 kg)

- * 전복 전중에 대한 일간 섭취량 기준
- * 남서해수산연구소 2012~2014년(3년간) 적정 먹이 공급량 현장실험 결과(완도군 삼마리)
- * 상세 관리요령은 계절별 관리 방법 참조
- * 일반적으로 기존 해조류 공급량의 절반 수준으로 공급함이 적정함

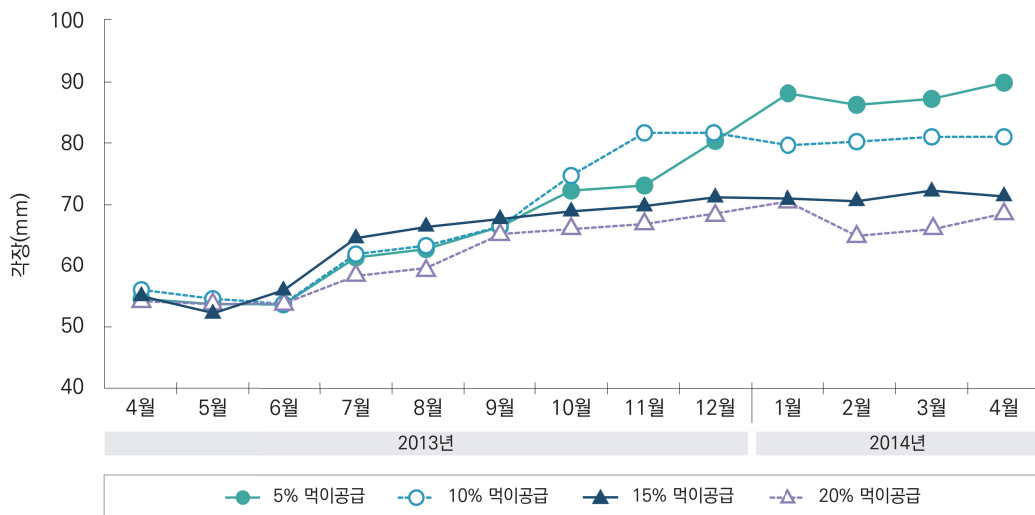


그림 4-1 전복 전중 당 먹이공급량에 따른 각장 성장 결과

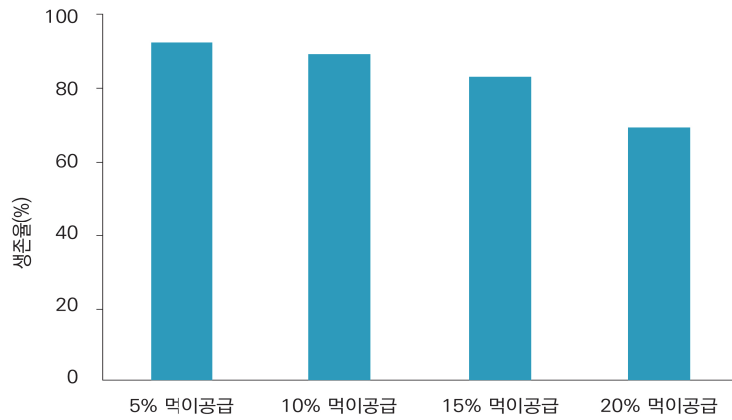


그림 4-2 전복 전종 당 먹이 공급량에 따른 생존율 결과

※ 실험 결과는 5~10% 먹이공급이 성장 및 생존율이 높게 나타났음. 따라서 적정 먹이공급량은 현행 일간 공급량(약 20%)의 절반 수준인 10% 이하로 줄일 필요성이 있음.

5 산란기 관리

1) 관리요령

참전복은 춘계(5~6월) 및 추계(9~10월)에 대규모 방란·방정을 한다. 이때 가두리 내부 및 주변 바닷물이 녹색으로 변하고 점액질 발생으로 인하여 수질이 급격하게 악화된다(그림 4-3).



전복 산란(방란)

전복 방정

그림 4-3 전복의 방란 및 방정 모습

방출된 다량의 알과 정자는 가두리 내 쉼터나 그물망에 부착하거나 엉겨 붙게 되는데, 대부분의 경우에 1개의 난자에 여러 개체의 정자가 수정되는 다정수정으로 인하여 기형 발생으로 결국에는 죽게 된다. 이들 수정란이나 잉여 알과 정자는 부패에 관여하는 미생물의 번성을 촉진하게 되어 수중의 산소 고갈(2 mg/L 이하) 상태가 나타나며, 부패의 결과로 과량 생성된 황수화물(H_2S)은 산란으로 인하여 약해진 전복에 독성으로 작용하므로 폐사 가능성이 높아질 수 있다.

2) 산란기 폐사 관리

기온, 수온, 기타 작업 환경이 허락한다면 가능한 방란·방정 직후 관리선의 수중모터를 이용하여 쉼터와 그물망을 세척하는 것이 폐사 방지에 도움이 된다.

표 4-4 전복 생식주기에 따른 폐사 발생 시기, 원인 및 대처방안

생식 주기	산란기 (방출기)	비활성기	비활성기	비활성기	비활성기 (추계 산란기)
발생 시기 (수온)	폐사발생 (20~21℃)	폐사누적 (22~23℃)	폐사누적 (25℃ 이상)	폐사발생 (22~23℃)	폐사 누적
주요 원인	추계산란기 방란·방정에 의한 대량폐사 발생	폐사체 부패, 고수온	조류소통 불량, 고수온 스트레스, DO 부족	세균증식	추계산란기 방란·방정에 의한 대량폐사 발생
대처 방안	산란 후 가두리 쉼터 세척 및 먹이공급량 조절	폐사 전복 제거	퇴적물 제거, 부패방지 먹이조절		퇴적물 제거, 부패방지 먹이조절

* 생식주기별 상세 관리요령은 계절별 관리 방법 참조.

6 계절별 사육관리

1) 봄철(4~6월) 사육관리

4월은 수온이 상승하여 전복은 먹이섭취 활동이 왕성해지기 시작하여 성장이 빠른 시기이고, 5월이 되면 양성 2년차 및 3년차의 양식전복의 경우 성숙이 되며, 6월이 되면 산란기 및 고수온에 대비해서 보다 체계적인 사육관리가 필요하다.

표 4-5 봄철 전복의 월별 사육관리 방법

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
4월 성숙 초기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 14 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인하여야 하고, 잔량이 있을 경우 2~3일간 절식 후 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 4월에는 가두리 저층의 퇴적물이 올라오기 시작하므로 먹이공급 전에 쉼터 상부에 침적된 뽕의 상태를 확인하여 쉼터의 세척 등이 필요함 주) 쉼터 위에 잔류먹이 및 퇴적물은 부패할 경우 용존산소가 급격히 낮아져 먹이부패, 수질악화에 의한 질병 감염 및 폐사의 주요 원인임
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 45 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 잔량이 있을 경우 2~3일간 절식 후 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 전복 중간패는 성숙초기로 성숙이 활발히 진행되므로 먹이를 충분히 공급할 필요가 있음 주) 먹이를 충분히 공급할 필요가 있으나, 먹이 잔량이 남지 않도록 주의가 요망됨
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 60 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 잔량이 있을 경우 2~3일간 절식 후 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 전복 성패는 성숙이 활발하므로 충분히 먹이를 공급하되 먹이섭취 상태의 확인이 필요함 주) 전복 산란기 관리를 위하여 생식소 속도를 미리 조사할 필요가 있음

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
5월 성숙 후기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 28 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 연중 먹이섭취 활동이 가장 활발한 시기로서 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식 후 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 5월에는 수온상승으로 쉼터 상부 침적물이 부패하기 시작함으로서 뱀 제거가 반드시 필요함. - 뱀 제거는 조류소통이 빠른 시간에 선박의 모터 등을 이용하여 제거함 - 특히, 다모류 산란이 예상되므로 가두리 내에 뱀 제거 및 청소를 실시하여 야 다모류 감염율을 낮출 수 있음 주) 쉼터 위에 잔류 먹이 및 침적물이 부패할 경우 용존산소가 급격히 떨어져 먹이 활동이 줄어든 가능성이 있음
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 90 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 전복 중간패는 성숙후기로 조기성숙한 수컷의 방정이 시작되는 시기로서 수면 위의 거품 발생 시 가두리 세척 및 먹이공급량을 50%로 줄여야 함 주) 전복 중간패는 성숙후기에 접어들어 생식소 발달로 인한 먹이활동이 감소하기 시작하면 방정 가능성이 있으므로 관찰을 요함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 120 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식 후 공급 요함 ● 사육 관리 - 전복 성패는 성숙후기로 수온상승으로 먹이활동이 활발하나, 5월 하순에 일시적인 생식소 성숙으로 먹이섭취량이 줄어드는 경우가 있으므로 먹이 공급량을 50% 정도 줄여 자주 공급하는 것이 효과적임 주) 전복 성패는 성숙이 활발하므로 충분히 먹이를 공급하되 먹이를 잘 먹는지 확인이 필요하고, 특히 수컷의 성숙이 빨라 조기 방정의 가능성이 있으므로 확인이 필요함

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
6월 산 란 기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 21 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 6월에는 수온상승 및 수컷 성숙으로 방정이 예상되며, 특히 침적물(뱀), 잔류먹이, 정충이 동시에 부패하기 시작하면 전복의 건강이 악화될 가능성이 매우 높음. 따라서 6월 하순에는 가두리 세척이 필요함 주) 전복치패의 경우 4cm 이상에서 성숙이 시작되며 산란은 거의 일어나지 않으나, 방정이 일어나는 경우가 있으므로 세심한 관찰이 필요함
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 60 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 6월 하순에는 수온상승 및 암컷 성숙으로 산란이 예상되므로 산란 확인 즉시, 가두리 및 쉼터 세척이 반드시 필요함 주) 전복 중간패는 산란기로 생식소 발달로 인한 먹이 활동이 줄어들기 시작하면 방정할 가능성이 있으므로 세밀한 관찰이 필요함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 90 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 6월 하순 성패는 비가 개인 후 담수와 태양광의 자외선에 노출되면 자극으로 인해 산란이 개시되므로 산란이 확인되면 즉시, 가두리 및 쉼터 세척이 반드시 필요함 주) 전복 성패는 산란기 이후 건강 악화에 의한 대량폐사가 예상되므로 6월 하순에 가두리 내부 청소가 반드시 필요함. 가두리 양식 폐사의 주요 원인은 산란직후 가두리 내 수질환경 악화에 의한 용존산소 결핍으로 추정되므로 일년 중 반드시 가두리 내부 및 쉼터를 청소해야 하는 시기로 판단됨

인공양식

종양모생산

중간육성

가두리양식

환경내성과
생식주기폐사와
질병관리자연재해 대비
양식장관리요령미래의
전복양식

참고문헌

2) 여름철(7~9월) 사육관리

7월은 수온상승기로 해조류가 빨리 녹음으로 먹이공급 기간을 줄여야 하며, 8~9월은 최근 5년간 평균 수온이 22℃ 내외로 저수온대를 형성함으로써 최소한의 먹이를 공급해야 영양 불균형을 해소할 수 있다. 특히, 여름철 영양 불균형은 최근의 가을철 대량폐사 원인으로 의심되므로 적절한 대응책을 찾아야 한다.

표 4-6 여름철 전복의 월별 사육관리 방법

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
7 산란 후 관리	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 21 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 7월에는 수온상승으로 인해 해조류가 빨리 녹음으로 먹이공급량을 소량씩 자주 공급하는 것이 필요함 주) 쉼터 위에 잔류 먹이가 부패할 경우 용존산소가 급격히 떨어져 전복폐사의 주된 요인이 됨
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 68 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 산란 직후에는 먹이를 3~5일간 절식해야 하고 약 5일 경과 후 50% 정도 줄여 공급해야 함 주) 전복 중간패는 일부 산란을 하여 대사생리가 매우 약한 상태이므로 먹이를 공급하되 반드시 절식하여 먹이 잔량이 부패하지 않도록 해야 함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 90 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 산란 직후 먹이를 3~5일간 절식해야 하고, 약 5일 경과 후 50% 정도 줄여 공급해야 함 주) 전복 성패는 성숙이 활발하므로 충분히 먹이를 공급하되 먹이를 잘 섭취하는지 확인이 필요함

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
8월 비 활성기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 14 kg/칸 (10일 기준) - 공급방법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 최근 5년간 8월 평균 수온이 22℃ 내외로 저수온대를 형성함으로써 최소한의 먹이를 공급해야 영양 불균형을 해소할 수 있음. 특히, 최근에 가을 철 대량폐사의 원인일 가능성이 매우 높음. 주) 쉼터 위에 잔류 먹이 및 침적물이 부패할 경우 용존산소가 급격히 떨어져 호흡곤란에 의한 폐사가 발생할 수 있음
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 45 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리: - 여름철 저수온이 예상되므로 수온이 22℃ 내외에서는 최소한의 먹이를 공급해야 함 주) 전복 중간패도 일부 방란 및 방정이 일어나는 시기이므로 세심한 관리가 요구됨
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 칸 당 생다시마 약 60 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 여름철 수온이 22℃ 이하일 경우 최소한의 먹이를 공급해야 함 주) 전복 성패는 산란 후 대사생리 약화로 세균감염이 우려되므로 가두리 내부 청결유지가 반드시 필요함

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
9월 비 활성기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 21 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 남아 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 9월에는 먹이인 다시마의 상태가 불량하므로 소량 공급해야 하고, 염장미역, 염장다시마를 공급 시 생먹이에 비해 부패가 빠르므로 전량 섭취 후 공급해야 함 주) 염장미역 및 다시마 확보가 어려우나 최소한의 먹이를 공급해야 하며, 건미역이나 건다시마의 경우 한 칸 당 약 2~3 kg(5일 기준)이라도 공급해야 하며, 어려우면 가두리 상부에 붙어있는 갈파래 등의 해조류를 잘라서 가두리 바닥에 내려주면 최소한의 기아현상을 예방할 수 있음
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 68 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 전복 중간패도 먹이인 다시마의 상태가 불량하므로 단기간 소량을 공급해야 함 주) 폐사전복이 발생하면 신속한 제거를 요함. 폐사전복이 부패하면 다량의 암모니아 발생으로 수질악화를 초래함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생다시마 약 90 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 전복 성패는 산란 후 대사생리 약화로 폐사가 발생하기 시작하므로 폐사된 전복은 신속히 제거를 해야 함 주) 폐사전복이 발생되면 신속한 제거가 요구되며, 폐사전복이 부패하면 다량의 암모니아가 발생하여 남은 전복을 폐사에 이르게 함

3) 가을철(10~12월) 사육관리

전복의 가두리양식에서 가을철(10~12월)은 생먹이 공급 부족으로 인하여 영양 부족 및 불균형으로 건강상태가 악화될 수 있는 시기이다. 생먹이 부족에 기인한 영양 부실

은 가을철에 발생하는 대량폐사의 원인으로 추정되기도 하므로 대체 먹이를 찾을 필요가 있다. 먹이를 공급하지 않은 10일 이후부터 체내 에너지원의 급격한 감소가 나타나며, 35일 이후부터 폐사 시작되고, 70일 이후에는 반수폐사가 발생하는 것으로 알려져 있다(Takami et al., 1995). 따라서 최소한의 먹이를 사전 확보하여 기아상태를 예방하는 것이 필요하다.

표 4-7 가을철 전복의 월별 사육관리 방법

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
10월 비 활성기 (추계 산란기)	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 염장미역, 염장다시마 약 4 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 10월에는 먹이가 없어 공급이 어려울 것으로 예상되나, 최소한의 먹이를 공급해야 함. 가두리 상부에 부착된 갈파래 등을 잘라서 가두리 바닥에 내려주면 기아현상을 막을 수 있음 주) 폐사전복이 발생되면 신속한 제거를 요함. 폐사 전복이 부패하면 다량의 암모니아 발생으로 수질악화를 초래함
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 염장미역, 염장다시마 약 11 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리: - 10월에는 추계산란이 예상되므로 가두리 및 쉘터 세척이 필요함 주) 10월 하순에는 일부 전복이 방정이 일어날 수 있으므로 세심한 관찰이 필요하고, 확인이 되면 가두리 및 쉘터의 세척이 필요함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 염장미역, 염장다시마 약 15 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 성패는 추계 산란이 예상되므로 가두리 및 쉘터 세척이 필요함 주) 10월 하순 전복 성패 중에서 수컷이 성숙하여 방정이 예상되므로 확인을 요함

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
11월 초기 활성기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 염장미역 혹은 염장다시마 약 6 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭식 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 수온이 낮아짐으로 전복의 영양 요구량이 높아지므로 최소한의 먹이공급이 필요함 주) 전복의 영양부족에 의해 건강상태가 악화되어 있으므로 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 염장미역 혹은 염장다시마 약 17 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 최소한의 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 수온이 떨어짐에 따라 해황의 변동이 심하므로 전복이 스트레스를 많이 받고, 특히 9~10월 먹이공급이 원활하지 않을 경우 대량 폐사가 발생할 수 있으므로 지속적인 관찰이 필요함 주) 11월에는 일부 전복이 방란이 일어날 수 있으므로 세심한 관찰이 필요하고, 방란이 확인되면 가두리 및 쉼터를 세척해야 함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 염장미역 혹은 염장다시마 약 23 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급 10일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 3~5일간 절식 후 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 최근 가을철(10~12월)은 생먹이 공급부족으로 영양 불균형에 의한 건강상태가 악화되는 것이 가을철 대량폐사의 원인으로 추정되므로 해조류 비생산 시기의 먹이공급이 필요함 주) 먹이 미공급시, 10일 이후부터 글리코겐, 중성지방 급격히 감소, 35일 폐사 시작, 70일에 반수폐사 발생함. 따라서 최소한의 먹이를 사전에 확보하여 기아상태를 예방하는 것이 중요하다고 판단됨

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
12월 초기 활성기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 약 7 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급은 생미역이 나오기 시작하면 최대한 공급량을 늘림 ● 사육 관리 - 수온이 내려감으로 전복의 영양요구량이 높아지므로 가능한 먹이 공급이 필요함 주) 전복의 영양부족에 의해 건강 상태가 회복되어 있지 않으므로 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 약 23 kg/칸 (10일 기준) - 공급법: 먹이공급은 생미역을 최대한 빨리 공급해야 함 ● 사육 관리 - 전복의 먹이 요구량이 높아지므로 가능한 먹이 공급이 필요하고, 건강 상태가 좋지 않아 가능하면 패각 부착물 제거 시에 패각이 노출된 상태에서 작업을 하지 않아야 함 주) 전복의 대사생리 약화 및 영양부족에 의해 건강 상태가 회복되어 있지 않으므로 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 약 30 kg/칸 (10일 기준) - 공급방법: 먹이공급은 생미역을 최대한 빨리 공급해야 함 ● 사육 관리 - 특히, 전복 성패는 건강 상태가 좋지 않아 생미역 공급 전에는 패각 부착물 제거 등의 노출작업 등을 하지 않아야 함 주) 전복의 추계산란, 대사생리 약화 및 영양부족에 의해 건강 상태가 회복되어 있지 않으므로 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함

4) 겨울철(1~3월) 사육관리

1~3월은 먹이인 해조류가 풍부하나 사육수온이 낮아 전복의 먹이 섭취량이 떨어지게 된다. 먹이를 빠르게 섭취하지 않으므로 인하여 먹이 과다공급과 누적이 예상되므로 적정량의 먹이를 공급하는 것이 필요하다.

표 4-8 겨울철 전복의 월별 사육관리 방법

월 (성숙단계)	크 기	관 리 방 법
1월 초기 활성기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 약 14 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급은 생미역이 나오기 시작하면 신속히 공급 ● 사육 관리 - 일년 중 최저수온 기간으로 건강회복을 위하여 먹이를 공급하되 저수온으로 인해 먹이섭식이 떨어지므로 섭취상태를 확인하여 잔류먹이가 많이 남지 않도록 확인해야 함 주) 전복의 영양부족에 의해 건강 상태가 회복되어 있지 않으므로 작업에 의한 스트레스를 최소화 해야 함
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 약 45 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급은 생미역이 나오기 시작하면 신속히 공급 ● 사육 관리 - 저수온으로 인해 활력이 떨어진 상태이므로 노출작업은 3월 이후에 하는 것이 바람직 함 주) 저수온 및 영양부족에 의해 건강상태가 회복되지 않으므로 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 약 60 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급은 생미역이 나오기 시작하면 최대한 공급 ● 사육 관리 - 저수온으로 인해 활력이 떨어진 상태이므로 노출작업은 3월 이후에 하는 것이 바람직 함 주) 성패는 초기활성기로 생식소 발달이 시작되는 시기로 건강회복을 위하여 먹이를 지속적으로 공급해야 함

월 (성숙단계)	크기	관 리 방 법
2월 후기 활성기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 약 21 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식 후 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 저수온 기간으로 먹이를 과다하게 공급하지 않도록 주의가 필요함 주) 전복의 영양부족에 의해 건강 상태가 회복되어 있지 않으므로 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 약 68 kg/칸 (15일 기준) - 공급방법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식 후 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 저수온 기간으로 먹이를 과다하게 공급하지 않도록 주의가 필요함 주) 전복의 영양부족에 의해 건강 상태가 회복되어 있지 않으므로 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 약 90 kg/칸 (15일 기준) - 공급방법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식 후 먹이공급이 필요함 ● 사육 관리 - 저수온 기간으로 먹이를 과다하게 공급하지 않도록 주의가 필요함 주) 전복의 영양부족에 의해 건강 상태가 회복되어 있지 않으므로 작업에 의한 스트레스를 최소화해야 함

일반양식

종묘생산

중간육성

가두리양식

환경내성과
생식주기폐사와
질병관리자연재해 대비
양식장관리요령미래의
전복양식

참고문헌

월 (성숙단계)	크기별	관 리 방 법
3월 후기 활성기	각장 4→6cm (양성 1년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 혹은 생다시마 약 21 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 3월에는 가두리 수온이 상승하는 시기이므로 먹이 섭취상태를 확인하여 충분히 공급할 필요가 있음 주) 먹이과다 공급 시 과식으로 인해 위변(가짜똥) 배출로 건강이 악화될 수 있음
	각장 6→8cm (양성 2년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 혹은 생다시마 약 68 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 3월에는 수온 상승 및 성숙이 활성화 하는 시기이므로 먹이 섭취상태를 확인하여 충분히 공급할 필요가 있음 주) 전복 중간패는 성숙이 활발히 진행되므로 먹이를 충분히 공급할 필요가 있으나, 먹이 잔량이 남지 않도록 주의가 필요함
	각장 8→10cm (양성 3년차)	● 먹이공급 관리 - 공급량: 생미역 혹은 생다시마 약 90 kg/칸 (15일 기준) - 공급법: 먹이공급 15일 경과 후 먹이섭취 상태를 확인 후 잔량이 있으면 2~3일간 절식 후 공급이 필요함 ● 사육 관리 - 수온 상승 및 성성숙이 활성화되는 시기이므로 먹이 섭취상태를 확인하여 먹이를 충분히 공급할 필요가 있음 주) 전복 성패는 성숙을 위한 먹이섭취 활동이 활발하므로 충분히 먹이를 공급 하되 먹이를 잘 먹는지 확인이 필요함



05

환경내성과 생식주기

본 항목 내 연구 결과는
국립수산과학원이 전남대학교에 위탁한 연구용역보고서를 활용하였음

환경내성과 생식주기

05

1 서론

일반적으로 전복류의 양식 생산성은 다양한 물리, 화학, 생물학적 환경요인 및 생물의 생리조건에 따라 달라질 수 있다. 최근 국내 전복 양식장에서는 하계의 수온변화(고온, 반복적인 수온 급변), 빈산소수괴의 출현, 조류소통의 저하 등 급격한 환경요인 변화에 따른 폐사율의 증가로 생산성 저하가 초래되고 있다. 이러한 관점에서 환경요인 변화에 따른 양식관리 방법의 확보가 필요하며, 생식·생태 기초자료 확보, 모패 관리 및 적정 종묘 생산시기 파악을 위한 산지별 생식주기 조사는 매우 중요하다.

해양생물의 생리대사에 영향을 미치는 중요한 요인들은 수온, 염분농도, 용존산소농도(DO), 수소이온농도(pH) 등이다. 해양생물은 짧은 기간 동안 이러한 환경요인의 변화에 노출되었다 할지라도 생물의 반응은 종과 이들의 크기에 따라 다양하게 나타난다(Kinne, 1963; Widdows, 1985).

우리나라 전복 양식장은 연안에 위치하므로 다양한 환경조건의 변화에 노출되어 있다(Shin et al., 2012). 그러나 전복의 생식주기에 관한 연구는 매우 적은 편이어서 생식·생태를 이해하기에는 어려움이 많다. 뿐만 아니라 기후온난화에 의한 생식주기의 변화와 종의 확인이 불분명한 전복의 교배에 의한 생식주기 파악에 어려움이 예상되고 있다.

2 수온에 대한 환경내성

1) 고수온

각장 3 cm 및 6 cm 전후의 참전복을 대상으로 고수온(20℃, 23℃, 26℃ 및 29℃)에 대한 생존율과 탈락률을 확인하였다. 고수온에 노출된 전복의 반수치사수온(19D-LT₅₀)을 측정한 결과, 치패 27.5℃(27.2~27.8℃), 성패 27.9℃(27.6~28.3℃)로 크기에 따른 유의한 차이는 없다. 수온 20℃와 23℃에서 치패와 성패의 생존율은 모두 100%이었으며, 수온 29℃에서 치패와 성패의 생존율은 각각 15%와 30% 이다(그림 5-1).

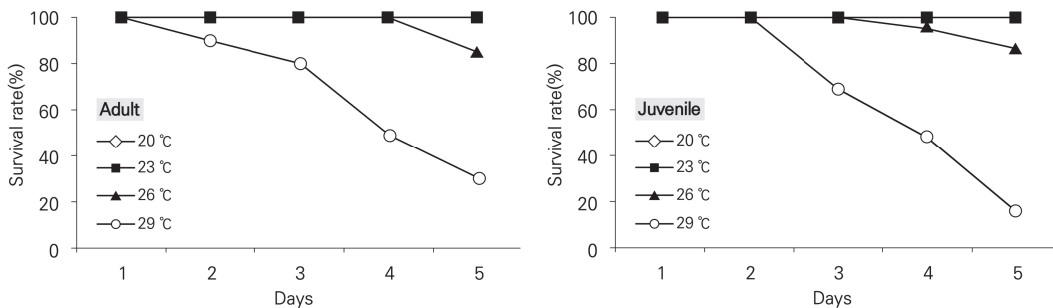


그림 5-1 고수온에 의한 참전복, *Haliotis discus hannai* 생존율의 변화

수온 20℃와 23℃에서 치패와 성패 모두 탈락 개체는 관찰되지 않으나, 수온 26℃에서 치패와 성패의 탈락률은 각각 15%와 10%, 수온 29℃에서 치패와 성패의 탈락률은 각각 60%와 40% 이다(그림 5-2).

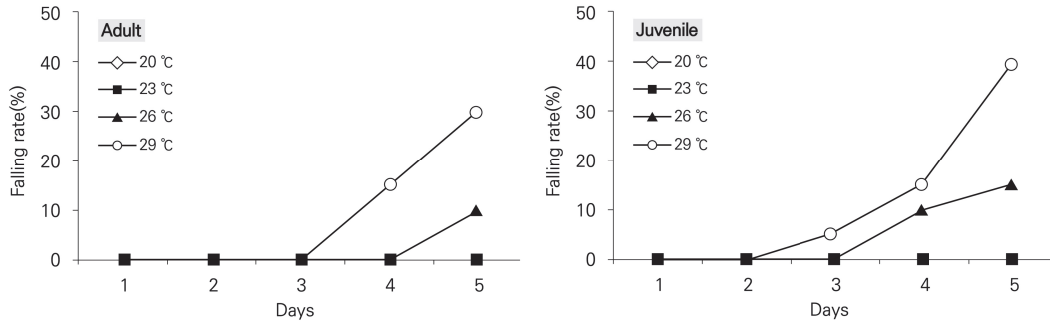


그림 5-2 고수온에 의한 참전복, *Haliotis discus hannai* 탈락률의 변화

2) 저수온

각장 3 cm 및 6 cm 전후의 참전복을 대상으로 저수온(12°C, 9°C, 6°C 및 3°C)에 대한 생존율과 탈락률을 확인하였다. 수온 9°C 이상에서는 치패와 성패 모두 80% 이상의 생존율을 나타내지만 수온 6°C에서는 치패 20%, 성패 40%, 수온 3°C에서는 치패와 성패 모두 20% 이하의 생존율을 나타내어 반수치사수온(19D-LT₅₀)은 치패 6.56°C (6.20~6.93°C), 성패 7.3°C(1.13~13.1°C) 이다(그림 5-3).

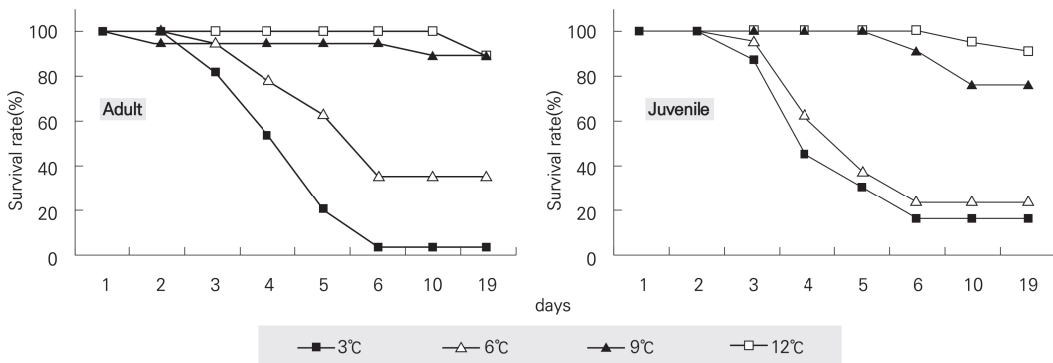


그림 5-3 저수온에 의한 참전복, *Haliotis discus hannai* 생존율의 변화

탈락률은 치패는 수온 9℃에서 18% 이며, 성패는 수온 9℃ 이상에서는 5% 이다. 그러나 수온 6℃ 이하의 저수온에서는 치패와 성패 모두 80% 이상의 탈락률을 보인다 (그림 5-4).

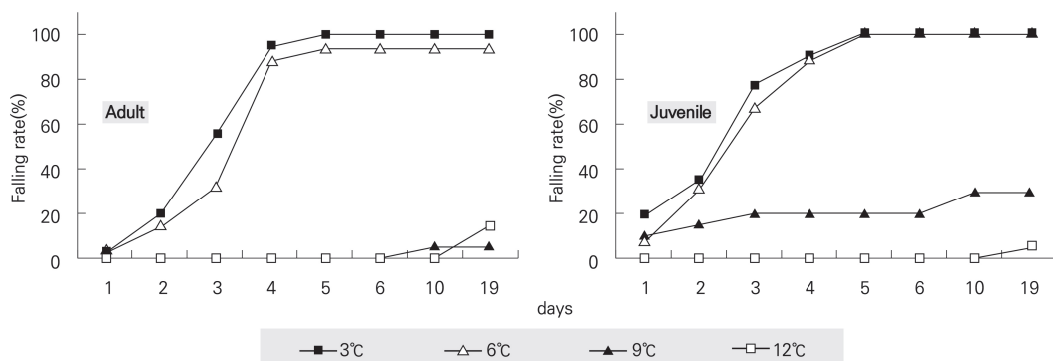


그림 5-4 저수온에 의한 참전복, *Haliotis discus hannai* 탈락률의 변화

3) 발의 조직학적 변화

가. 고수온

수온 23~29℃에 노출된 전복의 발 상피층에 호산성 과립세포가 감소되며, 점액의 산성화 및 점액세포의 공포화 그리고 근섬유의 갈라짐과 분절화가 뚜렷하다. 또한 혈림프동 내강은 섬유성 물질에 의해서 폐쇄된 조직상이 확인된다(그림 5-5).

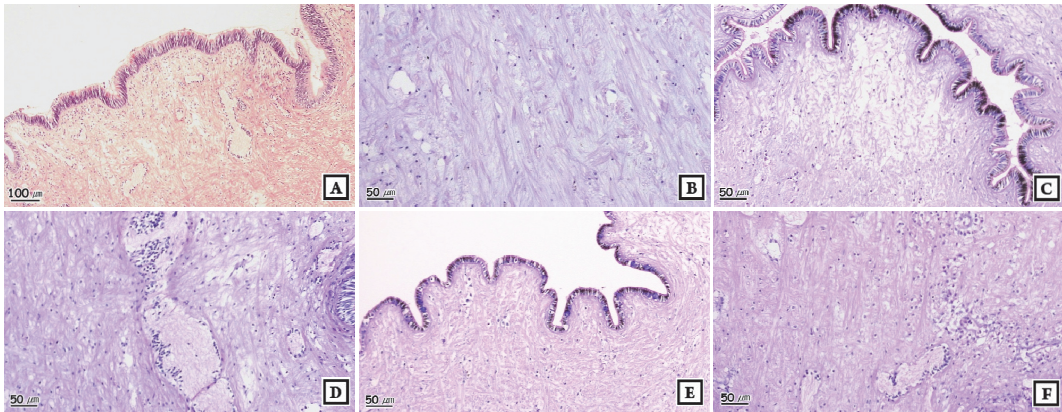


그림 5-5 고수온 조건에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 발의 조직학적 변화. A: 23°C, H-E 염색. B: 23°C, AB-PAS(pH 2.5) 반응. C와 D: 26°C, AB-PAS(pH 2.5) 반응. E와 F: 29°C, AB-PAS(pH 2.5) 반응.

나. 저수온

수온 9~12°C에 노출된 전복 발의 상피층 자유면에 점액물질 증가, 산성화 및 근섬유 간질조직에서 혈구의 증가가 확인된다. 수온이 6°C에서부터 3°C로 하강함에 따라 상피층 점액의 산성화 및 공포화가 증가하며, 근육층의 혈림프동 내강은 섬유성물질에 의해서 폐쇄된 조직상이 확인된다(그림 5-6).

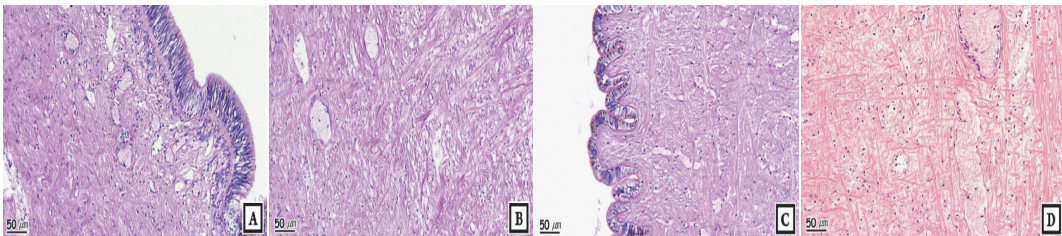


그림 5-6 저수온 조건에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 발의 조직학적 변화. A: 6°C, AB-PAS (pH 2.5) 반응. B: 6°C, H-E 염색. C와 D: 3°C, AB-PAS (pH 2.5) 반응.

3 염분에 대한 환경내성

각장 3 cm 및 6 cm 전후의 참전복을 대상으로 염분(33.5, 26.8, 20.1, 13.4, 6.7, 3.3 psu)에 대한 생존율과 탈락률을 확인하였다. 치패는 염분 13.4 psu 이하에서 노출 24~48시간째 모두 사망하며, 20.1 psu에서는 노출 6일째 모두 사망하여 반수치사염분(6D-LS₅₀)은 23.9 psu(23.2~24.5 psu) 이었다. 성패는 26.8 psu에서는 노출 기간 동안 생존율이 85% 이다. 그러나 20.1 psu에서는 노출 6일째 모두 사망하며, 13.4 psu 이하에서는 노출 24시간 경과 후 모두 사망하여 반수치사염분(6D-LS₅₀)은 24.9 psu(20.1~28.2 psu) 이다(그림 5-7).

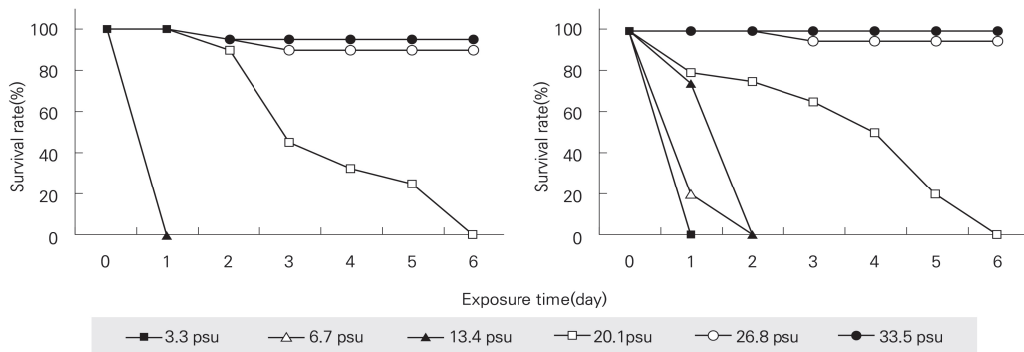


그림 5-7 염분농도에 따른 참전복(*Haliotis discus hanna*) 성패(좌)와 치패(우) 생존율의 변화

수온 20℃에서 치패의 탈락률은 염분농도 13.4 psu에서 90%이었으며, 노출 2일째에는 모두 탈락한다. 20.1 psu에서는 노출 5일째 모두 탈락한다. 성패는 13.4 psu 이하에서 노출 1일째 모두 탈락하며, 20.1 psu에서는 노출 5일째 모두 탈락한다(그림 5-8).

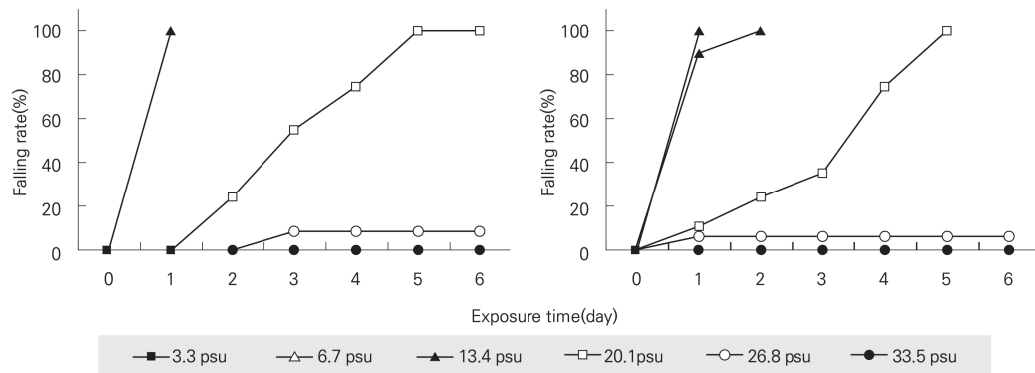


그림 5-8 염분농도에 따른 참전복(*Haliotis discus hannai*) 성패(좌)와 치패(우) 탈락률의 변화

염분농도 20.1~26.8 psu에서는 발 상피층에 호산성 과립세포 및 흑색과립세포의 감소, 점액세포의 공포화 및 위축, 상피층의 비후 및 일부 상피세포의 변성이 관찰된다. 근육층에서는 근섬유의 갈라짐, 분절화, 혈구의 증가 및 섬유성 물질에 의한 혈림프동의 폐쇄가 확인된다. 염분농도가 13.4, 6.7 및 3.3 psu로 감소할수록 상피층 점액세포의 변성 및 소실, 상피세포의 파괴, 상피층의 붕괴 및 탈락이 심화되며, 근육층에서는 혈구의 증가 및 근섬유 다발의 붕괴가 확인된다(그림 5-9).

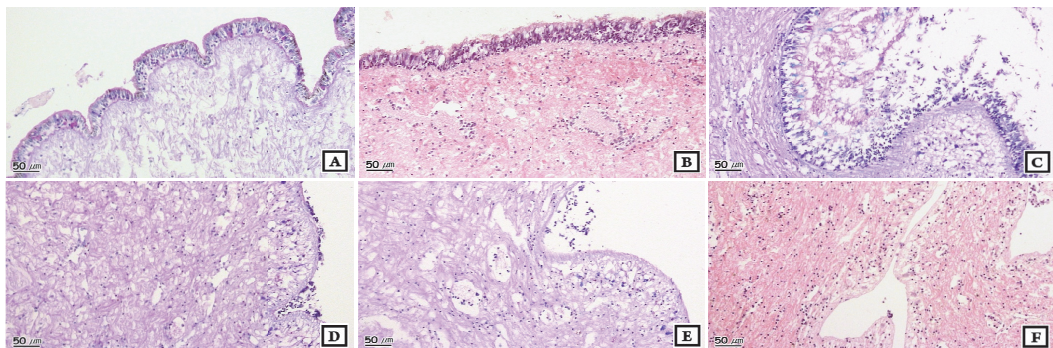


그림 5-9 염분농도 조건에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 발의 조직학적 변화. A: 13.4 psu, AB-PAS(pH 2.5) 반응. B: 13.4 psu, H-E 염색. C와 D: 6.7 psu, AB-PAS(pH 2.5) 반응. E: 3.3 psu, AB-PAS(pH 2.5) 반응. F: 3.3 psu, H-E 염색.

4 DO 및 pH에 대한 환경내성

1) 용존산소농도(DO)

대조구(DO 8.0mg/L)와 3.5mg/L, 4.5mg/L의 조건에 6일간 노출된 참전복 성체의 생존율은 차이가 없다. 그러나 2.5mg/L와 1.5mg/L의 조건에 6일간 노출된 참전복의 생존율은 성체에서는 각각 70%와 55%로 감소하며, 치패에서는 65%와 50%로 감소한다(그림 5-10).

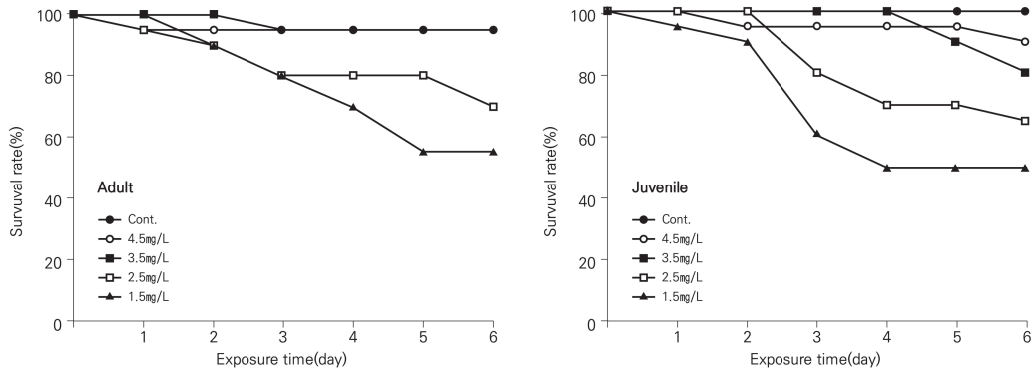


그림 5-10 DO에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 생존율의 변화

성패와 치패에서 DO 8.0mg/L, 4.5mg/L, 3.5mg/L, 2.5mg/L의 조건에 6일간 노출된 참전복이 부착기질에서 떨어지는 탈락률의 변화에는 차이가 없다. 하지만 성패와 치패 모두 DO 1.5mg/L 조건에서 탈락률은 각각 60%와 75%로 증가한다(그림 5-11).

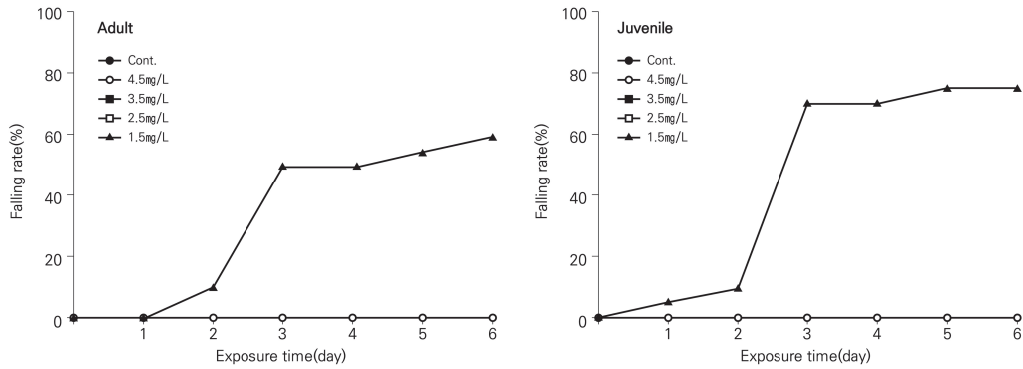


그림 5-11 DO에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 탈락률의 변화

2) 수소이온농도(pH)

대조구인 pH 8.0의 조건에 6일간 노출된 참전복의 생존율은 성패와 치패에서 각각 100%와 95% 이다. 그러나 성패와 치패 모두 pH 7.5, pH 7.0, pH 6.5의 조건에서 생존율이 급격하게 감소하였으며, pH 6.0의 조건에서는 모두 사망하여 농도의존형 반응 양상을 나타낸다(그림 5-12).

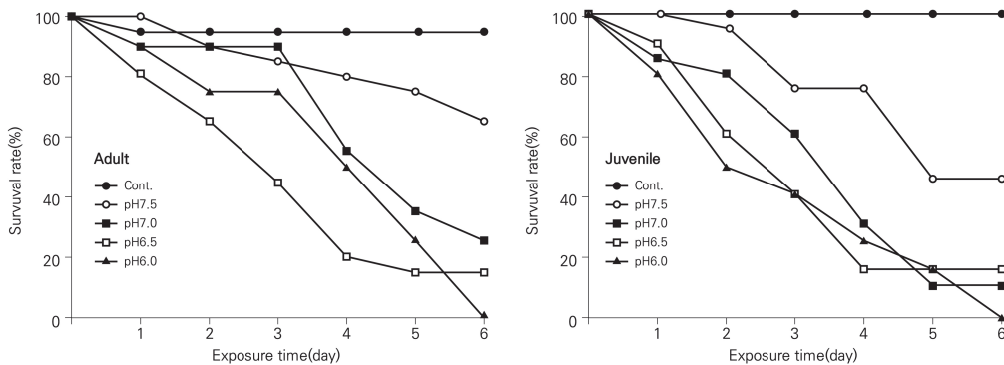


그림 5-12 pH에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 생존율의 변화

대조구인 pH 8.0의 조건에 6일간 노출된 참전복의 탈락율은 성패와 치패에서 각각 0%와 5% 이다. 그러나 성패와 치패 모두 pH 7.5, pH 7.0, pH 6.5의 조건에서 탈락율은 급격하게 증가하며, pH 6.0의 조건에서는 모두 탈락하여 사망률과 마찬가지로 농도의존형 반응 양상을 보인다(그림 5-13).

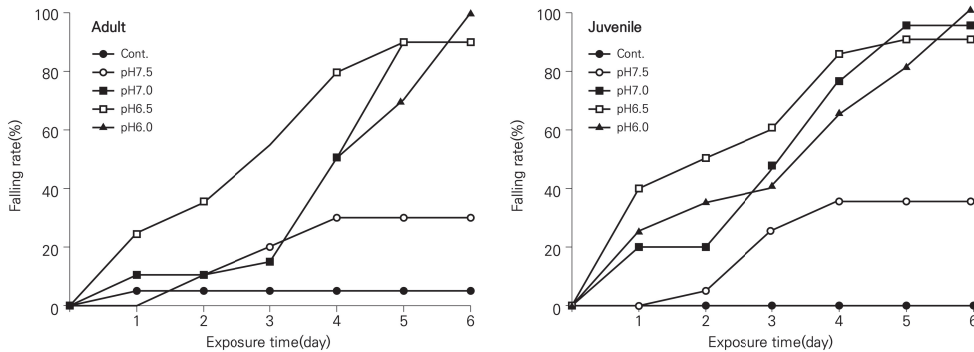


그림 5-13 pH에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 탈락률의 변화

3) DO 및 pH 변화에 따른 발과 아가미의 조직학적 변화

가. DO 변화에 따른 발과 아가미의 조직학적 변화

DO의 변화에 따라 참전복의 발은 각 노출구(4.5, 3.5, 2.5와 1.5mg/L)에서 농도의존적인 조직학적 변화가 관찰된다. 4.5mg/L 농도구에서는 AB-PAS(pH 2.5) 반응에서 발 상피층 점액세포의 산성화와 호산성과립세포의 증가가 관찰된다(그림 5-14, A와 B). 3.5mg/L 농도구에서는 발 상피층 부근의 근섬유다발의 일부 소실이 관찰되며, AB-PAS(pH 2.5) 반응에서 점액세포의 산성화가 확인된다(그림 5-14, C와 D). 2.5 mg/L 농도구에서는 점액세포의 산성화와 혈림프동의 폐쇄가 관찰된다(그림 5-14, E와 F). 1.5mg/L 농도구에서는 AB-PAS(pH 2.5) 반응에서 점액세포의 공포화가 확인되며, 상피세포층의 변성과 혈림프동의 폐쇄가 관찰된다(그림 5-14, G와 H).

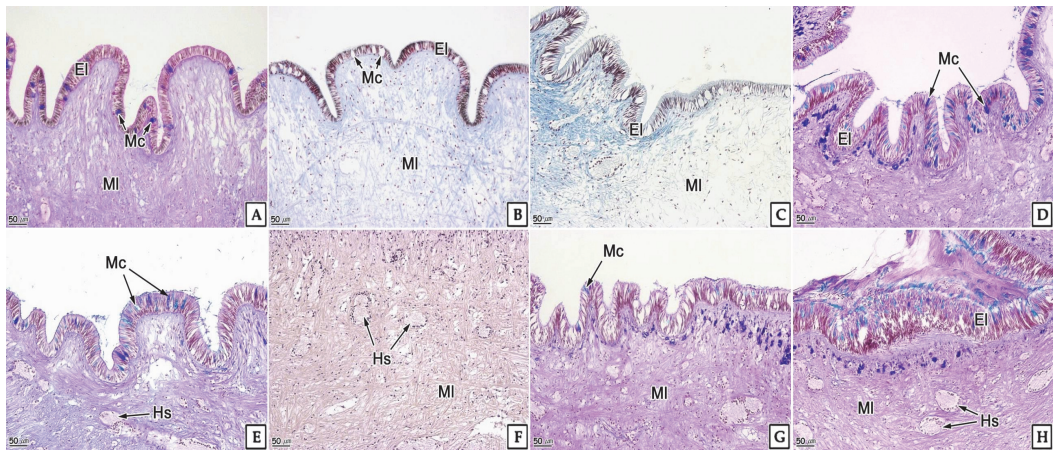


그림 5-14 DO 변화에 따른 참전복, *Halotis discus hannai* 발의 조직학적 변화. A: DO 4.5mg/L(3일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. B: DO 4.5mg/L(4일), Masson 삼중염색. C: DO 3.5 mg/L(4일), Masson 삼중염색. D: DO 3.5 mg/L(5일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. E: DO 2.5 mg/L(2일), AB-PAS (pH 2.5) 반응. F: DO 2.5 mg/L(4일), H-E 염색. G: DO 1.5mg/L(4일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. H: DO 1.5mg/L(6일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. EI: 상피층, Hs: 혈림프동, Mc: 점액세포, MI: 근육층.

DO의 변화에 따라 참전복의 아가미에서도 각 노출구(4.5, 3.5, 2.5와 1.5mg/L)에서 농도의존적인 조직학적인 변화가 관찰된다. 4.5mg/L 농도구에서는 새엽의 혈림프동 내 혈구가 증가하고 새엽 말단부 상피층의 측면 상피세포가 비대된다(그림 5-15, A와 B). 3.5 mg/L 농도구에서는 새엽의 혈림프동 내 혈구가 증가하고 새엽 말단부 상피층의 측면 상피세포가 비대되며, AB-PAS(pH 2.5) 반응에서 점액세포의 산성화가 관찰된다(그림 5-15, C와 D). 2.5 mg/L 농도구에서는 새엽 정단면 상피세포의 섬모가 일부 소실되며, 말단부 측면 상피의 비대와 AB-PAS(pH 2.5) 반응에서 점액세포의 산성화가 나타난다(그림 5-15, E와 F). 1.5mg/L 농도구에서는 새엽의 상피세포층의 변성 및 상피세포가 일부 소실되기도 한다(그림 5-15, G와 H).

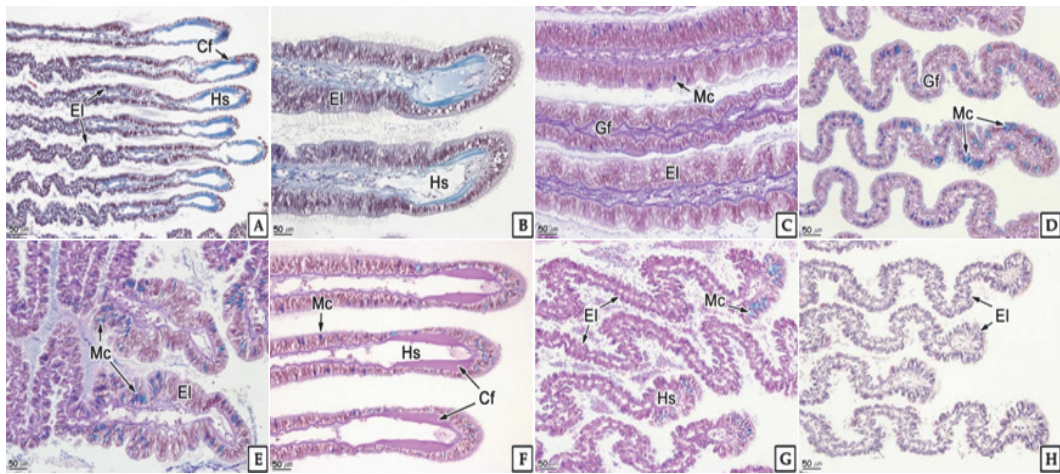


그림 5-15 DO 변화에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 아가미의 조직학적 변화. A: DO 4.5 mg/L(3일), Masson 삼중염색. B: DO 4.5 mg/L(4일), Masson 삼중염색. C와 D: DO 3.5 mg/L(5일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. E와 F: DO 2.5 mg/L(4일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. G: DO 1.5 mg/L(4일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. H: DO 1.5 mg/L(5일), H-E 염색. Cf: 콜라겐 섬유, Ei: 상피층, Gf: 새엽, Hs: 혈림프동, Mc: 점액세포.

나. pH 변화에 따른 발과 아가미의 조직학적 변화

pH의 변화에 따라 참전복의 발에서는 각 노출구(pH 7.5, pH 7.0, pH 6.5와 pH 6.0)에서 조직학적 변화가 관찰된다. pH 7.5에서는 상피세포의 일부와 근섬유다발의 일부가 소실되고, 호산성과립세포의 수가 증가한다(그림 5-16, A와 B). pH 7.0에서는 상피세포층에서 흑색과립세포의 수가 증가하고 점액세포의 산성화가 나타난다(그림 5-16, C). pH 6.5에서는 발의 근섬유다발 일부가 소실되고, 호산성과립세포가 증가하며 점액세포의 산성화가 나타난다(그림 5-16, D, E와 F). pH 6.0에서는 AB-PAS(pH 2.5) 반응으로 확인하였을 때 상피세포층의 변성과 상피세포 일부가 탈락되는 것이 관찰된다(그림 5-16, G와 H).

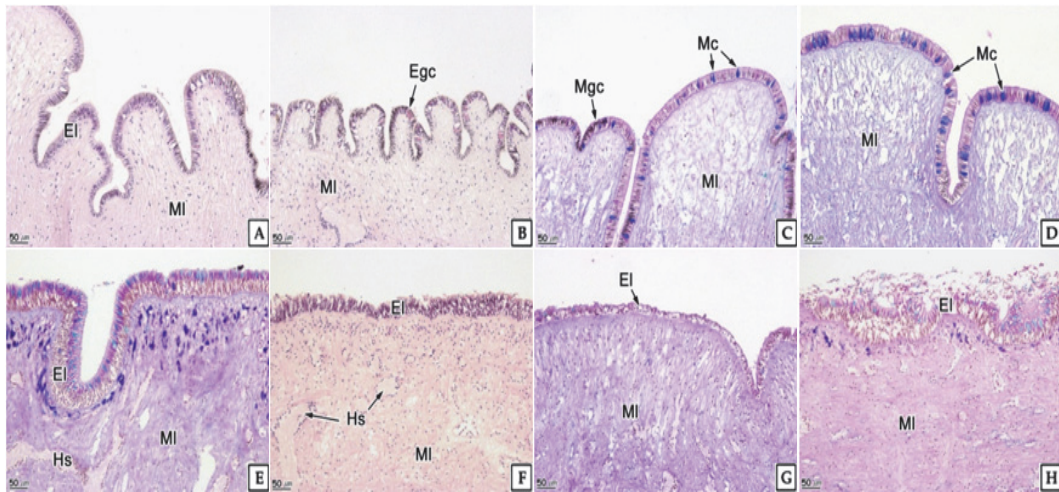


그림 5-16 pH 변화에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 발의 조직학적 변화. A와 B: pH 7.5(1일), H-E 염색. C: pH 7.0(3일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. D와 E: pH 6.5(4일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. F: pH 6.5(5일), H-E 염색. G와 H: pH 6.0(5일/6일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. EgC: 호산성 과립세포, EI: 상피층, Hs: 혈림프동, Mc: 점액세포, Mgc: 흑색과립세포, MI: 근육층.

pH의 변화에 따라 참전복의 아가미에서도 각 노출구(pH 7.5, pH 7.0, pH 6.5와 pH 6.0)에서 조직학적 변화가 관찰된다. pH 7.5에서는 새엽의 혈림프동에서 혈구가 증가한다(그림 5-17, A와 B). pH 7.0에서는 새엽의 측면 상피세포의 섬모가 일부 소실되고 상피세포가 비대되며, AB-PAS(pH 2.5) 반응에서 점액세포의 산성화가 관찰된다(그림 5-17, C, D와 E). pH 6.5에서는 AB-PAS (pH 2.5) 반응으로 확인하였을 때 점액세포의 산성화와 혈림프동의 폐쇄가 관찰된다(그림 5-17, F). pH 6.0에서는 AB-PAS(pH 2.5) 반응에서 새엽 상피층이 붕괴되고 점액세포가 공포화되며, 혈림프동의 폐쇄가 관찰된다(그림 5-17, G와 H).

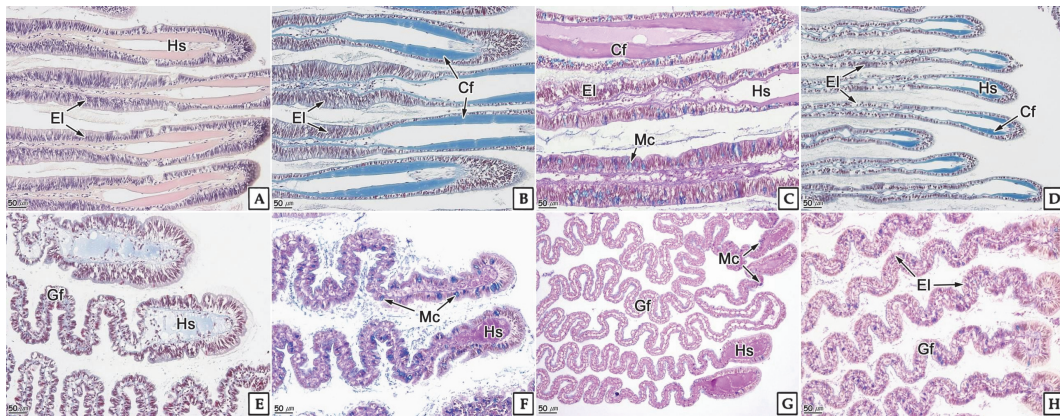


그림 5-17 pH 변화에 따른 참전복, *Haliotis discus hannai* 아가미의 조직학적 변화. A: pH 7.5(3일), H-E 염색. B: pH 7.5(3일), Masson 삼중염색. C: pH 7.0(4일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. D와 E: pH 7.0(5일), Masson 삼중염색. F: pH 6.5(4일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. G와 H: pH 6.0(5일), AB-PAS(pH 2.5) 반응. Cf: 콜라겐 섬유, EI: 상피층, Gf: 새엽, Hs: 혈림프동, Mc: 점액세포.

5 지역별 생식주기 비교

1) 조사지역의 수온 및 염분농도

전북 조사기간(2012년 9월~2013년 8월) 동안 채집지역의 평균 수온은 울진 15.0℃, 진도 14.3℃, 완도 14.6℃, 제주도 17.1℃ 이었다. 1월과 2월에 최저수온을 그리고 8월과 9월에 최고수온을 나타냈다. 평균 염분농도는 울진 33.1 psu, 진도 31.4 psu, 완도 32.0 psu, 제주도 32.8 psu 이었다(그림 5-18).

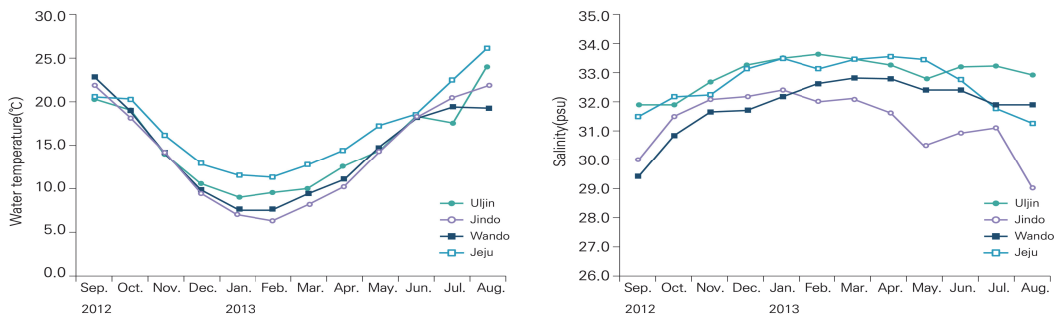


그림 5-18 채집지역 별 수온 및 염분농도의 월 변화 (KHOA, 2012; 2013)

2) 생식소지수(gonad index)

참전복의 생식소지수는 지역 별로 차이를 보였다. 채집기간 동안 평균 생식소지수는 울진 2.7, 진도 2.4, 완도 2.2, 제주도 2.6로 나타났다. 울진에서는 2012년 12월(1.3)에 가장 낮았고 2013년 8월(4.0)에 가장 높았다(그림 5-19, A). 진도에서는 2012년 12월(1.1)에 가장 낮았고 2012년 9월(3.8)에 가장 높았으며(그림 5-19, B), 완도에서는 2012년 12월(1.2)에 가장 낮았고 2013년 7월(3.6)에 가장 높았다(그림 5-19, C). 제주도에서는 2012년 12월(1.8)에 가장 낮았고 2013년 5월(3.6)에 가장 높았다(그림 5-19, D).

《생식소지수(gonad index, GI)》

생식소지수는 생식소 발달 단계별로 상수 (In=1, Ea=2, La=3, R=4, Sp=3, D=2)를 곱한 전체의 합을 개체수로 나누어 나타냄

$$GI = \frac{(In \text{ 개체수} \times 1) + (Ea \text{ 개체수} \times 2) + (La \text{ 개체수} \times 3) + (R \text{ 개체수} \times 4) + (Sp \text{ 개체수} \times 3) + (D \text{ 개체수} \times 2)}{\text{전체 개체수}}$$

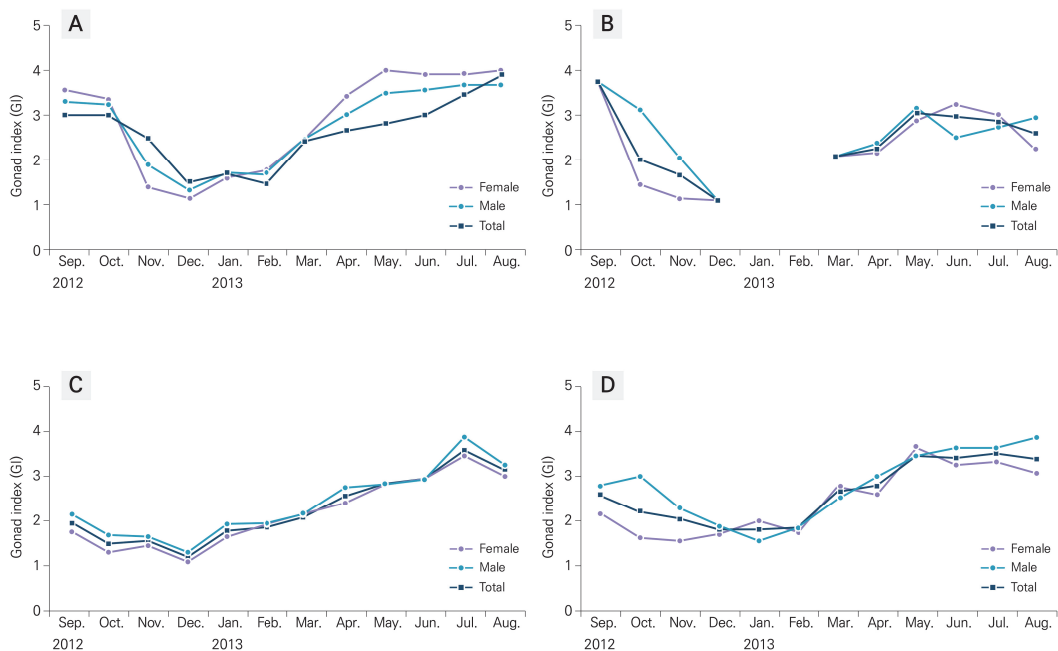


그림 5-19 참전복, *Haliotis discus hannai* 생식소지수의 월 변화. A: 울진, B: 진도, C: 완도, D: 제주.

3) 월별 생식소 발달단계

참전복의 생식소 발달 단계를 비교해 본 결과, 지역별로 차이를 보였다. 울진에서는 암컷은 2012년 9월부터, 수컷은 10월부터 방출기가 관찰되었다. 2012년 12월에 암컷과 수컷에서 각각 91%와 78%로 비활성기가 가장 높게 관찰되었다. 암컷은 2013

년 4월부터, 수컷은 2013년 7월부터 완숙기가 관찰되었고 2013년 8월에 암컷과 수컷에서 각각 100%와 89%가 관찰되었다(그림 5-20, A). 진도에서는 2012년 9월에 암컷과 수컷 모두 완숙기가 75%였다. 2012년 12월에 암컷과 수컷에서 각각 92%와 86%로 비활성기가 가장 높게 관찰되었다. 암컷은 2013년 4월부터, 수컷은 2013년 5월부터 완숙기가 관찰되었고, 암컷은 2013년 8월부터, 수컷은 2013년 6월부터 방출기가 관찰되었다(그림 5-20, B). 완도에서는 2012년 12월에 암컷과 수컷에서 각각 94%와 74%로 비활성기가 관찰되었다. 이후, 2013년 7월에 완숙기가 암컷과 수컷에서 각각 67%와 80%로 관찰되었으며, 2013년 8월에 암컷과 수컷에서 각각 23%와 80%가 방출기로 관찰되었다(그림 5-20, C). 제주도에서는 2012년 12월에 암컷과 수컷에서 각각 50%와 44%로 비활성기가 높게 관찰되었다. 이후, 2013년 5월에 암컷과 수컷에서 각각 83%와 75%로 완숙기가 관찰되었고, 2013년 7월에 암컷과 수컷에서 각각 22%와 27%로 방출기가 관찰되었다(그림 5-20, D).

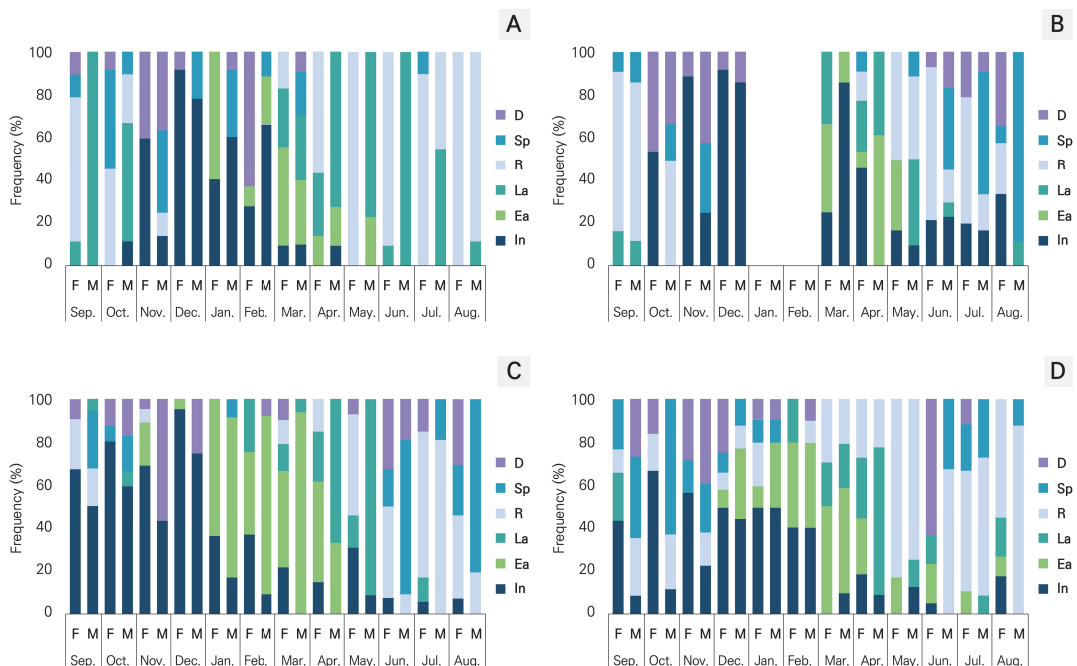


그림 5-20 참전복, *Haliotis discus hannai* 생식소 발달단계 분포의 월 변화. In: 비활성기, Ea: 초기활성기, La: 후기활성기, R: 완숙기, Sp: 방출기, D: 퇴화기. A: 울진, B: 진도, C: 완도, D: 제주.

4) 주산란기

생식소지수와 생식소 발달 단계의 월 변화에 대한 결과를 바탕으로 생식소지수가 낮아지고 생식세포의 방출이 시작되는 계절을 주산란기로 판단하였을 때, 채집지역 별 참전복의 주산란기는 울진 9~10월, 진도와 완도 7~8월, 제주도 6~7월로 분석되었다.

5) 비만도(condition index)

참전복의 지역 별 평균 비만도는 울진 0.086, 진도 0.070, 완도 0.076, 제주도 0.067로 울진 > 완도 > 진도 > 제주도 순으로 높았다. 비만도는 울진과 완도에서는 6월과 4월에 뚜렷이 높아지는 변화양상을 보였으나 진도와 제주도에서는 뚜렷한 변화 양상은 보이지 않았다(그림 5-21).

〈비만도(Condition Index, CI)〉

비만도는 아래의 식으로 계산하여 나타냄

$$CI = \frac{\text{체중(g)}}{[\text{각장(mm)}]^3} \times 1,000$$

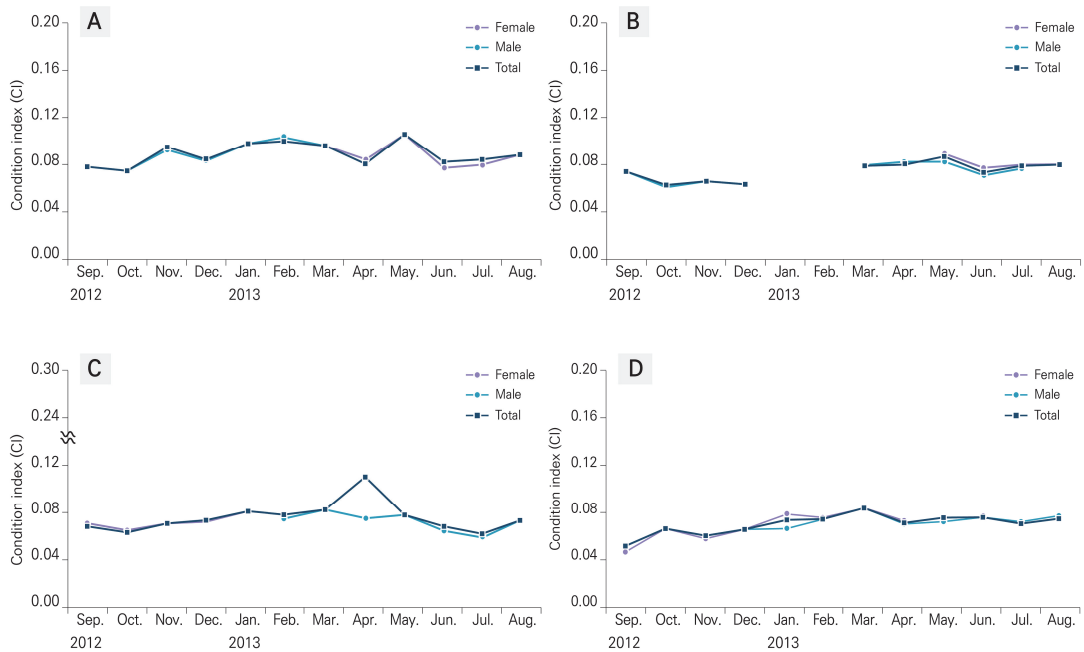


그림 5-21 참전복, *Haliotis discus hannai* 비만도의 월 변화. A: 울진, B: 진도, C: 완도, D: 제주.

6) 육중량비(meat weight rate)

참전복의 평균 육중량비는 울진과 진도 68%, 완도와 제주도 66%로 지역 별로 큰 차이를 보이지 않았다. 성별에 따른 육중량비 역시 울진과 진도에서 암컷과 수컷에서 각각 평균 69%와 66%, 완도에서 66%와 65%, 제주도에서 67%와 66%로 큰 차이를 보이지 않았다. 계절별 육중량비는 울진과 진도에서는 2012년 10월에 각각 65%와 59%로 가장 낮게 나타났으며, 2013년 5월에 각각 72%와 73%로 가장 높게 나타났다. 완도에서는 2012년 10월에 59%로 가장 낮았고, 2013년 3월에 73%로 가장 높았다. 제주도에서는 2012년 11월에 60%로 가장 낮았고 2013년 3월에 71%로 가장 높게 나타났다(그림 5-22).

〈육중량비(Meat Weight Rate, FWR)〉

육중량비는 아래의 식으로 계산하여 나타냄

$$FWR = \frac{\text{체중(g)}}{\text{전중(g)}} \times 100$$

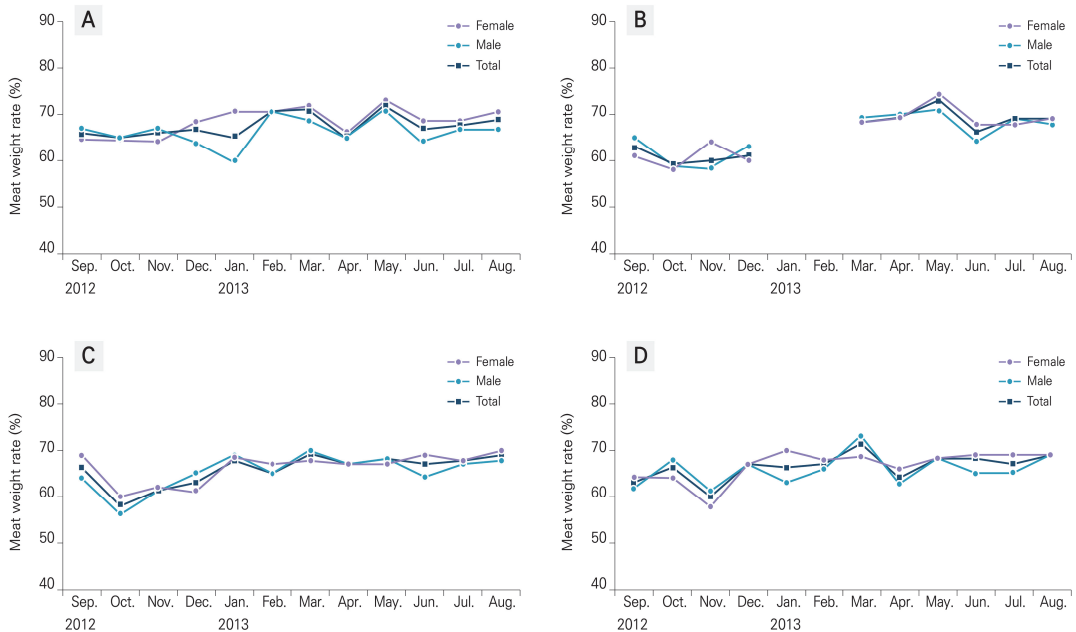


그림 5-22 참전복, *Haliotis discus hannai* 육중량비의 월 변화. A: 울진, B: 진도, C: 완도, D: 제주.

6 성비

지역 별 성비는 표 5-1~4에서 나타난 바와 같다. 즉, 동해안 울진에서 채집된 참전복의 암컷 비율은 52% 이었으며, 남해안 진도, 완도, 제주도 북방전복의 암컷 비율은 각각 57%, 52%, 53%로 암컷의 비율이 높았다. 또한 진도에서 채집된 참전복의 암컷 두 개체에서 intersex 현상이 관찰되었다(그림 5-23).

표 5-1 울진 참전복, *Haliotis discus hannai* 성비

Shell length (mm)	Total	Female	Male	Sex ratio (F/F+M)	Chi-square	p value	Note
40.1-50.0	4	3	1	0.75	1.000	0.317	
50.1-60.0	8	5	3	0.63	0.500	0.480	
60.1-70.0	85	51	34	0.59	3.400	0.065	
70.1-80.0	91	39	51	0.43	1.600	0.206	1: Ud
80.1-90.0	49	25	24	0.50	0.020	0.886	
90.1-110.0	6	3	2	0.60	0.200	0.655	1: Ud
Total	243	126	115	0.52	0.502	0.479	1: Ud

Ud: undifferentiation.

표 5-2 진도 참전복, *Haliotis discus hannai* 성비

Shell length (mm)	Total	Female	Male	Sex ratio (F/F+M)	Chi-square	p value	Note
20.1-40.0	6	4	2	0.67	0.667	0.414	
40.1-50.0	61	31	30	0.51	0.016	0.898	
50.1-60.0	39	18	21	0.46	0.231	0.631	
60.1-70.0	36	22	14	0.61	2.778	0.096	
70.1-80.0	29	18	11	0.62	1.690	0.194	1: Is
80.1-90.0	44	30	14	0.68	5.818	0.016	1: Is
90.1-110.0	5	3	2	0.60	0.200	0.655	
Total	220	126	94	0.57	4.655	0.031	2: Is

Is: intersex.

표 5-3 완도 참전복, *Haliotis discus hannai* 성비

Shell length (mm)	Total	Female	Male	Sex ratio (F/F+M)	Chi -square	p value	Note
20.1-40.0	1	1	0	-	-	-	
40.1-50.0	17	4	13	0.24	4.765	0.029	
50.1-60.0	68	35	33	0.51	0.059	0.808	
60.1-70.0	128	73	52	0.57	3.528	0.060	3: Ud
70.1-80.0	73	37	36	0.51	0.014	0.907	
80.1-90.0	19	10	9	0.53	0.053	0.819	
Total	306	160	143	0.52	0.954	0.329	3: Ud

Ud: undifferentiation.

표 5-4 제주도 참전복, *Haliotis discus hannai* 성비

Shell length (mm)	Total	Female	Male	Sex ratio (F/F+M)	Chi -square	p value	Note
40.1-50.0	1	0	1	-	-	-	
50.1-60.0	24	11	13	0.46	0.167	0.683	
60.1-70.0	81	46	35	0.57	1.494	0.222	
70.1-80.0	33	13	20	0.39	1.485	0.223	
80.1-90.0	66	37	28	0.56	1.246	0.264	1: Ud
90.1-110.0	38	22	16	0.58	0.947	0.330	
Total	243	129	113	0.53	1.058	0.304	1: Ud

Ud: undifferentiation.

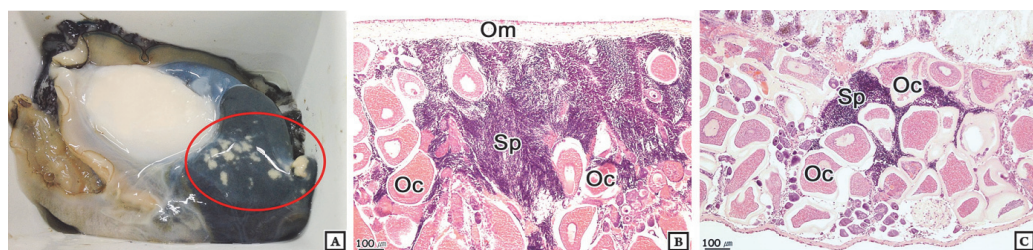


그림 5-23 진도 참전복, *Haliotis discus hannai* intersex의 난소. A: 외형, B와 C: 조직학적 특징. Oc: 난모세포, Om: 외막, S: 정자.



06

폐사와 질병관리

폐사와 질병관리

06

1 서론

우리나라 전복 양식, 특히 가두리양식은 집약적인 시설과 장기간 사용에 의한 퇴적물 집적에 의한 양식환경의 악화와 더불어 수온 상승, 무계획에 의한 양식종자의 교배, 변화한 환경에서의 관리기술 대응력 미흡 등의 문제가 불거지고 있을 뿐만 아니라 기후의 온난화와 태풍, 적조 등 자연재해에 의한 어업피해 가능성이 높아지고 있다. 이러한 다양한 영향에 의한 피해와 폐사 증가는 양식생산력을 저하시키는 원인 중 주요 인자로 해석되고 있다.

최근 들어, 다양한 원인들에 의하여 전복 폐사량이 증가하고 있으며, 일부 해역에 위치한 양식장의 경우 80%에 이르는 경우도 조사되었다. 대량폐사의 발생은 생업 종사자로서 어업인의 위기일 뿐만 아니라 전복 양식업 자체의 침체와 붕괴로 이어질 수 있으므로 피해 발생과 대량폐사에 대한 정확한 원인을 구명하고 그 결과에 따라 적절한 대응이 이루어져야 한다.



그림 6-1 전복의 폐사 상황과 피해 조사(2018년 10월, 완도와 신안)

일반현황

종묘생산

중간육성

가두리양식

환경내성과
생식주기

폐사와
질병관리

자연재해 대비
양식장관리요령

미래의
전복양식

참고문헌

2 폐사 발생과 원인

최근에 발생하는 전복의 피해와 대량폐사 발생은 자연환경의 변화에 의한 영향과 먹이공급, 사육밀도, 양식장 해역의 오염 심화 등에 기인한 사육관리 측면의 문제로 나뉘어 질 수 있다. 이를 수산생물의 질병과 연계하여 구분한다면 수온, 용존산소, 먹이와 이로 인한 영향(지질변성, 산화물 생성 등)으로 문제가 발생하는 무생물성 요인에 의한 질병과 바이러스, 세균, 곰팡이, 기생충 등이 관여하는 생물성 요인에 의한 질병으로 대별될 수 있다.

1) 폐사의 환경적 인자

가. 기온과 수온

국내·외의 다양한 연구와 보고에서 지구 온난화는 점진적으로 진행되고 있으며, 1880년 이후 130년간 우리나라 주변해역의 표층 수온 증가가 전지구 평균 상승의 3배에 이르고 있으며, 특히 겨울철 남해안의 수온 증가는 1.5℃에 이를 뿐만 아니라 이러한 추세가 앞으로도 지속될 것으로 예견되고 있다. 지구 온난화에 의한 수온 상승은 다양한 수계환경과 마주치며 영향을 미치게 된다(Levitus et al., 2005; 김 등, 2011; 해양수산부·한국해양과학기술원, 2014).

우리나라에서 양식하는 패류, 특히 굴, 바지락, 백합, 가리비 등 이매패는 일반적으로 광온성(0~25℃ 이상)을 보이므로 다른 수산생물군에 비하여 수온에 대한 영향을 비교적 덜 받는 것으로 판단할 수 있다. 그러나 일간 섭식률과 월간 증중률을 기준으로 해석할 때 전복의 성장 적수온은 15~20℃로 판단할 수 있다. 그러므로 전복에 있어 수온은 신진대사율을 결정하는 경향이 강하므로 가장 중요한 사육환경 인자로 꼽을

수 있다. 또한, 전복의 한계수온에 대한 반수치사 수온은 27.8~28.8℃로 알려져 있으므로 남해안의 여름철 고수온은 생존에 큰 위협이 된다.

양식현장에서 생물성 인자에 의한 질병은 일반적으로 고수온 발생 시기에 많이 발생하는 경향을 보이거나 실제 누적폐사율이 증가하는 것은 고수온 시기를 사이에 둔 수온이 상승하는 시기와 하강하는 시기이다. 이 시기는 산란에 의한 영향이 크며, 일간 수온의 편차가 심할 때이므로 전복양식은 수온이 직·간접적으로 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있다(그림 6-2).

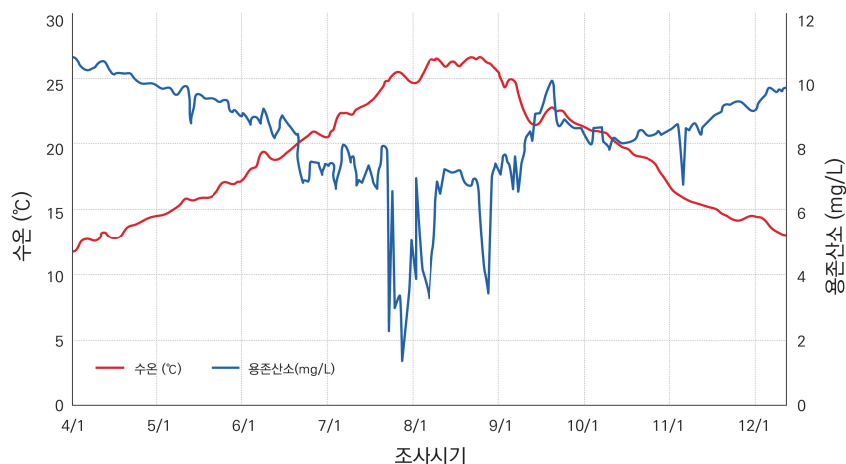


그림 6-2 전복 가두리양식장 내 수온과 용존산소의 변화(2018년 4월부터 12월, 완도군 신지면 해역)

나. 용존산소

용존산소 농도가 현저히 낮은 물덩어리를 빈산소수괴(hypoxia water mass)라고 하며, 이 경우 일반적으로 수중의 산소농도는 3.6 mg/L 이하이다(국립수산과학원, 2009). 용존산소의 결핍은 호기성 미생물의 번성, 높은 사육밀도, 질병 발생에 의한 장기 손상 등이 원인이다. 용존산소의 결핍은 수산생물의 호흡과 생리대사에 영향을 미칠 뿐만 아니라 생존에도 영향을 미치게 된다(Karim, 2003). 어류의 경우, 용존산소량이 일정 기준치 농도 이하로 내려가면 대사율 감소, 먹이섭취 불량, 성장 부진, 질병

저항성 저하 등의 다양한 증상을 보이게 된다(배 등, 2012). 그러나 패류는 사육자가 인지할 수 있는 특이한 증상이나 반응을 나타내지 않는 경우가 많으므로 면밀히 확인하여야 한다. 다만 전복 양식시설 내 용존산소와 암모니아 농도는 전복의 생장에 영향을 미치는 것으로 알려져 있어 이들 또는 이들 간의 상관관계와 영향 분석이 필요하다.

다. 질소계 부산물

우리나라 전복 가두리 양식장 하부에 쌓이는 유기물은 대략 1.45cm/년의 두께로 쌓이고 있다(Kang et al., 2015). 질소계 부산물은 가두리망 아래의 바닥이나 주위에 유실된 먹이나 배설물이 축적되어 형성된 유기물층에 혐기성 미생물의 번성에 의하여 생성된 황화수소, 암모니아, 아질산, 메탄 등이다(정 등, 2007; 국립수산물과학원, 2009). 황화수소는 수생생물에 산화적 스트레스를 유발하며 세포를 손상시킨다(Colby & Smith Jr., 1967; Smith Jr. et al., 1976; Sreejai & Jaya, 2010).

가두리 고밀도 사육은 과도한 먹이 공급으로 인한 과잉 농도의 총암모니아질소(Total ammonia nitrogen, TAN)는 전복의 아가미 손상과 세포 손상, 조직 변형, 삼투질의 농도 변화, lysozyme 등 액성면역인자의 활성 저하를 나타내며, 치패에서 사료효율을 낮춘다. 특히, 고수온기에 반수치사농도가 더욱 낮아지게 되므로 10 mg/L 이상의 TAN 농도가 지속될 수 있는 어장에서는 이 시기에 고밀도 사육에 대한 주의가 필요하다.

라. 기타

수온, 용존산소, 질소계 부산물의 영향과 더불어 적조의 발생과 이로 인한 영향을 들 수 있다. 아직 전복 폐사와 적조 미생물에 의한 영향 및 상관관계가 충분히 구명되어 있지는 않지만, 적조생물의 대량 번식에 의한 환경인자의 변화(용존산소 결핍)와 생성 독소에 의한 직접적 영향을 의심해 볼 수 있다.

2) 전복 폐사에 영향을 미치는 양식관리 인자

가. 밀식

가두리 내 환경이 악화되면 밀도가 높은 실험구에서 먹이 섭취량이 감소하며, 밀도가 증가할수록 개체 성장이 감소하는 경향을 보인다. 사육밀도는 성패에 비하여 치패에서 성장에 미치는 영향이 크므로 치패 시기에는 선별을 자주하여야 한다.

사육밀도는 전복의 크기, 쉘터의 종류와 크기, 조류의 세기, 수온, 그 밖의 사육환경 등에 따라 달라질 수 있다. 전복은 각장의 크기가 2배 성장하면 체중은 약 8배 증가하며, 호흡에 의한 산소소비량도 약 5배 증가한다. 그러므로 고수온일수록 해수 내 용존 산소 포화량이 낮아지고 가두리 내 전복에 의한 산소소비량이 증가하므로 여름철 대량 폐사의 가능성은 급격히 높아질 수 있다. 일반적으로 고수온일수록 수중생물과 미생물의 호흡 및 대사가 촉진되므로 가두리망과 바닥에 분포하는 생물의 종류와 양, 가두리망 내의 먹이찌꺼기 및 부유되어 쌓인 저질의 종류와 양, 해황과 시간의 변화에 따라 용존산소의 농도가 급격히 변화할 수 있다. 또한 수온이 증가하거나 고수온이 유지되는 시기에 사육 전복은 호흡 및 번식·증식을 위한 에너지 요구량 등이 급격히 증가하므로 산소소비량은 더욱 높아지게 된다. 따라서 사육환경에 따라 적정 사육밀도를 유지하는 것은 매우 중요하다.

나. 조류 소통

조류 소통이 불량하면 배설 대사율이 증가하고 용존산소가 낮아지며 이는 성장을 감소로 이어진다. 가두리 내에서 발생하는 질소계 부산물의 제거와 용존산소의 지속적 공급은 해수의 원활한 이동으로 해결될 수 있다.

원활한 조류 소통을 저해하는 중요 인자 중 하나는 한정된 지역 내에서의 가두리 시설의 증가와 이에 비례하여 증가하는 미역이나 다시마 생산시설이다(성, 2011). 조

류의 유속은 전복 가두리를 통과할 때 30% 정도 감소하는데, 가두리의 행과 열의 수가 증가할수록 그 정도는 심화된다. 또한 해류가 유입되는 가두리와 빠져나가는 해당 가두리 이외에는 조류소통에 문제가 발생하며 이로 인하여 가두리 내 용존산소량이 급격히 떨어질 수 있다. 심지어 가두리 칸 내측의 표층과 바닥 수심에서의 유속은 0.9~1.1 cm/s로 외측에 비하여 90% 이상 감소할 뿐만 아니라 여름철 수면의 데워진 해수가 점차적으로 전복이 서식하는 가두리 바닥에 영향을 미쳐 고수온에 의한 영향을 악화시킬 수 있다(최 등, 2013; 차 등, 2014).

또한, 굴이나 진주담치 등의 유생이 발생하는 해역에 위치한 전복 양식장은 이들 생물이 가두리망과 쉼터에 부착하고 성장하여 가두리 내로 유입되는 유속이 더욱 감소시킬 뿐만 아니라 이들 부착생물의 호흡 증가로 인한 용존산소 소비가 증가될 수 있다.

다. 먹이 공급과 생물 관리

전복의 해상 가두리양식에서 주로 공급하는 먹이는 다시마와 미역이며, 먹이 공급은 한번 공급된 먹이가 부패하지 않을 양을 수시로 공급하는 것이 이상적이다(한, 1998; 김 등, 2013). 우리나라의 해양환경에서 8~11월 사이에 생산 가능한 해조류의 종류와 양이 제한되어 있으므로 양질의 먹이를 전복에 공급하기 어렵다. 전복은 일반적으로 단위 체중 당 먹이섭취량은 수온이 높을수록, 그리고 각장의 크기가 작을수록 높게 나타나며, 미성숙 개체가 성숙 개체에 비하여 먹이 섭취에 의한 성장률이 더 높다. 그러나 과도한 먹이 섭취와 폐사와의 직접 관련성에 대한 연구 자료가 거의 없으나, 사육밀도, 수온, 방란·방정 등의 상황에 따라 대량폐사의 원인 제공 인자로 작용할 수 있을 것으로 사료된다. 이런 맥락에서 각장 성장율, 중량 증중률, 생존율 등과 경제적 측면을 고려한다면 전복 중량의 5~10%를 공급하는 것이 바람직하다(김 등, 2014).

완도지역을 포함한 전남 서부해역은 7월 중순부터 수온의 일간 편차가 높게 나타나며, 해역에 따라 시기와 강도의 차이는 있으나 이 시기에 용존산소량의 급격한 일간 변화가 관측되고 있다. 이 시기를 지나면서 양식전복의 폐사량이 급격하게 증가되므로

스트레스 최소화를 위한 적절한 먹이 조절이 이루어져야 한다. 특히, 고수온기로 접어드는 시기이므로 과잉 공급된 먹이 부패에 의하여 수질 환경이 악화될 수 있다.



그림 6-3 전복에 대한 먹이(염장미역) 공급(11월)

라. 기타

양식전복의 대량폐사에 영향을 미칠 수 있는 기타 인자로는 다양한 전복 종을 이용한 교배로 국내 고유 전복이 가지는 생리적 특성의 교란과 이로 인하여 나타나는 복잡한 산란시기를 들 수 있다. 즉, 한류계인 참전복은 20℃ 내외인 5월 전후로 산란이 이루어 지지만 최근에는 여름철에 산란이 이루어지는 경우가 많으며, 생리 활성이 약화된 상태에서 고수온, 태풍, 다양한 환경 악화에 의한 영향을 받게 된다.

또한, 외래 유입 병원체의 감염과 확산, 기생 생물의 번성에 의한 영향과 지속적 자극에 의한 스트레스 상황 등이 대량폐사의 요인이 될 수 있다.

3) 전복 피해 대응

지구 온난화의 영향은 한반도를 중심으로 한 주변해역에 대한 영향이 과거 수십년간 뚜렷하게 진행되어 왔으며, 특히, 1990년대 이후 해양 표층수온의 증가 속도가 전지구 해양 평균에 비하여 빠르며 앞으로도 이러한 현상은 지속될 것으로 예측하고 있다(KMI 수산관측센터 연구보고, 2008).

지구 온난화가 새로운 생물종에 대한 양식 기회를 제공할 수도 있지만, 한류계에 속하는 우리나라 참전복 양식에 대한 기준에서는 분명 악제로 작용할 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다. 지구 온난화에 대한 영향은 인위로 조정할 수 없으므로 전복 성장과 폐사에 영향을 미치는 일부 환경적 인자와 양식관리 인자를 변화시키거나 개선하여 어업피해를 줄여나가야 한다. 특히, 전복 가두리양식장에 영향을 미치는 주요 환경 인자는 시설량 증가에 의한 조류 소통의 불량(성, 2011)이므로 이와 관련한 대응책을 찾는 것이 무엇보다 중요할 것으로 보인다.

먹이 관리를 통하여 가두리 하부에 사육기간 경과에 따라 지속적으로 누적되는 질소계 부산물 생성 인자를 최소화하여야 한다. 먹이 관리는 양식전복의 사육밀도, 가두리 내 용존산소량, 전복의 생리적 특성 등과 연계되는 사안으로 이해하여야 한다. 전복의 적정 사육밀도는 가두리 칸당 800미 정도의 전복을 수용하여 사육하며, 전종 당 일간 먹이공급율을 5~10% 정도 주어야 한다. 또한 고수온기(7월 중순 이후)에는 먹이 공급을 줄이거나 판단에 따라서는 중단하여야 한다.

6월 전후 산란이 집중될 때에는 가두리 내 쉼터와 전복 자체에 대한 세척이 때에 따라 필요하며, 7월 고수온기 도래 전에는 먹이 절식과 더불어 차광망을 설치하여 전복의 안정을 유도하고 산란에 대한 가능성을 줄일 필요가 있다. 8월에는 먹이를 공급하지 않는 것이 좋으며, 9월 또는 그 이후부터 먹이를 소량 공급할 수 있다. 이 경우, 전복의 활동성이나 건강상태를 확인한 후 먹이 공급 여부를 정하는 것이 바람직하다(표 4-2 참조).

가두리의 밀집과 미역 및 다시마 양식장의 확대는 조류의 유속을 감소시키는 중요한 원인으로 인정되고 있다. 양식시설 내 유속 감소가 전복 폐사에 영향을 미치며, 천공성 다모류 감염의 증가에도 영향을 줄 수 있으므로 장기적으로 어장과 시설의 개선에 대한 장기적 계획 수립이 필요하다.

또한, 다양한 종류의 교잡으로 양식전복의 생식소 성장에 교란이 일어나며 참전복과 둥근전복 계열의 교잡에 의한 적산온도 변동으로 산란기가 고수온 도래 시기와 겹치게 됨으로서 피해량이 급격히 증가할 수 있다. 그러므로 속성장과 환경내성에 대한 기준 설정은 물론, 현재 일반적으로 사육 중인 양식전복의 교잡 정도와 교잡에 의한 영향을 면밀히 검토해 볼 필요가 있다.

3 질병

국내에서 양식되고 있는 패류에서 다양한 생물성 요인에 의한 질병이 발생하였으며, 심할 경우 대량 폐사를 일으킨 경우도 있다(국립수산과학원, 2002). 굴에서는 난소기생충병(*Marteilioides chungmuensis*), VGH(papova-like virus), MLO(mycoplasma-like organism) 등이 확인되었으며, 진주담치에서는 AHM(herpesvirus), 난소기생충병(*Marteilioides chungmuensis*)이, 진주조개에서는 버나바이러스감염병(birnavirus), 바지락의 퍼킨수스병(*Perkinsus olseni*) 등이 보고되었다.

전복에 나타나는 생물성 원인체에 의한 질병에는 바이러스, 세균(리케차 포함), 기생충, 조류 등이 원인으로 작용한다. 그러나 이러한 병원체들도 특정 상황(부화, 치패 생산, 출하 단계 등)이었을 때를 제외하면 폐사의 1차적 질병 원인체로 작용한 사례의 예가 매우 드물다. 즉, 자연적 또는 인위적 스트레스 조건하에서 심각한 영향을 받은 이후 방어력이 저하되었을 때 2차적 질병 원인체로 작용하는 경우가 많다.

1) 전복에 발생하는 질병

세계적으로 100여종 이상의 다양한 전복이 자연산으로 또는 양식되고 있으며, 각각의 숙주에 대하여 특이적 또는 비특이적으로 감염되어 영향을 미치는 병원체는 다양하다(표 6-1).

전복에 심각한 영향을 미치는 바이러스성 질병으로는 전복허피스바이러스병(infection with abalone herpesvirus, AbHV)과 근위축병이 있다. AbHV는 Abalone viral ganglioneuritis(AVG)로도 알려져 있으며 호주에서는 심각한 질병으로 받아들여지고 있다(Corbeil et al., 2016; OIE, 2019). 2011년 호주 테즈메니아 소재 수산물 가공 공장에서 최초 발생하였으며, 폭우 후 염분농도 저하에 의한 스트레스를 언급하였으며

90% 이상의 누적폐사율을 보인 바 있다. 근위축병은 1980년대 후반부터 일본에서 문제가 되었으며, 발근육의 위축, 부착력 감소, 이동성 저하, 성장 저하 등의 임상증상을 보이며 치패에서 약 50%의 누적폐사율을 나타내었다.

표 6-1 전복에서 보고된 주요 질병과 국내 발생 여부

질병분류	질병명	국내 보고	비고
바이러스성 질병	근위축증	×	
	전복허피스바이러스감염증(Abalone herpesvirus, AbHV) = Abalone viral ganglioneuritis(AVG)	×	호주, 대만
	전복분열증후군(Abalone shriveling syndrome, AbSS) = crack-shell disease = Sphereovirus	×	중국, 대만
세균성 질병	제노할리오티스캘리포니엔시스 (<i>Candidatus Xenohaliootis californiensis</i>) 감염증 = Withering syndrome(WS), Withering disease, Abalone wasting disease, Withering syndrome - an interacellular Rickettsiales like prokaryote (WS-RLP), Withering syndrome caused by an infection with the Rickettsia like organism (WS-RLO)	×	미국, 멕시코, 아일랜드, 프랑스, 일본, 남아프리카, 중국(?), 스페인
	비브리오(<i>Vibrio harveyi</i>) 감염병	○	
	비브리오(<i>V. fluvialis</i> biotype 2) 감염증 = <i>Vibrio furnissii</i> 감염	×	중국
	비브리오(<i>Vibrio alginolyticus</i>) 감염병	×	중국(치패)
곰팡이성 질병	난균병(<i>Atkinsiella</i> sp.가 원인)	×	축양 시 발병
	<i>Haliphthoros milfordensis</i> 감염증	×	일본 축양 시 발병
	<i>Halocrusticida</i> spp. 감염증	×	축양 시 발병
기생충성 질병	퍼킨수스(<i>Perkinsus olseni</i> , <i>P. marinus</i>) 감염병	×	
	섬모충감염증(<i>Mantoscyphidia</i> sp. 감염증) = <i>Scyphidia</i> -like and <i>Sphenophrya</i> -like ciliates	×	영국, 캐나다, 미국, 멕시코
	편모충감염증(<i>Cryptobia</i> infection/ <i>C. abalonesis</i> 감염증) = Flagellates of abalone	×	남중국(해)

질병분류	질병명	국내 보고	비고
	하플로스포리디움 감염증(<i>Haplosporidium montforti</i> 감염) = Haplosporidian parasites of abalone	×	뉴질랜드, 스페인, 프랑스
	선충감염증 = Nematode parasitism of the abalone foot = Larval nematode infection	×	미국, 멕시코
	요각류 감염증	○	규조류 파판에 대량 번식
남조류에 의한 질병	<i>Mastigocoleus</i> sp.에 의한 감염	○	수질 또는 차광 문제 의견도 있음
기타	벽오름증	○	원인 미상, 유패(幼貝)
	다모류(<i>Polydora</i> sp.)의 기생 = Shell-boring polychaetes = Blister worms = mudworms	○	
	가스병(Gas bubble disease)	○	산소 과다공급

전복에 대한 세균성 질병으로는 *Vibrio* spp. (*V. harveyi*, *V. splendidus*, *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus*, *V. campbellii*, *V. tubiashii* 등), *Klebsiella oxytoca*, *Flavobacterium-like* 세균군, *Pasteurilla* spp. 등이 알려져 있다. 이런 균주들은 대부분 쇠약증후군(withering syndrome)의 증상을 동반하며, 균주의 분포와 감염성에 비추어 전복 폐사의 1차 원인체가 아닌 2차적 조건성 병원체로 판단된다. 그러나 치패에서는 1차 질병 원인체로 작용할 가능성도 있을 것으로 생각된다. 중국에서만 발병 보고되어 있는 전복 발에 수포(blister-like lesion)를 형성하는 것으로 알려진 *Vibrio furnissii*(동일명, *Vibrio fluvialis* biotype-2)에 의한 질병(blister disease 또는 pustule disease)은 결합조직과 근섬유에 강한 염증반응을 나타내어 용해시키며 50-60%의 폐사율을 보고하고 있으므로 국내에 유입되지 않도록 세심한 관리가 필요하다(Li et al., 1998; Austin, 2010).

2) 우리나라 전복에 발병하는 질병

우리나라 자연산 및 양식산 전복에서 비브리오병(*Vibrio harveyi*), 패각괴사증(*Mastigocoleus* sp. 감염), 근위축증, 복부팽만증, 천공성 다모류(*Polydora* sp.) 기생, 가스병(gas bubble disease) 등이 보고된 바 있다. 그러나 전복의 근위축증과 복부팽만증은 증상으로서만 알려져 있을 뿐 질병 원인 인자의 분리 및 보고 사례가 없으므로 질병을 일으키는 특정 병원체의 감염에 의한 것은 아니며, 질병이나 폐사로 이어지는 과정의 한 단계에서 나타나는 증상으로 판단된다(그림 6-4).

비브리오병은 스트레스(예; 고수온, 밀식, 사육환경 등)에 의한 영향으로 방어력이 저하되었을 때 나타나는 것이 일반적인데, 쇠약하거나 폐사가 진행되는 상황에서 감염되므로 폐사율을 증가시키는 원인으로 작용한다. 패각괴사증은 남조류인 *Mastigocoleus* sp.의 패각 기생으로 발병하는데 1~3월 육상수조식 양식장에서 주로 발생한다. 패각이 얇아지고 4~6번 호흡공 부근의 패각괴사가 특히 심하여 성장이 늦어지며 폐사에 이를 수도 있다.



그림 6-4 전복의 근위축증

3) 패각 천공성 다모류 감염증

국내 전복 양식장에서 ‘다모류’로 불리는 천공성 수생동물은 긴얼굴갯지렁이속(genus *Polydora*)에 속하는 환형동물로 *P. aura*, *P. haswelli*, *P. uncinata* 등이 보고되었다 (Sato-Okcoshi et al., 2012; 원 등, 2013).

가. 감염 확인

다모류 성충이 확인된 전복의 패각 외측 또는 내측에 다모류의 감촉사(palps) 운동을 확인할 수 있으며, 내측은 황색부터 흑색에 이르는 색소의 침착이 확인된다. 전복 패각에 다모류가 감염되었을 때 2개의 천공이 생성된다(그림 6-5, 그림 6-6). 장기간에 걸쳐 다모류의 기생이 이루어진 부위의 패각 내부에 이형구조물이 형성되며 내부에 성충이 확인된다. 경우에 따라 유충의 무리가 천공굴의 입구 주변에 다수 기생하는 것을 확인할 수 있다(그림 6-7).



그림 6-5 전복의 다모류 감염증

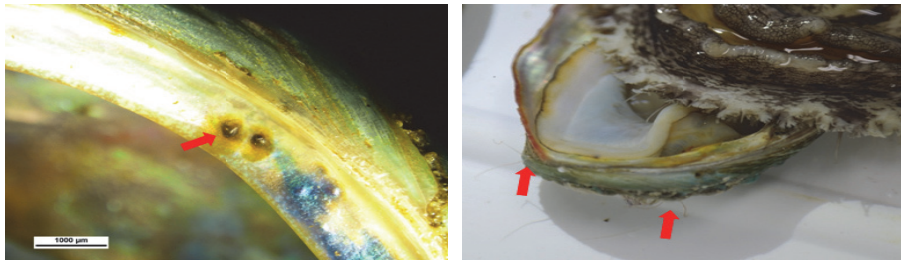


그림 6-6 다모류 천공 흔적(좌)과 다모류의 기생(우)

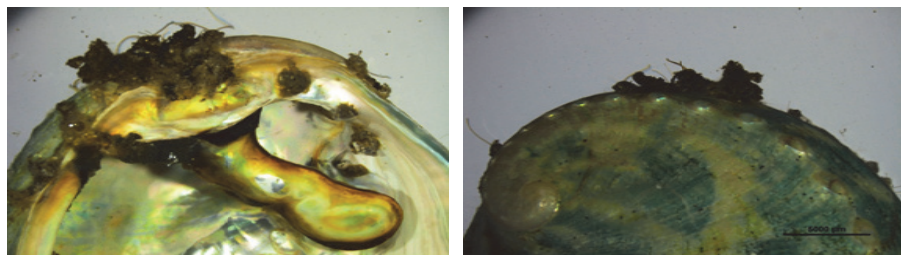


그림 6-7 다모류 감염에 의한 이형구조물 형성(좌)과 어린 다모류의 기생(우)

나. 감염률

2012년 10월부터 2015년 10월까지 약 3년간 완도지역 전복 가두리양식장을 대상으로 다모류 감염 현황과 변화를 조사하였을 때, 월별 감염률 평균은 38.4%로 조사되었으며, 월 평균 감염률은 6월에 28.8%로 최소값을 보였고 9월에 52.4%로 최대값을 보였다(김 등, 2019; 그림 6-8). 즉, 다모류 감염률의 변화는 여름철에 증가하여 겨울철에 감소하는 경향을 보이는데 특히, 8월에 평균 감염률의 유의적 증가가 관찰되므로 감염률과 수온과의 상관성을 유추해 볼 수 있다. 그러나 조사한 가두리양식장의 다모류 감염률은 0~99%로 다양한 분포를 보여 양식지역과 환경, 양식관리, 종자의 입식 등에 따라 감염 정도가 다를 수 있어 보다 세밀한 연구 필요성을 있다(김 등, 2019).

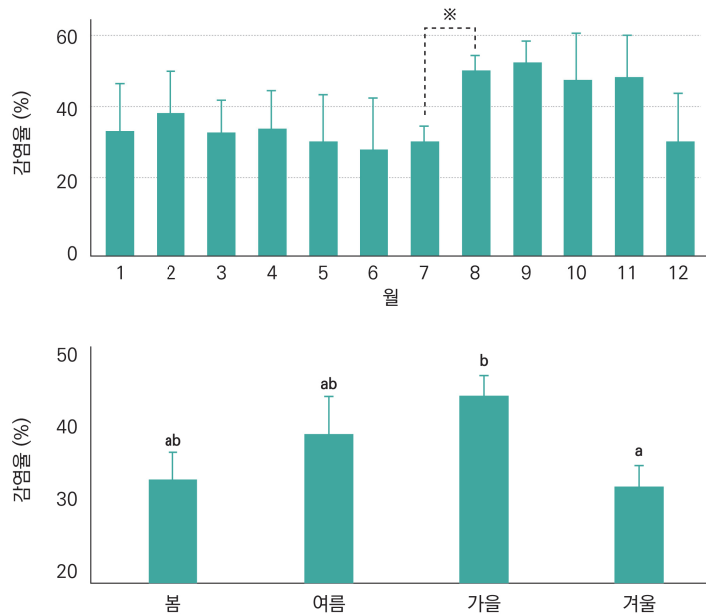


그림 6-8 완도지역 월별(상) 및 계절별(하) 다모류 감염률 변화

다. 치패 생산장의 다모류 감염

2015년에 완도, 진도 및 해남지역에 소재한 18개 육상 양식장의 치패를 대상으로 다모류 감염을 확인하였을 때 10개 양식장에서 감염이 확인되었으며, 전체 조사 시료의 평균 감염률은 5.4% 이었다. 이들 감염이 확인된 전복 패각 당 1개체의 다모류가 확인되는 것이 일반적이었으나 최대 4개체가 감염된 경우도 관찰되었다(김 등, 2019).

라. 다모류 피해 대응

다모류의 감염이 전복의 폐사에 직접적으로 영향을 미치는 지에 대한 의문은 여전히 남아있다. 또한 양성 3년차의 대형전복 양식어가에서 다모류 감염이 폐사에 영향을 미친다는 주장이 여전하므로 천공성 다모류를 제어 및 예방하기 위한 방안을 수립하는 것은 필요하다.

농업용, 축산용 및 수산용 살충제 및 소독제 10개 약품을 이용한 다모류 구제 실험을 수행하였는데 각 약품의 사용허용 용량 내에서는 구제 효과가 나타나지 않았다. 이는 다모류의 생활사 중 대부분의 시기를 패각 내 구멍에서 보내기 때문으로 생각된다.

다모류 감염률 증가의 주요 원인은 물 흐름의 저하, 밀식, 펄이나 저질 성분의 부유 증가, 치패 시기의 감염률 등을 들 수 있다. 즉, 가두리망 내 물 흐름을 높여주고, 전복의 사육밀도를 낮춤과 동시에 크기나 입식시기가 다른 전복 가두리망 사이의 거리를 늘려 주며, 다모류에 감염된 치패를 가능한 입식하지 않아야 한다.

4) 부착생물에 의한 문제

전복 가두리양식장이 밀집한 해역에서 굴, 담치, 산호류, 미더덕, 해면 등이 전복 패각에 부착하여 피해를 입히는 사례가 늘고 있다. 이들 생물이 부착한 전복은 이동에 제한을 받아 먹이활동에 영향을 미치며, 호흡공을 막거나 변형시켜 생존에 영향을 미치는 것으로 판단되기도 한다(그림 6-9). 특정 해역에 없던 이러한 부착성 생물의 증가는 전복 종자의 이동, 먹이 운반, 선박 부착 등에 의하여 유입되고 번성된 것으로 생각되나 정확한 원인 구명은 어렵다.

부착생물의 유생이나 성체의 이동이 최소화 될 수 있도록 해역관리를 하여야 하며, 필요시 부착생물을 제거하는 작업을 하여야 한다.



그림 6-9 전복 패각에 부착한 굴

5) 국외 전염병의 전파에 대한 대응

전 세계적으로 전복을 포함한 다양한 종류의 패류가 양식되고 있으며, 이들 패류 또는 전복 유래 질병이 우리나라에 유입되어 확산될 가능성이 매우 높아지고 있는 상황에 있다. 국외 전염병 원인 병원체는 환경적 인자나 숙주 특이성에 의하여 질병으로서 능력을 상실할 수도 있지만, 반대로 국내 사육 전복이 병원체로 처음 접하기 때문에 면역반응에 의한 대처가 미흡할 수 있으므로 상상 이상의 피해가 나타날 수 있는 양면성을 가지고 있다. 그러므로 ‘만약’이라는 전제에 의한 질병관리가 아닌 체계화된 시스템에 따른 질병관리가 이루어져야 한다.

국외 전염병의 유입과 확산을 방지하기 위해서는 1) 국외 전염병의 차단과 확산 억제 시스템(검역과 방역)의 강화, 2) 건강한 종묘의 생산과 질병 검사의 상시화, 3) 양식 및 축양 시 양식생물과 환경의 관리 철저 등에 대한 충분한 이해와 적용이 필요하다. 더불어 종묘시설의 격리와 시설 소독, 해수 살균과 수정란 세정, 종묘와 성패의 격리 사육, 주요 질병 발생 시 수온과 생물의 이동 및 관리 철저 등의 자발적이며 책임있는 조치가 따라야 한다.

4 맺음말

전복 양식에서 폐사에 의한 피해는 해마다 증가하는 경향을 보이고 있다. ‘질병’이라는 영역을 확장하여 해석하면 폐사에 이르는 모든 상황을 아우를 수 있으나 전복의 경우, 현재까지는 생물학적 질병 요인과 비생물학적 질병 요인이 비교적 구분되어 해석될 수 있는 경향을 보여 왔다. 뿐만 아니라 가두리 양식장에서의 생물성 요인에 의한 질병 발생 사례는 거의 없으며, 생물성 원인체가 개입하는 폐사 상황이라 하더라도 다른 요인(환경, 전복 자체)이 관여한 이후 2차적으로 나타나는 경향이 높으므로 1차 원인체에 대한 구명과 대응이 폐사 피해를 최소화 하는데 중요할 수 있다. 최근 들어 세계동물보건기구(OIE)의 정보에 의하면 전복류에 심각한 영향을 미치는 생물성 요인에 의한 질병이 보고된 예가 증가하고 있으므로 관련 조사와 연구가 지속되어야 할 것이다.

2015년과 2018년 여름철에 전남 지역의 전복 가두리양식장에 대량폐사가 심하여 언론에서도 지대한 관심을 가진 바 있다. 전복의 대량폐사는 고수온, 적조 형성, 질병 발생 등이 주요한 원인으로 관여하지만 어장환경의 악화와 양식관리의 부실 등이 합쳐져서 폐사 정도를 높이는 것이 일반적이다. 다양한 정보를 종합해 보면, 대량폐사에는 단일의 주요 원인에 의하여 일어나기 보다는 주요 원인 인자에 더해 여러 원인들이 복합적으로 관여하는 것으로 이해하여야 하며, 이들 원인 중 일부를 잘 관리해도 피해나 폐사 정도를 상당히 줄일 수 있다. 우리나라 전복양식업에 심각한 영향을 미치는 원인 인자들 중 여름철 수온 상승과 이로 인하여 파생되는 문제들에 대한 이해와 대응이 필요한 시점이다.



07

자연재해 대비 양식장 관리 요령

본 단원의 내용은 국립수산물과학원 「자연재해 대비 양식장 관리 요령(2018.7.)」의 내용임

자연재해 대비 양식장 관리 요령

07

1 저수온

저수온 특보는 주의보와 경보로 구분된다. 저수온 주의보는 수온이 4℃로 예측되는 해역에 발령되며, 저수온 경보는 4℃ 이하에서 수온이 3일 이상 지속되거나 저수온이 지속적으로 유지될 것으로 예상되는 해역에 발령된다. 또한 전일 수온에 비해 3℃와 5℃ 이상 하강할 경우에도 저수온 주의보와 경보를 각각 발령할 수 있다.

1) 가두리 양식장

- 혹한과 풍파에 대비하여 닻, 부자 등 가두리 관련 시설물을 점검하고 필요한 경우 시설물을 보강한다.
- 수온이 낮으면 수산생물의 생리기능이 낮아지는데 다시 수온이 상승할 때 대량 폐사가 우려되므로 가두리 시설의 수심관리를 철저히 한다.
- 월동 전에 충분하게 건강도를 향상시켜 질병 피해를 최소화한다.

2) 육상수조식 양식장

- 배관의 균열과 누수부분을 보수하고 시설물이 폭설과 강풍에 파손되지 않도록 사전에 보강한다.
- 정전에 대비한 비상 발전시설을 점검하고 비상연료를 확보한다.
- 보온덮개 등으로 보온을 강화하고, 출입문은 비닐 등으로 이중 설치한다.
- 수심이 낮을 경우 동사 가능성이 높으므로 가능한 수위를 높일수 있도록 준비한다.

3) 기타

- 조류 소통 불량에 의한 폐사를 방지할 수 있도록 적정시설을 유지한다.
- 폭설에 대비하여 지붕 등 취약한 시설물을 보강한다.

표 7-1 저수온 특보시 양식장 관리 요령

월동기 전(12월 이전 조치사항)	사 후 조 치
● 시설물을 점검, 보강한다. ● 설치된 시설물은 한파, 풍파 등의 영향을 덜 받도록 침하시킨다. ● 닻, 부자, 보호망 등 시설물을 보강하여 피해를 방지토록 한다. ● 이동이 가능한 시설물은 사전에 안전한 장소로 이동시켜 유실을 방지토록 한다.	● 시설물은 정상위치로 환원 조치한다. ● 닻, 부자, 수하연, 뗏목 등의 일부 파손물은 제거하여 연쇄 파손을 예방한다. ● 수온, 염분, 수질 등 어장환경 조사 등으로 수산질병 관리를 한다. ● 폐사체, 유입오물 등은 신속제거하고, 노출된 양식물은 채취하며, 양식장 수질변화에 유의한다.

2 고수온

고수온 특보는 관심단계, 주의보, 경보와 해제의 4단계로 구성되어 있다. 특히 수온 28℃에 도달될 것으로 예측되는 해역에는 고수온 주의보가 발령되며, 28℃ 이상의 수온이 3일 이상 지속되거나 계속 고수온으로 지속될 것으로 예상되는 해역에는 고수온 경보가 발령된다. 또한 전일 수온 대비 3℃와 5℃ 이상 수온이 상승할 경우 고수온 주의보와 경보를 각각 발령하게 된다.

1) 고수온에 의한 영향

- 패류는 고수온이 지속되면 먹이활동이 둔화되고 성장이 낮아지며, 질병 발생이 증가할 수 있다. 또한 패각의 개폐 활동이 둔화된다.
- 일반적으로 생체에 적합한 수온범위에서는 수온이 상승하면 대사율이 높아져서 성장이 빨라진다. 그러나 양식생물이 견딜 수 있는 내성범위를 넘어서는 고수온이 나타나면 대사 체계가 균형을 잃어 성장이 둔화되는데 이는 폐사로 이어질 수 있다.

2) 양식장 관리 요령

고수온에 대비한 수산생물 양식장의 양식방법별 관리 요령을 요약하였다(표 7-2). 또한 전복 육상수조식 양식장과 가두리 양식장의 관리 요령에 대해서도 표 7-3와 표 7-4에 각각 나타내었다.

- 수온, 용존산소량 등에 대한 어장 점검과 양식생물 동태 점검
 - 양식생물은 고수온과 용존산소량이 부족한 경우 생리적인 측면에서 스트레스를 받게 된다.
- 사육밀도 조절, 환수량 및 산소 공급량 증대 조치
 - 고수온기에는 용존산소량이 감소하여 산소 부족현상을 일으킬 수 있으므로 밀식을 줄인다. 환수량을 증가시키며, 액화산소나 산소공급 장치를 추가적으로 가동하여 용존 산소량을 높이도록 한다.
- 스트레스 최소화
 - 고수온기에는 양식생물에게 선별, 분산 또는 계속 등에 의한 스트레스를 주지 않도록 세심한 주의와 관리가 필요하다.
- 먹이공급 중단
 - 고수온기에는 사료공급을 줄이거나 중단하는 것이 좋다. 고

표 7-2 고수온 대비 수산생물양식 방법별 양식장 관리 요령(요약)

구분	관리요령
공통	● 수과원 홈페이지 등을 통한 주변 수온 확인 및 사육수온 조사 ● 먹이공급 전면 중단 ● 조기 출하 ● 선별, 이동 금지 등 스트레스 발생 최소화 ● 액화산소 및 포기장치를 이용한 충분한 산소 공급 ● 피해 발생시 관할 지자체에 즉시 신고
육상수조식	● 양식장 실내 온도 상승 방지를 위한 창문 개방 등 통풍(외부 기온 고려) ● 과도한 수온 상승시, 취수 중단 및 액화산소 주입으로 수온 하강
해상가두리식	● 선별, 망갈이 등 어체에 스트레스 줄 수 있는 작업 금지 ● (깊은 수심 양식장) 저층수 교반 및 가두리 침하 등

표 7-3 고수온 대비 전복 육상수조식 양식장 관리 요령

구분		관리요령
고수온 발생전 (26℃ 이하)	연락체계 구축	● 지자체 및 국립수산물과학원 등 담당자 연락체계 구축
	사육현황 파악	● 전체 사육량 및 출하물량 파악
	사육관리	● 선별작업 완료 ● 환수량 조절(4~6 회전→6~8 회전/일) ● 액화산소 공급 시작(0.6 L/수조(1.2×7.2 m)/1일) ● 먹이공급량 조절: 절식(평소의 50~70%) ● 사육수조 청소: 10일 간격 ● 조도: 2,000 Lux(차광막 1~2겹)
	시설관리	● 취수구, 취수관, 집수정, 저수조 점검 및 청소 ● 양수기, 산소발생기, 벤츄리, 냉각기, 발전기 등 장비 점검 ● 안심벨 설치(정전, 각종 기기, 수온 이상 상승·하강, 용존산소 5 ppm 이하 감소) 및 가동 ● 통풍장치 설치
고수온 발생시 (26℃ 이상)	사육관리	● 환수량 유지(6~8 회전/일) ● 액화산소 공급량 증가(0.8~0.9 L/수조(1.2×7.2 m)/1일) ● 먹이공급 중단 ● 조도: 1,500 Lux(차광막 2~3겹)
	시설관리	● 산소발생기, 순환펌프, 벤츄리 펌프 등 가동 확대 ● 통풍장치 가동 및 창문 개방 ● 냉각기 및 히터펌프 가동
폐사 발생시		● 신속한 피해발생 신고 및 폐사체 처리

표 7-4 고수온 대비 전복 가두리 양식장 관리 요령

구분		관리요령
고수온 발생전 (26℃ 이하)	연락체계 구축	● 지자체 및 국립수산물과학원 등 담당자 연락체계 구축
	사육현황 파악	● 전체 사육량 및 출하물량 파악
	사육관리	● 조기 출하 ● 먹이(해조류)공급량 조절 - 10일 기준 양성 1년차 약 14kg/칸, 양성 2년차 약 45kg/칸, 양성 3년차 약 60kg/칸 * 수온상승으로 인하여 산란이 발생할 수 있으니 수색을 관찰하면서 먹이 공급시기 조절 ● 가두리 망 관리: 부착생물 제거 및 노후 망 교체 ● 차광막 설치 준비 * 먹이공급, 망청소 및 사육전복 상태 관찰 등 지속적인 관리가 필요하므로 차광막을 미리 설치하기 보다 출하 후 비어있는 가두리의 그물망 청소 후 전복이 있는 가두리 위에 덮어주어 일사량 저감
	시설관리	● 전기시설 및 포기장치, 산소공급장치 가동 점검 ● 저층수 교반(양수)장치 점검 ● 가두리망 침하시설 점검(가두리 상망, 로프, 그물추 등)
고수온 발생시 (26℃ 이상)	사육관리	● 먹이(해조류)공급 중단 ● 차광막 설치
	시설관리	● 액화산소 공급 ● 저층수 교반(양수)장치 가동 또는 가두리망 침하
폐사 발생시		● 신속한 피해발생 신고 및 폐사체 처리

연락체계

사육현황

사육관리

가두리양식

환경내성과
생식주기

폐사와
질병관리

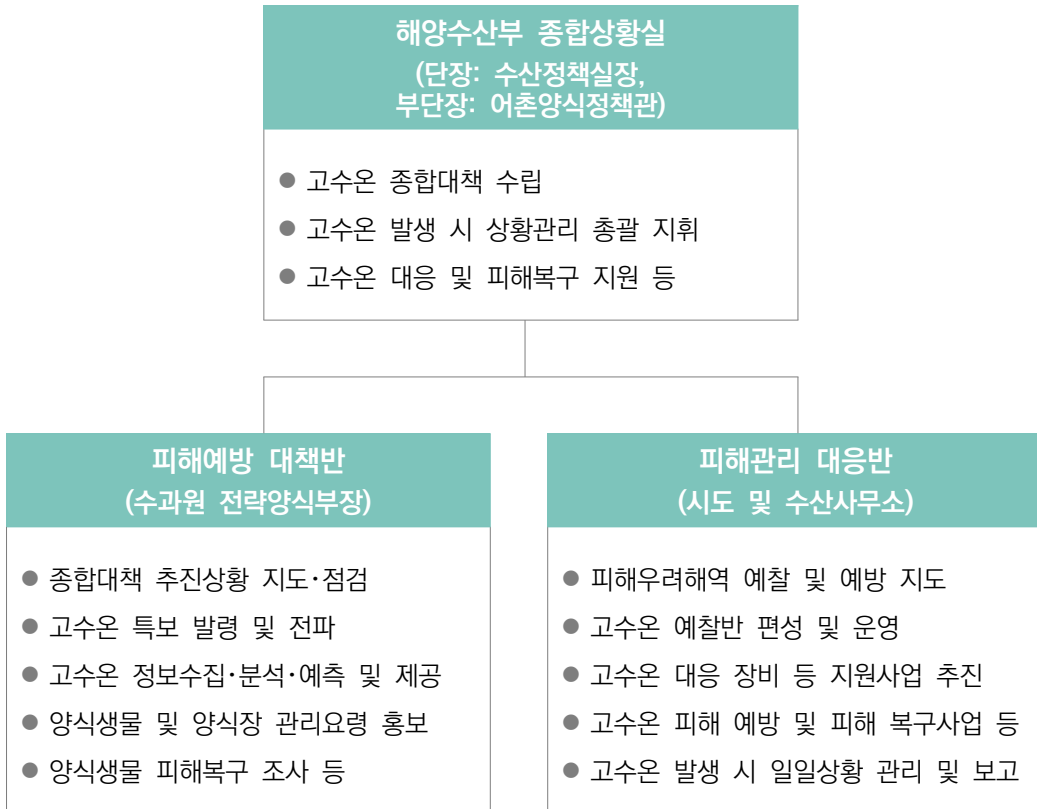
자연재해대비
양식장관리요령

미래의
전복양식

참고문헌

표 7-5 고수온 대응체계(해수부, 수과원, 시도/시군)

(해수부) 종합대책 수립 및 상황관리 총괄 지휘 등



* 특보발령 주체 : 해양수산부장관(위임 : 국립수산물과학원장)

** 발령 방법 : 국립수산물과학원 홈페이지/SMS서비스/보도자료

(수과원) 수온정보 분석·제공, 양식장 관리요령 홍보, 특보발령 등

표 7-6 고수온 특보 단계별 조치사항(해수부, 수과원, 시도/시군)

위기수준	위기경보	주요 조치사항
평시 및 관심단계 주의보(수온 28℃) 발령이 예측되는 시점의 7일전·후	주의보 발령 전 및 관심단계	- 현장점검 및 어업인 교육 강화 - 재해보험 가입 독려(특약 가입 유도) - 적정량 입식 및 사전 출하 유도 - 사육환경 개선(사육량·급이량조절, 면역증 강제 공급 등) - 고수온 대응장비 지원 등
- 수온 28℃가 도달 될 것으로 예측되는 해역 - 전일 대비 3℃이상 상승 현상을 보이는 해역 - 평년대비 2℃ 이상의 수온상승	주의보	- 양식생물 및 어장환경 모니터링 강화 - 고수온 대응장비(액화산소, 산소발생기, 냉각기, 지하해수공급 등) 가동 - 긴급방류추진 : 질병검사(3일 이내) - 피해 우려해역 현장 지도 활동 강화 - 어장환경 변동 상황 조사·분석 통보 (수과원→시·도→유관기관, 수산사무소) - 고수온 관측 즉시 계통보고 (수산사무소/시·도)→수과원→해수부
- 수온 28℃ 이상이 3일 이상 지속되는 해역 - 전일 대비 5℃ 이상 상승 현상을 보이는 해역 - 해역/생물의 특성상 피해 발생 우려 해역	경보	- 유관기관 인력/장비 총동원 피해 최소화 - 양식피해 발생 시 - 피해 발생해역 현장 지도 활동 강화 (지자체) - 선박 기동예찰, 자동관측 장치로 고수온 확산 및 상황 파악·전파 - 고수온 대응 T/F팀* 소집 및 유관기관** 협조 요청
평년 수온으로 회복시	특보 해제	특보해제 및 피해복구 추진

* (T/F팀) 해양수산부, 국립수산물과학원, 지방자치단체, KMI, 수협, 어업인대표 등

** (유관기관) 기상청, 해양환경관리공단, 한국해양과학기술원, 지방해양수산청 등

표 7-7 고수온 특보 단계별 어업인 어장관리 요령

위기경보	특보	시기	어업인 어장관리요령
평시 (Blue)	평상시 (24℃ 이하)	5~6월	● 어린고기 입식시 밀도기준 준수, 입식 ● 피해어장 고수온 취약품종 입식 자제 및 대체어종 입식 ● 조기 출하 및 사전 분산(분망)으로 사육밀도 조절 ● 대응장비 보강 및 수리 등 가동 준비태세 완료 ● 양질의 사료에 영양제, 면역증강제를 혼합공급하여 활력 강화
주의 (Yellow)	고수온 관심단계 (25~26℃)	7월	● 사료공급량 감소 또는 공급중단 ● 어류질병 사전예방 및 약제투여에 의한 치료 완료 ● 가두리 그물 도색, 교체 및 청소 ● 차광막 시설 및 가두리 그물 침하시설 사전 준비·점검
경계 (Orange)	고수온 주의보 (27~28℃)	8월	● 수온·용존산소 모니터링 등 자기 어장 점검 ● 양식생물 동태 파악 점검으로 대응조치 적극 이행 ● 사료공급 중단 ● 대응장비 총력 가동 - 액화산소공급장치, 저층해수공급장치, 산소발생기, 에어컴프레셔 등 ● 차광막 설치 및 가두리 그물 침하
심각 (Red)	고수온 경 보 (28℃ 이상)	8월	● 수온·용존산소 모니터링 등 자기 어장 점검 ● 양식생물 동태 파악 점검으로 대응조치 적극 이행 ● 사료공급 중단 ● 대응장비 총력 가동 - 액화산소공급장치, 저층해수공급장치, 산소발생기, 에어컴프레셔 등 ● 차광막 설치 및 가두리 그물 침하
해제	고수온 특보해제 (26℃ 이하)	9월 이후	● 사료 공급량을 서서히 증가 ● 어체 약화로 인한 질병발생 우려, 어류질병 관리 강화 ● 어체 안정화 및 산소 보강을 위한 액화산소 공급

3 집중호우

장마 시기에 집중호우는 연안 해수의 저염분화를 초래할 수 있다. 양식장내 저염분수가 다량 유입되면 양식생물에게 스트레스를 유발 시킬 수 있다. 전복은 저염분에 매우 약하므로 장시간 노출되지 않도록 하여야 한다.

1) 육상수조식 양식장

- 집중 호우가 발생하면 양식장 내 저염분수 현상이 나타나는지 확인하여야 한다. 또한 육상에서 유입된 쓰레기 등 이물질은 수시로 제거한다.
- 탁수가 유입되지 않도록 사육수 수질을 수시로 점검하여야한다.
- 담수 유입으로 저염분수나 탁수가 유입되거나 수온이 낮아지는 현상이 나타나면 양식생물의 스트레스가 증가할 것이기 때문에 먹이량을 감소시키거나 중지시킨다.
- 일반적으로 해양생물의 서식 염분 범위는 33 내외이다. 염분이 높은 해수에 적응된 생물들은 저염분(20 이하) 상태가 되면 체내 삼투압의 변화로 활력이 떨어지며 일정기간을 초과하면 폐사한다. 따라서 사육수가 적정 염분을 유지할 수 있도록 취수를 중단하고 사육수를 자체 순환시킨다.
- 사육수조에 액화산소장치 등을 가동시켜 용존산소량을 높인다.
- 저염분이 장기간 지속될 경우를 대비하여 천일염을 준비한다.

2) 해상가두리식 양식장

- 먹이공급을 중지시킨다.
 - 집중호우로 육상에서 유입되어 가두리 망에 걸린 오염물질을 수시로 제거한다.
 - 전복 등 패류의 경우에는 염분이 25~28 이하에서 2일 이상 지속될 경우 폐사가 일어날 수 있으므로 유의하여야 한다.
- ※ 일반적으로 패류는 염분에 매우 민감하므로 집중호우시 수시로 염분 점검이 필요함

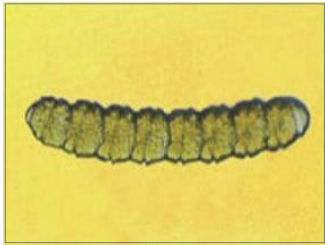
표 7-8 집중호우(저염분) 대비 양식장 관리 요령

구분	관리요령
공통	● 먹이공급 감소 또는 중단, 염분 회복시 서서히 사료량 증가 ● 조기 출하 ● 포기장치, 산소공급기, 액화산소 가동 ● 선별, 수송 등 어체에 스트레스 줄 수 있는 작업 금지 ● 수시로 주변해역 및 양식장내 염분 및 사육수온 조사 ● 피해 발생 시 관할 지자체에 즉시 신고 ● 신속한 폐사체 처리로 2차 오염 방지
육상수조식	● 저염분 발생 전 저수조에 사육용수 저장 ● 환수량을 감소시켜 사육수의 급격한 염분변화 방지
해상가두리식	● 가두리 침하

4 적조

적조(red tide)란 식물플랑크톤이 대량번식해서 바닷물의 색깔이 적색, 황색, 적갈색 등으로 변색되는 자연 현상을 말한다. 그러나 근래에 와서는 적조가 직·간접적으로 양식생물에게 피해를 일으키고 있어서 유해조류의 대번식(harmful algal blooms)이라는 의미로도 사용된다.

표 7-9 우리나라 주요 유해 적조생물

적조생물	형태 특성	생태 특성
코클로디니움 (<i>Cochlodinium polykrikoides</i>) 	● 각유무 (무각성) ● 크기 (40 μm 내외) ● 체인유무(8~16개체) ● 많은 량의 점액질 분비	● 여름철(23~25℃)인 7~9월 발생 ● 90% 이상 표층 분포 ● 어류 아가미에 흡착, 질식 폐사 ● 활력 호조건 시 군체 형성 ● 황토 살포시 군체·형태 파괴 (80% 이상)

적조생물이 대량으로 번식하면 일차적으로 수산동물의 호흡기에 부착하여 호흡 장애를 일으킨다. 이들 적조생물은 질소, 인 등의 영양염류를 다 써버리게 되면 일시에 죽어 바닥에 가라앉는다. 이 때 세균들이 이들을 분해하는 과정에서 산소를 사용하는데 용존산소가 급격히 감소하면 이 해역에서 양식되는 생물들의 피해가 증가한다. 특히 적조생물이 유독성일 경우에 어패류들은 호흡과정이나 먹이섭취 과정에서 독소에 중독되어 폐사하게 된다.

국립수산과학원은 이들 적조로 인한 양식생물의 피해를 저감시키기 위해 적조가 발

생하여 그 세력이 확대되거나 유독종의 출현으로 어업 피해가 발생할 위험이 있을 때 적조예보를 발령한다.

적조예보의 종류는 적조예비주의보, 적조주의보, 적조경보와 적조해제의 4단계로 구분할 수 있다(표 7-10). 적조예비주의보는 적조생물 출현 밀도가 증가하여 적조발생 가능성이 예상될 때 발령하며, 적조피해를 조기에 예방하기 위하여 새로이 신설되었다. 적조주의보는 반경 2~5 km(12~79 km²) 수역에 걸쳐 발생하고 어업피해가 우려될 때 발령된다. 적조경보는 반경 5 km(79 km²) 이상의 수역에 걸쳐 발생하여 상당한 어업피해가 예상될 때 발령된다. 이 후 적조가 소멸되어 어업피해의 위험이 없고 수질이 정상 상태로 회복했을 때 적조해제를 발령하게 된다.

여기서는 육상수조식과 해상가두리식 양식장에서의 대처요령을 요약하여 제시하고자 한다.

1) 육상수조식 양식장

가. 적조 발생 전

- **적정 사육밀도 유지** : 사육 밀도가 높으면 예비수조로 분산하고 판매가 가능한 양식생물은 조기에 출하하여 적정 밀도를 유지할 필요가 있다. 쾌적한 환경을 조성하여 양식생물의 건강도를 높일 필요가 있다.
- **사육환경 청결유지** : 수조 내 먹이 찌꺼기나 부착규조 등을 청소한다.
- **산소공급 시설** : 포기장치, 산소공급 장치나 여과기 등을 설치한다.
- **건강상태 파악** : 질병발생 여부를 관찰하고 건강도를 최상으로 유지시킨다.
- **주변해역의 적조 발생시기 파악** : 양식장 주변해역의 적조 발생시기를 미리 파악하여 적조가 발생하기 전에 필요한 대비책을 세우고 점검한다.

표 7-10 적조 예보의 종류와 적조생물 밀도

종류	구 모	적조생물 밀도(개체/mL)	비 고
적조 예비 주의보	적조생물 출현 밀도가 증가하여 적조 발생 가능성이 예상될 때	● 편조류 : 종의 세포크기와 독성도에 따라 결정 - <i>Chattonella</i> spp. : 1,000 이상 - <i>Cochlodinium polykrikoides</i> : 10 이상 - <i>Gyrodinium</i> sp. : 200 이상 - <i>Karenia mikimotoi</i> : 500 이상 - 기타 편모조류 : 10,000 이상 ● 규조류 : 20,000 이상 ● 혼합형 : 편조류가 50% 이상 때 20,000 이상	● 수과원장은 적조생물 특성·해황에 따라 적조발생 가능성이 예상될 때 적조 예비주의보를 발령할 수 있음
적조 주의보	반경 2~5km (12~79km ²) 수역에 걸쳐 적조가 발생하고 어업 피해가 우려될 때	● 편조류 : 종의 세포크기와 독성도에 따라 결정 - <i>Chattonella</i> sp. : 2,500 이상 - <i>Cochlodinium</i> sp. : 100 이상 - <i>Gyrodinium</i> sp. : 500 이상 - <i>Karenia mikimotoi</i> : 1,000 이상 - 기타 편모조류 : 30,000 이상 ● 규조류 : 50,000 이상 ● 혼합형 : 편조류가 50% 이상일 때 40,000 이상	● 수과원장은 적조생물 특성·해황에 따라 피해가 우려될 경우 적조주의보를 발령할 수 있음
적조 경보	반경 5km (79km ²) 이상 수역에 걸쳐 적조가 발생하여 상당한 어업피해가 예상될 때	● 편조류 : 종의 세포크기와 독성도에 따라 결정 - <i>Chattonella</i> sp. : 5,000 이상 - <i>Cochlodinium</i> sp. : 1,000 이상 - <i>Gyrodinium</i> sp. : 2,000 이상 - <i>Karenia mikimotoi</i> : 3,000 이상 - 기타 편모조류 : 50,000 이상 ● 규조류 : 100,000 이상 ● 혼합형 : 편조류가 50% 이상일 때 80,000 이상	● 수과원장은 적조의 진행과 변화정보의 전파 및 어업피해 방지에 관한 조치가 필요할 때 적조 경보를 발령할 수 있음
적조 해제	적조가 소멸되어 어업피해 위험이 없고 수질이 정상상태로 회복했을 때		

일반국민

종교단체

중앙정부

가두리양식

환경내성과
생식주기

폐사와
질병관리

자연재해대비
양식장관리·어획

미래의
전통양식

참고문헌

나. 적조 발생 우려 시

- **조기출하 및 밀도조절** : 판매가 가능한 양식생물은 조기 출하하는 등 사육밀도를 낮출 수 있도록 한다.
- **사육수조 청소** : 수조 내의 사료 찌꺼기나 배설물을 깨끗이 청소한다.
- **장비점검 및 가동** : 해수 여과시설, 산소공급 장치 등을 점검하고 가동한다.
- **액화산소 준비** : 액화산소를 충분히 비치하여 취수 중단에 대비하고, 적조생물 관찰이 어려운 야간에는 가능한 한 취수를 중단하고 액화산소를 공급한다.
- **유수량 증대 및 예비 사육수 비축** : 가능한 유수량을 증대하여 수심을 높이고 사육수를 청결하게 유지한다. 저수조 또는 빈 수조에 깨끗한 해수를 비축한다.

다. 적조 발생 시

- **적조생물의 종류 및 밀도파악** : 적조생물의 독성 유무 및 사육수내 밀도를 조사하고, 취수구 주변 적조생물을 수층별로 채집하여 적조생물 밀도가 낮은 수층에서 취수한다.
- **사육수 공급 조절**
 - 여과해수 사용 : 적조생물을 여과할 수 있는 여과시설(간이 여과시설, 필터 등)을 이용해 해수를 여과하거나 지하해수를 사용한다.
 - 환수량 조절 : 적조생물의 농도에 따라 환수량을 조절하고 피해가 예상되는 적조생물의 밀도에 달하기 전에 사육수의 공급을 중단한다.
 - 사육수 자체 순환 : 각 수조에 순환펌프나 수중펌프 등을 설치하여 자체 순환과 낙차 등을 이용한 산소 보충을 실시한다.
- **사료공급 중단** : 적조 발생기간 동안에는 사료 공급을 중단한다.
 - 취수장 주변 유해성 적조 발견 시 사료 공급을 중단한다.
- **스트레스 최소화** : 양식생물에 스트레스를 주지 않도록 선별이나 수조 이동 같은 별도의 작업을 가능한 한 하지 않도록 한다.

- **산소공급량 증대** : 포기장치, 산소공급 장치 및 액체산소 등을 이용하여 산소 공급량을 최대한 증가시킨다. 단, 사육수의 용존산소량을 수시로 조사하여 과포화가 되지 않도록 주의한다.

라. 적조 소멸 시

- **사육수 순환 재개 및 환수량 증대** : 유입된 적조생물을 빠른 시간 내에 배출시킬 수 있도록 환수량을 증가시킨다.
- **사육환경 정리** : 사육수조와 양식장 주변을 청소한다.
- **건강상태 조사** : 건강상태와 질병 감염 여부를 조사하여 대책을 수립한다.

2) 해상가두리식 양식장

가. 적조 발생 전

- **적정 사육밀도 유지** : 사육 밀도가 높으면 판매가 가능한 양식생물은 조기 출하하여 적정 밀도를 유지시키는 것이 필요하다. 양식생물의 건강도를 높여 사육환경에 대한 내성을 최상으로 유지한다.
- **사육환경 청결 유지** : 가두리망을 교체하거나 청소하여 해수 소통 상태가 최적화될 수 있도록 한다.
- **산소공급 시설** : 포기장치, 산소 공급장치 등을 설치하여 충분한 산소가 공급되도록 하며, 필요시 저층수를 이용할 수 있도록 대비한다.
- **건강상태 파악** : 질병발생 여부를 관찰하고 양식생물의 건강도를 최상으로 유지시킨다.
- **주변해역의 적조 발생시기 파악** : 가두리가 위치한 주변 해역의 적조발생시기를 미리 파악하여 적조가 발생하기 전에 필요한 대비책을 세운다.

나. 적조 발생 우려 시

- **조기출하 및 밀도 조절** : 가능한 한 저밀도로 분산 수용하고, 판매가 가능한 양식생물은 조기 출하한다.
- **사육환경 청결 유지** : 가두리망 교체나 청소 등으로 최적의 해수 소통상태를 유지시킨다.
- **시설 점검** : 포기장치, 발전기 등 전기공급 시설을 언제나 가동할 수 있도록 한다.
- **사료공급량 감소 또는 중단한다.**

다. 적조 발생 시

- **사료공급 중단** : 적조 발생기간 동안에는 먹이공급을 중단한다.
- **스트레스 최소화** : 가두리 이동이 어려울 때에는 일반적인 사육 관리과정에서 발생할 수 있는 스트레스 요인을 최대한 제거한다.
- **산소공급량 증대** : 포기장치, 산소 공급기와 액체산소 등을 이용하여 가두리 내 산소공급 및 저층수 용출을 유도한다.
- **적조생물의 분산** : 적조생물이 저층에 저밀도로 분포할 때에는 공기공급으로 저층수를 용승시켜 표층에 분포되어 있는 적조생물을 외부로 분산시킨다. 선박(스크류)을 활용하여 적조생물을 분산시키거나 유입을 방지한다.
- **주의사항** : 고밀도의 적조가 발생할 경우 야간에 빈산소 상태를 형성할 수 있다. 따라서 적조발생 해역 주변의 양식장에서 야간에 산소결핍에 의한 양식생물의 폐사를 방지하기 위하여 용존산소량의 변화에 주목할 필요가 있다.

라. 적조 소멸 시

- **주의사항** : 대량발생한 적조가 소멸될 때에는 일시에 폐사하여 바닥으로 가라앉아 분해되면서 수서생물에 유해한 황화수소 등을 발생시켜 양식생물에 피해를 줄 수 있으므로 많은 주의가 필요하다.

- **사육환경 정리** : 가두리망 교체나 부대 시설을 청소한다.
- **건강상태 조사** : 건강상태나 질병 감염 여부를 조사하여 대책을 수립한다.
- **정상적인 관리**로 빠른 성장을 유도한다.

표 7-11 적조 대응 체계



표 7-12 적조 발생에 따른 단계별 운영 및 조치사항

위기수준	위기경보	주요 조치사항
유해성 적조 출현 (평시)	관심	● 유해성 적조 진행상황 파악 ● 황토 준비, 방제장비 점검
유해성 적조 국지적 발생 (적조예비주의보 10개체 이상/ml)	주의	● 유해성적조 진행상황 파악 및 신속 전파 ● 유해성 적조발생해역에 대한 항공예찰 준비 ● 해당 지자체 및 수산과학원 상황실 가동 ● 적조방제장비 점검, 황토 등 방제체제 확립 및 초동방제
유해성 적조 확산 (적조주의보 100개체 이상/ml)	경계	● 중앙 종합상황실 가동 및 지방대책본부 가동 ● 유해성 적조진행상황 파악 및 신속 전파 ● 황토살포 등 초동방제 강화 ● 진행상황에 따라 입체적 대응 방제체제 확립
유해성 적조 확산 및 양식어류 폐사 (적조경보 1000개체 이상/ml)	심각	● 중수본 설치·운영(해수부) ● 유해성 적조진행상황 파악 및 신속 전파 ● 유관기관 합동 황토살포 등 총력 방제 ● 피해상황에 따라 폐사어 처리 등 신속한 조치 ● 필요시 중대본 운영(행정안전부)
적조 진정 및 종식단계	위기경보 해제	● 폐사어 처리 및 방역대책 추진 (소독·예찰 등) ● 경보 해제 및 피해복구 추진

표 7-13 적조 대비 양식 방법별 양식장 관리 요령(요약)

구분	관리요령
공통	● 수과원 홈페이지 등을 통한 적조 속보 주시 ● 먹이공급 중단 및 조기출하 ● 포기장치, 산소공급기, 액화산소 가동 ● 양식장 주변해역 및 양식장내 적조생물 관찰 ● 사육환경(수온, 염분, 용존산소 등) 조사 ● 피해 발생시 관할 지자체에 즉시 신고 ● 신속한 폐사체 처리로 2차 오염 방지
육상수조식	● 적조밀도가 높을 때 취수 중단 ● 적조밀도가 낮을 때 취수(야간, 취수 중단) ● 고압모래여과기 등 여과장치 가동, 지하해수 취수 ● 자체 사육수 순환시스템 가동(순환펌프, 수중펌프)
해상가두리식	● 가두리 임시 대피장 이동(적조 심각 전) ● 어장관리선(스크루)을 이용 가두리 주변 적조생물 분산

일반양식

종묘양식

종가양식

가두리양식

환경내성과
생식주기

폐사와
질병관리

자연재해 대비
양식장관리요령

미래의
전통양식

참고문헌

5 폭풍 및 태풍

폭풍은 풍력계급 11(28.5~32.6 m/s)의 몹시 세게 부는 바람을 뜻하며, 흔히 비가 섞여 쏟아진다. 태풍은 강력한 열대저기압을 뜻한다. 세계기상기구는 열대저기압 중에서 중심 부근의 최대풍속이 33 m/s 이상이면 태풍, 25~32 m/s인 것을 강한 열대폭풍, 17~24 m/s면 열대폭풍, 17 m/s 미만이면 열대저압부로 구분한다.

1) 육상수조식 양식장

가. 주의보 및 경보 발효 시

- 탁수 유입방지를 위해 취수구 부근을 점검하고 정비한다.
- 주수구와 배수구, 그리고 수문 등의 시설물을 점검한다.
- 피해가 예상되는 시설물 중 이동이 가능한 시설물은 안전한 곳으로 이동시킨다.
- 먹이공급량을 감소시킨다.
- 사육밀도를 낮춘다.
- 사육수조의 수온 및 용존산소량을 계속 측정한다.

나. 사후관리 요령

- 깨끗한 사육용수를 공급하고 오물과 흙탕물은 즉시 배수한다.
- 피해시설물 및 피해내용을 조사하고 응급 복구를 추진한다.
- 재해발생시 피해여부를 확인 후 보고체제에 의거 신속히 보고한다.

2) 가두리 양식장

가. 주의보 및 경보 발효시

- 닻, 부자, 그리고 가두리 관련 시설물을 점검하고 필요시 보강한다.
- 설치된 시설물은 풍파의 영향을 덜 받도록 침하시킨다.
- 이동이 가능한 시설물은 사전에 안전한 장소로 이동시킨다.
- 종묘입식, 종패살포, 종패수하 등의 작업을 연기한다.
- 선별(채취) 가능한 양식생물은 미리 선별(채취)하여 판매토록 한다.
- 먹이공급량을 감소시킨다.
- 사육밀도를 낮출 수 있도록 분산 수용한다.

나. 사후관리 요령

- 침하시설은 정상위치로 환원시킨다.
- 닻, 부자, 수하연, 뗏목 등의 일부 파손물은 제거하여 연쇄파손을 예방한다.
- 수온, 염분 등 수질이나 적조생물 출현 등 어장환경을 점검한다.



08

미래의 전복양식

미래의 전복양식

08

1 동향 및 문제점

국제연합식량농업기구(FAO)에 의하면 2020년 세계 수산물 총소비량은 1억 7,000만 톤에 이르나 공급량 부족으로 약 2,300만 톤의 공급 부족 현상이 발생할 것으로 전망하고 있다(2010년 세계 어업 및 바다양식 보고서). 우리나라 양식장은 ① 어장 밀집, 조류소통의 불량, 오랜 기간 양식에 의한 양식환경의 악화 등의 문제가 발생, ② 질병의 증가와 재해에 대한 취약성을 가지고 있으며, ③ 기술개발 부진, 양식품종 열성화, 기계화에 대한 의지 빈약, 어업인의 고령화 등으로 양식생산성이 저하되었으며, ④ 생산비용 증가와 가격경쟁력을 하락 등의 문제를 안고 있다.

그러므로 환경친화적인 또는 환경에 미치는 영향을 최소화하는 양식시설과 양식시스템의 개발은 미래의 양식산업 평가에서 중요한 위치를 차지할 것이다.

1) 기후변화

기후온난화는 공중보건학적인 측면에서 주요 위협 요인으로 작용할 것으로 예측하고 있다(Stott et al., 2000; Levitus et al., 2005). 최근 들어 우리나라 연안 해양의 표층수온 증가는 전지구 해양 평균의 3배 이상이며 이러한 현상은 앞으로 지속될 것이라고 예측하고 있다(해양수산부·한국해양과학기술원, 2014).

2) 사회변화

최근 들어 해양의 사용과 오염에 대한 국민의 의식은 친수공간의 공적 사용 개념의 강화와 깨끗한 환경 조성에 대한 인식이 강화되고 있는 분위기이다. 이러한 인식의 변화는 현행 제도에 의한 수산생물 양식업 활동과 충돌되는 경우가 증가할 수 밖에 없으며, 이러한 외부적 조건이 양식산업을 위축시키는 주요 인자로 작용할 가능성도 배제할 수 없다.

뿐만 아니라 고수온 발생 횟수와 기간이 급격히 증가하고 이로 인하여 발생한 수산생물의 피해 대응을 위하여 투입되는 사회적 비용의 증가와 ‘청정’한 이미지에 반하는 다양한 수산양식 상황에 대한 다양한 형태의 미디어 보도 증가로 수산양식에 대한 제도적 및 사회적 규제 강화에 대한 여론의 형성 여지가 있다.

3) 양식 전복 품종의 표준화 미비

국립수산과학원에서는 우리나라 고유의 참전복에 근접하는 전복종을 복원하는 사업을 수행 중에 있다. 지금까지 참전복, 까막전복, 기타 계열의 전복을 교배함으로써 생산성 향상이란 목적을 달성하고자 하였으나 교배에 의하여 각 개별 전복종이 가지고 있던 성장, 생리, 생태 등의 특성이 혼합되는 상황을 맞게 된 것으로 판단된다. 특히 성성숙과 산란시기가 일정하지 않음은 물론 우리나라 여름기간에 산란하는 경향이 많아지고 있는 것으로 보고 있다. 그러므로 양식 전복에서 성성숙과 산란시기가 다양하게 나타나면 양식관리와 폐사 예방을 위한 대응 기준을 마련하기가 쉽지 않게 된다. 특히, 산란시기가 우리나라 연안의 고수온 형성 시기에 맞추어지는 경우가 자주 관찰되고 있어 전복 폐사율을 높이는 주요 원인으로 작용할 수 있으므로 전복 양식에 사용하는 종자의 표준화는 정책적인 면에서도 중요하다.

2 미래 전복 양식의 전망 및 양식방법

1) 양식장의 인위적 관리 강화

세계 주요 양식국가는 생산량의 증대, 규모화, 생태계 보호와 재건, 환경보호 등을 중요 수산정책으로 추진하고 있다. 우리나라 또한 어장정화사업(1986), 어장관리법 제정(2011), 어장관리 기본 계획(2차, 2012-2016) 등을 시행하여 지속가능 어업에 대한 역량을 높이고자 하였다. 그러나 최근 일반 국민의 친수공간 확보와 수상레저 저변 확대 추세에 따라 양식장이 오염발생 단위로서 여론의 압박을 받고 있는 것 또한 현실이다. 뿐만 아니라 최근 들어 수온과 관련한 수산양식 피해(고수온, 저수온, 적조 등에 의한 폐사)가 급격히 증가하고 있다.

그러므로 미래의 수산양식에 대한 정책, 특히 친수공간으로서의 활용도가 높은 연안에서의 양식업은 오염을 발생시키지 않고 어업피해를 최소화하여 사회적 비용을 줄이려는 방향으로 진행될 것이다. 이러한 정책 방향에 가두리양식장의 정비·정리에 대한 압력이 높아질 것이므로 지금부터 대응해 나가야 한다.

2) 친환경적 해상 양식

가. OGA(Ocean Grown Abalone)

호주 Greenlip 전복의 경우, 다양한 자연재해(홍수, 태풍, 산불 등)의 영향으로 OGA에 대한 관심이 증가하고 있으며, 산업적으로 접근하고 있다. 호주 남서해안에서 시도 중인 OGA 시스템은 우리나라에서 시도되었던 ‘바다목장’의 개념으로 이해할 수 있다. 2014년 전복이 부착할 수 있는 콘크리트 구조물 등을 이용하여 약 50,000 m²

면적의 해상 어장을 조성하고 1.7백만마리의 치패(평균 각장 40mm, 10g)를 이식하고 3년 후 각장 130 mm(350 g)로 성장한 성체를 수확하였으며, 2018년에는 약 100 톤 생산을 기대하고 있다. 다만, greenlip 전복의 경우 대형종으로 OGA에 적합할 것이나 참전복을 양식하는 우리나라에 적용하는 것은 크기뿐만 아니라 가두리 중심의 사육시스템과 면허제도 등에서 애로가 있을 것으로 판단된다.

3) 육상기반 양식 시스템 개발·운용

최근 우리나라 전복양식에서의 주요 화두는 기후변화에 의한 영향(고수온, 적조, 태풍 등)에 기인한 여름철 폐사 증가를 들 수 있다. 기후변화의 영향에 대응하는 안정적 사육방법은 육상기반 양식 시스템의 개발과 운용이지만, 안정적 시스템을 운용하기 위한 장치와 시설은 물론 양식방법에 대한 과학적·학문적 뒷받침이 이루어져야 한다.

가. 순환여과양식시스템(recirculating Aquaculture System, RAS)

육상양식 기반의 사육시스템으로 사육수를 재사용하여 수조나 레이스웨이(raceway)에서 전복을 사육하는 방법으로 사육수 처리, 산화 및 이산화물 제거, 저질 제거, 생물학적 여과, 기타 관련되는 장치와 시설의 조합이 필요한데, 어류양식에서 적용되고 있는 순환여과시스템으로 이해할 수 있다. 최근 호주, 뉴질랜드, 남아프리카공화국 등 전복 생산국에서 RAS와 관련한 연구와 실용화가 점진적으로 이루어지고 있다. 육상에서 수온을 포함한 다양한 사육인자를 조절할 수 있어 외부환경에 의한 영향과 피해에 대응할 수 있는 이상적인 사육시스템이지만 시설과 다양한 관련 장치의 조합이 필요하므로 비용에 대한 문제 해결이 필요하다.

나. Shallow Raceway System(SRS)

호주와 뉴질랜드에서 시도되고 있는 사육방법으로 얇은 레이스웨이 수조에 수산생물을 고밀도로 사육할 수 있다. 다양한 어류, 특히 터봇, 넙치류와 같은 flatfish에 적용된 예가 많으며, 전복에서도 시도되고 있다. 얇은 레이스웨이로 다층(복층) 구조로 설치할 수 있어 공간을 입체적으로 사용할 수 있다. RAS와 마찬가지로 시설 및 장치에 대한 설치와 운용에 비용이 발생할 수 있다.

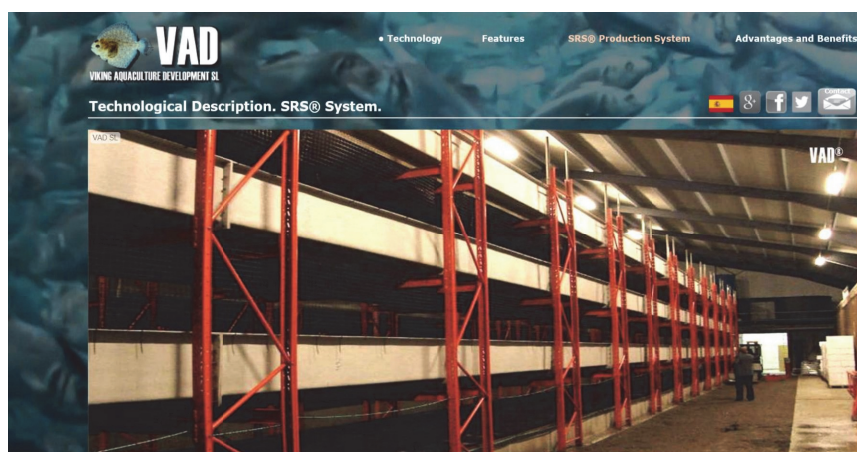


그림 8-1 다단식 shallow raceway system(SRS)을 이용한 실내 어류양식의 예(<http://www.vadsl.net/vikingaqua> 홈페이지 캡처)

3) 전복 양식 품종의 표준화

전복 양식 품종의 표준화는 사양관리, 생산시기 확정, 대형전복 생산 시스템 구현, 시장 형성 예측 등을 위한 토대를 마련할 수 있는 중요한 사안이다. 즉, 성장이 예측되고 고수온을 포함한 환경변화에 대한 반응이 정확히 파악되므로 거시적 뿐만 아니라 미시적 예방 대책 수립이 가능하게 된다. 또한 품종의 표준화는 양식산업의 매뉴얼화를 추진하는 바탕이 되며, 연구와 개발을 위한 표준 설정을 위해서도 매우 중요한 사안이다.



참고문헌

참고문헌

- 국립수산물과학원. 2008. 전복 양식 표준 지침서. 한글그라픽스.
- 국립수산물과학원. 2009. 한국 연안의 빈산소 수괴. (주)GMK커뮤니케이션.
- 국립수산물과학원. 2016. 전복 가두리양식 어업인을 위한 전복 가두리양식 사육관리 매뉴얼.
- 국립수산물과학원. 2018. 자연재해 대비 양식장 관리 요령. 도서출판 예문사.
- 국립수산물과학원. 2018. 표준수산물성분표.
- 김병학. 2001. 참전복(*Haliotis discus hannai* lno) 유생의 부착 및 변태 촉진 물질. 여수 대학교 박사학위논문, 100 pp.
- 김병학, 박민우, 김태익, 손맹현, 이시우. 2014. 해상가두리 및 실내 육상수조에서 먹이 공급비율에 따른 북방전복, *Haliotis discus hannai*의 성장 및 생존율. 한국패류학회지, 30: 277-234.
- 김병학, 박민우, 손맹현, 김태익, 명정인, 조재권. 2013. 해상가두리 및 실내 육상수조에서 북방전복, *Haliotis discus hannai* 치패의 적정 수용밀도에 관한 연구. 한국패류학회지, 29: 189-195.
- 김병학, 박민우, 손맹현, 김태익, 이시우. 2014. 북방전복, *Haliotis discus hannai*의 해상 가두리 양성 시 적정 수용밀도에 관한 연구. 한국패류학회지, 30: 219-226.
- 김성연, 박철지, 남원식, 김재목, 이정호, 노재구, 김현철, 박종원, 황인준. 2013. 배합사료 및 2 종류의 해조류 공급에 따른 북방전복, *Haliotis discus hannai*의 성장비교. 한국패류학회지, 29: 233-238.

- 김성중, 우성호, 김백민, 허순도. 2011. 지난 130년 간 한반도 근해의 표층 수온 변화 경향. *Ocean Polar Res.*, 33: 281-290.
- 김위식, 강민호, 김종오, 이시우, 김 정, 황두진, 오명주. 2013. 시판 전복박리제의 박리효과. *한국어병학회지* 26: 117-121.
- 김위식, 김 정, 황두진, 한종석, 이시우, 최동익, 임상민, 오명주. 2012. 옥시테트라사이클린의 전복 박리. *한국어병학회지* 25: 123-126.
- 김위식, 이시우, 김 정, 최동익, 오명주, 황두진. 2013. 유기산을 이용한 정복 박리. *한국어병학회지* 25: 51~56.
- 김진도, 박진서, 김병학, 원경미, 이덕찬. 2019. 완도지역 양식전복, *Haliotis discus hannai*의 패각 천공성 다모류 감염 변화. *한국패류학회지*, 35: 65-71.
- 배승철, 강용진, 고수홍, 구자완, 김강웅, 김규일, 김영철, 박건준, 박건현, 박흥식, 배준영, 유광열, 유진형, 윤용현, 윤현호, 이경준, 이상민, 이승형, 이정열, 이종윤, 이준호, 이진혁, 임성률, 장혜경, 정관식, 최세민, 황남용. 2012. 어류의 영양소대사와 사료. *부경대학교 출판부*.
- 성진우. 2011. 전복 양식업의 생산성 문제와 해결 방안. 월간 KMI 수산동향(4월호). pp. 28-37.
- 원경미, 김병학, 진영국, 박영진, 손맹현, 조미영, 박명애, 박민우. 2013. 우리나라 전복 양식장의 패각 천공성 다모류 감염 현황. *한국어병학회지*, 26: 139-148.
- 원승환, 김수강, 김순찬, 양병규, 임수봉, 이제희, 임한규, 이정식, 이준상. 2014. 국내연안에 분포하는 동근전복속 4종의 형태적 특징 고찰. *한국패류학회지* 30: 87-93.
- 이시우, 김병학, 김태익, 손맹현. 2015. 3년산 북방전복, *Haliotis discus hannai*의 해상가두리 양성 시 적정 수용밀도. *한국패류학회지*, 31: 93-101.
- 이준상, 원승환, 김수광, 임한규, 이정식. 2014. 한국 동근전복속 (고복족상목: 전복과)의 분류 및 기재. *한국패류학회지*, 30: 79-86.
- 주선미, 이정식. 2016. 북방전복, *Haliotis discus hannai* 난자형성 과정 동안 난모세포의 형태 및 계측형질 변화. *한국패류학회지*, 32: 1-7.

- 차봉진, 최양호, 양용수, 박민우, 김병학, 편용범. 2014. 북방전복 *Haliotis discus hannai* (Ino, 1952)의 폐사규명을 위한 모형 양식시설 주변의 조류 분포 분석. 한국패류학회지, 30: 9-15.
- 최양호, 성기탁, 장대수, 박민우, 김대욱, 이미진. 2013. 전복 가두리양식장 어장환경 특성. 한국환경과학회 2013년 정기학술대회 발표논문집, 22: 179-180.
- 한석중. 1998. 전복양식. 구덕출판사.
- 해양수산부·한국해양과학기술원(2014). 한국해양환경 평가보고서. pp. 19-43./pp. 79-104.
- Austin, B. 2010. Vibrios as causal agent of zoonoses. Vet. Microbiol., 140: 310-317.
- Bayne, B.L., D.A. Brown, K. Burns, D.R. Dixon, A. Ivanovici, D.R. Livingstone, D.M. Lowe, M.N. Moore, A.R.D. Stebbing and J. Widdows. 1985. The effects of stress and pollution on marine animals (Praeger special studies). Praeger Scientific, Westport, C.T. p. 9.
- Boolootian, R.A., A. Farmanfarmaian and A.C. Giese. 1962. On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. Biol. Bull. 122: 183-193.
- Colby, P.J. and L.L. Smith Jr. 1967. Survival of walleye egg and fry on paper fiber sludge deposit in Rainy Rivers, Minnesota. Trans. Amer. Fish Doc., 96: 296.
- Cook, P. A. 2014. The worldwide abalone industry. Modern Economy, 5: 1181-1186.
- Cook, P. A. 2016. Recent trends in worldwide abalone production. J. Shellfish Res., 35: 581-583.
- Corbeil, S., L.M. Williams, K.A. McColl and M.St.J. Crane. 2016. Australian abalone (*Haliotis laevigata*, *H. rubra* and *H. conicopora*) are susceptible

- to infection by multiple abalone herpesvirus genotypes. Dis. Aquat. Org., 119: 101–106.
- Denny, M.W. and J.M. Gosline. 1980. The physical properties of the pedal mucus of the terrestrial slug *Ariolimax columbianus*. J. Exp. Biol. 88: 375–393.
- Eversole, A.G. 1997. Gametogenesis of *Mercenaria mercenaria*, *M. campechiensis* and their hybrids. Nautilus 110: 107–110.
- Fretter, T. 1984. Prosobranchs. In: A.S. Tompa, N.H. Verdonk and J.A.M. Van Den Biggelaar, editors. The Mollusca, Vol. 7. Reproduction. New York, FL: Academic Press. pp. 1–45.
- Geiger, D.L. 1998. Recent genera and species of the family Haliotidae Rafinesque, 1815 (Gastropoda: Vestigastropoda). Nautilus, 111: 85–116.
- Gosling, E. 2004. Bivalve molluscs: Biology, Ecology and Culture, Blackwell Science, Oxford. pp. 443.
- Gregorio, B., E.M. Marzinelli and P.E. Penchaszadeh. 2008. Seasonal reproduction and sexual maturity in *Odontocymbiola magellanica* (Neogastropoda, Volutidae). Invert. Biol., 127: 314–326.
- Kang, J., Y.G. Lee, D.U. Jeong, J.S. Lee, Y.H. Choi and Y.K. Shin. 2015. Effect if abalone farming on sediment geochemistry in the Shallow sea near Wando, South Korea. 50: 669–682.
- Karim, M.R., M. Sekine, T. Higuchi, T. Imai and M. Ukita 2003. Simulation of fish behavior and mortality in hypoxic water in an enclosed bay. Ecol. Modelling, 159: 27–42.
- Lee, Y.T. 1974. Gametogenesis and reproductive cycle of abalones. Publ. Mar. Lab. Busan Fish. Coll., 7: 21–50.
- Levitus, S., J. Antonov and T. Boyer. 2005. Warming of the world ocean,

- 1955–2003. Geophysical Res. Lett., 32: L0260.
- Li, T.W., M.J. Ding, J. Zhang, .H. Xiang and R.Y. Liu. 1998. Studies on the pustule disease of abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) on the Dalian coast. J. Shellfish Res., 17: 707–711.
- Lindberg, D.R. 1992. Evolution, distribution, and systematics of Haliotidae. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner, S.A. Guzman del Proo (Eds.), Abalone of the World: Biology, Fisheries, and Culture. Blackwell, Oxford, pp. 3–18.
- Navarro J.M. and C.M. Gonzalez. 1998. Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. Aquaculture, 167: 315–327.
- OIE. 2019. Manual of diagnostic tests for aquatic animals–19/08/2019.
- Sastry, A.N. and S.L. Vargo. 1977. Variations in the physiological response of crustacean larvae to temperature. In: F.J. Vernberg, A. Calabrese, F.P. Thurberg, W.B. Vernberg (Eds.), Physiological response of marine biota to pollutants. Academic Press, New York. pp. 410–424.
- Sato–Okoshi, W., Okoshi, K., Koh, B.–S., Kim, Y.H. and Hong, J.S. 2012. Polydorid species (Polychaeta: Spionidae) associated with commercially important mollusk shells in Korean waters. Aquaculture, 350–353: 82–90.
- Shin, Y.K., W.c. Lee, D.W. Kim, M.H. Son, J.C. Jun, E.O. Kim and S.H. Kim 2012. Seasonal changes in physiology of the abalone *Haliotis discus hannai* reared from Nohwa Island on the south coast of Korea. Kor. J. Malacol., 28: 131–136.
- Smith, A.M. 1991. The role of suction in the adhesion of limpets. J. Exp. Biol., 161: 151–169.
- Smith, A.M. 1992. Alternation between attachment mechanisms by limpets in the field. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 160: 205–220.

- Smith Jr., L.I., D.M. Oseid, I.R. Adelman and S.J. Broderius. 1976. Effect of hydrogen sulfide on fish and invertebrates. Part 1 – Acute and chronic toxicity studies. U.S. Environmental Protection Agency, Minnesota.
- Sreejai, R. and D.S. Jaya. 2010. Studies on the change in lipid peroxidation and antioxidants in fishes exposed to hydrogen sulfide. *Toxicol. Intl.*, 17: 71–77.
- Takami, H., H. Yamakawa and H. Nakano. 1995. Survival and physiological stress of juvenile disk abalone *Haliotis discus discus* during long-term starvation. *Fish. Sci.*, 61: 111–115.
- Voltzow, J. 1990. The functional morphology of the pedal musculature of the marine gastropods *Busycon contrarium* and *Haliotis kamtschatkana*. *Veliger*, 33: 1–19.
- Widdows, J. 1985. The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of *Mytilus edulis*. In: J.S. Gray, M.E. Christiansen (Eds.), *Marine Biology of Polar Regions and Effects of Stress on Marine Organism: Proceedings of the 18th European Marine Biology Symposium*. Wiley-Interscience, pp. 555–566.
- 菊地省吾·浮永久. 1974. アワビ屬の採卵技術に關する研究. 第2報. 紫外線照射海水の産卵誘發效果. 東北區水研報 33: 79~86.

담당자

남해수산연구소 양식산업과 해양수산연구관 **김 병 학 (061-690-8980)**
 해양수산연구사 **이 덕 찬 (061-690-8981)**

양식어업인을 위한

전복 사육관리 매뉴얼

발 행 일 2019년 11월

발 행 인 남해수산연구소장 라인철

책 임 남해수산연구소 해역산업과장 이정웅

감 수 수 진 회 박민우 박사

목 포 대 학 교 임한규 교수

전복산업연합회 오한윤 회장

집 필 · 편 집 남해수산연구소 해양수산연구관 김병학

해양수산연구사 이덕찬

해양수산연구사 전미애

전 략 양 식 부 해양수산연구사 박정준

디자인 · 인쇄 갭스앤디 컴퍼니 051-911-9890