

갯벌참굴 양식어장 활성화 방안 연구

박애전

I. 서 론

갯벌참굴(3배체 개체굴)은 수산분야 10대 수출전략 품목으로 선정된 품종으로 우리나라는 2007년부터 본격적으로 보급되기 시작하여 2011년 기준 전국 27개 어촌계에 43ha 양식장에 23,109set의 시설물이 설치되어 약 12,700만패의 종패가 입식되어 400만패가 생산된 수준이다(표 1).

표 1. 전국 갯벌참굴 시설 및 생산현황

(단위 :

만패, set)

년도별	합계	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
종패입식량	2,386.2	1,268.8		100	627	390.4
생 산 량	404.3	404.3				
시 설	39,309	23,109			16,200	

※ 2013~2015 국립수산과학원 종패 자체생산 분양

※ 1set : 312cm × 80cm × 70cm(1set : 50 × 80cm 관리망 6개 설치가능)

인천시는 관내 갯벌을 이용한 어민소득 증대를 위한 지역특화사업으로 2008년에 옹진군 연평면 면적 4.3ha에 수평망식 시설 2,335set를 시작으로 수평망식 갯벌참굴 양식어장에 대한 관심이 점차적으로 증가하여 2011년 기준 15개 어촌계 면적 12.8ha에 6,880set가 설치되어 전국대비 29.8%를 차지하며, 종패 498만패를 입식하고 146만패를 생산하여 전국대비 36.1%를 차지하였다(표 2).

2011년 이후 인천시는 관내 갯벌참굴 양식 기반구축사업 추진하던 중 갯벌참굴 종패 수급 문제가 발생하여 사업이 계속적으로 진행되지 못하여 관내 현안 사업으로 대두됨에 따라, 우리 연구소에서는 갯벌참굴 인공종자 생산기술 교육을 통해 기술을 확보하고, 이를 바탕으로 갯벌참굴 인공종자 시험생산 및 갯벌참굴 양식시스템 운용 체계를 확립하여 최종적으로 갯벌참굴 종패의 안정적 생산 및 수급 체계를 구축하고자 하였다.

이러한 연구방향의 일환으로 2015년에는 교육파견을 통해 갯벌참굴 인공종자 생산기술을 확보하였으며, 2016~17년 2년에 걸쳐 인공종자 생산기술을 토대로 갯벌참굴 인공종자 시험생산 및 개체굴 인공종자 생산성 향상을 위한 개체굴 부착를 실험 등 시험연구를 실시하였다.

표 2. 인천시 갯벌참굴 시설 및 생산현황
: 만패, set)

(단위

년도별	합계	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
종패입식량	825.7	498.2				2.8	280.1	44.6
생산량	146.0	146.0						
시 설	23,080	6,880			16,200			

※ 농림수산식품부 2012년 자료 참고

II. 재료 및 방법

1. 채란 및 유생사육

갯벌참굴(3배체 개체굴) 인공종자 시험생산을 위해 2017년 4월 27~28일에 경남 남해 소재 국립수산과학원 남동해수산연구소 남해양식센터에서 관리 중이던 2배체 참굴 어미(암컷)과 4배체 참굴 어미(수컷)를 활용하여 산란 유도한 D상 부화유생을 분양 받았다(그림 1).

산란 유도는 간출 자극과 수온 자극 방법을 사용하여 실시하였다. 2배체 참굴을 암, 수 선별하여 암컷만 사용하고, 4배체 참굴은 수컷만을 선별하여 1~2시간 정도 간출자극을 실시한 후 어미를 FRP 사각수조(4톤)에 수용 26.5℃내외의 가온 해수를 주입하여 산란을 유도하였으며, 방란행정이 이루어지면 어미를 제거하고 1시간 정도 수정이 되도록 방치한 후 세란 과정을 거쳐 수정란 상태를 확인하여 수온 26.0℃ 내외의 콘크리트 사각수조에 수용하였다.

D형 유생발생은 수정 후 약 19시간 만에 이루어졌으며, D형 유생을 30 μ m 거름망으로수거하여 2억마리를 분양 받아 연구소로 운송한 후 어류생산동 콘크리트 원형수조 (φ 6.0× 1.5m, 40톤) 2개에 수용하였다.



3배체굴 수정란 상태 확인



3배체굴 수정란 수용수조



D형 유생 수거작업



D형 유생 상태확인 및 계수



포장전 분양유생



운송후 사육수조 입식전 분양유생



사육중인 유생 환수작업



채묘전 수거한 부착기 유생

그림 1. 3배체굴 부화유생 분양 및 유생사육

수용 밀도는 3.3마리/ml로 조절하였으며, 사육 수온은 27.0~27.5℃ 내외를 유지하였고, 먹이생물 공급은 *Isochrysis* sp., *Monochrysis* sp.외 2~3종을 혼합하여 1일 1~2회 0.5~5×10⁴cell/ml 농도로 공급하였으며, 유생이 성장함에 따라 공급량을 3~4회/일로 증가시키며 사육하였다.

사육수는 고압 모래여과기를 통과한 후 1μm 백필터로 여과한 해수를 사용하였으며, 환수는 2~3일 간격으로 전량 환수하고 유생 성장에 따라 거름망을 40~250 μm까지 사용하였다.

2. 채묘 및 치패사육

개체굴 채묘는 250μm 거름망에 걸린 부착기 유생을 수거하여 180~210μm 물러망을 붙여 자체 제작한 채묘기(φ 52)를 사용하여 부착을 유도하였다.

개체굴 부착을 향상 연구를 위해 2016년도 실험결과를 토대로 부착기질별 실험을 서해특성화동 8톤 사각수조에 채묘기 12개를 설치하여 유생밀도는 50만마리, 부착기질은 패각분(300~400μm), 모래(355~500μm) 부착기질량은 400ml씩 6반복구로 실험을 실시하였으며(그림 4), 그 외 인공종자 생산을 위하여 13톤 사각수조에 채묘기 21개를 설치하여 채묘기 1개당 부착기질(패각분), 부착기질량 400ml, 부착기유생 100만마리씩 넣어 채묘하였다(그림 3).

부착기 유생을 수용한 후 2~3일간 지수식으로 관리하였으며, 3일 이후부터 부착을 확인한 후 1일에 1회전 이상 환수 하다가 유수식으로 관리하였다.

사육수는 고압 모래여과기를 통과한 해수를 1μm 백필터로 여과하여 사용하였으며, 채묘시 사육수온 29.0℃내외에서 서서히 낮추어 자연수온으로 관리하였다.

부착치패의 먹이생물 공급은 *Isochrysis* sp., *Monochrysis* sp., *Tetraselmis* sp., *Chaetoceros* sp., *Phaeodactylum* sp.를 1일 1회씩 10~20×10⁴cell/ml 농도로 혼합하여 공급하다가 치패의 성장에 따라 공급량을 점차 늘리며 2017년 10월 16일(155일)까지 실내수조에서 사육 관리하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

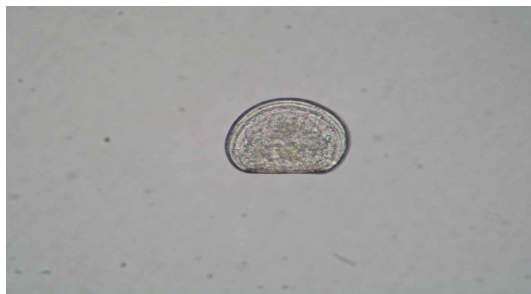
1. 채란 및 유생사육

채란은 간출과 수온상승 자극을 병행하여 실시하였고 4시간 이내에 산란이 이루어졌으며, 수온 26.0~26.5℃에서 산란 후 약 19시간 내에 D형 유생으로 발생하여 수거작업을 실시하였다.

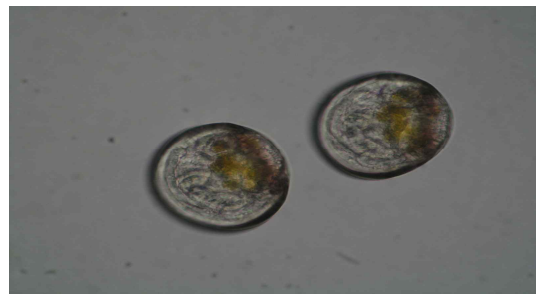
표 3. 3배체굴 유생 사육

사육기간	D형 유생		부착기 유생	
	유생수(×10 ³)	평균각장(μm)	유생수(×10 ³)	생존률(%)
18일 (4.28~5.16)	200,000	79.65	2,780	13.9

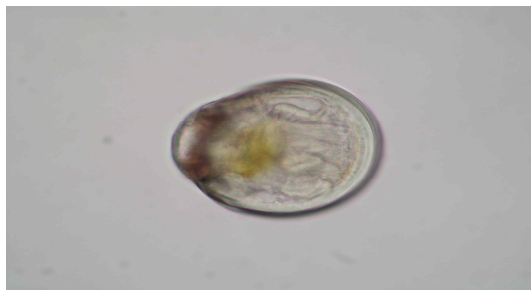
유생사육은 D형 유생을 30 μm 거름망으로 수거 후 2억 마리를 분양받아 아이스박스 포장 후 연구소로 운송하여 어류생산동 콘크리트 원형수조(φ 6.0× 1.5m, 40톤) 2개에서 사육하였으며, 사육밀도는 1㎖당 3.3개체로 수용하고 성장함에 따라 사육밀도를 1㎖당 0.5~1개체로 낮추어 사육하였다. 사육수온은 26.8~27.4℃ 범위에서 18일간 사육하였다(표 3).



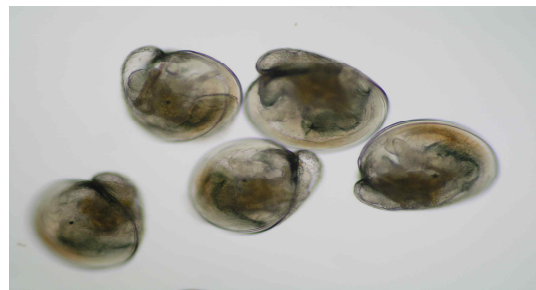
D형 유생(79.65× 66.88μm)



소형 각정기(117.71× 115.08μm)



중형 각정기(189.79× 201.12μm)



부착기 유생(368.13× 386.34μm)

그림 2. 3배체굴 유생 발달 과정

유생사육 기간 동안 사육수 환수는 2~3일 간격으로 전환수를 실시하고, 환수시마다 유생크기별 선별작업을 실시하였다.

유생크기는 D형 유생이 평균 $79.65 \times 66.88 \mu\text{m}$ (각장 \times 각고)였으며, 사육 4일째 평균 $117.71 \times 115.08 \mu\text{m}$ 로 소형각정기 유생으로 자랐고, 사육 9일째 평균 $189.79 \times 201.12 \mu\text{m}$ 로 중형각정기 유생으로 성장하였으며, 계속 성장이 이루어져 사육 16일째만에 안점을 지닌 부착기 유생(평균 $368.13 \times 386.34 \mu\text{m}$)이 처음으로 나타나기 시작하여 사육 18일째까지 3일 동안 부착기 유생 27,800,000마리를 생산하였다(그림 2).

2. 채묘 및 치패사육

채묘는 $250 \mu\text{m}$ 거름망에 걸린 부착기 유생을 수거하여 자체 제작한 채묘기에 사용하여 부착을 유도하였다.

부착된 치패는 부착기질과 분리하는 1차 선별시(6.27~29) 3,930,000마리를 생산하여 생존률 14.13%를 나타내었으며, 치패 성장에 따른 크기별 2차 선별시(8.9) 2,170,000마리를 생산하여 생존률 7.80% 나타내었으며, 3차 선별시(9.19~20) 생존률 2.70%를 나타내었다.

사육기간(5.14~10.16) 동안 사육수온은 $17.6 \sim 29.6^\circ\text{C}$, 염분 $29.16 \sim 31.92\text{ppt}$, 용존산소량 $5.99 \sim 7.92\text{mg/l}$, 수소이온농도(pH) $7.58 \sim 8.29$ 이었다.

3차 선별시(사육기간 127일) 개체굴 치패 크기는 평균 각장 8.43mm, 평균 각고 10.88mm, 평균 각폭 4.89mm, 평균 전중 0.20g으로 성장하였다(그림 3).



개체굴 채묘(Down welling system)



크기별 치패 선별

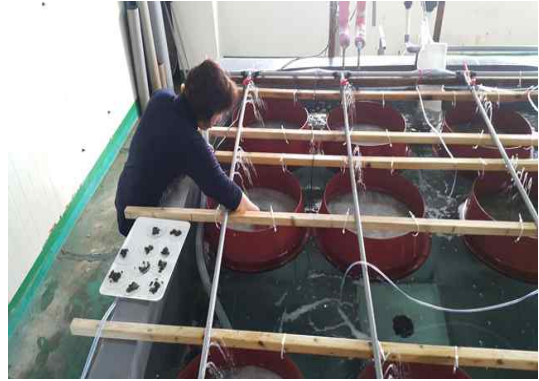
그림 3. 3배체 개체굴 채묘 및 선별

3. 개체굴 부착물 실험

개체굴의 부착률을 높이기 위해 2016년도 실험결과를 토대로 부착기질별 부착 실험을 2017년 5월 14일부터 6월 27일까지 실시하였다(그림 4).



실험구별 부착기 유생



실험구별 부착기 유생 입식

그림 4. 개체굴 부착기질별 실험

실험기간(44일간) 동안 수온은 부착시기에 29.0℃ 내외를 유지했으며, 부착 확인 후 사육수온을 서서히 낮추어 실험 종료까지 자연수온으로 관리하였다. 사육수온은 19.9~29.6℃(평균수온 23.1℃)이었으며, 자연수온은 15.1~23.5℃(평균수온 19.8℃)이었다(그림 5). 용존산소량은 최소 5.44mg/ℓ 에서 최대 7.03mg/ℓ 이었으며, 평균 용존산소량은 6.29mg/ℓ 이었다(그림 6).

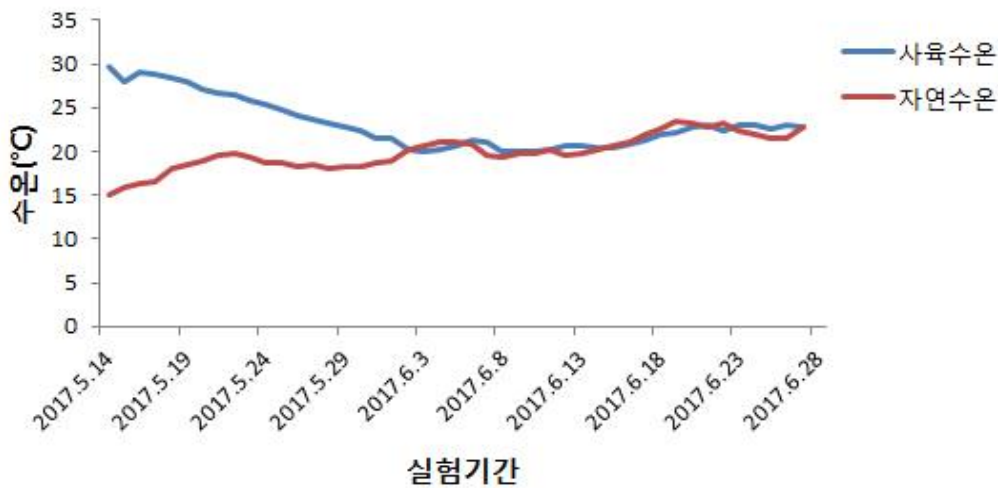


그림 5. 부착물 실험기간 수온 변화

염분은 최소 31.68ppt에서 최대 32.07ppt이었으며, 평균 염분은 31.79ppt이었다(그

림 6). 수소이온농도(pH)는 최소 7.58에서 최대 8.24이었으며, 평균 수소이온농도는 7.92이었다(그림 6).

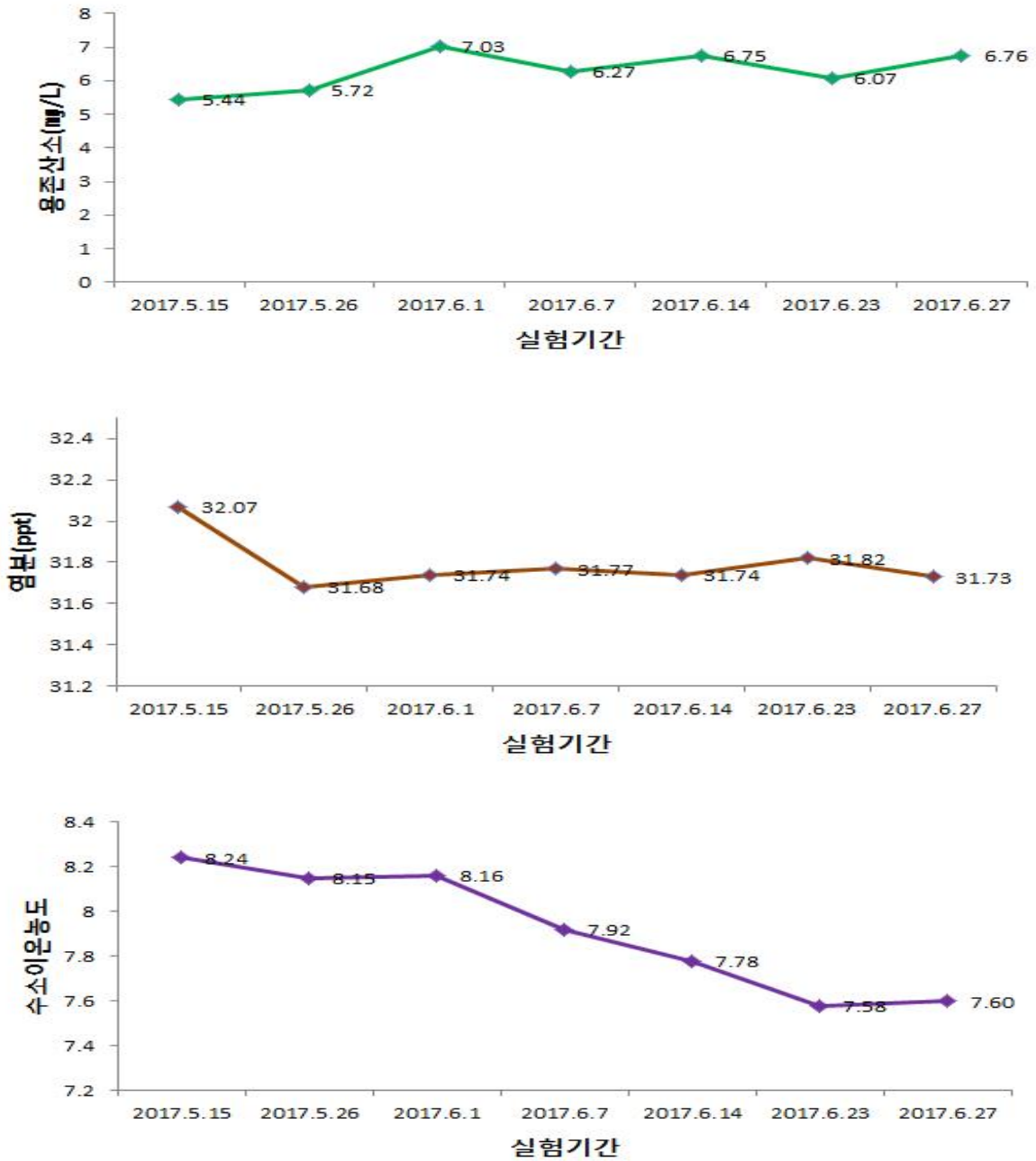


그림 6. 부착물 실험기간 염분, 용존산소량, 수소이온농도 변화

개체굴의 부착물 향상을 위해 부착기질별 실험을 실시한 결과 패각분(300~400 μm) 6개 실험구에서의 평균 부착률은 8.13%였으며, 부착률이 가장 낮은 실험구가 6.15%였고, 가장 높은 실험구는 13.12%의 부착률을 나타내었다(그림 7).



그림 7. 부착기질(패각분) 실험구별 부착률

모래(355~500 μ m) 6개 실험구에서의 평균 부착률은 6.00%였으며, 부착률이 가장 낮은 실험구가 4.47%였고, 가장 높은 실험구는 8.94%의 부착률을 나타내었다(그림 8).

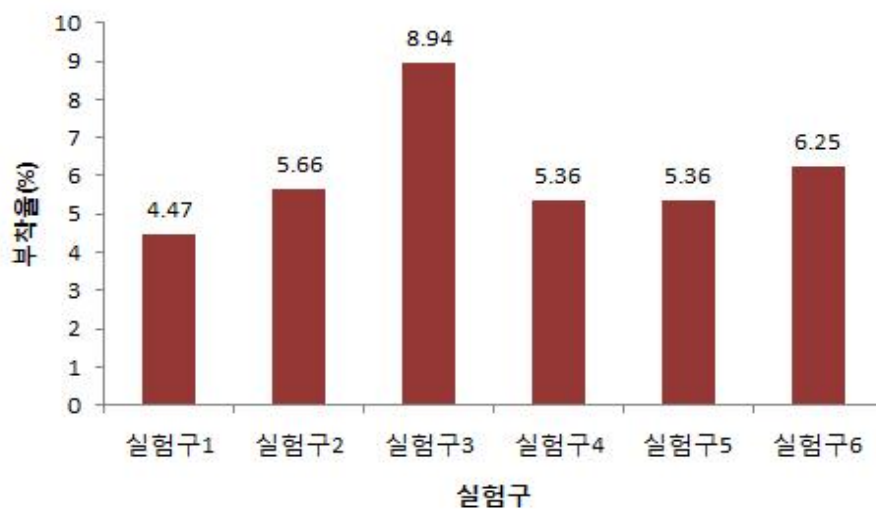


그림 8. 부착기질(모래) 실험구별 부착률

앞의 실험결과를 종합하여 보면 패각분의 부착률이 8.13%로 모래 6.00%보다 2.13% 부착률이 높은 결과치를 보였다(그림 9). 두 부착기질간 부착률이 별차이가 없다면, 1kg에 100,000원을 호가하는 수입산 패각분을 모래(입자 355~500 μ m)로 일부 대체가 가능하지 않을까 사료되며, 향후 부착기질로 모래를 활용한다면 부착기 유생이 잘 붙을 수 있도록 모래 표면에 유생을 유도할 수 있는 물질 및 방법 등의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

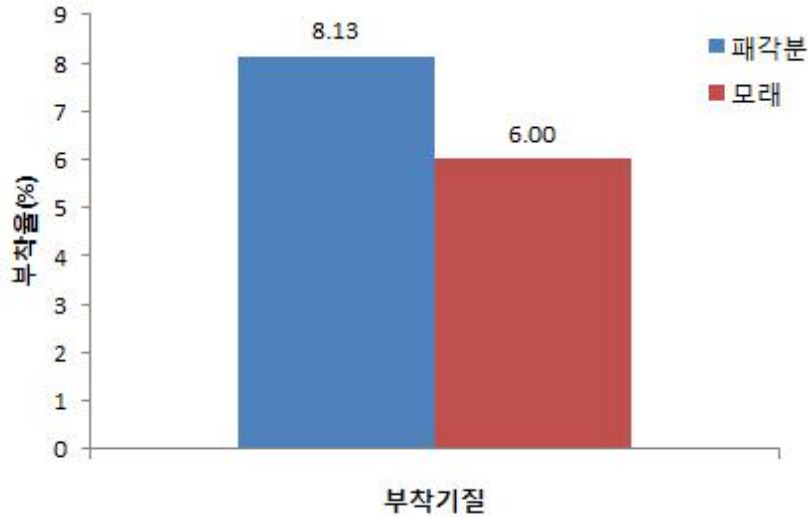


그림 9. 부착기질별 부착률

4. 개체굴 치패 분양

갯벌참굴(개체굴) 분양은 총 2차에 걸쳐 총 446,000마리를 분양하였다(그림 10).

1차 분양은 2016년에 생산 월동 사육시킨 각장 7~13mm 내외의 개체굴 치패 96,000마리를 2017년 6월 23일에 중구 무의도 포내어촌계에 분양 입식하였다.

2차 분양은 2017년에 생산한 각장 5~20mm 내외의 개체굴 치패 350,000마리를 2017년 10월 17일 중구 무의도 포내어촌계에 분양 입식하였다(표 4). 각장 5mm 이하의 개체굴 치패는 연구소 수조공사에 따른 월동 사육이 불가능하여 폐기하였다.

표 4. 개체굴 치패 사육 및 분양(2017년산)

사육기간	부착기 유생		개체굴 치패 분양		
	유생수($\times 10^3$)	크기(μm)	치패수($\times 10^3$)	크기(mm)	생존률(%)
2017. 4. 28 ~ 2017. 10. 16	27,800	368.1 \times 386.3	350	5.0 이상	1.26

5. 개체굴 치패 입식어장 모니터링

갯벌참굴(개체굴) 치패를 분양 입식한 양식어장을 중심으로 2017년 2~3월 3회에 걸쳐 현장 모니터링을 실시하여 개체굴 성장도, 생존률 등 생태환경조사 및 양식어장 관리 실태를 점검하고 어민들에게 갯벌참굴 양식어장 관리요령 등을 지도하였다.

2016년 2월에 12.5만마리 치패(6~10mm)를 입식한 자월면 승봉어촌계 현장 조사 결과 입식 후 12개월(2016. 2.23~2017. 2.14) 양성한 개체굴의 크기는 평균각장 35.19mm, 각고 58.97mm, 각폭 20.92mm, 전중 21.29g이었으며, 조사 당시 사육환경은 수온 5.59℃, 염분 27.71ppt, 용존산소량 12.0mg/l, 수소이온농도 8.23이었다. 관리 상태는 종패 입식 후 1년 동안 분망을 하지 않아 개체굴이 대량 폐사하여 생존률이 4.2%에 불과하였다. 분망하지 않음에 따라 폐사한 개체와 혼합되어 성장 공간이 부족한 상태로 굴의 형태가 정상적이지 못하고 개체 크기차가 컸다. 그 외 타 개체굴 입식지역에 비해 부착생물이 양성망에 적게 붙었으며, 해당 어촌계에서는 수온이 상승하는 3월에 이중 양성망 제거 및 선별작업 실시 예정이었으며, 주기적인 분망 및 청소시기 조절 등 지속적인 관리가 필요한 상태였다(그림 10).

같은 시기에 입식한 자월면 소이작어촌계 현장 조사 결과 12.5만마리 치패(6~10mm) 입식 후 12개월(2016.2.23~2017.2.28) 양성한 개체굴의 크기는 평균각장 30.96mm, 각고 54.47mm, 각폭 20.24mm, 전중 15.79g이었으며, 조사 당시 사육환경은 수온 9.24℃, 염분 33.81ppt, 용존산소량 9.99mg/l, 수소이온농도 8.24이었다. 관리 상태는 종패 입식 후 전체 중 1/2만 분망하고, 나머지 1/2은 분망을 하지 않아 개체굴 폐사가 많았으나 승봉어촌계보다는 관리상태가 나아 생존률이 10.4%였다. 승봉어촌계처럼 적정한 시기에 분망하지 않음에 따라 폐사한 개체와 혼합되어 성장 공간이 부족한 상태로 굴의 형태가 정상적이지 못하고 개체 크기차가 많았다. 소이작어촌계는 타 개체굴 입식지역에 비해 조류의 흐름이 빨라 양성망에 부착생물이 적게 붙었으며, 해당 어촌계에서는 분망하지 않은 일부 양성망을 3월에 이중망 제거 및 선별작업 실시 예정이었고, 승봉어촌계와 마찬가지로 주기적인 분망 및 청소시기 조절 등 지속적인 관리가 필요한 상태였다(그림 10).

다음으로 영흥면 선재어촌계 현장 조사 결과 2016년 11월 0.1만마리 치패(10mm) 입식 후 4개월(2016.11~2017.3.30) 양성한 개체굴의 크기는 평균각장 9.17mm, 각고 14.11mm, 각폭 5.30mm, 전중 0.36g이었으며, 조사 당시 사육환경은 수온 11.0℃, 염분 32.1ppt, 용존산소량 10.03mg/l, 수소이온농도 8.18이었다. 타 입식지역과 마찬가지로 치패 입식 때부터 치패의 유실을 막기 위해 속망(망목 2mm)을 사용하여 이중(망목 5mm) 양성망을 설치하였으며, 조사 당시 속망 제거를 위한 1차 분망(3.14~15)이 끝난 후로 타 지역에 비해 개체굴의 생존률이 좋은 반면 성장이 좀 느린 편이었으나 관리 상태가 양호하였다(그림 10). 향후 주기적으로 치패 입식어장 생태환경조사 및 모니터링을 실시할 계획이다.



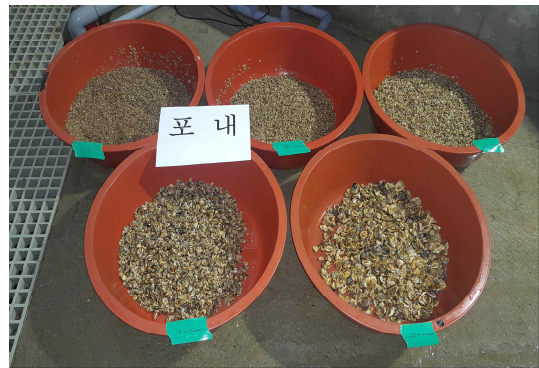
부착기질 분리 후 개체굴 치패



분양용 개체굴 치패



치패 분양(9.6만마리/월동 2016년산)



치패 분양 (35만마리/2017년산)



포내 분양치패 입식



분양치패 입식어장 모니터링(승봉)



분양치패 입식어장 모니터링(소이작)



분양치패 입식어장 모니터링(선재)

그림 10. 개체굴 분양 및 양식어장 모니터링

IV. 요약

1. 시험연구용으로 3배체굴 D형 부화유생 200,000,000마리 남동해수산연구소에서 분양 사육하였다.
2. 유생사육은 수온 26.8~27.4℃ 범위에서 18일간 사육하였으며, 부착기 유생까지의 생존률은 14.13%로 나타났고, 분양치패(2017년산)은 350,000마리를 생산하여 생존률은 1.26%를 나타내었다.
3. 개체굴 부착률 향상을 위하여 부착기질별 실험을 실시한 결과 패각분의 부착률이 8.13%로 모래 6.00%보다 2.13% 부착률이 높은 결과치를 나타내었다.
4. 생산한 갯벌참굴(개체굴) 치패는 2차에 걸쳐 인천 관내 갯벌참굴 양식어장에 2017년 6월부터 10월까지 446,000마리를 분양 입식하였다.
5. 개체굴 분양치패 입식어장을 중심으로 현장 모니터링을 실시하여 개체굴 성장도, 생존률 등 생태환경조사 및 양식어장 관리 실태를 점검하고 양식어장 관리요령 등을 지도하였다.

V. 참고문헌

- 국립수산과학원, 2016. 참굴 양식 표준 매뉴얼. 137pp.
- 국립수산과학원 남동해수산연구소, 2016. 굴 건강종묘 생산 기술 개발. 82pp.
- 국립수산과학원 남동해수산연구소, 2016. 부유망식 개체굴 및 3배체 수하양식 연구. 57pp.
- 국립수산과학원 서해수산연구소, 2014. 갯벌참굴 양식 생산성 향상 연구. 56pp.
- 김윤혁, 2015. 동절기 3배체 갯벌참굴 *Crassostrea gigas* 중간육성 방법에 따른 성장. 군산대학교(석사학위논문). 55pp.
- 심재형, 1994. 한국동식물도감, 해양식물플랑크톤, 교육부, 487pp.
- 이상원, 2009. 참굴 인공종묘생산. 2008년도 경상남도수산자원연구소 연구사업보고서. 39~45 p.
- 이상원, 2009. 기능성 굴 개발 시험. 2008년도 경상남도수산자원연구소 연구사업보고서. 203~207 p.
- 이영철 등, 1999. 굴 가상식 양식기법 개발 연구. 해양수산부, 136pp.
- 한국해양수산개발원 등, 2013. 갯벌참굴 종묘생산 기술개발 연구. 해양수산부, 304pp.
- 해양수산부, 2005. 해양환경공정시험방법. 389pp.
- 山路 勇. 1991. 日本海洋プランクトン圖鑑. 保育社, 日本. 538pp.